

細胞自動機與經驗模式模擬臺灣鄉鎮 景觀格局變遷之差異比較

吳振發¹⁾ 黃鉅友²⁾ 謝燕芬³⁾ 彭立沛⁴⁾

關鍵詞： CLUE-s、SLEUTH、景觀變遷、景觀指數、景觀格局

摘要：景觀變遷過程與格局是景觀生態學領域中相當重要的主題之一，其中細胞自動機理論為基礎的景觀/土地利用變遷模式 SLEUTH，及以機率理論為基礎的 CLUE-s 模式已廣泛應用於景觀/土地利用變遷模擬。本研究的目的是在於比較細胞自動機(SLEUTH 模式)與經驗模式(CLUE-s 模式)模擬臺灣鄉鎮景觀格局變遷之差異。以埔里鎮為案例分析地區，研究結果顯示 CLUE-s 模式考量景觀變遷的影響因素較廣(土壤、地理、社會經濟因素)，以各景觀類型的分佈適宜性為基礎，模擬的結果容易表現出環境差異產生景觀變化的現象，因此各種景觀類型間容易因為環境差異產生不同變化，以致於鑲嵌的現象較明顯。而 SLEUTH 模式以細胞擴張為基礎，景觀變遷模擬時是以現存的景觀分佈為起點向外擴張，因此模擬的景觀格局呈現聚集分佈的現象。未來的應用上，可整合兩個模型的優點，應用 SLEUTH 模式模擬未來面積數量，之後投入 CLUE-s 模式中，模擬變遷區位，可獲得兼具自體發展性及精確變遷區位之景觀分佈。

前 言

景觀變遷過程與格局是景觀生態學相關研究的重點之一，隨著時間的流動，景觀格局產生變化，具備的生態功能亦有所不同。因此，如何有效的預測未來景觀、景觀格局變化的趨勢，成為景觀規劃、景觀策略研擬，甚至是環境影響評估、政策環評過程中，相當

-
- 1) 國立中興大學園藝學系副教授。
 - 2) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。
 - 3) 國立中興大學園藝學系博士班研究生。
 - 4) 國立台灣大學生物產業傳播暨發展學系助理教授，通訊作者。

重要的工作。然而在時間與經費成本的考量下，採用景觀模型進行景觀變遷過程及格局變化的模擬，是目前常用的方法之一。模擬景觀變遷的模型相當多元，大致可分為以方程式為基礎的模式 (Equation-Based Models)、統計模式 (Statistical Techniques)、專家模式 (Expert Models)、演替模式 (Evolutionary Models)、整合型模式 (Hybrid Models)、以行為者基礎模式 (Agent-Based Models) 與多元行為者基礎模式 (Multi-Agent Systems) 等 (Parker *et al.* 2003)。

CLUE-s 模式起源於 Veldkamp and Fresco (1996) 提出的 CLUE 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，屬於整合型模式 (Hybrid Models)。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，皆可融入景觀管制的構想，與土地利用管制策略研擬時的複雜結構一致，模式適合應用於景觀管制計畫實施效益或衝擊評估 (吳振發 2006)。Claessens *et al.* (2009) 針對西班牙南部，結合 CLUE-s 模型及 (LAPSUS) 景觀處理模擬水耕侵蝕沉澱模型，進行土壤侵蝕沉澱模擬研究； Verburg *et al.* (2010) 應用於研究歐洲的土地利用變遷軌跡建構探索農村未來的模型。吳振發 (2008) 應用 CLUE-s 模式及景觀生態指數分析基隆河集水區上游區域土地利用管制策略對景觀格局衝擊評估，吳振發 (2011) 以埔里鎮為例，進行台灣鄉村景觀變遷模擬之 CLUE-s 模式最佳參數試驗，Wu *et al.* (2011) 整合鳥類調查、棲地適宜性模式、CLUE-s 模式進行南投縣上安社區棲地保育範圍劃定之策略分析。由此可知，CLUE-s 模式應用的領域相當廣，除應用土地利用管理相關研究之外，已開始與景觀生態分析方法整合，進行生態主題之探討。

SLEUTH 模式是根據模式中需輸入資料項目 (Slope, Land cover, Exclusion, Urbanization, Transportation and Hillshade) 來命名。模式是由 Clarke 教授與 USGS 合作結合都市成長 (UGM) 模式與延伸出景觀變遷 (Deltatron) 模式而成 (Clarke, 1998)，模式的成長規則較典型細胞自動機模式複雜，並以透過參數控制自我成長能力，並應用蒙地卡羅測迴進行校準，以產生未來的土地利用，屬於以行為者基礎模式 (Agent-Based Models)，亦屬於整合型模式 (Hybrid Models)。近年來的研究包括 Wu *et al.* (2009) 應用 ROC 曲線、誤差估算、景觀格局指數評估 SLEUTH 模擬中國瀋陽市區發展規模之精確性。Mahiny and Gholamalifard (2011) 整合 SLEUTH 與多準則評估尋找垃圾掩埋場最適地點。Thapa and Murayama (2011) 應用於模擬尼泊爾 Kathmandu 都會區的都市成長。

景觀格局變化分析自從 Mcgarigal and Mark (1995) 進一步彙整以往使用的評估方法發展出 Fragstats 的評估工具，使得景觀生態指標成為評估景觀格局的重要方法。目前廣泛的應用於相關領域研究，包括應用於評估區域性景觀格局變遷 (Baker 1992; Kienast 1993)、林地與集水區土地利用變遷 (Olsson, Austrheim, and Grenne 2000)、都市土地利用變遷 (吳振發 2009)、甚至是土地利用管理政策研擬 (吳振發 2008) 等。其他引用景觀指數探討生態空間變化及其對生態環境之影響的研究包括有：Ramezani and Holm (2011)、Paukert *et al.* (2011)、Esselman *et al.* (2011)、Wang, Wang, and Zou (2011)。由此可知，應用景觀指數分

析景觀格局之變化，是目前景觀生態學上十分常用的方法，並可進一步與景觀變遷模式結合，預測景觀格局變化趨勢。

CLUE-s 與 SLEUTH 模式為景觀、土地利用相關研究常用的變遷預測模型，已逐漸應用於臺灣景觀生態、土地利用管制相關研究，兩種模式的特性有何差異？模擬的結果有何不同？應用預測景觀格局變化時，結果會明顯不同嗎？更重要的是，兩種模式該如何應用於景觀生態或土地利用管制的相關研究呢？因此，本研究整合景觀變遷預測與景觀指數分析方法，評估 CLUE-s 與 SLEUTH 模型模擬臺灣鄉鎮景觀及格局變遷之差異，目的在於瞭解兩模型於臺灣鄉鎮級景觀變遷模擬、模擬結果之景觀格局變化特性差異，進一步分析未來應用於臺灣相關研究主題之適用性。本研究採個案研究，以南投縣埔里鎮為研究區，首先進行 CLUE-s 模型變遷模擬，依循吳振發 (2011) 之驅動因子、變遷機率模式、轉移機率、轉移矩陣之模式與參數設定，進行埔里鎮 2010 至 2025 年景觀變遷模擬。其次進行 SLEUTH 模型變遷模擬，依模式需求及研究區環境特性，蒐集土地利用、交通、坡度等圖資，並經模式參數校正後，模擬埔里鎮 2010 至 2025 年景觀變遷。而 CLUE-s 與 SLEUTH 模型模擬 2010 至 2025 年景觀變遷的結果，將應用 Fragstat 3.3 計算景觀指數，分析歷年景觀指數變化趨勢，最後進行兩模式模擬景觀變遷、景觀格局變化之差異性討論，並提出未來應用於臺灣相關研究之建議。

材料與方法

(一) 研究地點

本研究將進行 CLUE-s 與 SLEUTH 模型模擬臺灣鄉鎮景觀及格局變遷差異之比較，研究地區的選擇上，除了具有代表性之外，更重要的是歷年的景觀變遷過程必須呈現穩定的變化趨勢，而且無重大、特殊的干擾因素，造成土地的變化突然加速或變慢。本研究選定埔里鎮為研究區，其屬於封閉型的盆地地形，受到地形的保護，人口、產業、都市呈現穩定發展，為景觀變遷模擬之適合區域。埔里鎮面積 162.2 平方公里，位於台灣的地理中心，屬於盆地地形，平坦盆地佔總面積 26%，主要分佈於盆地中央地區，是人口主要聚集地區。地質主要為粘板岩及砂岩構成，表層由赭土及礫石所覆蓋，盆地內紅土多分佈於東部和北部，黃土則分佈於南部與西部，區內以砂礫與粘土的沖積土為主，土層深度約一公尺，土質肥沃適合農業耕種，主要分佈於鎮中心與丘陵之間的區域，以及北側的丘陵地區。此外，盆地周邊海拔約 500 公尺以上的區域為森林分佈。

(二) CLUE-s 鄉村景觀變遷模擬

CLUE-s 模式，以以區位適宜性的分析，及土地利用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 (Verburg *et al.* 2004)。模擬時需先取得景觀類別及影響變遷的因素，透過羅吉斯迴歸建立景觀變遷機率圖，並設定轉移矩陣、

轉移彈性、土地需求量、限制區域設定、鄰近區域影響等參數。景觀變遷機率及相關參數值設定，本研究依循吳振發 (2011) 研究結果進行參數設定，以 2000 年為模擬模式建構起始年，以 2006 年為模式精確性驗證年，驗證結果顯示總體精確度為 70.7%，本研究以此模式為基礎，模擬 2010 至 2025 年埔里鎮景觀變遷，關於 CLUE-s 模式的介紹詳見吳振發 (2006)。

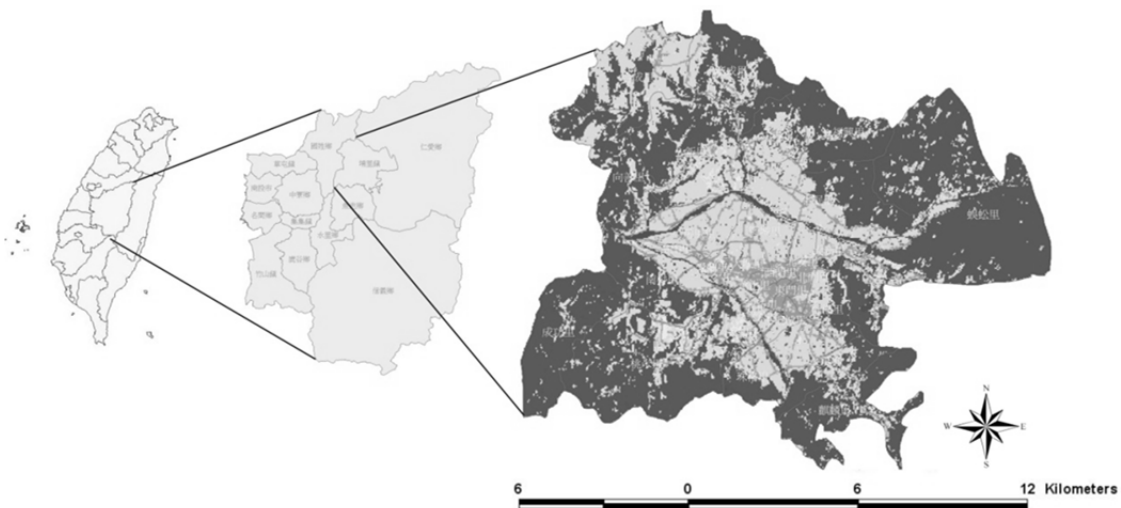


圖 1. 埔里鎮區位圖

Fig. 1 Location of Puli Township.

(三) SLEUTH 鄉村景觀變遷模擬

本研究應用 SLEUTH 進行埔里鎮 2010 至 2025 年之景觀變遷模擬，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，此模式是以都市成長模式 (Clarke Urban Growth Model) 的基礎，結合 USGS 與 UC Santa Barbara 兩單位，研發出的都市成長與景觀變遷模擬模式，本研究之模式版本 SLEUTH 3.0 beta_p01 LINUX，主要執行於 LINUX 系統，模式整合細胞自動機、都市成長模式 (urban growth model)、土地覆蓋 Deltatron 模式 (land cover deltatron model) 模擬區域成長。SLEUTH 模型模擬景觀變遷之圖資包括坡度、山坡陰影圖層、水體、四年份的道路圖、四年份的建成地圖、兩年份的土地利用圖層、排除發展區圖層等，其中坡度、山坡陰影圖層計算自地政司 40×40m 的 DTM 圖；另於中央大學太空及遙測中心購買 2000、2003、2007 和 2009 年等 STOP2 及 4 衛星影像圖，採監督式分類方式進行，

總體精確度分別是 0.93、0.90、0.92、0.95，萃取水體、四年份的道路圖、四年份的建成地圖、兩年份 (2000 與 2007 年) 的土地利用圖層作為 SLEUTH 模擬使用。排除發展區圖層部分，將坡度 30 度以上的山坡地、保安林地等地區設定為限制發展區域 (與 CLUE-s 的模式相同)；所有圖資轉換為 40×40m 的網格尺度。關於 SLEUTH 模式的校準過程、成長係數、蒙地卡羅測迴及自我修正參數、成長規則、土地覆蓋轉變與校準輸出等詳見 Clarke *et al.* (1997) 與王彥羣 (2008)。

(四) 景觀生態指數

景觀產生變化可能對景觀結構造成影響，本研究應用景觀生態結構指數進行變遷模擬後，分析景觀結構變化趨勢。採用美國農業部 (USDA) 所研發的 FRAGSTATS 3.3 (Mcgarigal and Mark 1995) 進行 2010 至 2025 年整體景觀 (landscape level) 及建成地、林地、農地等景觀類別 (class level) 的景觀指數計算，包括塊區數目 (Number of Patches, NP)、邊緣總長度 (Total Edge, TE)、平均形狀指數 (Mean Shape Index, MSI)、平均最鄰近距離 (Mean Nearest Neighbor, MNN)、散置和並排指數 (Interspersion and Juxtaposition Index, IJI)、聚集指數 (Aggregation Index, AI)、Shannon 多樣性指數 (Shannon diversity index, SHDI) 等，各指標之意義及計算方式詳見 Mcgarigal and Mark (1995)。2010 至 2025 年的景觀指數計算後，於 Microsoft Excel 中繪製指數散佈圖，進一步以線性與非線性迴歸模式套配歷年指數變化趨勢，進而比較 CLUE-s 與 SLEUTH 兩種模式模擬之歷年景觀指數變化差異性。

結 果

(一) CLUE-s 景觀變遷模擬

CLUE-s 模式在景觀類型面積的設定上，可以整合社會經濟模式或直接設定面積數值的方式進行。本研究是以 2000、2003、2007 和 2009 年的人口數與建築物面積的迴歸關係 ($R^2=0.93$) 為基礎，估算 2010 至 2025 年建成地面積，並由四年的農地、林地、草地的變化比例，設定農地面積扣除每年增加的建成地面積的 70%；林地與草地面積各扣除每年增加的建成地面積的 15%；另外，本研究假設水體面積不會轉變。因此，以此類推至 2025 年，即可求得 2010 年至 2025 年景觀類別需求面積。2025 年各土地利用別的面積分別是林地 8255.987 公頃、建成地 3181.87 公頃、農地 4370.549 公頃、草地 84.29342 公頃、水體 376.16 公頃。限制發展區域則是將坡度 30 度以上的山坡地、保安林地等地區設定為限制發展區域。模擬結果顯示 2025 年埔里鎮的景觀分佈，新的建成地將於現有的都市計畫區周圍繼續擴張，此外台 14 線往清境方向道路兩側亦是重要的新建地區。農地集中分佈於埔里鎮中心外圍及部分南、北側丘陵地勢較平坦地區。林地預測結果顯示主要分佈於東、西兩側山區，此外都市計畫區周圍仍有零星的林地分佈。CLUE-s 模擬 2025 年景觀分佈，

進一步與 2009 之分佈進行變遷地區分佈 (圖 2)，結果發現變遷地點主要分佈於南側的平原地區、周圍的丘陵地區、鎮中心周圍零星地區，主要的變遷行為是農地、林地、草地轉變為建成地。

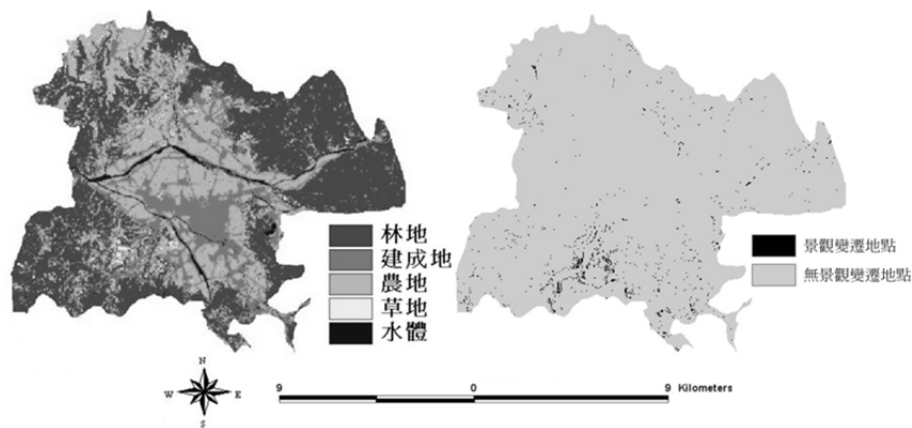


圖 2. CLUE-s 模擬 2025 年景觀分佈及與 2009 年分佈比較圖

Fig. 2. CLUE-s simulated landscape distribution in 2025 and comparative with 2009.

(二) SLEUTH 模式鄉村景觀變遷模擬

SLEUTH 模型反覆計算不同的參數組合 (離散、孕育、蔓延、坡度阻力、道路引力) 與實際情況吻合的程度，以確定最佳的參數組合，校正過程主要以 Compare、 r^2 population 與 Leesalee 等指數為評估校估結果，本研究校正結果 Compare 為 0.685、 r^2 population 為 0.899、leesalee 為 0.575，顯示模式的校估後的精確度值得信賴，校估後的參數離散、孕育、蔓延參數值皆為 1，坡度阻力參數值為 55，道路引力參數值為 70。根據以上參數設定完成後，進行 2010 至 2025 年景觀面積與分佈預測，預測結果顯示 2025 年各景觀類型的面積分別是林地 7603.36 公頃、建成地 2511.36 公頃、農地 5811.36 公頃、草地 0 公頃、水體 333.6 公頃。SLEUTH 模擬結果顯示 2025 年埔里鎮的景觀分佈(圖 3)，建成地除了埔里鎮中心之外，周邊地區是主要新增區域，此外現有聚落周邊亦是新增建地區，形成小型聚落，新增最明顯的區域是史港里與麒麟里。林地多凝聚分佈於東、西側山區；農地位於鎮中心週邊者較為凝聚，更外圍的坡地分佈較為破散。SLEUTH 模擬 2025 年景觀分佈，進一步與 2009 之分佈進行變遷地區分佈，結果發現變遷地點主要分佈於鎮中心區建成區、鎮外的農業區兩個區域，主要的變遷行為是林地、農地改變為建成地 (圖 4)。

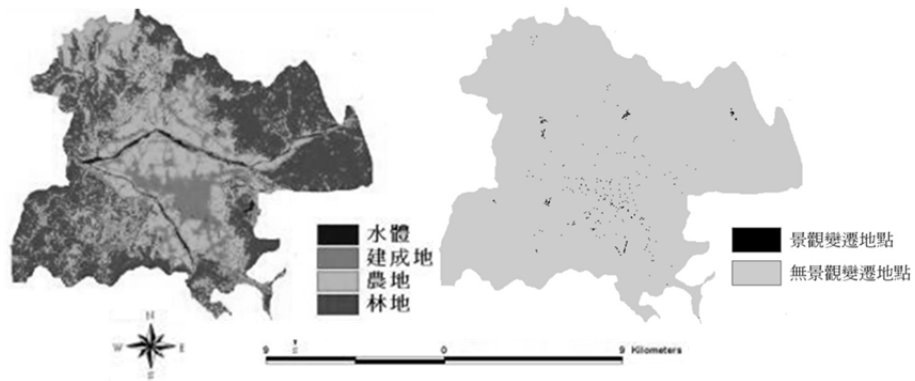


圖 3. SLEUTH 模擬 2025 年景觀分佈及與 2009 年分佈比較圖

Fig. 3. SLEUTH simulated landscape distribution in 2025 and comparative with 2009.

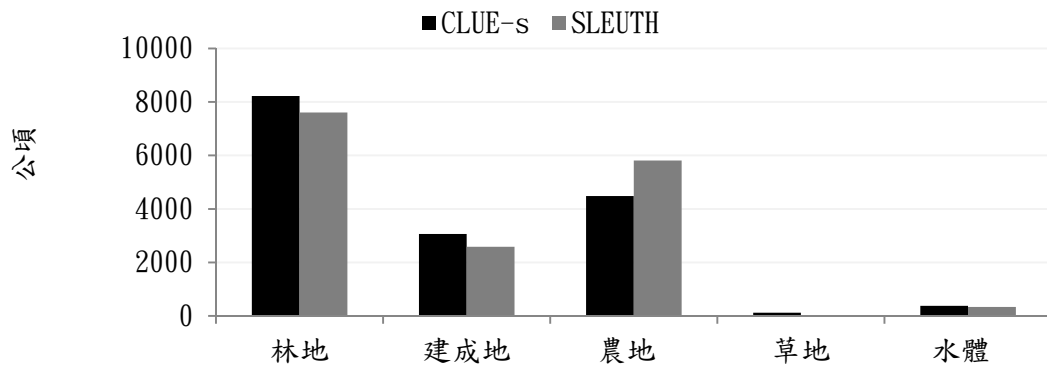


圖 4. CLUE-s 與 SLEUTH 模式模擬景觀類型面積分析圖

Fig. 4. Landscapes area simulated by CLUE-s and SLEUTH model

(三) CLUE-s 與 SLEUTH 模擬鄉村景觀變遷趨勢差異分析

分別進行 CLUE-s 與 SLEUTH 模型預測 2010 至 2025 年景觀變遷後，以下將針對兩種模式預測景觀分佈及景觀格局進行差異比較。

1. 2025 年景觀類型面積差異分析

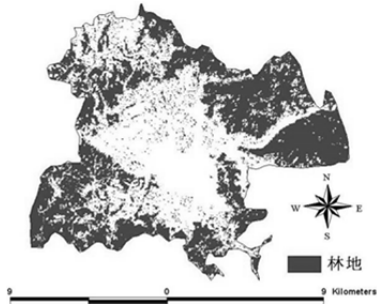
CLUE-s 模式在景觀類型面積的設定上，本研究以 2000、2003、2007 和 2009 年的人口數與建築物面積的迴歸關係 ($R^2=0.93$) 為基礎，估算 2010 至 2025 年建成地面積，並由四年的農地、林地、草地的變化比例，分別設定農地 (70%)、林地 (15%)、草地 (15%) 轉變為建成地的比例。因此，2009 至 2025 年建成地由 2482.813 公頃增加至 3181.87 公頃，林地至 2025 年則減少至 8255.987 公頃、農地為 4370.549 公頃、草地為 84.29342 公頃、水體為 376.16 公頃 (圖 5)。SLEUTH 模式則是以細胞自動增加的方式，以經過精確度校正後的離散、孕育、蔓延、坡度阻力、道路引力係數進行調控，模擬未來景觀分佈及各類型景觀面積。模擬至 2025 年各類景觀面積，林地為 7603.36 公頃、建成地 2511.36 公頃、農地 5811.36 公頃、草地 0 公頃、水體 333.6 公頃。各類型景觀面積統計分析結果顯示 CLUE-s 模式中建成地增加、林地、草地保留的面積大於 SLEUTH，且農地流失的數量亦大於 SLEUTH 模擬結果，水體的差異較小。

2. 2025 年預測景觀分佈差異分析

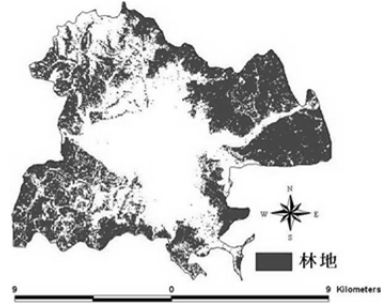
2025 年兩種模式預測景觀分布結果，將分別進行整體景觀、林地、建成地、農地進行分佈差異分析，而草地及水體由於面積不多或變化較小暫未列入比較分析。

3. 2025 年預測景觀指數差異分析

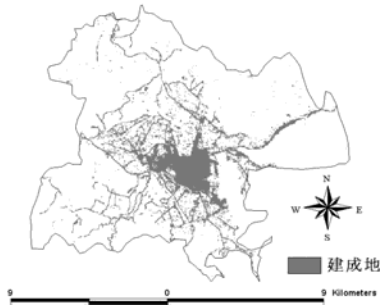
2010 至 2025 年的景觀指數計算後，於 Microsoft Excel 中繪製指數散佈圖，進一步以線性與非線性迴歸模式套配歷年指數變化趨勢，進而比較 CLUE-s 與 SLEUTH 兩種模式模擬之歷年景觀指數變化差異性。整體景觀格局的八項景觀指數歷年變化以二項式迴歸套配的結果顯示迴歸式的 R^2 值皆介於 0.553 至 0.988 之間，表示迴歸模式套配結果具有良好的解釋能力 (圖 6)。CLUE-s 模式模擬的變化趨勢，歷年指數變化呈現負向趨勢者包括 NP、TE、IJI，呈現正向趨勢者包括 MSI、MNN、SHDI、AI 等，此預測結果顯示出整體景觀的塊區總數及總邊長呈現逐年減少、邊緣趨於不規則、聚集度與多樣性增加、景觀類別間鑲嵌度逐年降低的格局變化趨勢。SLEUTH 模式模擬的變化趨勢，歷年指數變化呈現負向趨勢者包括 NP、AI，呈現正向趨勢者包括 TE、MSI、MNN、IJI、SHDI 指數，結果顯示出整體景觀的總塊區數逐年減少、邊長增加、邊緣趨於不規則、聚集度增加但是與景觀類型間鑲嵌及多樣性利用的情形逐年增加的格局變化趨勢。兩種模式預測整體格局變化趨勢，以鑲嵌程度、聚集程度的預測結果差異性較大。



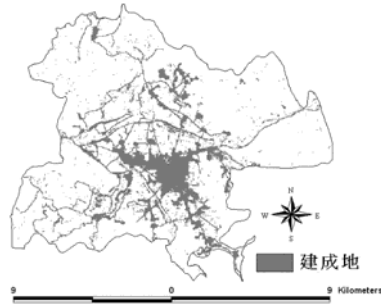
CLUE-s 模式 2025 年林地預測結果



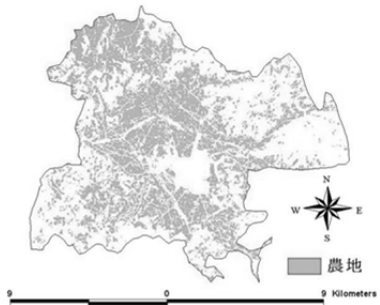
SLEUTH 模式 2025 年林地預測結果



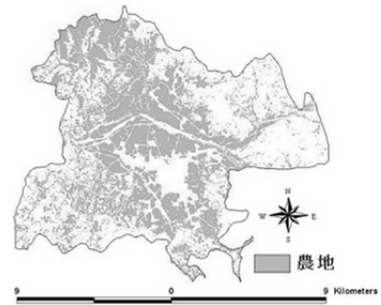
CLUE-s 模式 2025 年建成地預測結果



SLEUTH 模式 2025 年建成地預測結果



CLUE-s 模式 2025 年農地預測結果



SLEUTH 模式 2025 年農地預測結果

圖 5. CLUE-s 與 SLEUTH 模擬 2025 年景觀分佈

Fig. 5. CLUE-s and SLEUTH models simulated landscapes distribution in 2025.

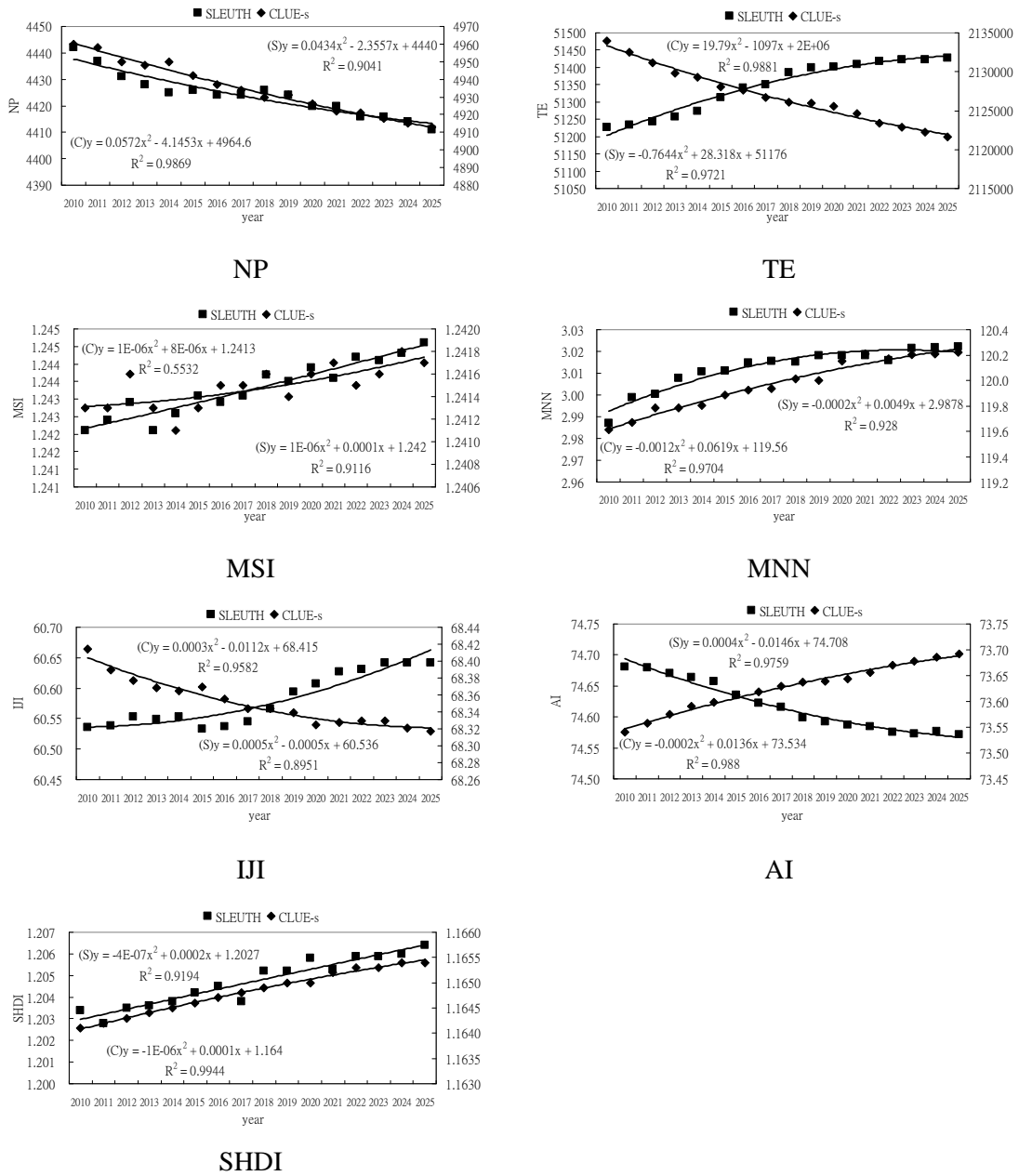


圖 6. CLUE-s 與 SLEUTH 景觀層級指數分析圖

Fig. 6. Landscape metrics of landscape simulated by CLUE-s and SLEUTH models at landscape-level

結論與建議

(一) 由上而下及由下而上之景觀面積預測差異分析

在模擬景觀面積的部分，CLUE-s 模式屬於由上而下的模式，面積可整合經濟、人口或其他模式模擬結果進行設定；亦可透過專家法方式或回顧相關人口政策進行面積設定。此方式的優點在於設定過程中可加入社會、經濟、專家知識、政策目的於模式中，在面積限制下進行空間分佈模擬，有助於瞭解面積管制下景觀分佈與變化的區位。具有較高的景觀生態規劃、政策研擬之實用價值。SLUTH 則是以屬於由下而上的模式，以細胞自動機的方式，以經過參數精確度較估的參數進行調控，模擬景觀分佈，進而計算出面積數量。歷年景觀分佈是依循以往的景觀變化趨勢與環境（高程、坡度）、交通等條件下，模擬未來景觀分佈。屬於自發性演算的過程，因此過程中無法充分將社會、經濟、專家知識、政策目標等融入景觀，具有較高的客觀性。

(二) 不同景觀變遷區位影響景觀格局分佈

CLUE-s 模擬 2010 至 2025 年景觀變遷，結果發現變遷地點主要分佈於南側的平原地區、周圍的丘陵地區、鎮中心周圍零星地區，主要的變遷行為是農地、林地、草地轉變為建成地。發生景觀轉變的區位及未發生變遷的原始景觀，兩者交互作用形成最終的景觀分佈及格局。CLUE-s 模式模擬景觀格局的變化趨勢中，分析結果發現將促使林地塊區數呈現逐年減少、平均面積增加、邊緣不規則、聚集度及鑲嵌度逐年降低的格局變化趨勢。建成地塊區數及總邊長呈現逐年減少、平均面積增加、邊緣不規則、聚集度及鑲嵌度逐年降低的格局變化趨勢。農地塊區數及總邊長呈現逐年減少、邊緣不規則增加、聚集度及鑲嵌度亦逐年降低的格局變化趨勢。整體景觀的塊區總數及總邊長呈現逐年減少、邊緣趨於不規則、聚集度與多樣性增加、景觀類別間鑲嵌度逐年降低的格局變化趨勢。

SLEUTH 模擬 2025 年景觀分佈，進一步與 2009 之分佈進行變遷地區分佈，結果發現變遷地點主要分佈於鎮中心區建成區、鎮外的農業區兩個區域，主要的變遷行為是林地、農地改變為建成地。景觀變遷的過程，在景觀格局的表現上，將促使林地的塊區數呈現逐年增加、平均面積減少、邊緣趨於規則、聚集度及鑲嵌度逐年增加的格局變化趨勢。建成地塊區數趨向於逐年減少、邊長增加、邊緣趨於不規則、聚集度增加但是與其他景觀類型鑲嵌情形逐年增加的格局變化趨勢。農地塊區數、邊長逐年增加，總體邊緣不規則減少但是大農地的邊緣不規則增加，空間聚集度降低且與其他景觀類型鑲嵌情形增加的格局變化趨勢。整體景觀的總塊區數逐年減少、邊長增加、邊緣趨於不規則、聚集度增加，但是與景觀類型間鑲嵌及多樣性利用的情形逐年增加的格局變化趨勢。

兩種模式景觀結構分析結果之比較，發現林地格局變化以區塊數量、面積、形狀、聚集度、鑲嵌度明顯不同；建成地格局變化趨勢，以邊緣長度與形狀的結果差異性較大；農地格局變化趨勢，以塊區數量與空間分佈的結果差異性較顯著；整體格局變化趨勢則是以鑲嵌程度、聚集程度的預測結果差異性較大。本研究結果亦發現整合景觀變遷與景觀格局

分析方法，可有效的分析出景觀的面積、區位、格局變化，並可進一步瞭解這三者的互動關係。

(三) CLUE-s 與 SLEUTH 模型應用於臺灣景觀變遷研究建議

1. CLUE-s 模式之應用: CLUE-s 模式為經驗模型，亦屬於整合性模型，其模式建構過程可融入景觀管制策略，例如：各類型景觀面積需求量之設定，可以土地管制上常用的總量管制策略銜接；土地使用分區、限制發展區的土地使用管制作法，亦可透過限制區域發展的方式於 CLUE-s 模式中進行設定；不同土地類型間是否允許開發的精神，於 CLUE-s 模式中可轉移矩陣方式，設定景觀類別間是否允許轉換。基於上述的優點，CLUE-s 模式適合於探討土地/景觀管制策略對景觀變遷之影響評估，例如政策環評、環境影響評估等，分析結果可進一步回饋，作為最佳政策選擇或政策修正之依據。除此之外，本研究整合景觀變遷與景觀格局分析方法，可進一步與經濟、生物、水文、氣候變遷模型整合，探討氣候變遷與土地利用之互動關係，景觀變遷對水文、生物、棲息地環境之衝擊，甚至是經濟環境與土地利用行為互動關係之研究，可進行多目標的最適土地利用規劃。
2. SLEUTH 模式之應用: SLEUTH 模式為細胞自動機模型，亦屬於整合性模型。該模式進行景觀變遷模擬時是以個體行為為基礎，模擬出未來的分佈，進一步可分析變化區域、面積變化量，其中面積變化量部分是由模式模擬產出，此點與 CLUE-s 模式不同，CLUE-s 模式則須透過外部給定（或者結合其他土地面積模擬模型），因此 SLEUTH 模擬的結果可進行不同景觀類別間面積變化量之差異分析 (Xian, Crane, and Steinwand 2005)。另一方面，SLEUTH 模式建構過程可適當的融入景觀管制策略，例如：將土地使用分區、限制發展區的使用管制作法，以限制區域劃設方式融於 SLEUTH 模式，進行不同管制措施之景觀變遷差異分析。除此之外，SLEUTH 模式亦可應用於交通開發對都市擴張、景觀變遷之影響評估 (Silva and Clarke 2002)。但是必須特別注意的是，雖然 SLEUTH 模型具有高度能力模擬景觀變遷能力，但是應用於臺灣的景觀變遷時，後續考量實用性與真實性時，仍須驗證其空間精確度及尺度的靈敏度。
3. 整合 SLEUTH 與 CLUE-s 模式之整合應用: 雖然 CLUE-s 與 SLEUTH 為兩不同屬性的景觀變遷模式，CLUE-s 對於根據環境條件模擬出未來的景觀型態，在臺灣多元、複雜的景觀分佈中，模擬的精確度較高 (Chu, Lin, and Wu 2010)。但是 SLEUTH 模式模擬各種景觀類型的面積變化量是由模式模擬產出，而 CLUE-s 模式則需外部給定或結合其他面積模擬模式。本研究發現兩種模式具有整合之可能性，可將 SLEUTH 模擬的面積，投入 CLUE-s 模式中，進行較精確的空間分佈預測。

謝 辭

本研究衷心感謝行政院國家科學委員會提供研究經費補助（計畫編號：98-2410-H-005-052-MY2）。感謝 CLUE-s 與 SLEUTH 研究團隊提供模擬軟體，同時感謝中興大學園藝學系邱仁暉、林溫鳳同學協助現地調查及資料整理工作。

參 考 文 獻

- 王彥羣。2008。應用自上而下與自下而上土地利用及降雨-逕流模式模擬土地利用變遷與水水量—以寶橋集水區為例。國立臺灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。109pp。
- 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。237pp。
- 吳振發。2008。土地利用管制策略對景觀格局衝擊評估。造園景觀學報 14 (2): 1-34。
- 吳振發。2009。台灣中部都市景觀格局之研究。造園景觀學報 15 (2): 37-62。
- 吳振發。2011。台灣鄉村景觀變遷模擬之 CLUE-s 模式最佳參數試驗。地理學報 62: 103-125。
- Baker, W. L. 1992. The landscape ecology of large disturbances in the design and management of nature reserves. *Landscape Ecology* 7 (3): 181-194.
- Chu, H. J., Y. P. Lin, and C. F. Wu. 2010. Forecasting space-time land use change in the paochiao watershed of Taiwan using demand estimation and empirical simulation approaches. Paper presented in *Computer Science* 6016: 116-130.
- Clarke, K. C., S. Hoppen, and L. Gaydos. 1997. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design* 24: 247-261.
- Clarke, K. C., S. G. Hoppen, and L. J. Leonard. 1998. Methods and techniques for rigorous calibration of a cellular automaton model of urban growth. http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papaers/clake_keith/clarkeetal.html.
- Esselman, P. C., D. M. Infante, L. Wang, D. Wu, A. R. Cooper, and W. W. Taylor. 2011. An Index of Cumulative Disturbance to River Fish Habitats of the Conterminous United States from Landscape Anthropogenic Activities. *Ecological Rest* 29 (1-2): 133-151.
- Kienast, F. 1993. Analysis of historic landscape patterns with a Geographical Information System—a methodological outline. *Landscape Ecology*. 8 (2): 103-118.
- Mahiny, A. S., and M. Gholamalifard. 2011. Linking SLEUTH urban growth modeling to multi criteria evaluation for a dynamic allocation of sites to landfill. In *Computational Science and Its Applications-ICCSA 2011*. Murgante, B., O. Gervasi, A. Iglesias, D. Taniar, and B. O.

- Apduhan (Eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 32-43.
- Mcgarigal, K., and B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service General Technique Report PNW-351.
- Parker, D. C., S. M. Manson, M. A. Janssen, M. J. Hoffmann, and P. Deadman. 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): 314-337.
- Paukert, C. P., K. L. Pitts, J. B. Whittier, and J. D. Olden. 2011. Development and assessment of a landscape-scale ecological threat index for the Lower Colorado River Basin. *Ecological Indicators* 11 (2): 304-310.
- Ramezani, H., and S. Holm. 2011. Sample based estimation of landscape metrics; accuracy of line intersect sampling for estimating edge density and Shannon's diversity index. *Environmental and Ecological Statistics* 18 (1): 109-130.
- Silva, E.A., and K. C. Clarke. 2002. Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems* 26 (6): 525-552.
- Thapa, R. B., and Y. Murayama. 2011. Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal. *Computers, Environment and Urban Systems* 35 (1): 25-34.
- Veldkamp, A., and L. O. Fresco. 1996. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Modelling* 85: 253-270.
- Verburg, P. H., J. R. R. van Eck, T. C. M. de Nijs, and M. J. D. P. Schot. 2004. Determinants of land-use change patterns in the Netherlands. *Environment and Planning B: Planning and Design* 31: 125-50.
- Verburg, P. H., D. V. Berkel, A. V. Doorn, M. V. Eupen, and H. A. R. M. V. Heiligenberg. 2010. Trajectories of land use change in Europe: a model-based exploration of rural futures. *Landscape Ecology* 25 (2): 217-232.
- Wu, X., Y. Hu, H. S. He, R. Bu, J. Onsted, and F. Xi. 2009. Performance evaluation of the SLEUTH model in the Shenyang metropolitan area of northeastern china. *Environ Model Assess* 14 (2): 221-230.
- Wu, C. F., Y. P. Lin, and S. H. Lin. 2011. A hybrid scheme for comparing the effect of bird diversity conservation approaches on landscape patterns and biodiversity in the Shangan subwatershed in Taiwan. *Journal of Environmental Management* 92 (7): 1809-1820.
- Xian, G., M. Crane, and D. Steinwand. 2005. Dynamic modeling of Tampa Bay urban development using parallel computing. *Computers and Geosciences* 31 (7): 920-928.
- Wang, J. Z. Wang, and X. Zou. 2011. Construction of landscape ecological evaluation index system. Paper presented at International Symposium on Water Resource and Environmental Protection 4: 2848-2851.

Compare the Difference of Landscape Patterns in Township Scale Simulated by CLUE-s and SLEUTH Models

Chen-Fa Wu¹⁾ Chu-Yu Huang²⁾ Yen-Fen Hsieh³⁾ Li-Pei Peng⁴⁾

Keywords: Empirical model, Cellular automata model, Landscape pattern, Puli Township.

Summary

Landscape change simulation models have been applied to discuss landscape change under various environment polices, to analysis impact on landscape pattern or bio-habitat. Some researches applied CLUE-s and SLEUTH models simulated landscape changed at urban or township areas in Taiwan. Differences of both models used to simulated landscape and landscape pattern change have not been discussed. Objective of this study is to compare the difference of landscape pattern in township scale simulated by CLUE-s and SLEUTH Models. A case study area was Puli Township located in central Taiwan. Results found that CLUE-s model is an empirical model base on landscape suitability. Soil, territory, social and economic factors impacted landscape suitability. Since Puli Township was a basin territory shown highly complex environment. Landscape pattern shows high fragmentation and highly mosaic among landscapes simulated by CLUE-s model. On the other hand, automata model, SLEUTH model, was an agent based model. Landscape change followed primarily landscape distribution, therefore landscape pattern shown aggregated simulated by SLEUTH model. Finally, a novel landscape change simulation method was set up. Result of landscapes area simulated by SLEUTH model input to CLUE-s model to simulate location of landscape change

-
- 1) Associate Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.
 - 2) Student in M.S. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.
 - 3) Student in Ph.D. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.
 - 4) Assistant Professor, Department of Bio-Industry Communication and Development, National Taiwan University. Corresponding author.

