

綠島地景動態之研究

Landscape Dynamics of the Lutao Island of Taiwan

鍾玉龍 呂明倫*

Yuh-Lurng Chung and Ming-Lun Lu*

國立屏東科技大學森林系 屏東縣內埔鄉學府路1號

Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan

*通訊作者

*Corresponding author

摘 要

綠島因地理環境特殊使其具豐富的自然資源，惟經數十年的開墾與砍伐，原始林已遭到嚴重的破壞。本研究以綠島為研究區，整合航空照片材料、地理資訊系統與馬可夫模式，進行該區地景動態之探討。研究結果顯示，1979-1989年間，天然闊葉樹林的面積有明顯的增加，反觀木麻黃造林地面積有明顯的減少現象，由兩時期的轉移機率矩陣表可知，因森林生態系產生自然演替之現象，綠島原生植群有自然回復的趨勢。利用Markov模式預測未來地景動態之結果顯示，綠島之植群生態隨著長期間的演替，終將形成以天然闊葉樹林為主之植物社會，從地景穩定性指標分析結果顯示，於30-60年後，地景系統的演變情況應可形成穩定的現象。

Abstract

The Lutao Island situated offshore from the southeast coast of Taiwan has unique natural environments with abundance in natural resources, but its native forests was nearly devastated few decades ago. We used aerial photographs, geographic information systems (GIS), and Markov modeling technique to study the landscape dynamics of the island. The results indicated that during the period between 1979 and 1989, the hardwood forests increased rapidly, while the *Causuarina qutiferra* forests decreased. The transition probability indices of these two types of the forests suggested that the forest

ecosystem of the island has been in the process of a temporal succession toward the native hardwood forests, and will be stabilized in 30 to 60 years later.

關鍵詞：航空照片、馬可夫模式、演替、地景穩定性指標

Key words: aerial photograph, Markov model, forest succession, landscape stability index

收件日期：95年2月9日

接受日期：95年6月27日

Received：February 9, 2006

Accepted：June 27, 2006

緒 言

綠島係懸宕於太平洋上之孤島，距離台東18浬，早期因交通不便且居民生活困苦，所需燃料全仰賴砍伐原生林木供應。經過數十年的開墾與砍伐，除少數之山溝仍保有原始林相外(桑科榕屬植物居多)，島上之原始林已遭到嚴重的破壞。目前因原始之林相已所剩無幾，林務局曾於1979-1981年間陸續實施造林計畫(面積合計約576 ha)，有助綠化及水土保持之效用，故綠島林相大多被先驅樹種木麻黃(*Casuarina equisetifolia*)之人工造林地所取代(蘇及何 1982)，島上之動植物因而缺乏其原有之特性，甚至部分物種已面臨絕種狀態，例如綠島特有的台灣狐蝠(*Pteropus dasymallus formosus*)，族群減少的原因雖尚未明瞭，惟其棲地及食物的減少是可見的，這與地景變遷的現象應有著某一程度的相關性。從島嶼生態學的觀念可知，在海島上通常環境單純，生物群落貧乏，特別是中大型動物之族群數量較少，其分布區域狹窄常局限於較小的棲地，在人為干擾下，它們無法承受生態災難或難以適應生境劇變，致使數量不斷下降，最終在島上消失(諸葛 1989)。

除人工造林復育外，生態體系本身在受到自然或人為的干擾時，亦有自生復原的能力，即所謂的復原性(resilience)，其所肇致群

落之變遷即是一種演替(succession)的現象(鄭 1992)，因此瞭解綠島地景變遷與未來發展之動態趨勢，對保育的課題具正面之效。由於航空照片屬於解析度高之影像資料，並於不同的地景類型上會呈現影像性質的差異性，故常被廣泛應用於多時期地景變遷之研究，此基礎藉由以往的變遷資料，可更進一步應用數學運算模式來進行動態趨勢的預測。在大尺度的地景研究中，馬可夫(Markov)模式於國內外研究的應用已相當普遍，且大多以航空照片做為地景類型建置之依據，例如Boerner (1996)研究美國俄亥俄州區域受人為干擾與未受干擾區之土地利用變遷，並以Markov模式分析未來土地利用型分布狀況的差異性；Lopez *et al.* (2001)為監測墨西哥過去35年來都市發展所造成的地景變遷，利用Markov模式之轉移矩陣機率，預測都市擴張之趨勢；陳及吳(2001)曾應用Markov模式探討南仁山生態保護區之土地利用型與林分鬱閉度之動態；Hathout (2002)探討長期間都市化對於農村地景所造成之衝擊，並以Markov模式預測周圍都市之成長速率；鄭等(2005)則以Markov與Logit模式，預測林試所蓮華池試驗林民墾地位置之空間分布。

本研究旨在瞭解綠島之地景動態，利用1979與1989年兩時期航空照片，以航照判釋技術與地理資訊系統(geographic information

system, GIS)為工具，進行該區植群與土地利用基本資料之建立，藉此探討此10年間變遷之情形，並嘗試以Markov模式，預測未來動態發展趨勢，以供生物多樣性維持與生態系經營管理之參考。

材料與方法

一、研究區環境概述

綠島又稱火燒島、雞心嶼、火山島或青仔嶼，為台東縣的一個離島鄉，亦為台灣的第四大離島，其地理位置如圖1所示，地處東經121° 29'，北緯22° 40'，位在台東市東南方約33 km之太平洋中，距離南方蘭嶼約75 km，全島外形約略為一不整之三角形，漲潮時面積約15.1 km²，退潮時約有17.3 km²，東西寬約3 km，南北長約4 km，周圍長約20.3 km。島上丘陵縱橫，並有多數的海蝕階及海崖景觀，島之最中央為阿眉山(276m)，

西南方之火燒山為最高點(281m)，河流主要由此二山輻射而出，形成陡峭狹小之溪溝，全島內土地坡度超過30° 以上者高達40%。綠島正當太平洋暖流行經地區，屬熱帶濕潤型之氣候區，全年平均溫在23°C左右，且降雨分布平均，沒有乾季妨礙植物生長。土壤為肥力中等之紅棕壤土，因此對於植物的生長應是非常適宜的條件，惟每年10月至翌年4月之東北季風侵襲外，海上所帶來之鹽霧，皆會阻礙植物的生長。島上植群自海岸至山區大致可分為海岸植群、栽培植群、草原、灌叢和樹叢等6大植群型(蘇及何1982)。

二、研究材料

本研究之主要材料係蒐集林務局農林航空測量所出版之航空照片，拍攝日期為1979與1989年(表1)，用以判釋與建立綠島之植群與土地利用型圖層資料。

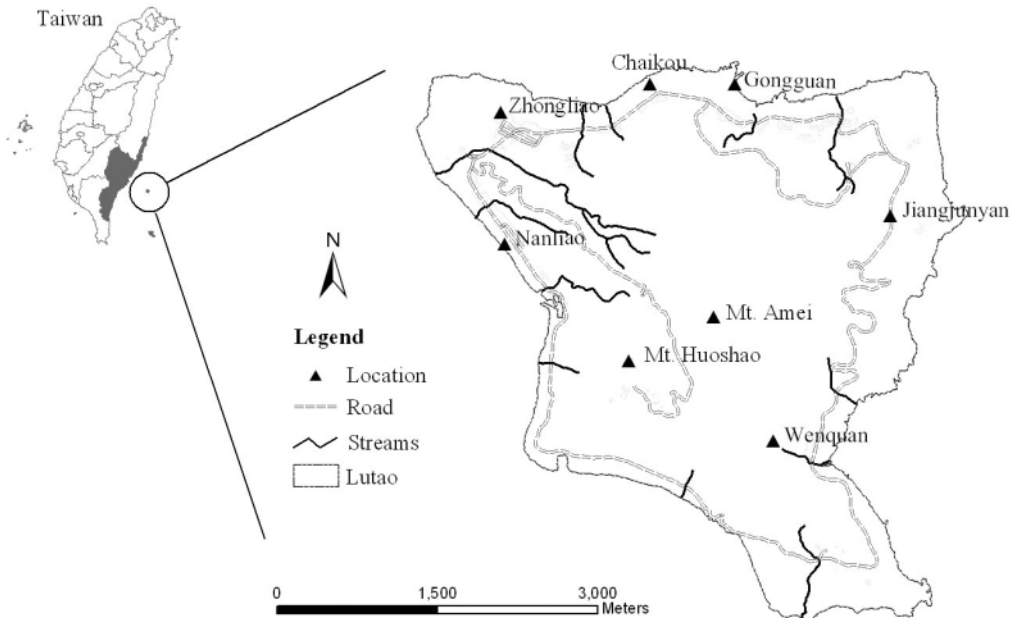


圖1. 研究區—綠島。

Fig. 1. The Lutaotai Island showing the general geographical features.

表1. 本研究所採用之航空照片基本資料

Table 1. The aerial photographs used in this study

Year	Date	Mission	Number
1979	12/15	68p85	53-80
			81-108
			109-131
			132-153
			6605-6616
1989	06/29	78p48	6592-6604
			6627-6635
			6617-6625

三、研究方法

(一) 地景分類

綠島之地景狀況可利用航照判釋技術予以達成，以立體鏡進行判釋，並將土地利用狀況分類描繪之，若對判釋結果有疑慮之處，則進行野外校對與GPS定位復勘修正，並利用垂直單像轉繪儀進行轉繪，以GIS軟體進行數化及建立位相關係，製作兩時期之地景類型圖層資料。地景分類之類別乃依據蘇及何(1982)、第三次全省森林資源與土地利用調查工作手冊為準則，藉由航空照片之立體像對，參照影像之大小、形狀、陰影、色調、結構與型態等6項因子判釋之(吳 1986)，依據立體鏡中所見之不同性質影像區分，將島上植群型分爲天然闊葉樹林(hardwood forest, HF)、木麻黃造林地(*Casuarina equisetifolia*, CE)、木麻黃闊葉樹混淆林(CE and HF, CH)、海岸植生(seashore vegetation, SV)、灌木林(shrub, S)與草地(grassland, G)等6種，並將建築用地、道路、墓地等歸類成建成地(building, B)，另建立旱作地(dry cropland, DC)、沙灘或礁岸(beach or reef, BR)、裸露地(bare soil, BS)。各時期分別建立10種地景類型，並以10×10m之GIS網格式資料建檔，藉由空間套疊(overlay)功能，可產生地景類型的轉移機率矩陣表，瞭解1979-1989

年之間各類型的變遷程度。

(二) Markov模式預測地景動態

Markov模式係假設某一時期地景類型發生的機率是隨前一時期所存在的地景類型而變，需先求算轉移量矩陣、轉移機率矩陣，並測定轉移量矩陣是否具有Markov特性，一般常用的方法爲Goodman (1968)提出的卡方檢定(χ^2 -test)，其計算方式如下：

$$\chi^2 = \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m [T_{ij} \times \ln(p_{ij} / A_j)]^2 \right\}; df = (m-1)^2$$

式中 T_{ij} =轉移量矩陣； p_{ij} =轉移機率矩陣； A_j =轉移量矩陣第 j 行(column)像元數合計與全地景總像元數之比率； m =組類數； df =自由度。

本研究採用卡方檢定法驗證研究區不同年度之地景類型變遷是否具Markov特性，檢定結果若卡方統計值大於理論卡方值，表示轉移量矩陣具有Markov特性，反之則無。

各種轉移機率是根據某一時期事物各種狀態的分布求得，因此其數學表示式爲：

$$p_{ij} = n_{ij} / \sum_{j=1}^m n_{ij}$$

式中 m =事物的狀態數， p_{ij} =轉移機率； n_{ij} =事物從狀態 i 轉變成狀態 j 的量。

整理事物所有狀態的轉移機率，以矩陣形態表示，可得轉移機率矩陣(transitional

probability matrix)。假定 p_{ij} 為轉移機率矩陣，則：

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{bmatrix} \text{ 爲一 } m \times m \text{ 矩陣}$$

式中每一列的總和為1，矩陣內各數值均大於或等於0。依據轉移機率矩陣，可得Markov的一個重要的性質，即：

$$L = \lim_{m \rightarrow \infty} P_{ij}$$

L稱為平衡矩陣(equilibrium matrix)或會合矩陣(convergence matrix)，當該矩陣重複自乘無限多次後，矩陣內各個數值將達到穩定狀態。

運算結果如符合該模式時，兩期間之地景變遷式可以 $n_{t+1} = P \times n_t$ 表示，其中 n_{t+1} 與 n_t 分別為兩期之地景類型之面積，而P則為轉移機率，利用此式可有效進行地景的動態趨勢預測。

(三) 地景動態趨勢分析

植群社會生長於生態系中並非一成不變，其族群間會隨著時間產生演替的取代作用，整體生態系發展終期將形成穩定的極盛相。本研究嘗試利用Markov模式所預測之地景類型面積，發展地景穩定性指標(landscape stability index, LSI)，用以量化整體地景系統於不同時間階段之動態情形，藉此瞭解地景動態是否達到穩定的發展趨勢，其計算方式如下：

$$LSI = \sum_{j=1}^m |X_{t+1} - X_t|$$

式中 m = 地景組類數； X_{t+1} 、 X_t 分別代表 t 時期與 $t+1$ 時期某一地景類型所占之面積。

LSI之運算結果值愈大代表地景動態明顯，相對整體地景系統的發展趨勢較不穩定；值愈小代表地景動態不明顯，相對整體地景系統的發展趨勢較為穩定。

結果與討論

一、綠島之地景變遷

綠島於1979與1989年之地景類型，經航空照片判釋與GIS數化結果如圖2所示，並經面積統計得知10年間整體地景變遷情形，由表2統計結果顯示，各植群型中1979年占最大的面積為木麻黃造林地，共425.91 ha，約占全島面積的26.37%，至1989年則以天然闊葉樹林為主，共578.04 ha，約占全島面積的35.78%。綠島於1979-1989年期間，建成地、天然闊葉樹林、木麻黃闊葉樹混淆林與草地之面積為增加之狀況；旱作地、沙灘或礁岸、裸露地、木麻黃造林地、海岸植生與灌木林等，皆呈現減少的狀況，其中變化較大者為天然闊葉樹林增加263.56 ha，反觀木麻黃造林地減少178.79 ha，主因應為部分木麻黃造林失敗，或原生植群恢復的因素，使得天然闊葉樹林的面積增加。據羅(1983)指出，木麻黃生長速度極快，惟在海岸地區之林分卻極早發生衰退的現象；甘及陳(1987)指出，台灣海岸林在栽植成活後即採放任措施，致使林分衰退提早發生，且易罹患病蟲害，導致抗風力減弱。綜合前人研究回顧，再加上綠島沿海環境之鹽霧、東北季風與颱風季節的強風等諸多不良生育環境逆壓的影響條件下，木麻黃造林地面積於10年間呈現衰退的情形。另旱作地減少163.64 ha，由圖2可知1979年東北方區域之旱作地至1989年轉變為草地，主因應為旱作地的廢耕使得多年後該區逐漸由草地所取代。

為瞭解1979-1989年間各地景類型間彼此轉變之情形，將圖2中兩時期之圖層資料進行GIS的空間套疊，並建構地景變遷之轉移機率矩陣表，結果如表3所示，至1989年止，綠島大部分之地景類型並未大幅改變，惟仍有少數類型有較大的轉變，如裸露地有73.33%、木麻黃闊葉樹混淆林有91.40%係由木麻黃造林地轉變而來，轉變情形最為明顯，由此推

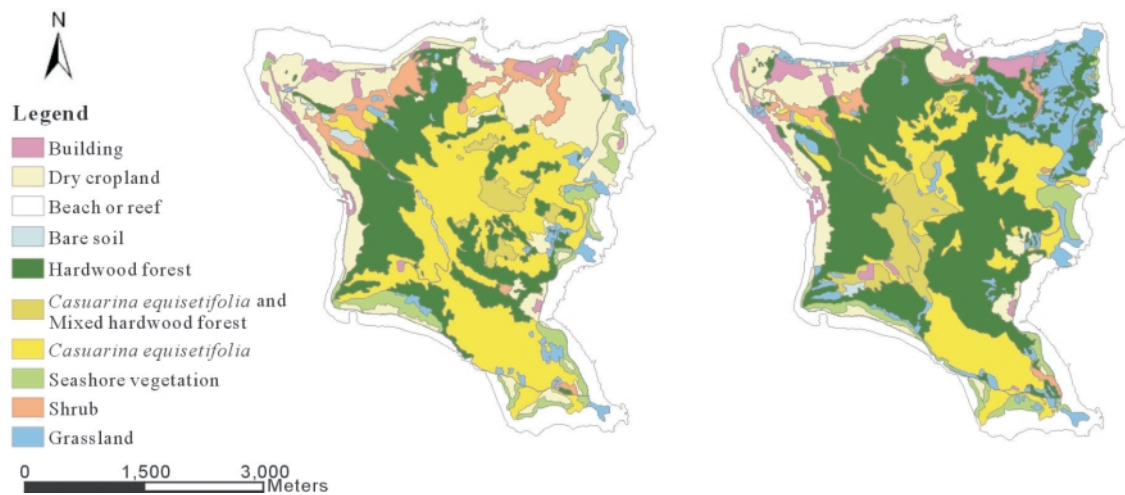


圖2. 綠島1979(左)與1989(右)年之地景類型圖。

Fig. 2. Landscapes of the Lutao Island in 1979 (left) and 1989 (right).

表2. 綠島1979與1989年地景類型面積(ha)統計表

Table 2. Landscape categories and areas of the Lutao Island in 1979 and 1989

Landscape categories	1979		1989		Changes (ha)
	Area (ha)	(%)	Area (ha)	(%)	
B	56.43	3.49	72.78	4.51	+16.35
DC	304.93	18.88	141.29	8.75	-163.64
BR	288.00	17.83	278.63	17.25	-9.37
BS	7.61	0.47	3.02	0.19	-4.59
HF	314.48	19.47	578.04	35.78	+263.56
CH	33.43	2.07	85.97	5.32	+52.54
CE	425.91	26.37	247.12	15.30	-178.79
SV	64.41	3.99	50.37	3.12	-14.04
S	70.71	4.38	27.77	1.72	-42.94
G	49.47	3.06	130.38	8.07	+80.91
Total	1615.37	100.00	1615.37	100.00	

表3. 綠島1979-1989年地景面積之轉移矩陣機率(%)

Table 3. Landscape transition probability matrix (%) of the Lutao Island from 1979 to 1989

Year	1979										
	B	DC	BR	BS	HF	CH	CE	SV	S	G	
B	51.57	22.18	8.63	0.63	3.22	0.00	7.36	2.41	2.94	1.05	
DC	4.32	80.85	3.37	0.14	4.46	0.00	0.06	1.70	3.66	1.44	
BR	1.14	1.84	92.88	0.00	0.20	0.00	0.21	2.12	0.01	1.60	
BS	0.00	0.00	0.00	0.00	16.33	0.00	73.33	10.33	0.00	0.00	
1989	HF	0.45	13.31	0.16	0.73	47.04	5.30	20.03	3.46	7.45	2.07
	CH	1.06	0.00	0.00	1.50	5.26	0.41	91.40	0.00	0.37	0.00
	CE	0.61	3.10	0.58	0.26	7.67	0.98	80.98	0.96	0.69	4.18
	SV	2.25	21.74	10.88	0.00	2.31	0.00	8.05	48.31	0.00	6.46
	S	0.25	16.18	0.00	0.90	11.24	0.00	13.66	5.59	46.09	6.09
	G	3.15	53.19	7.43	0.40	3.95	0.00	11.48	4.47	4.20	11.72

測木麻黃林分之少數地區因造林失敗，使得樹木枯萎，因而形成土地裸露的現象，且木麻黃闊葉樹混淆林類型中天然闊葉樹林逐漸產生自然演替，並占據原本木麻黃造林地的空間，因此綠島森林生態系有自然回復之趨勢。林及裴(1999)指出，綠島早期因木麻黃大量造林之結果，破壞一些殘存的原始林，導致林相的改變，使台灣狐蝠的食物來源樹種(榕樹屬*Ficus*為主)減少，亦影響狐蝠的生存狀況。天然闊葉樹林在生態系內所能提供之食物、棲息環境、歧異度等各方面都遠優於人工木麻黃林，對野生動物或整體生態系而言，應屬正面之影響，未來如何維持綠島森林生態系的穩定狀態，將是經營者在生物多樣性的保育工作上需重視之課題。

表3轉移機率矩陣之分析結果發現有部分疑慮之處，如CH(木麻黃闊葉樹混淆林)有5.26%、CE(木麻黃造林地)有7.67%由HF(天

然闊葉樹林)轉移而來，經查證造林紀錄後發現綠島主要造林作業係於1979至1981年間，往後並無進行大規模之造林工作。至於是否為木麻黃入侵的問題，依據國內長期經營海岸防風林經驗累積發現，木麻黃林生長快速，惟其壽命短且不易天然下種更新，在育林方式上係以木麻黃為先驅樹種，爾後再混植原生海岸樹種，並透過生態營造及相關育林技術來改善林相，誘導天然更新而形成複層混合林，因此本研究疑慮之處，應為航照判釋、轉繪與GIS數化、套疊過程中產生的誤差所導致。

二、綠島之地景動態

為評估Markov模式是否適用於預測綠島地景動態之可行性，本研究於研究區內隨機選取1,000個樣點，進行Markov特性之卡方檢定，檢定結果顯示，在自由度等於6和顯著水

準等於0.01時，其卡方統計值($\chi^2=146.05$)大於查表之理論卡方值($\chi^2=16.81$)，由此可知，綠島於1979-1989年間之地景變遷情形確實具有Markov特性。

由卡方檢定結果可瞭解，Markov模式適用於本研究區未來地景動態之預測，因此利用10年為間距，依序進行各地景類型於1999、2009、2019、2029、2039與2049年之動態預測，其結果如圖3所示，建成地(圖3a)與天然闊葉樹林(圖3e)之面積顯現增加的情形，其中天然闊葉樹林之面積至2049年止增加約200 ha左右，為所有地景類型中變動量最大者；旱作地(圖3b)、木麻黃造林地(圖3g)與草地(圖3j)之面積顯現減少的情形，其中旱作地與木麻黃造林地之面積至2049年止減少約35 ha左右，草地之面積減少約50 ha左右，另沙灘或礁岸(圖3c)、裸露地(圖3d)、木麻黃闊葉樹混淆林(圖3f)、海岸植生(圖3h)與灌木林(圖3i)之面積雖亦有減少，惟其變化較不明顯。由此結果推斷，綠島之植群生態隨著長期間的演替，未來旱作地、木麻黃造林地與草地面積漸次縮減，天然闊葉樹林進而成為較具優勢之植物社會，而建成地的增加雖可反映出綠島地區仍有人為干擾的存在，惟本研究採用之Markov模式係假設對於自然界中，環境條件在穩定的情況下，且不受人為外力干擾之區域較為適用(Acevedo *et al.* 1996; 陳及吳 2001)，因此本研究預測人為土地利用型之動態趨勢適當與否，有待未來持續追蹤探討。針對人為干擾之問題，需先考慮到各種層面的影響因子，例如地形、環境、社會、經濟、政策面…等，惟受限於資料取得問題，難以完備的掌握各項因子，建議應先配合經營管理之實施策略，加以評估因子的選擇是否合乎需求，俾以提升研究成果之可信度。

為瞭解綠島的地景動態是否達到穩定的發展趨勢，經LSI計算5種階段之結果如圖4所示，LSI隨著時間的增加而減少，至2019-

2029年階段起，關係曲線趨於平坦，由此可知，島上地景動態的發展趨勢已略呈穩定狀態。Boerner (1996)指出，Markov模式對於預測所採用時間間距較長者，易遮掩掉短時間內造成地景轉變的影響因子；朱(1994)指出，Markov模式發展至頂點或底點時，演變機率會產生結構性變化，因而僅適用於中期發展階段。有鑑於此，本研究以10年為間距，推測綠島於30-60年後，地景系統的演變情況應可達到趨於穩定的現象，惟近年來管理單位正積極發展台東縣離島之交通建設，因此在追求文明進步的同時，宜做好妥善規劃，以確保自然生態環境之保存。

結 論

有效的經營管理策略，除須瞭解生態系的現況與其在時間序列上的變動情形外，尚須設法預測未來趨勢的演變，故探討地景動態的發展，可謂重要之研究課題。本研究以綠島1979與1989年度之航空照片做為材料，利用航照判釋建立兩時期之10種地景類型圖層資料，並進行地景之變遷程度與未來動態的探討。研究結果顯示，天然闊葉樹林的面積有明顯的增加，反觀木麻黃林分因衰退提早發生，使得面積有明顯的減少，且由兩時期的轉移機率矩陣表可知，因原生植群產生自然演替之現象，綠島森林生態系有自然回復的趨勢。經Markov模式預測結果發現，綠島之植群生態隨著長期間的演替，終將形成以天然闊葉樹林為主之植物社會，經過LSI檢視地景動態情形可知，綠島之整體地景系統將於30-60年後趨於穩定的狀態。

謝 誌

本研究承行政院農業委員會科技計畫「94農科-9.2.1-務-e2(1)」之部分經費補助，特此致謝。

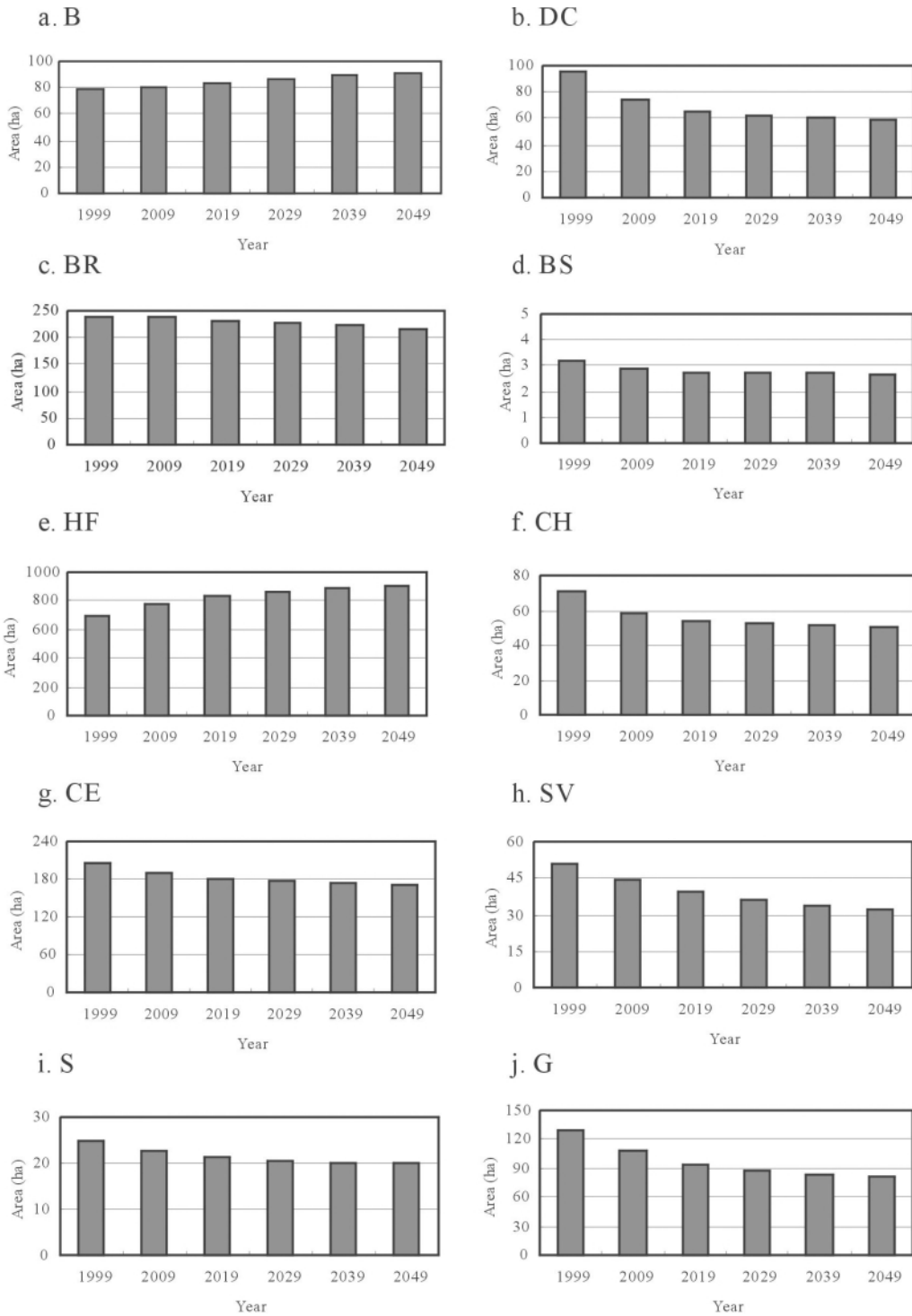


圖3. Markov模式應用於綠島地景動態之預測結果。

Fig. 3. Predictions of landscape dynamics of the Lutao Island using Markov model.

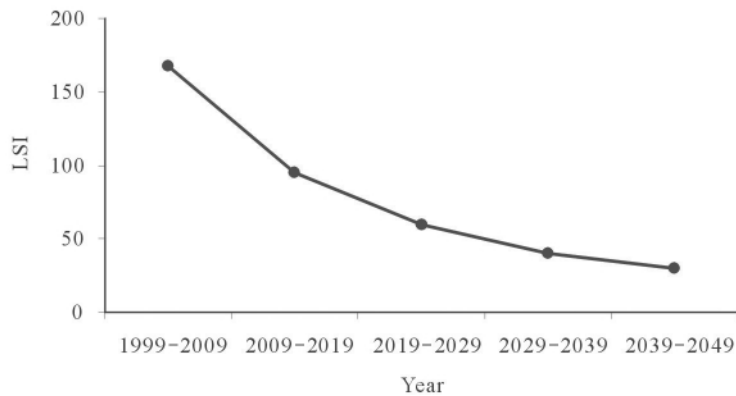


圖4. 綠島於不同階段之地景穩定性指標計算結果。

Fig. 4. A predicted trend of LSI for the Lutao Island.

引用文獻

- 甘偉航、陳財輝。1987。台灣防風林之經營。現代育林3(1): 3-25。
- 朱子豪。1994。新店溪流域土地利用變遷之調查分析。行政院國家科學委員會計畫成果報告。
- 吳英陵。1986。林木資源航測調查及其規劃之探討。航空測量及遙感探測 6-20頁。
- 林良恭、裴家騏。1999。台灣狐蝠的野外族群現況。特有生物研究1(1): 12-19。
- 陳永寬、吳守從。2001。應用馬可夫模式預測南仁山生態保護區地景變遷。台大實驗林研究報告15(4): 318-328。
- 諸葛陽。1989。生態平衡與自然保護。淑馨出版社。
- 鄭先祐。1992。生態環境影響評估學。徐氏基金會。
- 鄭祈全、吳治達、王素芬。2005。應用Markov和Logit模式監測地景變遷之研究。台灣林業科學20(1): 29-36。
- 羅紹麟。1983。台灣海岸防風林經濟效益之研究。中華林學季刊16(1): 25-34。
- 蘇鴻傑、何孟基。1982。蘭嶼、綠島風景特定區植物生態資源之調查與分析。國立

台灣大學研究報告。

- 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.
- Boerner, R. E. J. 1996. Markov models of inertia and dynamism on two contiguous Ohio landscapes. *Geographical Analysis* 28(1): 56-66.
- Goodman, L. A. 1968. The analysis of crossclassified data: Independence, quasi-independence, and interactions in contingency tables with or without missing entries. *Journal American Statistics Association* 63: 1031-1091.
- Hathout, S. 2002. The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. *Journal of Environmental Management* 66: 229-238.
- Lopez, E., B. Gerardo, M. Manuel and D. Emilio. 2001. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning* 55: 271-285.