

中興大學土地利用之地景變遷

廖亞禎¹⁾ 馮豐隆²⁾ 張俊彥³⁾

關鍵字：馬可夫鏈機率向量、半馬可夫鏈、地景結構指數、地理資訊系統、校園土地利用規劃

摘要：本文研究主旨在於(1)運用地理資訊系統(GIS)建立校園屬性資料，並以此功能輔助後續研究之用；(2)利用地景結構指數探討中興大學校園的變遷過程；(3)以馬可夫鏈機率向量的基本原理與概念，配合地理資訊系統之相關技術，探討校園土地利用型之地景結構與變化，(4)配合以時間歷程為考量的半馬可夫鏈，來推測未來校園土地利用於穩定狀態下所需的分配比例。本研究由地景結構指數於地景變遷結果中，從1982年~1990年中土地利用型圖得知，校園土地利用因公共工程而有所轉換，這是將碎裂的嵌塊體經過規劃，合併並整合；經由馬可夫鏈向量機率的求解後，得到1995~2001年之間的穩定矩陣，為校園土地利用之轉置機率矩陣，其結果為土地利用型轉移到綠地、道路、建物、荒地、水體之比例分別為：41.94%、34.72%、21.27%、0.52%、0.55%；由半馬可夫鏈的時間過程中，得到校園未來土地利用的發展比例為，綠地：54.83%；建物：30.85%；道路：14.06%；荒地：0.03%；水體：0.23%，由此可知，校園在未來土地發展中，綠地佔較大比例，因此，未來校園將創造更多的綠地，建物則是以建坪的增加，減少建地的擴展，藉此將提供規劃者規劃校園時的參考依據。

前 言

大學校園實質環境的良窳直接影響到學生的學習與身心的培育，有鑑於過去及當前大學校園規劃的諸多缺失，導致大學校園環境品質的低落，實有必要加以檢討與研究。以往在校園土地利用規劃的研究領域上，多數以某一時期的土地利用規劃設計上探討，較少以土地利用變遷的觀點來看，而土地利用變遷的趨勢對於規劃者而言，不啻為一重要的考

-
- 1) 國立中興大學園藝學系研究生。
 - 2) 國立中興大學森林學系教授，通訊作者。
 - 3) 國立中興大學園藝學系教授。

量因素，除了能充分的展現該土地數十年來的發展特性外，尚能提供地區土地利用面積計劃，及未來的發展依據。

在研究地景變遷中，有居多的研究均以馬可夫鏈的轉置矩陣作為研究方法，但在馬可夫鏈的基本概念中，其所需要的研究條件較為嚴苛：Usher(1992)說明馬可夫過程預測未來變動並不廣泛，其限制較多；1996年 Acevedo *et al.*亦認為在許多以馬可夫鏈研究變遷中，只有考慮穩定狀況，固定時間的變遷過程，並無討論隨時間變化的變遷狀況。而在現實的資料蒐集中，資料通常為不同圖幅的資料，或是資料不足，而無法精確的運用轉置矩陣方法，進而推算出未來地景變動的預測狀況。因此Howard,1971 則提出隨時間變化之影響，求出土地利用面積的半馬可夫鏈，來解決時間變動的因素，以使用來說明變遷過程的狀況。本研究希望能由校園土地利用著手，了解校園土地利用的成長過程，在『現況』、『變遷』、『功能』中會將校園帶往何種方向，因此本研究的目的如下：

- 一、了解校園在不同時期的土地使用狀況及其配置的變化量，並輔以地景指數說明其地景的變化過程。
- 二、運用馬可夫鏈與半馬可夫鏈來探討校園地景的變遷，及探討未來土地利用分配的比例。

材料與方法

一、材料

(一) 國防部空軍照相技術隊提供之中興大學校園西元 1973 年航空照片 及向農林航測所購置之西元 1982 1990 1995 及 2001 年 3 月份拍攝之(座標位置)左上角：215500, 2669500；右下角：217500, 2668000 校園航空影像圖及 21 μ 掃描電腦檔，共 23 張，作為數化底圖(如圖 1)。

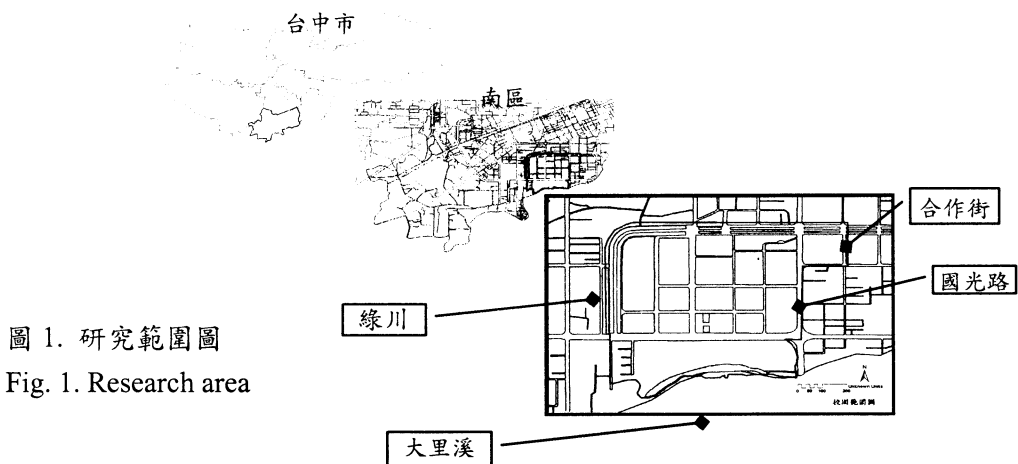


圖 1. 研究範圍圖

Fig. 1. Research area

(二) 數化工具：Arc Info 8.1、Arc View3.2；編修：以立體鏡加強數化；統計分析軟體：EXCEL for Windows。

二、方法

(一) 研究流程

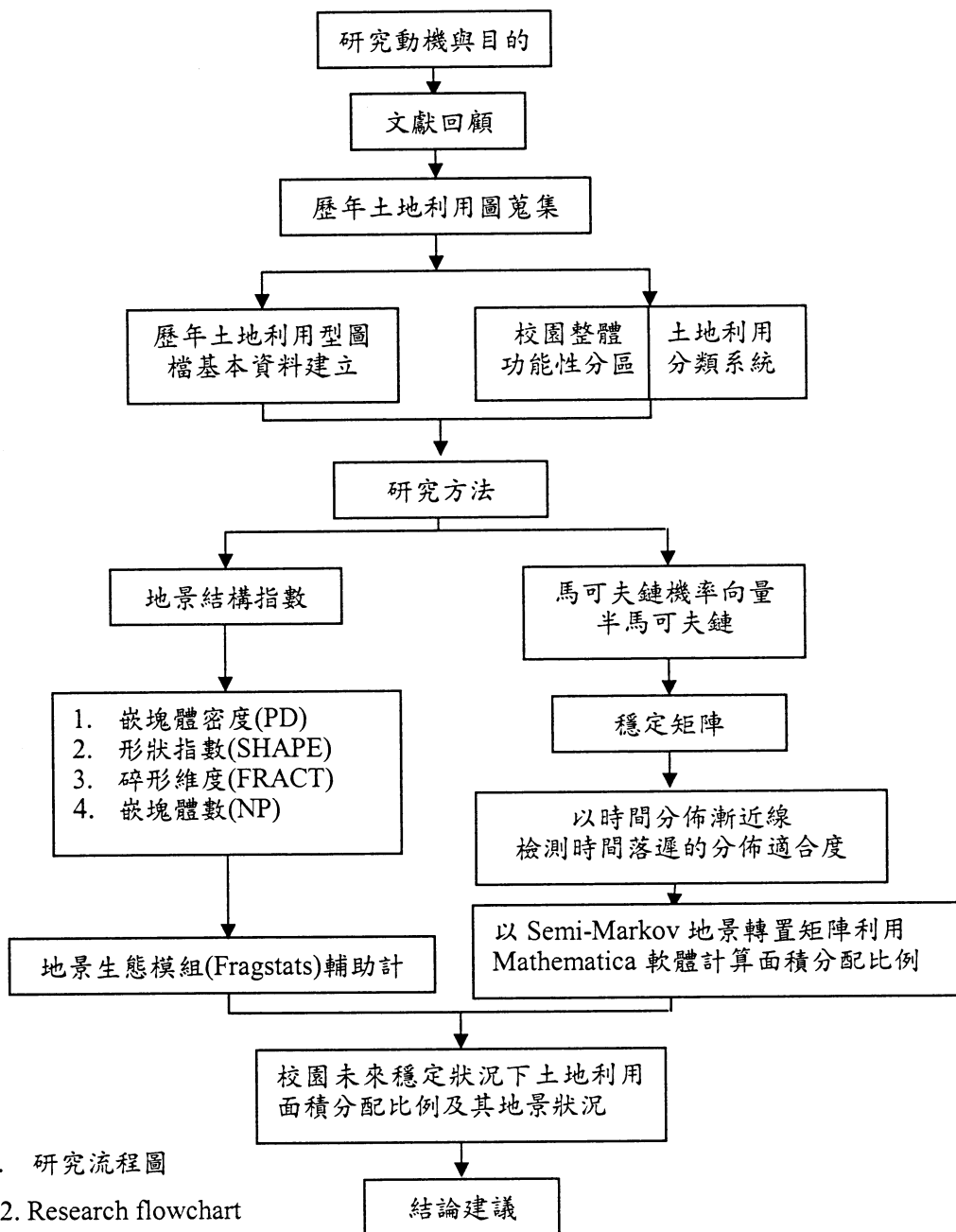


圖 2. 研究流程圖

Fig. 2. Research flowchart

(二) 馬可夫鏈 (Markov-Chain) 運用理論及操作過程

本研究利用馬可夫鏈之機率向量(probability vector)的觀念來求穩定機率，而穩定機率是指土地利用間相互轉換機率(即轉置矩陣內的機率)達到一定的平衡比例，並不是狀態沒有改變。而其具有兩個性質，其性質如下：

1. $a_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n;$ a_i 為 i 種土地利用面積所佔的比例

2. $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ n 為 n 種土地利用種數

本研究再輔以有限馬可夫鏈* 求出時間無窮大時穩定的解；假設有 n 個情況 S_1, S_2, \dots, S_n ，並設 $a_{k_1}, a_{k_2}, \dots, a_{k_n}$ 分別為第 k 次個別隨機試驗出現情況 S_1, S_2, \dots, S_n 的機率，記 $A_k = [a_{k_1}, a_{k_2}, \dots, a_{k_n}]$ ，則稱 A_k 為第 k 步情況向量(k-th step state vector)。

本研究將各年份的土地利用型圖，經由 GIS 操作軟體，將各年份間的轉置矩陣算出，加入馬可夫鏈向量機率概念，求出穩定的轉置矩陣，進而帶入半馬可夫鏈的操作過程。

(三) 半馬可夫鏈(Semi-Markov model)運用理論及操作過程

半馬可夫過程是一個較實用的模型，其考慮每種狀況下達到穩定所需要的時間，稱為維繫的時間密度(holding time density)，這是進行動態推估和穩定狀態較好的估計形式，其係指時間分佈的模型，holding time density(h_{ij})是狀態 j 轉變成狀態 i 所花費的時間，即變遷到穩定的持續時間，是用來決定變遷的重要參數。

半馬可夫鏈主要是考慮時間密度，而時間密度(h_{ij})以 gamma 機率密度函數(probability density function, pdf)來表示如公式(1)

$$h_{ij}(T) = \frac{d_{ij}^{k_{ij}} T^{k_{ij}-1} \exp(-d_{ij}T)}{(k_{ij}-1)!} \text{-----(1)}$$

(1)式中的 $h_{ij}(T)$ 維繫的時間密度

d_{ij} 第一階符合 Poisson process

k_{ij} 是一個整數，是函數的階層

T 為指數的轉變時間

ij 表示土地 i 轉換到土地 j

* 有限馬可夫鏈 (Limited Markov Chains)

1. 每一次個別的隨機試驗的結果必為情況 S_1, S_2, \dots, S_n 中的某一個。

2. 若某一次個別隨機試驗的結果為情況 S_i 則下一次個別隨機試驗的結果是情況 S_j 的機率 P_{ij} 只與 S_i 及 S_j 有關，並固定不變。稱 P_{ij} 為由情況 S_i 轉為情況 S_j 的轉置機率。

每一土地利用轉換所花費的平均時間可表示為 M_j

$$M_j = \sum_{i=1}^n p_{ij} m_{ij} \quad j=1, \dots, n \text{ -----(2)}$$

(2)式中的 m_{ij} : 土地 i 轉換到土地 j 之平均時間

(土地轉換停止變換所需時間)

p_{ij} : 土地 i 轉換到土地 j 土地利用轉換之機率(穩定狀態機率)

平均時間在轉變中是由時間平均總和的權重表示,這是使用穩定狀態的時間權重所計算出來的加權平均值

$$M = \sum_{j=1}^n X_j^* M_j \text{ -----(3)}$$

(3)式中的 M : 權重時間

X_j^* : 每一土地利用所佔的面積%

M_j : 每一土地利用轉換所花費的平均時間

半馬可夫過程

$$X_j^{**} = X_j^* M_j M^{-1} \quad j=1, \dots, n \text{ -----(4)}$$

(4)式中的 X_j^{**} : 穩定狀態時土地利用所佔面積比例

X_j^* : 土地利用所佔面積比例

M_j : 每一土地利用轉換所花費的平均時間

M^{-1} : 1/權重時間

半馬可夫過程,在穩定狀態時每一土地利用在面積中轉移的比例,可由公式(4)來表達,所以最後所推算出的半馬可夫鏈,是由馬可夫鏈中穩定狀態的機率推算而來。

本研究將土地利用型圖所計算出來的穩定矩陣,以 Mathematica 數學軟體求出半馬可夫鏈的面積分配比例,進而討論地景變遷的過程,及探討校園於穩定時,土地利用可能分配的權重。

(四) 地景結構指數

本研究以面積為主要討論過程,而選定地景結構指數中具有面積因子之參數,如嵌塊體密度(Patch Density, PD)、嵌塊體個數(Number of Patch, NP),作為討論的項目,而與週長部分有關的只選擇碎形維度(Fractal Dimension, FRACT)及形狀指數(Shape Index, SHAPEI),其意義及其公式使用均加以整理,並加以討論,其整理如表 1。

表 1. 地景結構指數表

Table 1. Landscape structure index

地景結構指數	公式表示	意義
形狀指數(SHAPEI)	$SHAPEI = \frac{E}{2\sqrt{\pi - A}}$	代表人為活動在景觀形成的干擾程度與自然特性限制人為活動的程度(林裕彬, 2001)。
地景中所有碎塊邊界的總長度/地景總面積的平方根, 再乘以正方形校正常數。可藉由常數來調整為圓形標準或方形標準。		範圍: LSI < 1, 無限制。當地景中碎塊形狀不規則或偏離正方形時, 或地景邊緣長度增加時, LSI 值增大。單位: 無
地景結構指數	公式表示	意義
嵌塊體密度(PD)	$PD = \frac{n_i}{A} (10,000)$	反應地景空間結構的複雜性, 取決於土地覆蓋類型的多樣性和規模。
地景中嵌塊體數目/整體面積		單位: 每公頃的嵌塊體數。取值範圍 PD > 0, 無上限。
地景結構指數	公式表示	意義
碎形維度(FRACT)	$FRACT = \frac{2 \ln p_{ij}}{\ln a_{ij}}$	碎形維度為度量嵌塊體的形狀特徵, 其值越趨近於 2, 則表示嵌塊體的形狀越複雜, 在都市發展過程中, 則越破碎, 越都市化。
FRACT 等於 2 乘以週長之自然對數, 除以面積之自然對數。		單位: 1 < FRACT < 2
地景結構指數	公式表示	意義
嵌塊體類別數目(NP)	$NP = n_i$	地景中嵌塊體類別數目, 嵌塊體越多表示地物類型越零散(林裕彬, 2001)。
當地景僅含有一相應嵌塊類別時, 則 NP=1; 也就是說僅有單一嵌塊類別。 NP 等於所相應嵌塊類別數目		單位: 無 範圍: NP > 1, 無限制

註: i: 1, ..., m, m 級嵌塊層別; j: 1, ..., n, n 個嵌塊體; a_{ij}: 第 ij 塊嵌塊體面積; p_{ij}: 第 ij 嵌塊體之週長; n_i: 地景中嵌塊體數目; A: 總地景面積(m²); E: 地景中總邊緣長度, 其中包含整個地景邊界及背景邊緣限度, 但不考慮這些線段存在與否。

結果與討論

一、校園整體面積變化結果與討論

本節討論校園土地利用的整體及各分區變化，接著分析土地轉移量等；在分析各項指數與研究方法之前，需將航空照片圖，依據中興大學環境規劃報告書之土地使用分類的方法數化，其土地利用型分為綠地、建物、道路、荒地、水體，以此數化的屬性資料作為分析數據，其結果於下闡述。

校園歷年土地面積的分配結果，以綠地而言，1973 年為最多有 476997.52 m²，依序為 1982 年次之、1990 年、1995 年、2001 年為最少，其變化趨勢可由曲線圖看出(請參照圖 3)，校園在 1982 年之後趨於穩定發展，變動較小，整體而言，校園土地利用趨於一穩定變動的狀況。

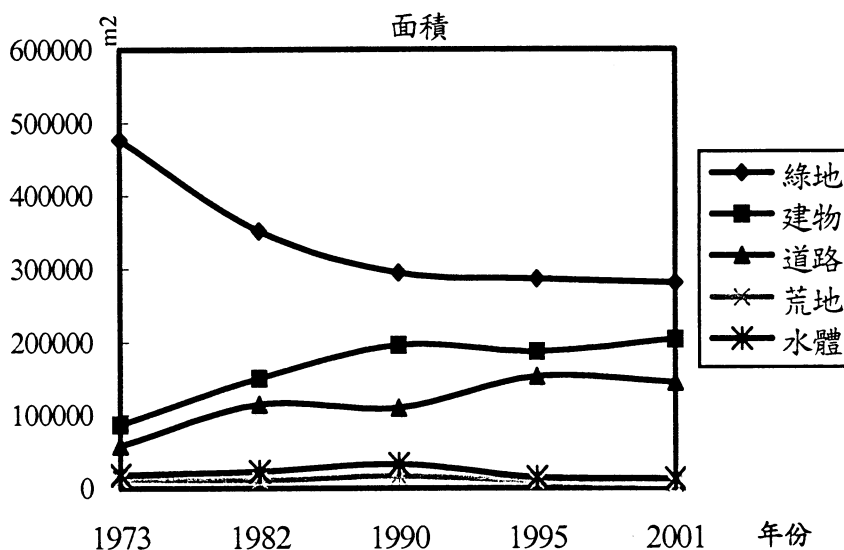


圖 3. 中興大學台中校區歷年土地利用面積趨勢，可看出校園體地利用變化趨勢是否呈穩定狀態

Fig. 3. The trend analysis of Land-Use in National Chung Hsing University, Taichung campus.

討論：

整體而言，校園土地利用狀況，面積分配比例已經呈穩定狀況，其轉移狀況卻不如預期，除維持原地轉移外，尚還有少部分的土地類型的轉移，因此，推論可能是土地利用型因不同時期的需求，其改變狀況亦不同。轉移變化較大的綠地、建物、道路部分，在歷年中的改變量不定，可能土地利用內部的轉換，雖然整體來看為趨於穩定，但土地利用之間還是有相互作用。

二、地景結構指數

校園地景變遷以地景結構指數來看，本研究利用美國 USDA(1995)所開發的地理資訊系統地景生態結構模組(Fragstats)，所計算出校園各年份整體的地景結構指數，結果如下圖 4 (A、B、C、D)，其分析討論如下：

校園地景結構指數於地景變遷中結果得知，從 1982 年~1990 年中土地利用型圖得知，校園土地利用因公共工程而有所轉換，這是將碎裂的嵌塊體經過規劃，合併並整合；嵌塊體類別數目於 1973 年時較多，表示當時的土地利用類型較為零散；1973 年的校園土地利用型則是未經過人為規劃，因此其嵌塊體密度(PD)較大，整體而言，因校園形狀指數(SHAPEI)與碎型維度值(FRACT)變化性不大，所以可知校園土地利用已經趨近於都市化，其發展趨於穩定。

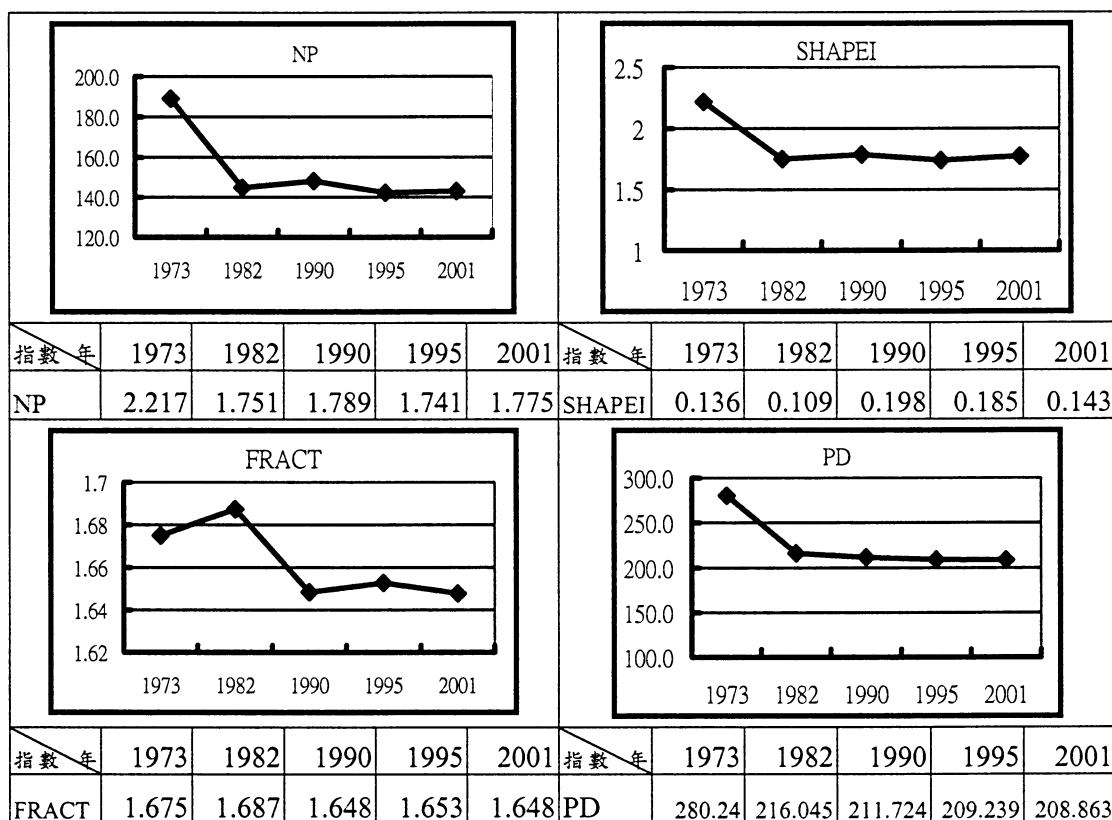


圖 4. 校園地景結構指數(A) NP、(B) SHAPEI、(C) FRACT、(D) PD，及其數值表。

Fig. 4. Landscape structure index of campus, (A) NP, (B) SHAPEI, (C) FRACT, (D) PD, and data

三、馬可夫鏈結果與討論

轉置矩陣將現有資料 1973、1982、1990、1995、2001 年換算出的矩陣，分別帶由馬可夫鏈機率向量概念，求出未來穩定的機率，由 Mathematica 軟體推算出，最後穩定狀態下，校園各土地利用轉置的機率，以 $P_{1995-2001}$ 為較符合現有地景之變動(圖 5)，以此年份的矩陣作為穩定狀態的矩陣，為代入半馬可夫鏈的穩定矩陣。

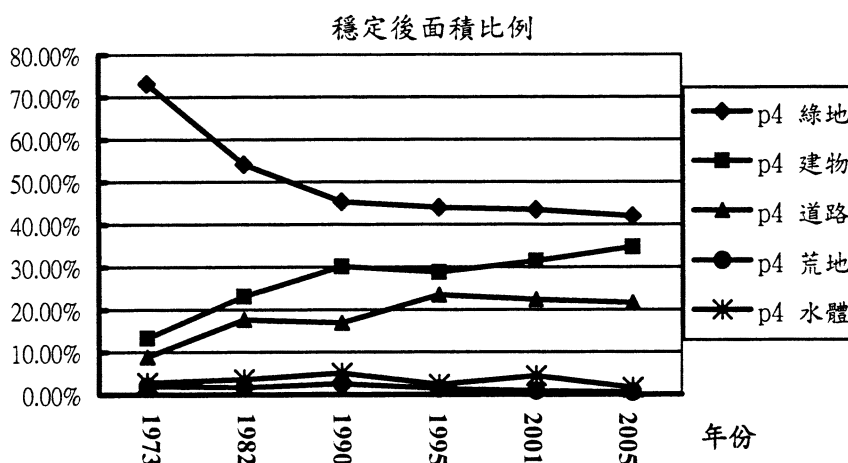


圖 5. 穩定值曲線圖

Fig. 5. Stability curve

四、半馬可夫鏈結果與討論

經過馬可夫鏈求出穩定的向量機率矩陣，代入半馬可夫鏈求出考慮時間穩定後的土地利用面積比例。在求其面積比例前，須先將各土地利用達穩定所需要的時間求出，而其時間為經過各曲線的切線等於零求解而來。

以各曲線之切線，求出各土地利用趨於穩定所需要之時間點，分別為下表；將穩定的時間點，減掉現有資料的起始點 1973 年，作為各項土地利用穩定時，所需要花費的時間(如表 2)。

表 2. 土地利用穩定需花費時間表

Table 2. Requiring time for stabilizing land-use

土地利用類型	綠地	建物	道路	荒地	水體
穩定時的時間點	1997	1999	2004	1983	1985
所發費時間(年)	24	26	31	10	12

結果發現，綠地穩定時需要花 24 年，建物需花 26 年、道路需花 31 年、荒地需花 10 年、水體需花 12 年，除了道路的變化需還要到 2004 年後才趨於穩定，其他土地利用型在現有資料中已趨於穩定。

經由半馬可夫鏈公式推算出來，校園穩定狀態之土地利用面積分佈，比例結果如圖 6，圖中可看出綠地面積佔有的比例為多數，有 54.83%，建物面積佔有的比例 30.85%，道路面積佔有 14.06%，荒地面積佔有 0.03%，水體面積有 0.23%。

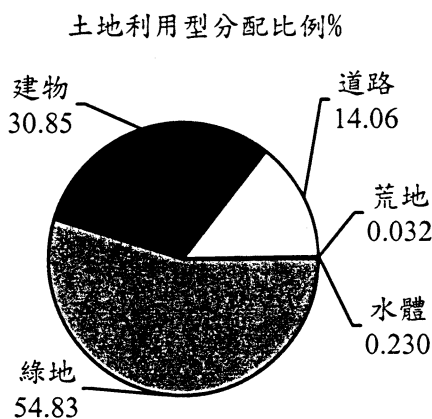


圖 6. 半馬可夫鏈推算土地利用分配比例圖

Fig. 6. Estimating the distribution proportion of land-uses by semi-Markov chain

討論：

經由時間加權的半馬可夫鏈計算出來的面積分配比例，可以看出綠地佔有將近 54%，可能是因為原本綠地面積佔大比例的關係，及加上時間權重，使得綠地面積計算後佔較大比例。

結 論

- 一、整體而言，校園環境以馬可夫鏈的求解過程中，可得到穩定發展的土地利用分配比例，然而在規劃校園土地面積配置上，尚需依理想來規劃，本研究提供以半馬可夫鏈所求出的結果來規劃校園土地利用的分配，以作為校園的土地利用分配狀況。
- 二、由研究結果中已經提出校園未來穩定狀態時，土地利用面積的分配比例。至於各土地利用型之空間分佈配置，為未來發展的重點。因為土地利用比例只能得知整體比例的數值，未能提供這些數值的空間分配和空間發展趨勢，因此，本研究僅能提供穩定狀況時校園土地利用分配的基本資料。
- 三、由本研究可以得知穩定狀態下的土地面積分配之比例，對於空間的分配則可考慮運用自動化的方式，隨機判別細胞的發展機制，發展出細胞的空間分佈狀況；本研究建議在未來可以考慮以細胞自動化的方式，來規劃校園土地利用的空間分佈狀況，更能夠提供校園土地規劃者的參考依據。

謝 辭

感謝中興大學森林測計研究室提供之研究材料與研究方法，特此感謝。

參考文獻

- 何友鋒建築師事務所。1999。國立中興大學校園環境規劃報告。中興大學。
- 周子文、謝志雄編著。1997。近代商用數學。台北市。
- Acevedo, M. F., D. L. Urban, and H. H. Shugart. 1996. Models of forest dynamics based on roles of tree species. *Ecological Modeling* 87: 267-284.
- Howard, R. A. 1971. *Dynamic Probabilistic Systems Vol. II Semi-Markov and Decision Processes*, Wiley, New York.

- Jenerette, G. D. and J. Wu. 2001. Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona-Phoenix region, USA, *Landscape Ecology* 16(8): 611-626.
- Usher, M. B. 1992. Statistical models of succession. In: D. C. Glenn-Lewin, R. K. Peet and T. T. Veblen (eds.), *Plant Succession: Theory and Prediction*, pp.215-248, Chapman and Hall, London.

Landscape Change of Land-Use in National Chung Hsing University

Ya-Jen Liao¹⁾ Fong-Long Feng²⁾ Chun-Yen Chang³⁾

Key words: Markov chain probability vector, Semi-Markov chain, Landscape structure index, GIS, campus land use planning

Summary

The main purposes of this study are: (1) To apply GIS to establish campus attributes and support other researches. (2) To use landscape structure index to study the change process campus of NCHU. (3) To study the landscape structure and change of campus land use by Markov probability vector and GIS. (4) To Use Semi-Markov chain to predict the necessary distribution of land use of campus under steady state in the future. From this study the campus administrator could make a reference for planning the land use of campus in the future. The results showed that the landscape structure indexes of campus are that from 1982 to 1990 the land use changed because of the campus public constructions. The campus land use showed study-state in 1982. By solving Markov chain probability vector, the stable probability vector in 1995 to 2001 was the land use stable probability vector in the campus. The results showed that the area proportion of other land uses change to green area: 41.94%, buildings: 34.72%, road: 21.27%, wasteland: 0.52%, water: 0.55%. The results showed the land use of campus was almost stable, and the present state of the land use was saturated. From the time process of Semi-Markov chain, the land uses proportion of campus in the future will be: green land: 54.83%, buildings: 30.85%, road: 14.06%, wasteland: 0.03%, water: 0.23%. By these results, the green land will occupy larger proportion in the future land development of campus. The planner should take the green land as the main sort of land use in the future.

1) Graduate student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Professor, Department of Forestry, National Chung Hsing University. Corresponding author.

3) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

