

# 土地利用變遷與空間相依性之探討

## 以臺北盆地聚落變遷為例

### Exploring Land Use Changes and Spatial Dependence

#### A Case Study of Settlement Changes in the Taipei Basin

賴進貴\*

葉高華\*\*

王韋力\*\*

Jinn-Guey Lay

Ko-Hua Yap

Weiley Wang

### 摘 要

新近發展的細胞自動機模式，主要架構包含鄰近區型態和演化之間的關係，其理論及概念和空間自相關所探討的空間相依性 (spatial dependence) 相近。本研究選擇臺北盆地過去 100 年的聚落發展為素材，利用空間自相關的分析方法探討鄰近區土地利用型態對於變遷的影響。賦予聚落網格 1 的屬性值並利用  $G_i^*(d)$  進行空間自相關分析，研究結果顯示非聚落發展成聚落的傾向常伴隨著高度的空間自相關。針對鄰近區範圍的界定，本研究個案顯示 500 公尺半徑所界定的鄰近區對聚落變遷趨勢的影響程度最大。這些發現可以作為 CA 模式中，有關鄰近區範圍半徑及演化規則之參考。本文並針對研究過程中所發現的限制因素加以討論，提供未來發展 CA 模式研究者之參考。

**關鍵字：**土地利用變遷、空間相依性、細胞自動機、空間自相關

### Abstract

In a cellular automata model (CA), land use changes are affected by the states of neighborhood. The concept of neighborhood correlates with spatial dependence which can be analyzed using spatial autocorrelation. This research compiled settlement data of the Taipei Basin over the past one hundred years and adopted spatial autocorrelation methods to investigate the relations between spatial

---

\* 國立臺灣大學地理環境資源學系副教授

Associate Professor, Department of Geography, National Taiwan University.

\*\* 國立臺灣大學地理環境資源學系研究助理

Research Assistant, Department of Geography, National Taiwan University.

dependence and land use changes. By assigning settlement grids the value 1 and using  $G_i^*(d)$  value as an index for autocorrelation, this research found that non-settlements grids were more likely to change into settlements giving a high  $G_i^*(d)$  value. Also, within a 500 meters radius of the neighborhood range, the influences of autocorrelation to land use changes are most significant. The findings of this research are applicable to defining the transition rules of CA. This paper also addresses some limiting factors that affect the implementation of CA and points out some directions for future research.

**Keywords: land use change, spatial dependence, cellular automata, spatial autocorrelation.**

## 研究背景

土地利用是人類活動與自然環境之間的橋樑。從地方層級的都市計畫、縣市綜合發展計畫，到全國性的區域計畫與國土開發計畫，都牽涉到土地利用的因子。近十年來，全球環境變遷問題成為國際間注視的焦點，而土地利用更是引發環境變遷的重要驅動力之一。因此各地學者們無不致力於發展空間模式，期望能用以解釋土地利用的變遷機制，並進而預測未來的趨勢。

細胞自動機 (cellular automata, CA) 是近年來快速發展的一種空間模式，在土地利用變遷的相關問題上獲得廣泛應用 (Batty *et al.*, 1997; Clarke *et al.*, 1997; White and Engelen, 1993, 1997)。CA 將每一筆土地視為一個網格 (cell)，由特定的演化規則決定其如何在空間中自我組織，以模擬土地利用的各種變化情形。CA 的演化規則取決於網格型態 (states) 及其鄰近區 (neighborhood) 的影響，因此網格的屬性 (attribute) 與區位 (location) 是影響其變遷趨勢的因子。土地利用的類型即為一種屬性；而區位乃是某空間現象與其他空間現象的相互關係，若空間現象本身具有空間相依性 (spatial dependence)，則相同屬性的現象便會聚集在一起，產生空間關連 (spatial association)。欲瞭解空間現象是否根據屬性而相依群聚，抑或只是單純的隨機相遇，必須瞭解其空間相依性的強弱，空間自相關 (spatial autocorrelation) 是檢測這種相依性的一種指標。

由此可知，空間自相關與 CA 的鄰近區概念有密切關連，應可做為建立 CA 演化規則時的有效依據。本研究嘗試結合空間自相關與 CA 的鄰近區概念，探討土地

利用變化趨勢和土地利用型態相依性之間的關係。本研究以臺北盆地的聚落變遷作為素材，肇因於臺北盆地是臺灣的精華地帶，對於臺灣的環境、政治、經濟與文化發展都具有重要代表性與影響力。研究的成果，可望增進學界對於土地利用變遷機制的瞭解，進而提升土地利用變遷模式的預測能力。

## 文獻探討

### (一) 細胞自動機

細胞自動機的理論源自於計算機科學的發展。1950 年代，John Von Neuman 尋求發展具有自我複製能力 (self-replicating) 的電腦，促成 self-replicating automata 的發展。1970 年，John Conway 依據 Von Neumann 的想法進一步發展成電腦上的生命遊戲 (Game of Life)，從此 CA 的概念逐漸普及到相關領域 (Firebaugh, 1988)。CA 的組成要素包括：網格、網格型態、鄰近區、演化規則等四項 (Batty *et al.*, 1997)。茲分別說明如下。

1. 網格：CA 是由一個個的網格 (或稱細胞) 所構成。理論上這些網格可以是任何幾何形狀，甚至可以是立體的空間。不過目前大部分的 CA 研究都是以規則排列的方格為主，其空間結構與網格式地理資訊系統的結構相同。

2. 網格型態：每一個網格的內容是由一組有限的型態來顯示，這些型態可以是二元的，如：活的、死的；空的、已經被佔據的。此外，這些型態也可以是多元的，例如：建地、空地、商業用地與住宅用地等土地利用類型。在任一時間，每一個網格都呈現這一組型態中的某

一類，也只能以一類來顯示。

3. 鄰近區：CA 中每一個網格的型態，會根據其鄰近區內的網格型態來進行變化。設計一個 CA 時需要界定鄰近區的大小。以網格式的資料結構而言，鄰近區可以是中心網格的周遭網格，也可以是一定半徑內的所有網格。

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

地理學者是空間科學的研究主力，因此對於 CA 研究的淵源也就特別深遠。早在 CA 被用在都市及環境模擬之前，地理資訊科學理論派的學者，如 Tobler (1979)、Couclelis (1988, 1991, 1997) 即已經針對 CA 的特性及其與地理學的關係進行探討。近年來則有許多學者利用 CA 進行區域的個案研究。如 Clarke 等 (1997) 在一項美國地質調查署 (USGS) 支持的全球環境變遷研究中，嘗試利用 CA 來預測未來的土地利用變化趨勢。他們的分析模式整合了地面覆蓋 (land cover)、坡度、交通網路、保護區等四種資料，利用 CA 來模擬四種不同的都市成長類型。White 與 Engelen (1993) 建構一套 CA 模式來模擬美國的都市發展，這套模式依土地利用強度將都市的土地利用分成空地、住宅、工業、商業等四個層級，當一個網格的周遭到達某一定的強度之後，即可以演變為更高一級強度的使用。他們進一步將 CA 發展成為規畫與設計的工具，在聯合國委託的研究案中，針對加勒比海的 St. Lucia 島進行土地利用規畫 (White and Engelen, 1997)。這個規畫案建立了一套結合宏觀與微觀兩種層次的決策支援系統，宏觀層次是從經濟、人口、政策層面來預測整個研究區內土地利用需求，並且將這些需求分配到各個區域單元中。各個區域單元所分配到的土地利用變遷數量，則是另行利用微觀層次的模式來作演算分析，微觀層次的演化模式即由 CA 來進行。針對每一種土地利用需求，用 CA 模式計算每一個網格的土地利用潛力，判別土地利用變遷應該發生在哪些網格中。

## (二) 全域空間自相關 (Global Spatial Autocorrelation)

Cliff 與 Ord (1973) 指出「空間自相關主要是量度相鄰空間單元所代表的值，若其值相像表示自相關性存在的事實」。由此可知，透過空間自相關的分析，可以知道空間現象的分佈是否具有自相關性。所謂自相關性，指的是每一地區與相鄰地區的相似性，大於相距較遠的地區。當相同性質的空間現象具有空間相依性時，表示相鄰的地區有相互影響，呈現了正空間自相關。反之，若空間現象與鄰近的地區差異大而遠離的地區差異小，則呈現負空間自相關 (Haggett *et al.*, 1977)。

全域空間自相關是研究空間自相關的基礎，量度全區域內整體的空間自相關性。其最具代表性量度指標是 Moran's I，已被廣泛地應用在自然現象的空間聚集研究上 (Cliff and Ord, 1973, 1981; Goodchild, 1986; Anselin, 1996; 朱健銘, 2000)。

若區域 A 內有  $n$  個空間單元，每個空間單元皆有一個屬於隨機變數  $X$  的觀察值  $x$ ，空間單元  $i$  與空間單元  $j$  的空間關係構成了  $W_{ij}$  的矩陣， $i$  與  $j$  的關係以 0 與 1 表示，以 1 表示  $i$ 、 $j$  相鄰，0 表示  $i$ 、 $j$  不相鄰， $\bar{x}$  為觀察值  $x$  之平均。則 Moran's I 公式為：

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Moran's I 值愈大表示空間分佈的自相關性愈強，呈現聚集狀態；接近 0 表示獨立無相關，呈現隨機的狀態；若小於 0，則表示負相關，呈現對比的關係。如西洋棋盤的黑白格子，即為 Moran's I = -1 時的極端。

## (三) 區域空間自相關 (Local Spatial Autocorrelation)

全域空間自相關雖可簡潔表示整個區域內的空間自相關性，但是卻無法具體瞭解區域內的空間組織為何。區域空間自相關則是針對每個空間單元，統計局部的空間自相關高低。Getis 與 Ord (1992) 所提出的統計方法，可偵測空間現象分佈的相關區域 (local pocket of

dependence)，找出空間聚集點 (spatial hot spot) 所在 (Fotheringham and Rogerson, 1994)。

若區域 A 內有  $n$  個空間單元，每個空間單元皆有一個屬於隨機變數  $X$  的觀察值  $x$ ，空間單元  $i$  與空間單元  $j$  的空間關係構成了  $w_{ij}(d)$  的矩陣， $i$  與  $j$  的關係以 0 與 1 表示，距離  $d$  以內時為 1，距離  $d$  以外時為 0，則  $G_i^*(d)$  公式如下：

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}(d)x_j}{\sum_{j=1}^n x_j}$$

Getis 與 Ord (1992) 研究美國北卡羅萊納州各郡的嬰兒猝死症候群發生率，清楚得到發生的核心，提供流行病理學家對該處進行研究與調查。朱健銘 (2000) 對於 1982 年、1988 年及 1994 年雲林水產養殖土地利用的研究個案，則顯示 Getis 的分析方法可以發掘土地利用變遷的時空特性。

## 研究問題與方法

土地利用變遷研究所關心的議題大致可以分成三個部分：型態 (pattern)、作用 (process)、預測 (prediction) 等議題。這三個議題代表著三個不同的階段：(1) 藉由型態分析以瞭解土地利用的分佈和演化特性；(2) 藉由作用力探討以瞭解變遷的原因和影響；(3) 藉由預測模式的建立以模擬、預測未來的變遷可能，進而規劃因應策略。本研究目的在於探討土地利用型態相依性和變遷的關係，試圖藉由型態的分析探討可能的作用。相依性的分析是針對周遭鄰近區加以探討，而有關鄰近區型態影響變遷的概念是 CA 的基本要素之一。針對土地利用型態相依性的探討，可以藉由空間自相關的分析來進行，所以本研究工作結合 CA 理論及空間自相關的分析，針對研究區的土地利用型態相依性和變遷趨勢進行探討，希望能找出兩者之間的關係，以做為未來發展 CA 模式者界定演化規則之參考。具體的工作流程分別說明

如下：

### (一) 研究區界定

本研究之區域為臺北盆地，包含盆底之沖積平原與盆邊之山坡地，為一完整的盆狀地形單元。區域的範圍，北以大屯山稜之淡水河流域分水嶺為界；西以林口台地之邊緣為界；南則為日治前期區隔漢人與原住民之「蕃界」；東側由於部分地區位於日本時代之「基隆要塞地區」範圍內，本研究尚無法取得當年被列為禁制之地圖資料，故東界僅抵於禁圖之西緣。就行政區域範圍而言，除了臺北市內湖區、南港區為部分涵蓋之外，研究區完整涵蓋臺北市其餘 10 區，以及臺北縣的板橋、中和、永和、土城、樹林、新莊、三重、蘆洲、泰山、五股、新店等鄉市，外加深坑鄉的部分地區 (圖 1)。

研究區域選定的主要考量，一則便於比對鄉鎮層級的資料，除東側之內湖區、南港區、深坑鄉因地圖資料的殘缺而不完整外，其餘範圍皆與當前行政區劃重合；一則與當代臺北都會區的範圍 (Graff, 1976: 57-75; 陳寬政, 1981: 51-69) 相差無幾，僅汐止市未被涵蓋在研究區域內而已，如此亦有利於連結臺北都會區發展之相關研究。

### (二) 聚落數值資料庫之建置

一個完整的資料庫是土地利用變遷研究的基礎。臺灣的精確土地利用資料可上溯至 1904 年所完成的二萬分之一的《臺灣堡圖》，以及往後所陸續完成的大比例尺地形圖。地圖上記載基本的農地、林地、聚落、道路等土地利用類型，可作為土地利用變遷研究之資料來源。

本研究的數值資料庫建置工作包括地圖的掃描 (scan)、數化 (digitize)，以及現有土地利用數值資料庫的資料處理。數化工作是以人工方式，於電腦螢幕上進行視覺偵察 (visual inspection)，在地圖掃描影像上的聚落邊緣轉折處，逐一紀錄坐標值。已收集的地圖資料有 1904 年出版的二萬分之一《臺灣堡圖》、1926 年起陸續出版的二萬五千分之一《臺灣地形圖》(臺北盆地部分測繪於 1925-1926 年之間)、及戰後聯勤第一版二萬五千

分之一地形圖 (聚落根據 1956 年航空照片繪製)。現有之土地利用數值資料庫，則為 1982 年、1988 年由行政院農委會所建置，可從數值資料庫中抽取建地之土地利

用類型，以做為聚落資料之來源。本研究之聚落資料涵蓋過去 100 年，俾作為土地利用變遷研究之基礎。



圖 1 研究區域

### (三) 聚落資料之網格化

原始的聚落數值資料格式為向量多邊形，能夠提供之資訊只有聚落的位置、形狀及大小。為了方便空間自

相關之計算，並與 CA 的網格概念相結合，本研究將向量式的聚落數值資料轉換成規則網格的格式，使每個網格成為緊密的空間單元。網格化的工具使用 ESRI 公司之 Spatial Analyst 軟體。網格化的方式採取抽樣，亦即

網格中心點所在位置若為聚落，則此網格之觀察值設定為 1；反之則為 0。如此可簡化 CA 網格之初始狀態設定，亦方便比較不同年代之網格狀態演變。

為了不遺漏任何一個小聚落，本研究的網格大小設定為 20 公尺乘以 20 公尺。因為資料來源的二萬分之一與二萬五千分之一地圖上，20 公尺分別只展示為 0.1 公分與 0.08 公分，接近於原地圖的最小繪圖單元 (minimum mapping unit)，因此本研究所設定的網格大小幾乎可涵蓋所有地圖上呈現的聚落區塊。

利用 GIS 的 Cell Analysis 方法，可得到四種不同的網格觀察值演變，產生新的網格式資料。新的網格式資料包括非聚落變非聚落 (0→0)、非聚落變聚落 (0→1)、聚落變非聚落 (1→0)、聚落變聚落 (1→1) 等四種觀察值。

#### (四) 空間自相關之分析

利用 Arc/Info 8.1 指令中的 Moran，可直接求取全域空間自相關的 Moran's I。區域空間自相關的分析則與 GIS 的 Neighborhood Analysis 或 Focal Analysis 原理相同，只要逐一計算各網格半徑 d 範圍內的所有網格觀察值總和，再除以研究區域的總和，便可得到各網格之  $G_i^*(d)$ 。

#### (五) 空間自相關與聚落變遷之比較

利用 GIS 的 Zonal Analysis 方法，分析  $G_i^*(d)$  與四種聚落網格觀察值演變 (0→0、0→1、1→0、1→1) 之關係，即可探討空間相依性對聚落變遷趨勢之影響。

## 結果與討論

### (一) 聚落之空間自相關與聚集點

Moran's I 各年度均大於 0 (表 1)，顯示臺北盆地的聚落在空間上呈現聚集狀態，亦即聚落鄰近區也是聚落的機會很大。Moran's I 隨著時間而增加，則說明聚落的分佈因相互聚集而顯得愈來愈均勻，反映聚落的空間相依

性隨著臺北都會區的發展而愈來愈高。

表 1 臺北盆地聚落的全域空間自相關

年代	Moran's I
1904	0.6928
1925	0.8327
1956	0.8739
1982	0.9439
1988	0.9423

聚落在區域上的聚集性則可透過區域空間自相關，找出聚集點的位置所在 (圖 2)。1904 年， $G_i^*(d)$  ( $d = 500$  公尺，下皆同) 大於平均值三倍標準差的聚集點有臺北市區、加蚋仔 (今臺北市雙園一帶)、枋橋 (今板橋)、江仔翠、龜崙溪洲 (今永和)、和尚洲 (今蘆洲) 等六個； $G_i^*(d)$  大於平均值二倍～三倍標準差的聚集點則有大龍峒 (今臺北市大同區北部)、士林、社仔、北投、唎里岸、錫口 (今松山)、新庄 (今新莊)、三重埔 (今三重市南部)、三重埔溪尾 (今三重市北部) 等九個。

1925 年， $G_i^*(d)$  大於平均值三倍標準差的聚集點剩下臺北市區、雙園、板橋、和尚洲四個； $G_i^*(d)$  大於平均值二倍～三倍標準差的聚集點除原有之士林、社子、松山、新莊、三重埔外，江子翠降至本級，計五個。相較於 1904 年，成長緩慢之聚集點降級或消失，而仍存在之聚集點則為發展顯著者。

1956 年， $G_i^*(d)$  大於平均值三倍標準差的聚集點除原有之臺北市區、板橋外，溪洲 (今永和)、三重埔升至本級，並新增興雅、三張犁 (皆位於臺北市松山區)，計六個； $G_i^*(d)$  大於平均值二倍～三倍標準差的區域則使雙園、松山、興雅、三張犁與臺北市區連成一片。相較於 1925 年，臺北市區顯著往東擴張，溪洲、三重埔發展成為臺北市的衛星城市，其餘的聚集點僅剩板橋維持不墜。

1982 年與 1988 年， $G_i^*(d)$  已無大於平均值三倍標準差者，而大於平均值二倍標準差的區域幾乎涵蓋整個臺北盆地，但被淡水河系切割成數塊。相較於 1956 年，

臺北市區以外的地區也急速發展，臺北都會區成形。由於可以做為聚落使用的土地幾已使用殆盡，整個臺北盆

地的聚落全部聚集在一起，要不是淡水河系的阻隔，Moran's I 應已趨近於 1，亦即全區域均勻。

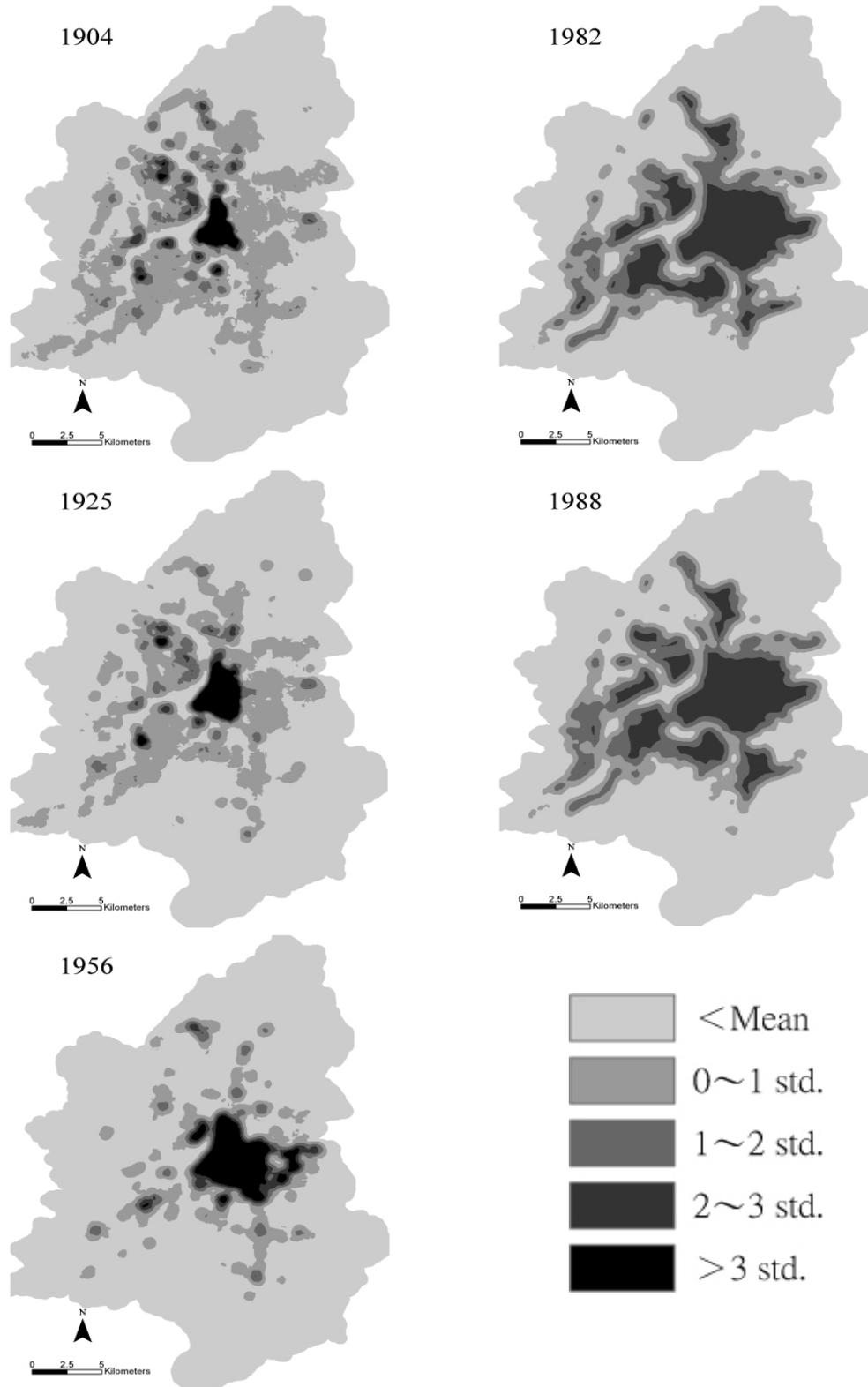


圖 2 各年度  $G_i^*(d)$  分佈圖

## (二) 空間自相關與聚落變遷趨勢之關係

比較  $G_i^*(d)$  與四種聚落網格觀察值演變 (0→0、0→1、1→0、1→1) 之關係，結果顯示  $G_i^*(d)$  愈高，非聚落愈容易變聚落，而聚落愈容易維持原狀 (亦即不改變)。

為了方便說明空間自相關與聚落變遷趨勢之關係，本研究將  $G_i^*(d)$  ( $d = 500$  公尺) 分成五個等級：小於平均值、大於平均值一倍標準差以內、大於平均值一倍～二倍標準差、大於平均值二倍～三倍標準差、大於平均值三倍標準差。以 1904～1925 年的變遷為例 (圖 3)，針對 1904 年時  $G_i^*(d)$  小於平均值的所有網格，有 99.56%

的非聚落在 1925 年維持原狀 (0→0)，83.17% 的原有聚落則消失 (1→0)。1904 年時  $G_i^*(d)$  大於平均值三倍標準差的所有網格中，78.28% 的非聚落至 1925 年變成了聚落 (0→1)，而 97.92% 的聚落至 1925 年時仍維持原狀 (1→1)。

由此可知，聚落與非聚落的改變或維持原狀，受空間相依性的影響非常大。當某聚落的空間自相關很低，亦即其鄰近區多不是聚落時，則其消失的機會很大。當某非聚落的空間自相關很高，亦即其鄰近區多是聚落時，則其發展成聚落的機會很大。

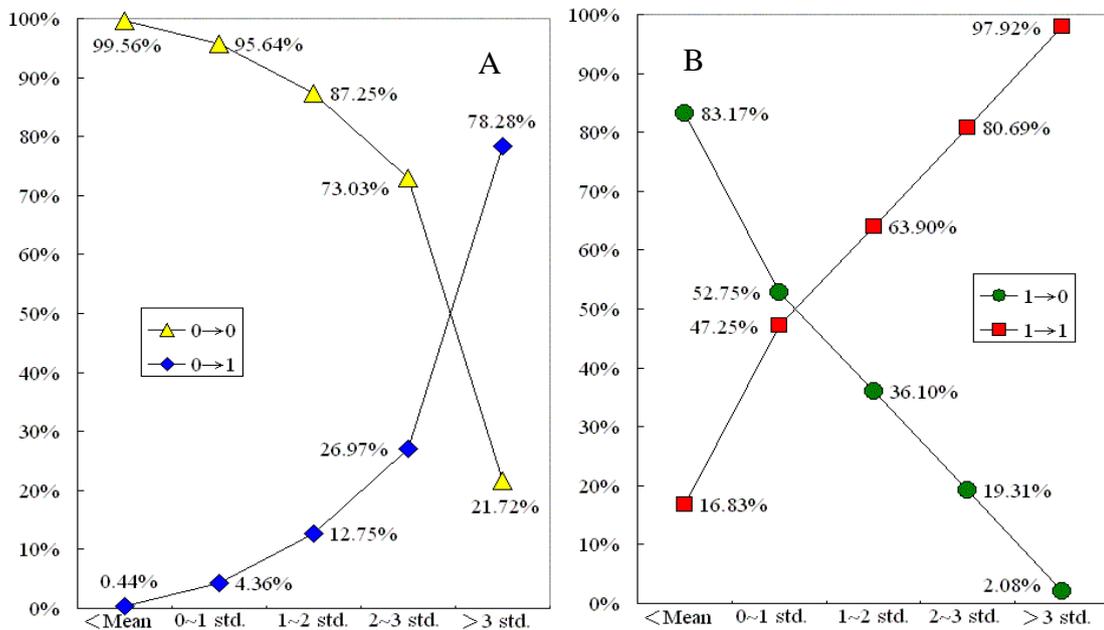


圖 3 1904-1925 年  $G_i^*(d = 500 \text{ m})$  與聚落變遷趨勢之關係

然而這也有可能受資料的誤差所影響。一個 20 公尺乘以 20 公尺的聚落或非聚落，只要在兩個年代間的位置偏移 10 公尺，就會造成某網格的聚落消失 (1→0) 而其隔壁網格由非聚落發展成聚落 (0→1)。由於 10 公尺在兩萬五千分之一的地圖上只有 0.04 公分，不能排除這種失之毫釐差之千里的「假變遷」。另一方面，這種規模太小的聚落或非聚落，在測繪地圖時容易因概括化 (generalization) 而消失，倘若兩套地圖的概括化標準不一，也會造成「假變遷」。這是土地利用變遷研究的先天

限制。

在一項遙測影像判釋的研究中，Getis (1994) 發現應用空間自相關方法可以有效去除雜訊，使影像更清楚。參酌此一經驗，本研究認為導因於資料誤差的「假變遷」現象，也可能透過空間自相關的方法去除。在數十年的時間尺度之下，除非戰亂或強制遷村等因素，聚落轉變成非聚落的可能性微乎其微。 $G_i^*(d)$  值較低的聚落代表其聚落規模小且分佈零散，這類聚落的變遷受原始地圖的位置準確性 (positional accuracy) 影響甚大，屬於對誤

差非常敏感 (error sensitive) 的資料。相同的誤差對於大聚落可能沒有影響，對於小聚落則往往造成顯著影響。兩套地圖套疊時所發生的許多「假變遷」，往往因兩套地圖間的少許位置偏差或概括化標準不一而造成「聚落變成非聚落，而非聚落變成聚落」情形，實際上可能是沒有變化。本研究若強迫將  $G_i^*(d)$  小於平均值的聚落改為非聚落，亦即利用空間自相關的特性來修正網格的初始狀態設定，則資料誤差的影響將大為降低，聚落消失 (1→0) 的不合理現象也就大幅度減少。

由於小規模聚落佔整體面積的比重較低、影響有限，而規模較大的聚落對於資料誤差的影響較不敏感，因此空間相依性對於聚落變遷趨勢的影響，在較大的尺度上仍很顯著。是以，空間自相關所發現的關係可以用以作為設定 CA 演化規則的參考。

### (三) 鄰近區範圍與聚落變遷趨勢之關係

CA 鄰近區的範圍，亦相當於區域空間自相關中  $d$  的設定，將會影響到空間自相關與聚落變遷趨勢的關係。大致上而言，鄰近區範圍愈小，則空間群聚特性愈

容易表現出來，但小尺度的空間群聚特性則成為干擾大尺度空間群聚特性的雜訊。太大的鄰近區範圍，則會使區域空間自相關趨近於全域空間自相關，失去偵測區域空間群聚特性的意義。因此鄰近區範圍的設定，亦成為影響聚落變遷趨勢的一大變數。

比較不同鄰近區範圍的  $G_i^*(d)$  與四種聚落網格觀察值演變 (0→0、0→1、1→0、1→1) 之關係，結果顯示太大或太小的鄰近區範圍，都會使  $G_i^*(d)$  與聚落變遷趨勢的關係減少。

為了方便說明鄰近區範圍與聚落變遷趨勢之關係，我們設定六種不同的鄰近區半徑，分別為：200 公尺、400 公尺、500 公尺、600 公尺、800 公尺、1000 公尺。當  $G_i^*(d)$  皆大於平均值三倍標準差時 (1982 至 1988 年為兩倍標準差)，500 公尺的鄰近區半徑在不同年代間皆對非聚落變聚落 (0→1) 有最大之影響力。當鄰近區半徑遞減或遞增時，影響力則逐漸減少 (圖 4)。

因此在本研究的案例中，設定 CA 的鄰近區範圍時以 500 公尺半徑最為理想。

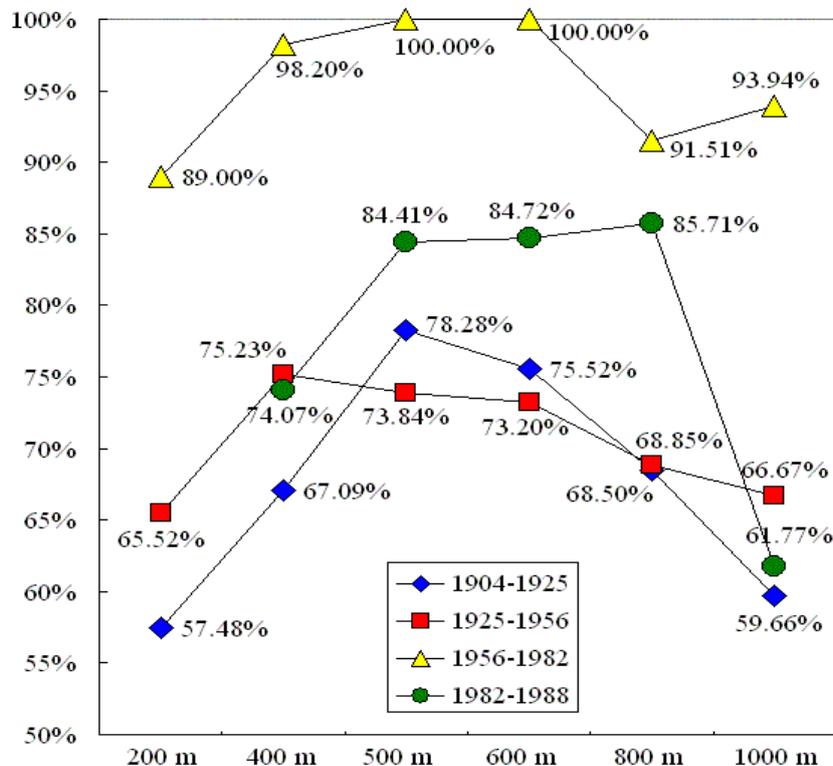


圖 4 不同鄰近區半徑  $G_i^*(d)$  大於平均值三倍標準差時與 0→1 趨勢之關係

## 結論與建議

### (一) 空間自相關可做為 CA 演化規則之依據

做為量度空間現象與相鄰空間單元相似程度的指標，空間自相關與 CA 的鄰近區概念關係密切。本研究發現，愈高的空間自相關常伴隨著非聚落發展成聚落的傾向，而具有高度空間自相關的聚落則愈傾向於維持原狀。在以 500 公尺半徑界定的鄰近區規模下，空間自相關對聚落變遷趨勢的影響程度最大。這些發現可以作為 CA 模式中，有關鄰近區範圍半徑及演化規則之參考。

### (二) 初始狀態之設定應更為細膩

本研究為求簡便，在網格初始狀態的設定上只區分聚落 (1) 與非聚落 (0) 兩種。然而同樣的非聚落網格中，有些是可能發展成聚落的農地，有些則是不可能發展成聚落的河川與山嶺。後者就算空間自相關再高，也不可能因而發展成聚落，這會降低模式的可信度。因此初始狀態的設定有必要更為細膩，針對各種可能限制土地利用變遷的型態，如：生態保留地、地形坡度因素、河川及湖泊等，應該先予以排除在變遷演化的探討。

### (三) 非空間因素的人為干擾問題

CA 是一種空間演化的模式，一個單元的演化和其周遭環境存有一定的關係，在動植物族群與生態環境演變上，空間成分的影響力可能佔有比較高的比重。相對而言，人為土地利用變遷和城市發展等現象則不全然是由空間關係所主導，反而受到政策、法律等非空間的因子主導。如 O'Sullivan 與 Torrens (2000) 所提出的觀點，有些都市改變不是局部地區的作用所造成。例如：交通網路建設，是由上而下的建築規劃、整體性的考量之下的產物。決策層面的許多因素是非空間的。

有些學者引入宏觀—微觀 (macro-micro) 的架構來

處理非空間的因素，將經濟發展、投資、人口成長等視為宏觀的被賦予條件 (given conditions)，依據這些因子推算出各類土地利用的面積，再利用 CA 來推算各種土地利用的位置。在 White 與 Engelen (1997) 的模式中，土地使用的變遷受到三個因素的影響：(1) 各類土地利用的需求總量；(2) 土地本身的特性；(3) 鄰近區的土地利用形式。其中的第一項因素就被認為是宏觀因素，由經濟和人口成長的模式來計算，不屬於 CA 的部份。非空間因素是 CA 所不能掌控，宏觀—微觀觀念的納入，解決大環境既成條件的問題，然而非空間的因素不全然可以化約成宏觀條件。例如道路建設、土地分區管制、個別土地所有人的投資決策等，這些既不是宏觀、也非空間的因素，正是 CA 所不能照顧的缺憾。CA 的建構者應該要意識到這種限制的影響層面。

### (四) 時間間隔問題

在時間面向，CA 的演變是在離散的時間序列中進行持續的演化。每該段時間內是靜止的，而在特定時間做全面的更新。時間因素對於 CA 的影響和 CA 的應用目的有關。如果將 CA 當作空間規劃工具，則演化的目的在於尋求最適區位所在，演化的終點是以達到土地需求為目的，以 White 與 Engelen (1997) 的作法，他們的模式是由遞迴的作法一次次的演化，直到選擇出滿足理想的土地利用區位和面積，時間因素在模式中並不具有實質的意涵。然而如果以 CA 為模擬探討的基礎，則每一次演化是兩個時間點之間的離散時段，則演化時間的長短就會影響演化的次數，這種概念就如同採取複利法計算存款利率的道理相通，以年為單位或以月為單位，所累積的成果會有所差異。這種情形下時間點的長短會造成演化結果的差異。

以本研究為例，1956 至 1982 年臺北盆地的聚落發生急速變遷，倘若直接以此二年度當作演化時間的起點與終點，則會發現空間自相關較低的非聚落發展成聚落的趨勢頗高。事實上這很可能是經由多次演化的累積成果。目前的 CA 模擬者往往受限於所取得資料的時間限制來設計演化的時間，實際上演化的過程和資料點也

不見得相同。時間的因素是模式建構者所需要思考的。

### (五) 土地利用資料的整合問題

地圖上記載過去的聚落位置及形狀，但地圖的比例尺、調查測繪與生產目的各有不同。以土地調查為目的的臺灣堡圖及臺灣地形圖，對於聚落的描繪鉅細靡遺；以軍事用途為目的的聯勤地形圖，對於聚落的記載僅著重於醒目的建築物，而忽略建築物的附屬設施，如庭院、空地，因此對於鄉村小聚落過於簡略；而建置於 1980 年代、偏重於農地調查目的的農委會數值土地利用資料庫，對於與農業無關的土地利用，往往大筆一揮全數歸於建地，因此對於聚落又有誇大的情形。歷史的土地利用空間資料難以取得，同時標準化的問題也很難兼顧。使用資料時必須慎重，通常需要進行再分類 (reclassify) 的工作，使不同來源資料的分類體系較為一致。

## 謝 辭

本研究是國科會補助研究計畫 NSC91-2145-H-002-026〈土地利用變遷之空間模式〉之部分成果。感謝不具名審查委員所提供的意見，使本文內容更趨嚴謹。

## 引用文獻

朱健銘 (2000) 土地利用空間型態之研究，國立臺灣大學地理環境資源研究所碩士論文。

陳寬政 (1981) 臺北都會區的人口分佈與變遷，人口學刊，5：51-69。

Anselin, L. (1996) The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association, In: Fischer, M., Scholten, J. and Unwin, D. (eds.) *Spatial Analytical Perspectives on GIS*, Taylor & Francis, 111-125.

Batty, M., Couclelis, H. and Eichen, M. (1997) Urban systems as cellular automata, *Environment and*

*Planning B: Planning and Design*, 24(2): 159-305.

Clarke, K. C., Hoppen, S. and Gaydos, L. (1997) A self-modifying cellular automata model of historical urbanization in the San Francisco Bay area, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24: 247-261.

Cliff, A. and Ord, J. K. (1973) *Spatial Autocorrelation*, London: Pion.

Cliff, A. and Ord, J. K. (1981) *Spatial Processes: Models and Applications*, London: Pion.

Couclelis, H. (1988) Of mice and men: what rodent populations can teach us about complex spatial dynamics, *Environment and Planning A*, 20: 99-109.

Couclelis, H. (1991) Requirements for planning-relevant GIS: a spatial perspective, *Papers in Regional Science*, 70: 9-19.

Couclelis, H. (1997) From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24: 165-174.

Firebaugh, W. M. (1988) *Artificial Intelligence*, Boyd & Fraser: Boston, p.740.

Fotheringham, S. and Rogerson, P. (1994) *Spatial Analysis and GIS*, Taylor & Francis: 108.

Getis, A. (1994) Spatial dependence and heterogeneity and proximal databases. In: Fotheringham S. and Rogerson, P. (eds.) *Spatial Analysis and GIS*, Taylor & Francis, 105-120.

Getis, A. and Ord, J. K. (1992) The analysis of spatial association by distance statistics, *Geographical Analysis*, 24 (3): 189-206.

Goodchild, M. F. (1986) *Spatial autocorrelation*, Catmog 47, Geo Books, Norwich.

Graff, M. A. (1976) *Changing Urban Population Density Gradients in Taipei*. Ph. D. Dissertation, Department

of Geography, Michigan State University, East Lansing.

Haggett, P., Cliff, A. and Frey, A. (1977) *Locational Methods*, John Wiley & Son.

O'Sullivan, D. and Torrens, P. M. (2001) Cellular models of urban systems, in Bandini, S. & Worsch, T. (eds.), *Theoretical and Practical Issues on Cellular Automata*, Proceedings of the Fourth International Conference on Cellular Automata for Research and Industry (ACRI 2000), October 4-6, Karlsruhe, Germany (Springer-Verlag: London), 108-116.

Tobler, W. (1979) Cellular Geography, In: Gale, S. and Olsson, G. (eds.) *Philosophy in Geography*, Reidel, 379-386.

White, R. and Engelen, G. (1993) Cellular automata and fractal urban form: a cellular modeling approach to the evolution of urban land use patterns, *Environment and Planning A*, 25: 1175-1199.

White, R. and Engelen, G. (1997) Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24: 235-246.

93年8月19日 收稿

93年9月21日 修正

93年9月27日 接受