

南華大學旅遊事業管理研究所碩士論文

A THESIS FOR DEGREE OF MASTER OF SCIENCES

DEPARTMENT OF TOURISM MANAGEMENT

NAN HUA UNIVERSITY

以生物多樣性為基礎之森林遊樂區景觀格局設計

**THE BIODIVERSITY PERSPECTIVE TO DESIGNING THE
LANDSCAPE OF FOREST RECREATION AREA**

研 究 生：周濟仁

GRADUATE STUDENT：CHI-JEN CHOU

指 導 教 授：許澤宇 博士

ADVISOR：CHE-YU HSUI Ph.D.

中 華 民 國 九 十 九 年 六 月

南 華 大 學
旅 遊 事 業 管 理
研 究 所
碩 士 學 位 論 文

以生物多樣性為基礎之森林遊樂區
景觀格局設計

研究生：周濟仁



經考試合格特此證明

口試委員：吳俊輝

王明智

許澤宇

指導教授：許澤宇

系主任(所長)：丁誌敏

口試日期：中華民國 99 年 6 月 29 日

南華大學旅遊事業管理研究所九十八學年度碩士論文摘要

論文題目：以生物多樣性為基礎之森林遊樂區景觀格局設計

研究生：周濟仁

指導教授：許澤宇 博士

中文摘要

本研究係利用生態學家對生物群聚之觀察，較高複雜度之棲地空間具較高之生物多樣性，進而提出一空間顯性數學模型，以科學量化之模式探討具較高生物多樣性之森林遊樂區開發景觀格局設計。在生物棲地空間複雜度之評估上則利用碎形維度(fractal dimension)作為衡量之指標，並提出一啟發性之演算法(heuristic algorithm)以求取森林遊樂區開發案之建議景觀格局。此外本研究並以模擬之方式討論在以生物多樣性為考量前提下，不同開發程度之森林遊樂區其所應保留之林木斑塊格局(patch pattern)，以供實務工作者及管理者之參考。

關鍵詞：生物多樣性、景觀生態學、管理科學、複雜度、碎形

Title of Thesis : **The biodiversity perspective to designing the landscape
of forest recreation area**

Name of Institute : **Department of Tourism Management, Nan Hua
University**

Graduate Date : **June 2010**

Degree Conferred : M.B.A

Name of Student : Chi-Jen Chou.

Advisor : Che-Yu Hsui Ph.D.

Abstract

The overriding objective of this research is to propose an explicit mathematical model to designing the biodiversity-based landscape pattern of forest recreation area. The core assumption of the model is based on the ecologists' observation that the higher spatial habitat complexity could possess the higher biodiversity. In addition, the concept of fractal dimension was applied as measure index to estimate the designated spatial complexity of habitat. Moreover, this study provides a heuristic algorithm to obtain the suggested landscape pattern for a forest recreation area. Furthermore, the simulations with different exploited rates of forest recreation area under biodiversity concern were also conducted; indeed, the suggested deployment of forest patches not only provide referenced guidelines for managers in practice, but serve a paradigm for the implementation of cross-disciplinary integration.

Keywords: biodiversity, landscape ecology, management sciences, complexity, fractals

目錄

中文摘要	I
Abstract	II
目錄	III
表目錄	V
圖目錄	VI
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	2
1.2 研究目的	7
1.3 研究流程	8
第二章 文獻探討	10
2.1 生物多樣性	11
2.1.1 生物多樣性定義	12
2.1.2 生物多樣性與人類關係	13
2.1.3 生物多樣性面臨的危機	14
2.2 景觀生態學	16
2.2.1 景觀生態學意涵	17
2.2.2 景觀格局的優化	19
2.2.3 人類活動與景觀生態學關係	21

2.3 碎形	23
2.3.1 碎形定義	24
2.3.2 碎形維度的相關研究	26
第三章 林木斑塊佈置建構設計與演算法求解	29
3.1 研究假設	29
3.2 符號說明	30
3.3 模型建構	32
3.4 求解程序	34
3.4.1 多階段優勢確保演算法	34
3.4.2 盒計法	37
3.5 數值算例	43
3.6 實務操作上之運用	52
第四章 討論及管理上之意涵	58
第五章 結論與建議	65
參考文獻	69
中文部分：	69
英文部分：	73

表目錄

表 3.1 盒計法求解維度過程中 b 與 $c(b)$ 之關係	41
表 3.2 分區開發策略下森林遊樂區建議佈置位址細胞座標點及相關參數	57

圖目錄

圖 1.1 在林木區塊總面積相等之前提下，不同之植生配置比較圖	5
圖 1.2 研究流程圖	9
圖 2.1 不同測量尺度下的海岸線	24
圖 3.1 森林遊樂區系統、位址細胞示意圖	31
圖 3.2 位址細胞所構成之位置向量示意圖	31
圖 3.3 佈置運算模擬過程	36
圖 3.4 盒計法求解碎形維度過程示意圖	39
圖 3.5 建議之盒計法最小網格尺寸 (box size) 示意圖	40
圖 3.6 盒計法求解案例 $\log(b)$ 與 $\log c(b)$ 關係圖。	42
圖 3.7 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 90% ，本研究所建議 森林遊樂區之林木區塊配置圖	45
圖 3.8 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率達 80% ，本研究所建 議森林遊樂區之林木區塊配置圖	46
圖 3.9 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 70% ，本研究所建議森 林遊樂區之林木區塊配置圖	46
圖 3.10 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 60% ，本研究所建議 森林遊樂區之林木區塊配置圖	47

圖 3.11 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 50% ，本研究所建議 森林遊樂區之林木區塊配置圖.....	48
圖 3.12 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 40% ，本研究所建議 森林遊樂區之林木區塊配置圖.....	49
圖 3.13 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 30% ，本研究所建議 森林遊樂區之林木區塊配置圖.....	49
圖 3.14 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 20% ，本研究所建議 森林遊樂區之林木區塊配置圖.....	50
圖 3.15 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 10% ，本研究所建議 森林遊樂區之林木區塊配置圖.....	51
圖 3.16 森林遊樂區預定之場址.....	52
圖 3.17 國家公園分區規劃模式.....	54
圖 3.18 森林遊樂區分區開發圖.....	56
圖 4.1 生物群聚隨機、規律、叢聚現象分布圖.....	60
圖 4.2 不同複雜度空間景觀格局比較圖.....	61
圖 4.3 運用經驗、主觀意識做林木配置與FRA模式演算下所建議之森林 遊樂區林木配置景觀比較圖.....	62
圖 4.4 林木斑塊佔景觀面積比例小於 60%數值算例圖.....	63

圖 4.5 林木斑塊佔景觀面積比例大於 60% 數值算例圖 64

第一章 緒論

台灣是一海島型國家，森林涵養這座島嶼，十六世紀葡萄牙人發現台灣後，直呼福爾摩莎 (Formosa)，意即美麗之島，就是讚嘆台灣這座森林滿佈的島嶼。隨著時序的變遷與時代的演進，森林土地漸漸受到人類的遷入與開發，由於當時對森林生態保育概念缺乏，許多原本存在山林間的生物消失了，景觀也改變了，人類這才警覺到為了滿足自己物慾的生活，犧牲了原本屬於大地的東西，恣意開發的種種的現象，造成自然生態的失衡，直到1970年代台灣林業的保育功能被突顯，全面禁伐成為趨勢，到1980年代末期，配合文建會提倡林業文化資產保育觀念，政府伐木正式劃下句點，台灣林業朝生態保育以及永續經營的多角化目標進行，此時林業的發展呈現嶄新的一頁（行政院農業委員會，民 95）。

對人類而言，地球上的景觀結構瞬息萬變，尋求新的知識與方法保存這片大自然，刻不容緩。因此本研究擬以生態保育為前提，建構一滿足森林開發亦同時兼顧最大化生物多樣性之林木配置之景觀格局設計之模型，以科學量化之方式，具體討論森林遊樂區之景觀設計議題。以下將就本研究之背景、動機、目的以及本研究之章節安排詳述如後。

1.1 研究動機

森林遊樂區(forest recreation area)一詞係來自於英語之直譯，其中recreation 一字含休養、休憩、休閒之意，深具使身心愉快舒暢(refresh of body and mind)之涵義(楊秋霖，民 93)。

森林資源兼具經濟、公益、生態、遊憩及健康效益，以觀光利用的角度來看，森林遊樂區之開發與整建對於提升台灣觀光事業有重大的助益。根據行政院農業委員會頒定「森林遊樂區設置管理辦法」中，第二條說明森林遊樂區設置目標強調以景觀保護、生態保育、生態旅遊、休閒育樂、環境教育自然體驗等為主體。所以黎孟修(民 91)指出森林遊樂區應有(1)合理的利用自然資源(2)具獨特性(3)具複合性(4)具服務性(5)時間依賴性高(6)具教育性功能等特點。學者楊宏志(民 94)指出林業經營是一種整合型的經營，即在探索生態環境、社會環境和經營環境的相互性，追求國民最大的生活滿足，以及最小的負面影響，並以永續經營為標的，多目標經營目前是森林遊樂區開發中重要的一環，因為森林遊樂區的開發不僅可以提昇國人生活品質，帶來許多社會實際利益，更能促進當地的觀光產業與經濟發展現象(Murphy, 2006)。

由於台灣特殊的島嶼地形，森林面積佔全島的58%，是孕育台灣陸棲生物之寶庫。據調查是世界上物種豐富度數一數二的國家，可說是北半球

生態系的縮影（林俊全，民 97）。但台灣之生物多樣性也正逐漸枯竭，據生物多樣性消失的原因在於棲息地的切割、劣化、喪失及不當使用自然資源。而前述之棲地切割、劣化或喪失，常導因於人為之不當開發；過去長久以來有關於森林的開發，因時空背景不同，大多數來自主事者本身的長期主觀意識與經驗，這種以經驗導向，尤其是以設計者主觀意識下之功能性取向景觀設計，並無法保證其所設計之森林開發能達到規劃設計者所追求之目標。根據楊宏志（民 94）整理過去在森林遊樂區開發建設方面的研究，著重於森林遊樂區土地使用分區及預定地選址評估，設計問題上主要考慮除了選址，即是區域面積之大小以及形狀之決定，因為森林中的空間性問題，常用森林區劃法安排，作業面積大小並無一定數之標準，最大可與事業區相等，最小應以能單獨經營永續作業為原則，這是以育林目的為劃分的方式(羅紹麟，民 94)。然而就以森林遊樂區之規劃而言，當前述之問題皆已做出決策後，接下來所須面臨實際之挑戰即是決定遊樂區內人為開發區塊之所在位置。換言之，所欲保留不開發之林木，其在平面空間上之配置位置應如何決定?始可使此森林遊樂區達到較大之生物多樣性。事實上，傳統之生物學、生態學或景觀學理論皆不容易對此問題提出答案，欲解答此類問題常需要長時間觀察和瞭解大範圍地理尺度的生態過程，實驗操作的可行性通常較低，因此

上述問題使得森林遊樂區設計開發之議題不易切入。

有幸的是隨著科技之進步以及其他領域學者持續關注此等議題，使得景觀格局之設計問題露出解決之曙光。由於景觀設計主要是探討人與自然間和諧保護的思想，因此想要瞭解自然環境背後所傳達出的訊息，成為首要的步驟，而景觀生態學的主要目的之一就是理解物種在空間分布所形成的結構。所以景觀生態學可以視為景觀生態規劃的一個重要基礎理論，並可以用來評估和預測生物、能量、和資源在環境中所呈現區塊的分布，經過規劃後對環境所產生的生態面之影響，這種規劃分布對大多數景觀生態格局和過程有重要意義。目前景觀生態學者已發現不同之景觀格局，尤其是棲地區塊的面積、數量及棲息區塊孤離度，會影響生物於潛在之群聚及多樣性（Molles, 2007）。因此圖1.1所呈現之概念即是本研究所欲探討的(亦即林木之配置或開發區塊之位置設計決定，以達我們所預設之目標)。



(a)



(b)

圖 1.1 在林木區塊總面積相等之前提下，不同之植生配置比較圖

備註：圖 1.1 (a) 林木區塊少但林木分布型態群聚為大且廣時，這樣的林木格局易於讓許多小型動物在此生存；上述各小型生態族群因為食物鏈而互相依存，使生物生態系統複雜，更有利於大型動物覓食與生存，符合生態金字塔分布。此外在圖 1.1(b) 林木格局則給予我們另外不同的看法，當森林面積叢集區域分散，小型生物因棲地範圍小，生物群聚不易發展；大型哺乳動物因棲地覓食不易且行蹤容易被掌握後遭受攻擊，滅絕性高；所以整個生物的分布型態趨於小型物種各自群集。

資料來源：修改自 Molles (2007)

景觀生態學為景觀生態規劃一個重要的理論基礎，而景觀生態指標又是幫助分析景觀生態中之結構、分佈格局的工具，利用景觀生態指標輔助進行景觀生態規劃的可能性，就是要以整體景觀尺度對景觀結構 (structure)、景觀功能(function)及景觀改變 (change) 三方面進行探討與模擬 (王敏先，民 93)。

要符合上述景觀指標就要透過數學模型，為甚麼需要透過數學模型呢？鄔建國 (民 92) 指出數學模型尤其是計算機模擬模型，在景觀生態

學研究中佔有十分重要的地位，並具有以下幾個重要作用：(1) 預測(2) 增進理解(3) 診斷現有知識中的漏洞與薄弱環節(4) 綜合(5) 支持管理與決策。學者Wiegert(1975)認為可透過虛擬實驗的模擬方式降低這些問題複雜性，以檢驗、評價和改進管理的情況。因此，運用數學模型以及電腦模擬被認為是管理生態系統一個有用的工具(Holling, 1980; Olson and Sequiera, 1995)。Green and Sadedin (2005)也指出模擬的方式就是一種模型，所有模型需簡化，數學模型是一種數學的思考方法，利用數學的符號和方法，建立能夠描述現況並解決實際問題的數學工具，模型能試圖捕捉系統中的重要觀點，將瑣碎的狀況排除。學者Grimm(1999)更認為一個模型可以幫助預測一個系統，卻不能夠準確地預測所有系統內的生態行為，在這種情況下，模型只是用來調查一般有關生態的過程，而不是一個特定的生態系統行為。經過驗證的模型可以模擬不同管理措施與自然力中對生態系統干擾或景觀動能結構影響，可說是管理與決策上有利的工具。

景觀生態學的發展為保護生物學與復育生態學提供新的理論基礎，物種的保護必然要同時考慮他們所生存的生態系統和景觀的多樣性與完整性，保護途徑並不是把整個景觀作為保護區，而是強調應用景觀生態學理論和原理設計自然保護方案(鄔建國，民 92)。所以郭瓊瑩等(民 91)

指出21世紀森林遊樂區永續規劃原則重要思考如下：(1) 生態倫理 (2) 生態完整性與生物多樣性 (3) 永續發展經營目標 (4) 資源再生循環再利用 (5) 生物與人類共生 (6) 專業團隊參與 (7) 數位科技應用與推展。人類對於環境的破壞是既定的事實，我們就得趕在棲地開發之前，運用科學化的開發模式，在僅存的土地上，為各式物種保留適合它們生存的棲地。將自然資源、或具特殊生態系與景觀的地區保護起來，提供適合的環境讓生物棲息繁殖，以確保生存其間的多樣化物種得以繁衍下去。國家森林遊樂區規劃勢必肩負起保護自然資源的基本價值，讓人類、生物與環境之間緊密結合，確保森林環境免於遭受無謂的破壞，這是一個值得我們運用科學方式深思與深入研究的嚴肅議題。

1.2 研究目的

過去以人為主觀意識的開發行為，造成許多森林景觀開發不合理化，據國內學者鄭祈全等（民 88）指出景觀森林開發格局中，碎形維度為監測森林景觀架構與景觀變遷之一可行指標，可提供林業人員從事森林景觀監測、規劃及分析之用。本研究將生物多樣性、空間複雜度與碎形維度這三方面相互關係的連結，提出在以生物多樣性為考量之前提下，不同開發程度之森林遊樂區應保留之林木斑塊格局(patch pattern)，期望提供生態實務工作者及景觀規劃管理者，建構一個適合於森林遊樂

區開發建構模式之參考。

1.3 研究流程

本研究內容分為緒論、文獻探討、演算法求解、討論與管理意涵、結論與建議等五個部分。首先緒論部份確定問題背景、研究動機與目的。第二章為蒐集生物多樣性、景觀生態學與碎形相關文獻。第三章則以前述之相關文獻建構一最大化生物多樣性之森林遊樂區景觀格局設計數學模型，此外本章並提出該數學模型之啟發式解法以及數值算例以供參考。接著，第四章則對本研究主題之管理意涵進行討論與分析；最後本研究提出相關建議與未來研究方向，以供森林實務工作者參考。而研究流程如下圖 1.2。

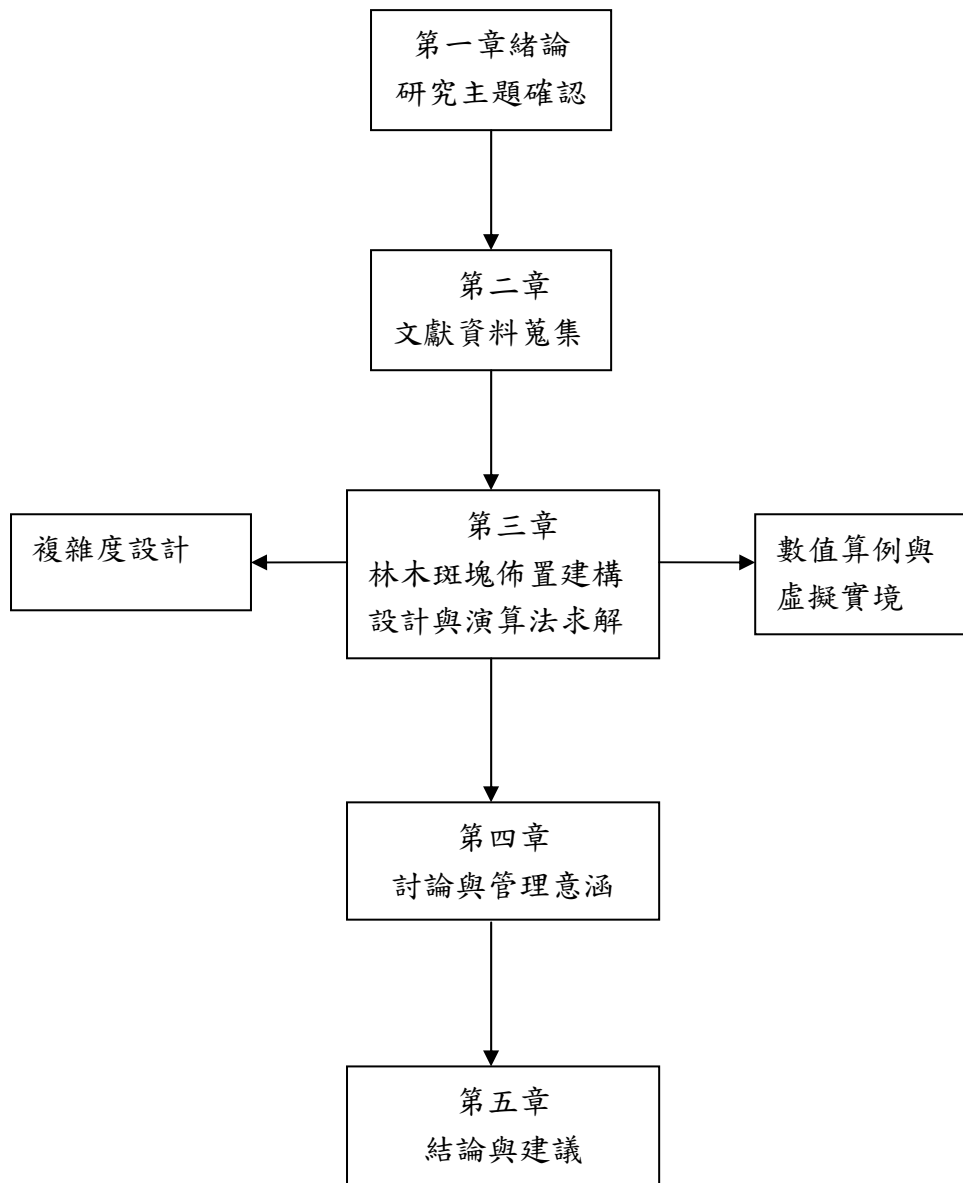


圖 1.2 研究流程圖

第二章 文獻探討

森林遊樂區是一個具有普遍性機能與價值的場域，從森林遊樂區之劃設階段至經營階段，必須透過不斷的檢視與修正，才能達到一般性目標。由於現階段公共自然資源保育意識抬頭，國家森林公園的資源管理問題也變得複雜許多，因為現今人類對森林的觀念不僅僅止於伐木功能，還包括生態、教育、科學研究等等，對於自然保育的要求也就更多 (Snyder et al., 1997)。

根據楊宏志(民 94)彙整過去相關文獻指出，過去有關森林旅遊與規劃方面的研究，國內學者多以探討森林遊樂區之生態環境，觀光與林業政策、遊客遊憩體驗與旅遊行為對當地環境衝擊為主。至於在森林遊樂區的土地利用與規劃方面，很少以大尺度景觀生態方式來具體呈現與探討，比較常見的研究方式是運用地理資訊系統、全球定位系統與遙測為主體，長期觀察與監測森林地景之變化情形 (趙羿等，民 92)。

在國外，行動研究技術則被運用在國家森林行動管理計畫中，但是早期這些森林開發計畫通常只考量到單一資源、單一目標，忽略整個環境空間影響效應。換言之，規劃精確的開發面積並未納入考量，伐木開發會對週遭非開發區生物資源產生不良影響，所以需要一種模式來規劃開發面積與範圍，以免傷及無辜的生態資源 (Snyder et al., 1997)。森林

最寶貴的資產就是生態，相關單位與業者該試著如何運用森林遊樂區中的自然與生態資源，結合週邊相關服務性設施，以發揮森林寓教於樂之功能，提升森林遊樂區國土保育與整體永續發展。

本章共分成參小節，首先探討生物多樣性在人類生活中扮演的角色；其次將景觀生態學蓬勃發展與生物多樣性的關聯加以說明；最後結合科學量化之方式提出空間顯性數學模型，將碎形維度(fractal dimension)應用在生物棲地空間複雜度之評估上，為具較高生物多樣性之森林遊樂區，開發景觀格局設計，作一完整性探討。

2.1 生物多樣性

生物多樣性(biodiversity)指的是地球上所有生命的形式，包括基因、生物及生態系的多樣性。森林資源具稀少性、不可替代性，可再生性及可復原性，資源一旦遭受破壞，短時間內無法回復原狀(薛怡珍、賴明洲，民 89)。探討生物多樣性不僅是對於單一或多物種的保存，更要考慮到生物棲息地的問題，而生物豐富度(biological richness)是其中最重要的關鍵因子，也是目前生態經營管理者最有興趣的議題(陳朝圳等，民 94)。地球上的生命，在歷經億萬年的演化過程中，已經在多樣性的架構上建立了互相維持的基礎。人類日常生活中所需的衣、食、住、行、育樂、

休閒等，直接或間接與生物多樣性息息相關。

2.1.1 生物多樣性定義

生物多樣性又稱生物歧異度或生物龐雜度，是指在一定空間範圍內，各種動、植物結合在一起的總稱。哈佛大學演化生物學家Edward O. Wilson於1986年將biological diversity 合併為biodiversity，並將其定義為：包含所有層次，從基因、物種到生態系內的各類型生命。有關於生物多樣性的定義在文獻上討論多，加上人類對生物認識的遞增，對生物多樣性的定義，也隨著時間輪動而有所更改。其中最廣泛為人所接受的是生物多樣性公約（Convention on Biological Diversity, CBD）所下的定義：生物多樣性係指生物體間之變異性，其來源包括陸地、海洋與水生生態系統，及其所構成的生態綜合體，這些包括物種內部、物種之間和生態系統的多樣性（Gaston & Spicer, 1998）。國內學者趙榮台（民 90）亦提出多樣性一般係指物種豐富度，也就是物種的數目，我們可以從不同的尺度來考慮多樣性，一般常說的有阿爾法（ α ）多樣性、貝他（ β ）多樣性、伽瑪（ γ ）多樣性，而其中貝他多樣性，亦即探討草地與森林間的對比變化及地景中的多樣性，即為本研究所欲探討之主題。

生物多樣性的組成又可以分為遺傳多樣性(genetic diversity)、物種多樣性(species diversity)和生態系多樣性(ecosystem diversity)。學者林曜松

(民 88)亦指出生物多樣性指的是地球上千萬種動物、植物、微生物，和它們所擁有的基因，以及由這些生物和環境所構成的生態系。因組成層級不同，小至分子、基因、細胞、組織、器官、個體、大到族群、群落、生態系等，只要有生命現象存在的地方，從森林、草原、河川、濕地、陸域到海域等，都是探討生物多樣性此議題涵蓋的範圍。因此當我們在檢視某個區域的生物多樣性究竟是否豐富或貧乏時，都可以透過這三個層次中的任何一個層次來檢驗。

2.1.2 生物多樣性與人類關係

生物多樣性若不與人類息息相關，人類就不會去重視它，生物多樣性對人類有多重要呢？簡單來說，生物多樣性就是一切生物生存的基礎，舉凡有生命以來，生命與周遭，生命與生命個體間，彼此便互相牽連，形成各式各樣的生命形式於多種生態系統中(林佑倍，民 94)。生物多樣性是人類賴以生存的自然資源總匯，在多樣性的生態體系中，生物體間、生物和環境間交互作用，共同維持自然界的生態平衡。林曜松(民 88)指出生物多樣性為人類提供食物、醫療、工業原料等，並且維持生命系統的穩定，如水文、土壤、氣候調節。其實生物多樣性帶給人類很大的便利。在2000年臺灣生物多樣性國家報告草案裡，提出生物多樣性的價值包括有四大類：一、文化、倫理與美學價值。二、科學與教育價值。

三、經濟價值。四、生態價值。在2001年農委會的「生物多樣性推動方案」中也是以上述這幾個面向去談生物多樣性的價值。

林曜松、趙榮台（民 94）論及生物多樣性與人類關係時提到，它是人類賴以生存的環境基礎，對人類的貢獻可從三方面來看：（1）維生體系的基礎：生物物種與自然環境間之互動，提供了人類賴以生存的生命維持系統，其功能如：保護土壤、促進元素循環、穩定水文、調節氣候、以及維持生態系統的演化過程等（2）健康與經濟：生物之多樣性為人類提供了食物、醫藥、生物科技與工業原料等健康與經濟資源（3）啟智與育樂：在人類歷史上，生物多樣性在人類的科學、教育、美學、社會文化、休閒娛樂、心靈創意等各方面扮演著重要的角色。因此，生物多樣性實為人類生命與生存的基礎。

2.1.3 生物多樣性面臨的危機

生物多樣性是近十年間最受矚目的環境議題，越來越多的證據指出，一個地區的生物多樣性與該區域人為的影響有關，人類經濟活動帶來物種生存空間破壞導致物種滅絕，影響的不僅是這些生命，也包括身在其中的人類（林佑倍，民 94）。

在台灣生物多樣性逐漸消失的主要原因可以分為自然因素及人為因素。自然生態系因為具有強韌生命力，能自行更新復原，不致形成無法

恢復的局面。自然力只是擔任生態系中干擾因素，亦是維持生物多樣性的正向力。但在人類破壞生態環境下，使得這些自然力的角色產生變化，由原本的干擾者或維持者逐漸轉為終結者角色，使生物多樣性在短時間內大量消失。

人為因素方面追根究底就是開發所造成的棲地破壞劣化，人類活動範圍內，適合生物棲息的環境多呈隔離的切割地，這些破碎化的棲地已不適合大型動物生存，僅存小型動物。其中生物最適宜居住的低海拔地區，因高密度都市化及農林開發，嚴重地破壞了生態環境與生物棲地，尤其是大面積林地開墾的高爾夫球場。中高海拔地區也因為橫貫公路及其支線的開發，果樹、高冷蔬菜區的開墾、高山茶葉與遍地種植的檳榔樹，更是造成台灣生物棲地破壞的主因。而這些棲地的開發，已經不再像古代是為了解決基本生活物質之所需，而是在滿足人類奢華的生活行為。生活在其中的人類，因不正確的生活態度或習慣，不停地破壞破碎棲地上的生態，造成破碎棲地環境日漸惡化，進而壓迫其他生物的生存空間，才造成生物多樣性的逐漸枯竭。

生物多樣性保育的科技在近年突飛猛進，森林面積大小與物種豐富度和物種滅絕速度密切的關係，保護森林不僅保護生態系多樣性，也保護棲息其間的物種，即保護了物種多樣性和遺傳多樣性。不然生物多樣

性的劣化一定難有轉機 (Molles, 2007)。不過，要充分保育生物多樣性絕不能只靠科技，非科技的因素可能更為重要。我們每個人對生命所抱持的態度似乎才是生物多樣性能否持續的關鍵，人是唯一有智慧、有能力管理這個世界的萬物之靈。相對地我們也應當謹記，人類並不是大地的主人，我們只不過是大地的管家，要懂得量入為出，不為所欲為，反省我們的態度，重新定位我們的角色，並透過社會的覺醒，生物多樣性才可能長久持續。

2.2 景觀生態學

研究生物與環境之間的關係，是人類長期以來行為，從上一章探討中我們了解生物多樣性與人類衣食住行息息相關，在地球上，不同的生物不是獨立散佈，而是適應該地區自然環境而出現的生物組合，這個組合也就是生物群落，群落中的物種在空間中分布形成不同的結構。就成為景觀生態學討論對象。

景觀生態(Landscape Ecology)的概念最早是由一位德國的生物地理學家Carl Troll 在1939年提出，他將景觀與生態相結合，把地理學上的空間性、平面性方法與生態學功能性、垂直性方法相結合，同時將空間與時間的概念相結合，產生景觀生態的概念(趙羿等，2003)。人類之所以能

夠生存下來靠的就是觀察環境的變異，生物的生存與景觀息息相關，景觀結構影響景觀內生態系之間的諸多過程 (Molles, 2007)。開發所造成的影響關係到人類生存，了解改變景觀會對人類與生物生態系之間產生何種影響，有助於科學家對景觀規劃、管理、保護，並為生態復育提供有效解決方式。

2.2.1 景觀生態學意涵

景觀 (landscape) 是人們在日常生活中會常遇到的觀念。具有多重字義的詞彙，基礎理論主要來自生態學、地理學、土地植物學與土地管理的學科。以地理學上的解釋為地球表面氣候、土壤地貌生物各種成分的綜合體，就景觀生態學 (landscape ecology) 來說則強調空間上不同生態的聚合，一個景觀包括空間上彼此相鄰，功能相關，有一定特點若干生態系統的組合，是生態學中最年輕的分支 (趙羿等，民 92)。

景觀是一個具有高度空間異質性的區域，彼此間相互作用並以一定的規律組成。Forman & Godron (1986) 將景觀定義為由一組以相類似方式重複出現的，相互作用的生態系統所組成的異質性陸地區域。景觀生態學是以整體景觀尺度對景觀結構 (structure)、景觀功能 (function) 及景觀改變 (change) 三方面進行探討，而構成景觀生態分布組合的景觀要素其型態與功能可劃分為嵌塊體 (patch)、廊道 (corridor) 與基質 (matrix)。

其中嵌塊體係指一個較均勻分布的地區，與周遭地區（即基質）呈現不同的性質；廊道係指具有與相鄰土地不同特質的狹長地帶；基質則是指嵌有異質物體的同質物體，是景觀中最具連續性的部份（景貴和，民 82）。學者肖篤寧（民 92）並將其歸納為以下九個方面討論：（1）土地鑲嵌與景觀異質性原理（2）尺度制約與景觀層序性原理（3）景觀結構與功能的聯繫和反饋原理（4）能量和養分空間流動原理（5）物種遷移與生態演替原理（6）景觀穩定性與景觀變化原理（7）人類主導性與生物控制共生原理；（8）景觀規劃的空間配置原理（9）景觀的視覺多樣性與生態美學原理。不同專業背景之學者對景觀生態學的定義及著眼點不盡相同，但皆認為景觀生態學乃結合不同領域對景觀進行研究。

根據前述之研究，景觀生態學是景觀學與生態學之間的交叉學科，它以景觀為對象，通過能量流、物質流、物種流及信息流的交換，研究景觀的空間結構、內部功能、時間與空間的相互關係及時空模型的建立（王敏先，民 93）。其中的生態學與景觀生態學雖無明顯的分界，但仍有其相異之處：（一）生態學並不受到尺寸大小、地域的限制；但景觀生態因較著重於土地單元，所以會有面積、地域上的限制。（二）生態學的研究領域雖不排除人類的活動，但事實上其研究成果常忽略了人的存在（Thorne & Huang, 1991）。

所以基本上景觀生態學是借助其他相關學科的理論來豐富自己的學科，並作為其理論基礎，然而在景觀生態學發展過程中，也形成自己獨有的理論系統（趙羿等，民 92）。所以鄔建國（民 92）指出強調空間格局、生態學過程與尺度之間的相互作用就是景觀生態學的核心所在。

2.2.2 景觀格局的優化

景觀結構決定景觀功能，景觀功能又反作用於景觀結構，透過對景觀結構指標的分析與功能特徵的探討，可以深入瞭解景觀空間格局和生態過程相互作用的機制，對於研究景觀異質性和生物多樣性具有科學管理意義（趙羿等，民 92）。

在過去二十多年來，景觀生態學不論是在理論及應用，均有長足之發展(Wu, 2007)，且在諸多實證研究下，其結果均顯示空間格局(Pattern)對生態過程(Processes)具有很大之影響(Turner, 1989; Wiens et al., 1993)，也因此促使景觀生態學領域內發展出諸多量化景觀格局之指標(Plotnick et al., 1993)。但它們本身對不同景觀特徵和分析尺度的回應及其生態學意義尚不是很清楚。如何把景觀指數與生態學過程聯繫在一起這一基本問題在很大程度上尚未解答。

尺度變化對景觀指數的影響往往是很顯著的，最近的一些研究表明，某些景觀指數表現出不隨景觀類型變化的普遍性尺度推繹規律，而

大多數則變化多端 (Wu, 2007)。如何確定景觀指數值化的統計學或生態學顯著性？是否該如何去製定一系列標準以提升景觀指數選擇和用其進行環境變化監測的規範化？如何發展一些能反映社會、文化、生態多樣性及異質性的整合型指數？對上述問題的回答需要理論與經驗途徑相結合。要使景觀指數成為真正反映景觀格局與過程相互關係的指數，我們必須透過指數的數字外表而理解其生態學內涵。這就需要對格局與過程間的內在關係及機制做更多更深入的研究。

其實景觀生態學的一個最基本假設是空間格局對物流、能流和訊息流具有重要影響，其過程也會創造、改變和維持空間格局，就實際發展面而言，景觀與生態其實是相對的概念，從區域整合觀點尋求有利資源並作最佳化利用，更有機會達到整體提升之目標。因此景觀格局的優化問題在理論和實際上都有重要意義，也是未來景觀生態學發展的重點(鄔建國，民 92)。這裡所說的格局優化其實就是最佳化的概念，可以指土地利用格局的優化、景觀管理、景觀規劃與設計的優化。

與此相關的科學問題有：如何優化景觀中綴塊組成、空間配置以及基底特徵，從而最有利於生物多樣性保護、生態系統管理和景觀的可持續發展？是否存在可以把自然與文化最合理地交織為一體的最佳景觀格局？基於生態學過程來研究景觀格局的優化問題可能是一個新的、頗有

前景的研究方向。Hof & Flather在2004年指出傳統的運籌學方法對開展這類研究可能遠遠不夠，其他方面的理論與方法有必要發展，不同領域科學家與實踐者需要參與，透過景觀生態學之研究可讓我們更進一步了解棲地之組成配置對生物群聚之影響。

2.2.3 人類活動與景觀生態學關係

現在景觀生態學的一個重要任務，就是深化地景生態系統空間結構分析與設計，發展區域生態學的方法和理論，使人類能有效的去對某一區域，進行規劃、組織和管理的生態建設（Dramstad et al., 2001）。當今世界人類所不能涉入的廣大區域已日益減少，人類現今對景觀進行分類，可以劃分為管理景觀、自然景觀與人類文明景觀3大類。

管理景觀即「人工—自然景觀」是當今世界環境的主體，是景觀生態學研究的重點。因為管理科學的進步，當今世界不受人類活動影響的自然景觀為數甚少。森林、農田、牧場、溪流、海洋等等都屬於管理景觀。在環境結構高度影響物種多樣性之下，景觀作為動態綴塊鑲嵌體，在空間上與時間上都表現出高度複雜性，景觀生態學在理論與方法發展方面，有必要藉助複雜性科學，生態系統的複雜性源自於時間與空間的異質性和大量組分間的非線性相互作用（鄔建國，民 92）。一地區中生物棲息環境變化多，表示該地區生物的數量、種類也多，生物彼此間由

食性關係所形成的食物網也愈錯綜複雜。

對景觀生態學來說，研究沒有一個固定確切的尺度，必須基於研究問題或研究目標來選擇尺度，在選擇辨識一個適當的尺度是富有挑戰性的，所以從 1980 年代起，學者紛紛提出景觀生態的基本原理，包含空間格局、生態過程、時間尺度、異質性干擾與對流、變化格局、對自然資源的管理框架 (Risser et al., 1984)。Forman & Godorn (1986) 從生態學、生物地理學、自然地理學中提出 7 條基本原理。Forman (1996) 在研究景觀與區域生態時更提出了 12 條基本原理，分屬於生態學基本概念、結構、功能、動態與利用作進一步解釋，所以景觀生態學涉及到多種生態學過程 (趙羿等，民 92)。

另外景觀生態學的觀點已在融入景觀規劃和設計的有關理念中，運用景觀生態學原理指導規劃與設計可減少或避免不合理的土地和資源利用狀況，Molles (2007) 提及當環境的複雜性與異質性增加時，物種多樣性隨之增加。景觀中綴塊面積的大小、形狀以及數目對生物多樣性和各種生態學過程都會有影響 (鄔建國，民 92)。

歐洲的景觀生態學一直把人類及其活動視作景觀整體的一部分，近年來「整體論景觀生態學」(holistic landscape ecology) 再度得以提倡 (Naveh, 2000)。這一觀點強調用系統學的觀點把人文系統與自然系統

聯繫起來。要把人類感知、價值觀、文化道統及社會經濟活動結合到景觀生態學研究中需要多學科交叉，需要基礎研究與應用實踐的結合。這種結合必須付諸實施，而不僅僅是一種時髦的空談。然而，儘管現下有一些理論和方法，把人類和人類活動整合到景觀生態學中將是生態學家和其他相關領域的科學家在新世紀的最大挑戰之一。

2.3 碎形

自然界中充滿不規則形狀，樹木、森林、田野、海岸線等，景觀生態學討論自然界中生物生態分布情況，屬於不規則分布的區塊，很難用傳統數學理論來解釋這些現象，但碎形幾何學的出現，結合電腦正是解決這方面問題的利器，碎形是一門新數學，它能夠處理不規則、無定形且複雜的圖形，如樹木的分枝、海岸線、動物的犄角、河流分叉、山勢、閃電等形狀，如用我們所學的傳統歐氏幾何學，無法說明這些特殊的形狀，但是這些外觀上極不規則的自然界複雜型態，都能夠以碎形幾何來予以解釋，此外碎形在工程研究上亦有多項的研究成果，如通訊上雜訊之描述、電腦圖之資料壓縮、音樂樂曲上之描述、機械現象振動描述，有了碎形的知識與相關語彙，我們就能輕易地製造它們、模擬它們（廖思善，民 95）。

2.3.1 碎形定義

碎形為fractal 一字的中譯名稱，也有一稱為分形，原意係指一切不規則的、分數的及支離破碎的物體，廣泛的運用在數學與物理學之中。在約1970年代左右，數學家 Benoit Mandelbrot 在一篇「英國的海岸線有多長？」論文中提出了這個簡單又令人疑惑的問題，等於是去估算海岸線周長的問題，然而結果告訴我們，估計複雜形狀周長，得視測量儀器大小而定，如圖2.1所示，用不同的測量工具所得到的海岸線長度大不相同。

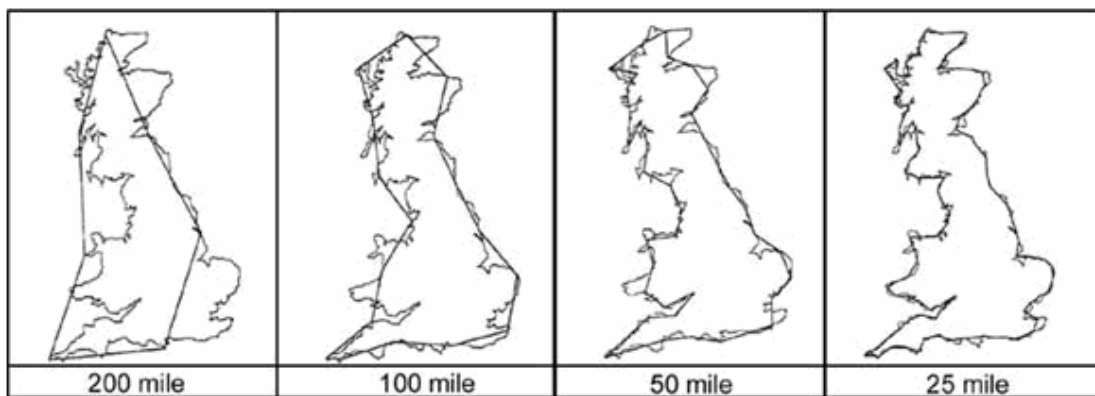


圖 2.1 不同測量尺度下的海岸線

備註：當使用大單位測量海岸線時其測量結果會比運用小單位測量短。

資料來源：Bovill，（1996）

Mandelbrot是一位數學家，試圖將自然界中非定形物加以定量化，所以他提出碎形維度觀念指出自然界的物體與數學概念上的隨機集 (random sets)，具有所謂的「統計上之自我相似性」，也就是在不同的尺度下，其形狀可視為在統計觀點下原有圖形之縮小自我相似性和尺度無

關為構成碎形的主要條件。

碎形幾何和傳統歐氏幾何，兩者差別在於：一、歐氏幾何是基於大小或尺寸的特性來決定之，而碎形幾何則不須大小或尺寸設定上之指定。二、歐氏幾何適合於人工造型形式，而碎形幾何則比較適合描述自然界中的形式。三、歐氏幾何是以方程式的形式來描述，但碎形幾何則是以不斷重複再重複循環來描述現象之差別。

整體而言，碎形是由以下四項特性所定義：(一) 自我近似，(二) 碎形維度，(三) 渾沌的動態性，(四) 無限的延展性。碎形維度 (Fractal dimension) 是碎形理論用以表達空間分數維度的重要指標，利用碎形維度值的高或低，可以清楚表達出地物形狀或空間分佈的型態 (林峰田，民 80；Batty and Longley, 1994; Berube and Jebrak, 1999)。碎形維度(fractal dimension)的理論提出後可以有效地將簡單幾何關係量化目標屬性於尺度中的變化，此乃因為碎形維度可視為一很好的評估空間複雜度指標之工具(Mandelbrot, 1983, 1989, 1990; Barnsley, 1988)。

目前碎形維度計算比較常用的有下列三種方法(Batty and Longley, 1994; Kenkel and Walker, 1996)，分別為：等步進法 (Structured Walk Method)、面積/周長法(Area-Perimeter)、盒計法 (Box Counting Method，BCM)，前兩項方法對於物體的形狀有高度的測量能力，對空間偵測力則

較為薄弱（李介中、蔡博文，民 94）。然盒計法雖然對於物體形狀的偵測能力較其他兩者低（Berube and Jebrak, 1999），卻可應用在空間分佈之研究，此外由於盒計法之基礎乃建立於自體相似維度上，因此具有可應用於缺乏嚴格自體相似(Strict Self-Similar)性質時之優點（Morse et al., 1985），換言之，盒計法在這三種中方式屬於比較適合表現空間分布特性的維度計算方法。

三十年間，碎形幾何，與混沌理論，複雜性科學共同匯合，試圖解釋過去科學家們所忽略的非線性現象及大自然的複雜結構，亦把觸角伸入除了物理、化學之外的生理學、經濟學、社會學、氣象學，甚至於天文學所談及的星體分布。

2.3.2 碎形維度的相關研究

因為碎形理論（fractal theory）是複雜科學中新興的一門學科，可以模擬自然界地景或生物群聚現象，近年來以碎形性質研究自然地景及族群之主題日漸受重視，由於需要大量的數學運算，研究碎形必須藉助於電腦科技的進步將碎形理論融入電腦系統中運算，加上 GIS 軟體的發展，結合各種複雜計算的方法，對於空間分佈型態的定量有深厚的幫助（李介中、蔡博文，民 94）。

國內從1990年代起就有學者將碎形理論應用於各項研究且效果成

著，就前人運用簡述如下。在大尺度空間與景觀生態研究中，首推鄭祈全等(民 88)在六龜林試所探討森林空間變化與時間變遷情形中指出碎形維度為監測森林景觀結構與景觀變遷之一可行指標，並可供林業人員從事森林景觀監測、規劃及分析之用。

鄧東坡、林裕彬(民 90)研究中六縣市之建成地，以碎形維度值判斷發現當維度值越高，都市發展程度越低，都市化程度越高的地區，因為人為因素影響，建築區排列整齊複雜度低，碎形維度則相對變低。

呂慧穎(民 90)以景觀生態觀點描述景觀空間樣式，並以台北市文山區為例，利用碎形維度分析不同相片網格資料解析度之空間資料，觀察碎形維度值的差異，以了解碎形維度在都市中對於景觀空間的意義，其結果發現，以歷時面向觀測，年代越近，全區及各分區之碎形維度值越高。以共時面向觀測，各分區之聚落影響區面積與碎形維度成正相關，都市化程度高則碎形維度高。

林裕彬等(民 90)以景觀生態學結合地理資訊系統，利用線性法與信息理論，推估桃園縣蘆竹鄉之農田景觀生態異質性、優勢度與多樣性。在景觀多樣性與稻田景觀碎形分析中顯示，都市化程度高之地區景觀多樣性高、碎形維度高而優勢度低，且農田稻作面積相較於都市面積比例小，表示當土地利用被分割越多，景觀多樣性越高，碎形維度也越高，

其優勢度也就越低。

陳亮瑜（民 91）利用盒計法，計算台灣地區各縣市建成地之網格維度並與一般常用來分辨都市空間分佈的社經指標來做討論，結果發現碎形維度與人口密度跟道路密度兩項呈現高度相關，故碎形維度可以輔助傳統討論地理空間分佈的方法，使研究學者對空間分佈的形態更淺顯易懂。

李介中、蔡博文（民 94）提出應用碎形理論於臺灣建地空間型態與地形關係之研究，利用碎形理論發展的碎形維度探討臺灣建地的空間分佈型態，且能減少不同資料間的精準度差異，但在平面上的碎形維度值應介於0~2 之間，而非1~2。

汪立本（民 94）應用多重碎形理論於雨量預測之研究此研究試圖提出應用多重碎形理論於雨量預測方面的方法，以歷史雨量資料的分析為出發點，藉由延伸Gutierrez 和Rodriqueze（2000）的結果，求解最佳化問題的方式，反推出決定雨量的疊代函數系統。並依照此方法的特性，設計雨量預測之架構，許澤宇（民 97）複雜度觀點下之最佳化空間佈置，探討人工棲地設計與應用，由此可見碎形理論廣泛運用於生態、地景、海洋、雨量預測等之自然世界中。

第三章 林木斑塊佈置建構設計與演算法求解

3.1 研究假設

本研究首先假設所討論的森林遊樂區場址(site)、規模大小為已知，且景觀格局的佈置係在一矩型之空間內進行，而該空間之地形、地貌高低起伏則不列入考量，換言之，本研究僅就選址後討論森林遊樂區之景觀格局平面配置；第二，本研究不考慮人為砍伐所需之林道(廊道)，雖然人為干擾之林道會將森林景觀分割成更多的區塊，進而造成景觀格局之破碎，然而根據鄭祈全等人(民 88)的研究指出，單純之林道作業對森林景觀格局之影響有限，因此暫不考慮；第三，為配合後續模型之求解，本研究視人為開發後之非植生部分(如建築物、苗圃用地、裸露地、或崩坍地等)為森林景觀格局中之基質(matrix)，至於天然闊葉林等植生部分則視為景觀要素中之區塊(patch)，以將森林遊樂區之開發(伐木)問題轉換為植林問題。第四，本研究假設所討論之森林遊樂區範圍內具均質(homogeneous)之林相，亦即植生部分皆屬同一種林型(如天然闊葉混合林)；第五，雖然影響森林景觀之參數有林型區塊大小、區塊形狀、區塊分佈位置(亦即配置)等，本研究僅專注於討論不同區塊佈置位置所致之效果。

3.2 符號說明

FD : 碎形維度值

b : 在盒計法之網格系統中將所欲設計的景觀佈置系統(森林遊樂區)於水平及垂直方向各切割成 b 等份；

$c(b)$: 在盒計法之網格系統中有被林木區塊佔據之網格數；

D_l : 所欲設計之景觀佈置系統(森林遊樂區)的長度；

D_w : 所欲設計之景觀佈置系統(森林遊樂區)的寬度。

N : 在景觀佈置系統(森林遊樂區)中，所欲佈置之林木占系統內位址細胞之總數。

A_k : 為位址細胞 (site cells) 所構成之位置向量集合，

$A_k = \left\{ (i, j) \left| \begin{array}{l} \forall i = 1, 2, \dots, m_k \\ j = 1, 2, \dots, n_k \end{array} \right. \right\}$ 。所謂位址細胞係指所欲設計之景觀佈置系統

(森林遊樂區)經執行空間離散後所形成之網格，如下圖 3.1 所示。其

中下標 k 指的是兩相鄰位址細胞(網格)中心點的距離，亦即系統在空

間離散過程中所設定之切割尺度。至於 (i, j) ，則為位址細胞之位置向

量； i 代表的是由最左往右算第 i 排網格行(column)，而 j 則代表由最

底一列往上推算之第 j 排網格列(row)。 m_k 為景觀佈置系統在設定切割

尺度為 k 之情況下，系統之水平方向所能切割而得之等份數，為 $\left[\frac{D_l}{k} \right]$ 。

同理， n_k 為系統在垂直方向所得之切割等份數，為 $\left[\frac{D_w}{k} \right]$ 。位址細胞所

構成之位置向量集合可參見示意圖，圖 3.2。

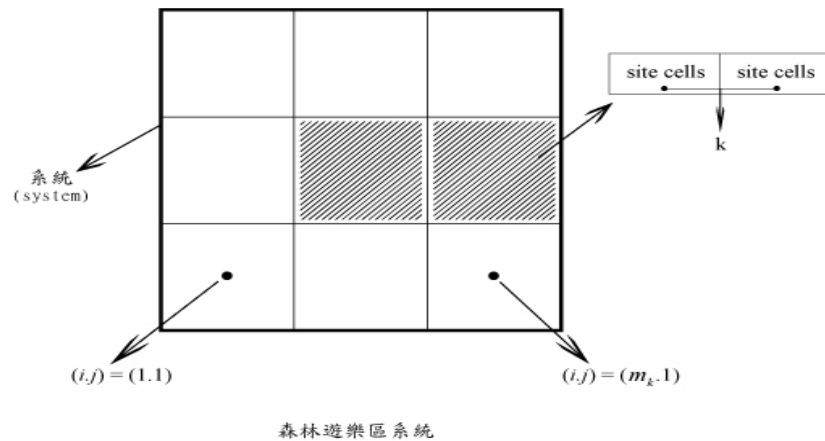


圖 3.1 森林遊樂區系統、位址細胞示意圖

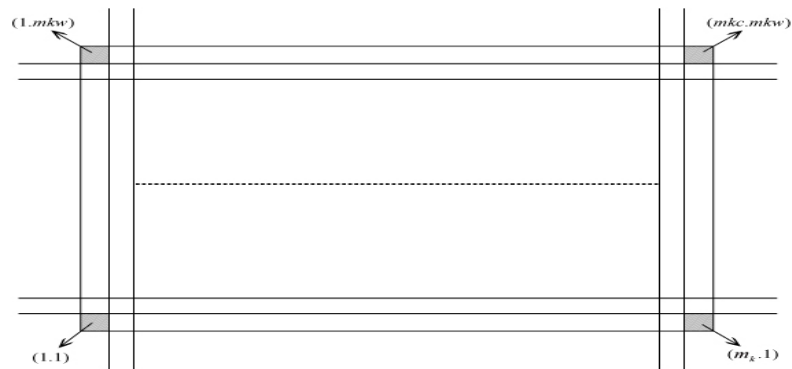


圖 3.2 位址細胞所構成之位置向量示意圖

B_k ：景觀佈置系統中不可佈置林木(例如為河流)所構成之位址細胞位置
向量集合；

J_k ： $J_k = A_k - B_k$ ，景觀佈置系統中潛在可供佈置林木之位址細胞所成之位

置向量集合；

X_k :在以 k 為兩相鄰位址細胞中心點距離之情況下，由 N 個於系統內已佈

置林木之位址細胞所組成之位置向量， $X \in (s_1, s_2, \dots, s_N) \forall s_i \in J_k$ 。

$[h]$:取 h 之高斯值，且為整數。

3.3 模型建構

本章節主要描述森林遊樂區景觀格局之佈置設計。所提出之數學模型簡稱森林遊樂區規劃配置模型 (forest recreation area model, FRA model)。事實上本研究所欲探討設計的是孕育具生物多樣性潛勢之森林景觀，然生物多樣性之概念與空間景觀之設計在過去並無可供討論的平台，因此在這方面的相關研究可說是付之闕如。直至景觀生態學開始發展後始能有足夠之資訊串起彼此之聯結。景觀生態學之文獻指出，景觀之空間配置複雜度與生物多樣性之關係呈現正向的變化；因此 FRA 數學模型所追求的目標雖為最大化生物多樣性，實為最大化佈置系統之空間複雜度。然而空間複雜度亦屬一抽象不易量化之概念，迄 Mandelbrot (1967) 提出碎形維度 (Fractal dimension) 概念後才初步解決複雜度定量的問題。因此本研究之目標可以表示為 $\text{Max Biodiversity} \xrightarrow{\text{transform}} \text{Spatial complexity} \xrightarrow{\text{transform}} \text{Fractal dimension (FD)}$ ，換言之本模式所考慮之目標函數

已轉換為 Max FD (如方程式(1)所示)，而決策變數為林木之佈置配置 (configuration)；至於碎形維度之計算，本研究則採用廣為人知之盒計法 (box-counting method, 簡稱 BCM) (Buckzkowski et al., 1998)，此乃因該方法具有可計算架構物缺乏嚴格自體相似性質 (Strict self-similar) 之優點 (Morse et al., 1985)。然而就以平面佈置而言，在平面中可供佈置之位置有無限多種可能，因此，本研究利用將空間離散之概念，將無限多種可能之位置配置排列組合有限化，以取得有限之潛在佈置位置，進而再求取建議之林木佈置排列組合。方程式(2)所表現的即是以 k 為兩相鄰位址細胞中心點距離之情況下所欲設計佈置之系統空間，其潛在可供佈置之位置網格(位址細胞)個數 (J_k) 應至少大於等於實際上所欲植入系統內之林木位址細胞之總數 (N)。方程式(3)則說明了以 k 為兩相鄰位址細胞中心點距離所離散之設計系統中， N 個要佈置之林木位址細胞的位置可以一 N 維的位置向量 X_k 來表示。綜合上述，本研究所建構之 FRA 模式表示如下。事實上，本研究討論之景觀格局佈置模型係以景觀生態學中之中性模型 (neutral model) 為主，在後續之景觀模擬求解過程只產生數學上所期望的空間格局 (鄔建國，民 92)。

FRA 模型	{	$\max_{X_k} FD = \frac{\log C(b)}{\log(b)}$	(1)
		<i>s.t.</i>	
		$m_k \times n_k \geq \text{the element numbers of } J_k \text{ set} \geq N$	(2)
		$X_k \in (s_1, s_2, \dots, s_N) \forall s_i \in J_k$	(3)

FRA 模型中，除決策變數 X_k 外，其餘均為參數。以下將介紹本模式之求解演算法。

3.4 求解程序

本研究所提出之 FRA 模型係為求解在考量生物多樣性下之森林遊樂區開發之景觀格局佈置設計。然其求解過程若專注於開發(砍伐林木)過程之模擬，再予以換算開發後之系統所呈現之空間複雜度，在求解程序之設計上並不易進行。因此本研究將開發區塊之設計問題映射成於系統內續留林木區塊配置的問題。例如以一具 100 公頃之森林遊樂區而言，若其開發程度為 30%，則表示開發面積占 30 公頃，不開發面積為 70 公頃；當導入 FRA 模型及其演算法後，問題的求解轉為 70 公頃之林木於此系統中之配置，以下將說明演算過程。

3.4.1 多階段優勢確保演算法

前述之 FRA 模型在本質上係屬一非線性整數規劃問題(Nonlinear Mix-Integer Programming Problem)；模型求解之困難在於平面上之擺設位置候選解為一無限大之集合，換言之，欲在有限之計算機時間內從無限大之候選集合中挑出最佳解除不可能達成外，經濟上亦不可行。因此為求解此類問題，透過空間之離散技術，將計畫之系統平面切割轉換成「有

限」之位址細胞(網格)集合為一關鍵之概念。本研究採用許(民 96)之「網格狀之佈置模型」(Lattice-Deploying Model)概念，援引 Bellman (1957) 最佳化原理，以全域搜尋之方式獲得啟發式之解答(Heuristic Solution)。而所謂 Bellman 最佳化原理係為一研究多階段決策過程最佳化問題之一種數學方法，Bellman 認為，系統的下一階段狀態由現在的狀態和決策所確定，因此下一階段狀態之最佳值產生自現階段之最佳值再加上最佳之行動策略(引自 許澤宇，民 96)。換言之，該演算法所關心的並非現階段已佈置之林木所呈現之景觀格局回饋之 FD 值，最重要的是應該在有所行動後能累加前一階段貢獻有較大 FD 值之決策，因此系統之最佳值將由一系列之最佳決策累積而成，此稱為多階段優勢確保演算法(Multi-Stages Predominance Algorithm，簡稱 MSPA)(許澤宇，民 96)。MSPA 運算步驟可概述如下：

Step 0: 初始化設定

給定佈置系統之 k 、 D_l 及 D_w 值以及欲佈置植生之區塊總面積。

Step 1: 實施空間離散

佈置系統進行空間離散以取得「有限」之位址細胞(網格)，在空間離散中，由於 k 為給定，所以很容易計算出 m_k 以及 n_k 。因此， $m_k \times n_k$ 即表示系統中可植入林木之潛在位址細胞之總數，當扣除未能提供佈置林塊

之位址細胞集合後，剩餘之位址細胞所成之集合(J_k)稱「候選位置集合」。

Step 2: 停止條件檢查。

檢查已佈置之林木區塊面積是否已達初始化所設定之區塊總面積，如果是進行 Step 5，否則至 Step 3 進行運算。

Step 3: 佈置運算

從候選位置(即潛在可供佈置林木之位置)中隨機選定一位址細胞以進行林木之佈置，並求出 FD 值，並記為 FD_1 ，接著移動佈設位置，並求出相應之 FD 值，並記為 FD_2 ；依此類推直至候選位置集成空集合後始停止(以圖 3.3 為例，共計模擬 16 個位置，計算至 $FD_{n=16}$)。

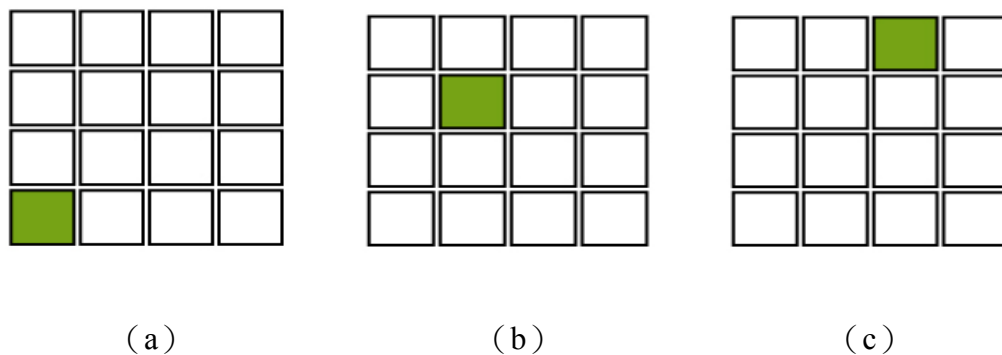


圖 3.3 佈置運算模擬過程

備註：潛在可供佈置林木之位置隨機選擇一個位址細胞，進行林木佈置且求出 FD 值，並記為 FD_1 ，以圖 3.3(a) 為例，接著移動佈設位置，並求出相應之 FD 值，並記為 FD_2 ；依此類推直至候選位置集成空集合後始停止，以圖 3.3 (b)、3.3 (c) 為例，佈置位址細胞共計模擬 16 個位置，計算至 $FD_{n=16}$

資料來源：本研究整理

Step 4: 搜尋最佳解

比較前述階段所得之 FD 值，並從中找出具最大 FD 值之設計位址細胞位置，並將此位置向量記於最佳解集合中。接著進行下一個最佳佈置點位之設計。而在此步驟中，我們利用全域搜尋之技巧，同step 3所示，隨機選定一位址細胞並配合前一階段所選定之最佳位置，合併計算其碎形維度值，在比較所有可能之排列組合後，從中選出具最大 FD 值之設計位址細胞位置組合，並將此位置向量組合記於最佳解集合中；接著回到step 2。

Step 5:最佳解輸出

當建議佈置之(林木區塊)位址細胞面積已達初始化所設定之區塊總面積時，輸出最佳解並停止運算。

3.4.2 盒計法

對於缺乏嚴格自體相似性質(Strict self-similar)之物體，學者認為(e.g. Morse et al., 1985)可以盒計法(box-counting method, 簡稱 BCM)求取碎形維度值，此維度值亦稱盒計維度，係碎形維度值之近似值。茲將其計算過程敘述說明如下：

首先，在以 BCM 求取碎形維度值時須了解，景觀佈置系統中有兩種網格系統，其一是前述在求解 FRA 模型時所引入之空間離散技術，將

FRA 模型轉換成一「網格狀之佈置模型」，此時之網格系統大小可視為模擬求解過程中之解析度(如圖 3.4 (a)之網格所示)。接著導入 BCM 求解之網格系統，圖 3.4 中所呈現之綠色方塊表示其上有植生之林木區塊 (patches)，其他網格則代表林木已被伐除，屬於已開發之區塊。BCM 之網格系統其維度記之為 b ，稱之為網格維度(mesh dimension)或系統切割之等份數， $b = 1, 2, 3, \dots, \min[D_l / \text{patch size}, D_w / \text{patch size}]$ ；亦即依序以 $b = 1$ 、 $b = 2$ 等網格維度將此景觀佈置系統予以切割，直至切割至前述為求解所引入之網格狀佈置模型之解析度時始停止；事實上，BCM 之最細切割等分網格若大於物件(patch)之最小像素或小於最小像素皆不適當(如圖 3.5 所示)，Labeledz et al., (2009)認為 BCM 之盒計網格尺寸大小最小應等同於物件圖像之最小部份或從一像素開始 (it is better to start from the smallest part of an image, i.e. from one pixel)，此即前述網格狀佈置模型之解析度。BCM 之切割係同時以橫軸及縱軸兩方向進行，以圖 3.4(a)言，BCM 對系統之切割為一等分(或稱 $b = 1$)，圖 3.4(b)則表示對系統之切割為二等分(或稱 $b = 2$)，依此類推。以 $b = 2$ 言，此時將佈置系統分割成四等分，BCM 須計算此時該四等分中有幾等分網格內被物體(即林木區塊)所佔有，並記為 $c(b)$ 。以圖 3.4(b)言， $c(b) = c(2) = 3$ ，依此類推。圖 3.4 表示在一具 8×8 解析度下之佈置系統中，林木景觀占有 20 個網格(位址細胞)，當實施 BCM

以求取該系統之碎形維度值時，系統被依序切割為 1 等分、二等分...直至八等分(如圖 3.4(h))。將 b 、 $c(b)$ 的值分別求取對數值(如表 3.1)，並將 $(b, c(b))$ 點繪於雙對數圖紙上，以最小均方根(least square)法求取這些座標點 $(\log b, \log c(b))$ 之迴歸直線(圖 3.5)，此時之直線斜率稱之為盒計維度值(本研究並以此值代表碎形維度值)，以圖 3.4 所示之案例，此景觀佈置之碎形維度值為 1.5104，計算過程詳如表 3.1 所示。

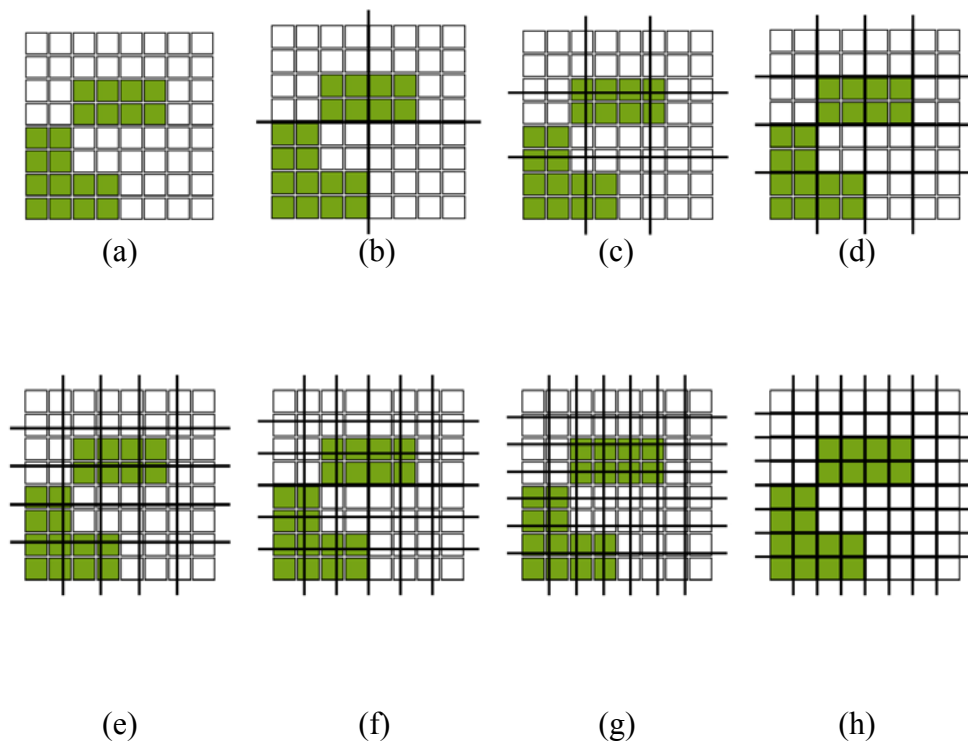


圖 3.4 盒計法求解碎形維度過程示意圖

資料來源：本研究整理

Typical structure of a graph of $\log(N(b))$ against $\log(1/b)$

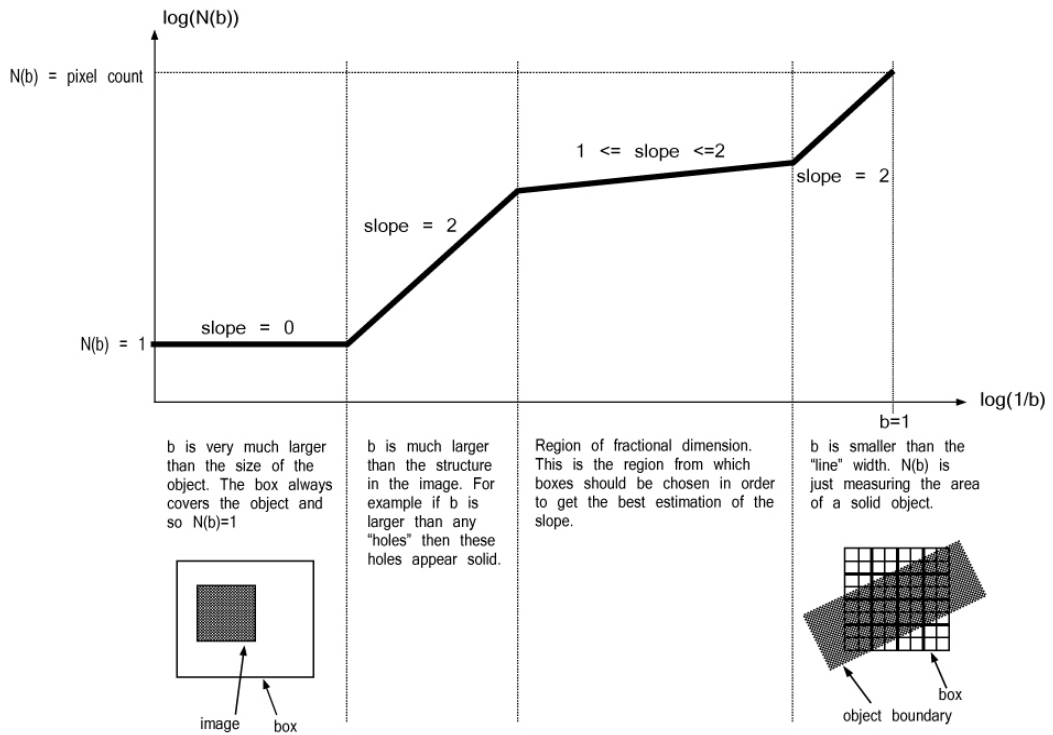


圖 3.5 建議之盒計法最小網格尺寸 (box size) 示意圖

資料來源: <http://astronomy.swin.edu.au/~pbourke/fractals/fracdim/>

表 3.1 盒計法求解維度過程中 b 與 $c(b)$ 之關係

b	$c(b)$	$\log(b)$	$\log c(b)$	備註
1	1	0	0	參見圖 3.4(a)
2	3	0.30103	0.477121	參見圖 3.4(b)
3	8	0.477121	0.90309	參見圖 3.4(c)
4	5	0.60206	0.69897	參見圖 3.4(d)
5	13	0.69897	1.113943	參見圖 3.4(e)
6	16	0.778151	1.20412	參見圖 3.4(f)
7	26	0.845098	1.414973	參見圖 3.4(g)
8	20	0.90309	1.30103	參見圖 3.4(h)

備註：表示在一具 8×8 解析度下之佈置系統中，林木景觀占有 20 個網格(位址細胞)，BCM 之切割係同時以橫軸及縱軸兩方向進行， b 為系統之切割一等分(或稱 $b=1$)，對系統之切割為二等分(或稱 $b=2$)，依此類推。以 $b=2$ 言，此時將佈置系統分割成四等分，BCM 須計算此時該四等分中有幾等分網格內被物體(即林木區塊)所佔有，並記為 $c(b)$ 。以圖 3.4(b)言， $c(b) = c(2) = 3$

資料來源：本研究整理

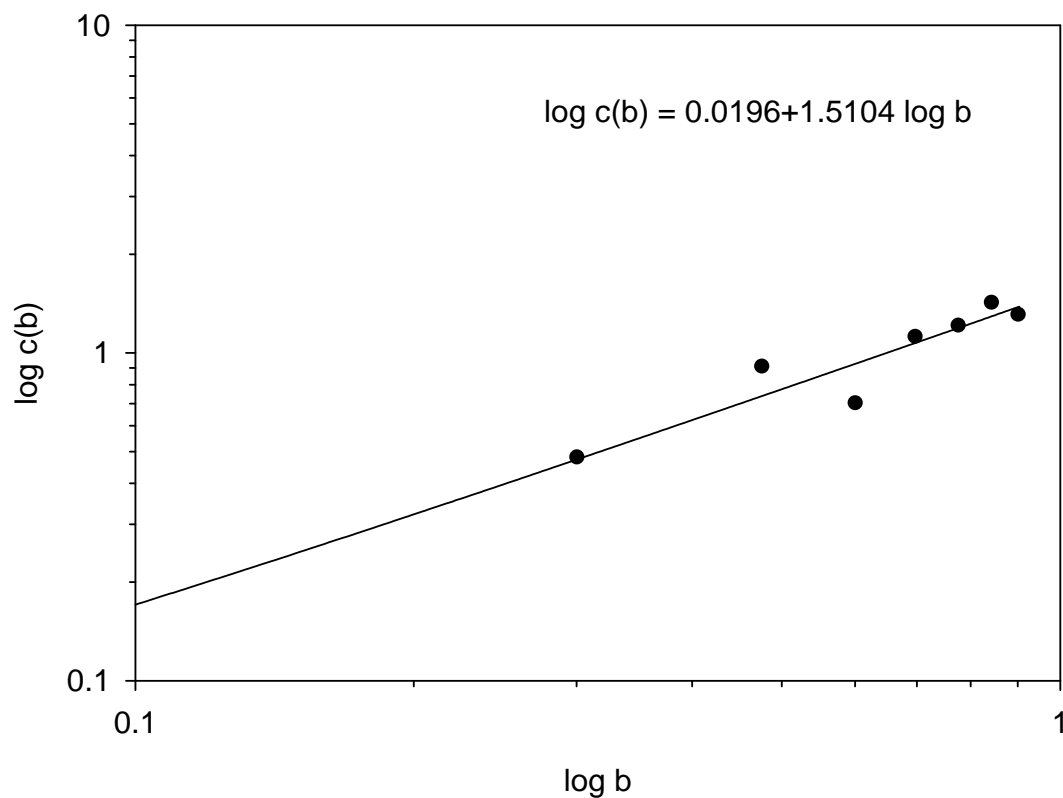


圖 3.6 盒計法求解案例 $\log(b)$ 與 $\log c(b)$ 關係圖。

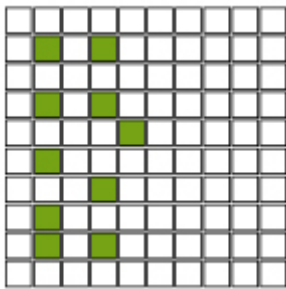
備註：在一具 8×8 解析度下之佈置系統中，林木景觀占有 20 個網格(位址細胞)，當實施 BCM 以求取該系統之碎形維度值時，系統被依序切割為 1 等分、二等分...直至八等分，將 b 與 $c(b)$ 之關係列如表 3.1，在將該數值點會於雙對數圖紙上(如圖)。該圖所示之迴歸直線其斜率即為此時佈置系統所呈現之景觀格局盒計維度值，亦即碎形維度值為 1.5104。

資料來源：本研究整理

3.5 數值算例

在一個系統內，因為演算的過程充滿複雜與困難，為利於求解，透過網格化技術將空間離散。本節所提出之數值算例將欲規劃之森林遊樂區在長、寬分別等分 10 個網格，亦即將此區域劃分為 10×10 網格，共計 100 網格。以圖 3.7(a) 為例，白色方格表示為森林遊樂區系統開發區塊，黑色方格則為林木保留之區塊。事實上，承如前述，在求解之過程若不將此規劃系統網格化，則因空間位置之排列組合有無限多組解，恐因此徒增求解之困擾。求解之過程係依 3.4 節所提出之多階段優勢確保演算法進行。以下本研究將列出在各個不同森林遊樂區林木開發率之下，開發區塊之建議配置位置。所模擬之開發比例分別為 90%~10%；開發率 90% 模擬如圖 3.7：顯示林木區塊於左半邊區域分散佈置，呈現離散現象，明顯將開發區、生態區分成兩區塊，讓生物生存區域集中，FD 值為 1.4722。開發率 80% 模擬如圖 3.8：顯示林木區塊於系統中呈現分散佈置，分散區域達整個系統四分之三，僅留右上整體區域供規劃者開發利用，FD 值為 1.6955。開發率 70% 模擬如圖 3.9：顯示林木區塊分散佈置於系統中、林木區塊開始產生小型相互連結現象，這種分布型態適合生物在林木區塊間穿梭，FD 值為 1.8027。開發率 60% 如圖 3.10：顯示林木區塊呈現長條形連結狀態，生物能利用的空間增加，FD 值為 1.8499。開發率 50% 如圖

3.11：顯示系統內林木區塊集中，外圍區域完全開發，保留內部區域的完整性，內部林木區域則有相互連通性，適合生物群聚與互相連動，為大型動物提高較佳生存空間與環境，可供開發區塊小且散置其間，FD 值為 1.8864。開發率 40% 如圖 3.12：顯示內外部所能供開發的比例開始縮小，大型林木區塊分布漸漸成形，FD 值為 1.9163。開發率 30% 如圖 3.13：顯示這時已無法對系統做大規模開發，僅能在外圍區域做小規模的開發佈置，FD 值為 1.9415。開發率 20% 如圖 3.14：顯示開發區域僅能侷限於系統某一處，其餘地區皆為林地，FD 值為 1.9643。開發率 10% 如圖 3.15 更顯示開發區域僅能點綴於整個林木系統中，這是最符合生態現象的開發方式，FD 值為 1.9827。



(a)



(b)

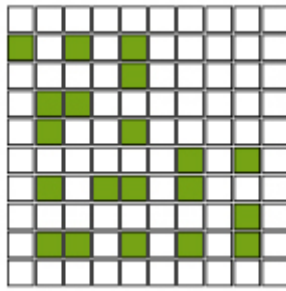


(c)

圖 3.7 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 90%，本研究所建議
森林遊樂區之林木區塊配置圖

備註：

1. 此時森林遊樂區林木景觀格局所呈現之碎形維度值為 1.4722。
2. 在空間離散方面，本系統(森林遊樂區)劃分為 10×10 共 100 個網格，白色方格為森林遊樂區系統開發區塊，黑色方格則為林木保留之區塊，經 FRA 模式演算後所建議之最大化生物多樣性(棲地空間複雜度)之景觀格局如圖 3.7 (a) 所示。圖 3.7 (b) 為虛擬實境森林遊樂區林木斑塊格局佈置圖。圖 3.7 (c) 為加入人工開發景點設施之情境佈置圖，遊樂區開發區面積達 90%，園區內林木區塊分散，但呈現離散現象，遊樂區與住宿區同樣集中於一個場域，明顯將開發區、生態區分成兩區塊，有利生物群聚。



(a)

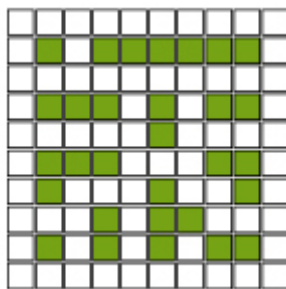


(b)

圖 3.8 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率達 80% ，本研究所建議森林遊樂區之林木區塊配置圖

備註：

1. 此時森林遊樂區林木景觀格局所呈現之碎形維度值為 1.6955。
2. 在空間離散方面，本系統(森林遊樂區)劃分為 10×10 共 100 個網格，白色方格為森林遊樂區系統開發區塊，黑色方格則為林木保留之區塊，經 FRA 模式演算後所建議之最大化生物多樣性(棲地空間複雜度)之景觀格局如圖 3.8 (a) 所示。圖 3.8 (b) 為虛擬實境森林遊樂區林木斑塊格局佈置圖。



(a)

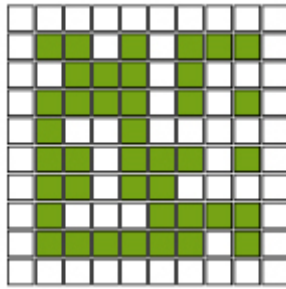


(b)

圖 3.9 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 70% ，本研究所建議森林遊樂區之林木區塊配置圖

備註：

1. 此時森林遊樂區林木景觀格局所呈現之碎形維度值為 1.8027。
2. 在空間離散方面，本系統(森林遊樂區)劃分為 10×10 共 100 個網格，白色方格為森林遊樂區系統開發區塊，黑色方格則為林木保留之區塊，經 FRA 模式演算後所建議之最大化生物多樣性(棲地空間複雜度)之景觀格局如圖 3.9 (a) 所示。圖 3.9 (b) 為虛擬實境森林遊樂區林木斑塊格局佈置圖。



(a)



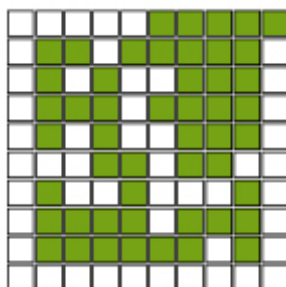
(b)

圖 3.10 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 60% ，本研究所建議

森林遊樂區之林木區塊配置圖

備註：

1. 此時森林遊樂區林木景觀格局所呈現之碎形維度值為 1.8499。
2. 在空間離散方面，本系統(森林遊樂區)劃分為 10×10 共 100 個網格，白色方格為森林遊樂區系統開發區塊，黑色方格則為林木保留之區塊，經 FRA 模式演算後所建議之最大化生物多樣性(棲地空間複雜度)之景觀格局如圖 3.10(a)所示。圖 3.10 (b) 為虛擬實境森林遊樂區林木斑塊格局佈置圖。



(a)



(b)



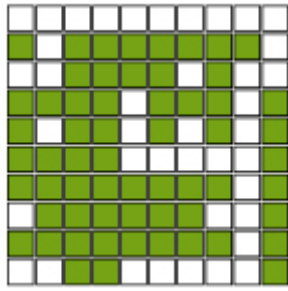
(c)

圖 3.11 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 50%，本研究所建議

森林遊樂區之林木區塊配置圖

備註：

1. 此時森林遊樂區林木景觀格局所呈現之碎形維度值為 1.8864。
2. 在空間離散方面，本系統(森林遊樂區)劃分為 10×10 共 100 個網格，白色方格為森林遊樂區系統開發區塊，黑色方格則為林木保留之區塊，經 FRA 模式演算後所建議之最大化生物多樣性(棲地空間複雜度)之景觀格局如圖 3.11(a)所示。圖 3.11(b) 為虛擬實境森林遊樂區林木斑塊格局佈置圖。圖 3.11(c) 為加入人工開發景點設施之情境佈置圖，遊樂區開發區面積達 50%，園區內林木區塊集中，外圍區域完全開發，保留內部區域的完整性，內部林木區域則有相互連通性，適合生物群聚與互相連動，為大型動物提高較佳生存空間與環境，遊樂區與住宿區分別散置其間，人類可以在其間穿梭遊樂。



(a)



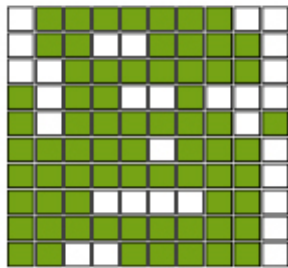
(b)

圖 3.12 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 40% ，本研究所建議

森林遊樂區之林木區塊配置圖

備註：

1. 此時森林遊樂區林木景觀格局所呈現之碎形維度值為 1.9163。
2. 在空間離散方面，本系統(森林遊樂區)劃分為 10×10 共 100 個網格，白色方格為森林遊樂區系統開發區塊，黑色方格則為林木保留之區塊，經 FRA 模式演算後所建議之最大化生物多樣性(棲地空間複雜度)之景觀格局如圖 3.12(a)所示。圖 3.12 (b) 為虛擬實境森林遊樂區林木斑塊格局佈置圖。



(a)



(b)

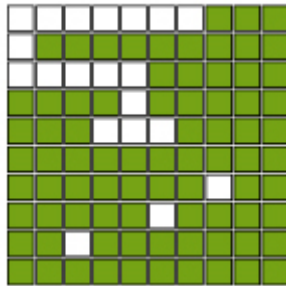
圖 3.13 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 30% ，本研究所建議

森林遊樂區之林木區塊配置圖

備註：

1. 此時森林遊樂區林木景觀格局所呈現之碎形維度值為 1.9415。
2. 在空間離散方面，本系統(森林遊樂區)劃分為 10×10 共 100 個網格，白色方格為

森林遊樂區系統開發區塊，黑色方格則為林木保留之區塊，經 FRA 模式演算後所建議之最大化生物多樣性(棲地空間複雜度)之景觀格局如圖 3.13(a)所示。圖 3.13(b)為虛擬實境森林遊樂區林木斑塊格局佈置圖。



(a)



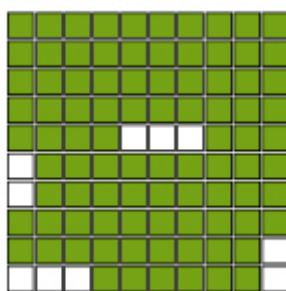
(b)

圖 3.14 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 20% ，本研究所建議

森林遊樂區之林木區塊配置圖

備註：

1. 此時森林遊樂區林木景觀格局所呈現之碎形維度值為 1.9634。
2. 在空間離散方面，本系統(森林遊樂區)劃分為 10×10 共 100 個網格，白色方格為森林遊樂區系統開發區塊，黑色方格則為林木保留之區塊，經 FRA 模式演算後所建議之最大化生物多樣性(棲地空間複雜度)之景觀格局如圖 3.14(a)所示。圖 3.14(b)為虛擬實境森林遊樂區林木斑塊格局佈置圖。



(a)



(b)



(c)

圖 3.15 在森林遊樂區系統中，當林木砍伐開發率 10%，本研究所建議
森林遊樂區之林木區塊配置圖

備註：

1. 此時森林遊樂區林木景觀格局所呈現之碎形維度值為 1.9827。
2. 在空間離散方面，本系統(森林遊樂區)劃分為 10×10 共 100 個網格，白色方格為森林遊樂區系統開發區塊，黑色方格則為林木保留之區塊，經 FRA 模式演算後所建議之最大化生物多樣性(棲地空間複雜度)之景觀格局如圖 3.15(a)所示。圖 3.15 (b) 為虛擬實境森林遊樂區林木斑塊格局佈置圖。圖 3.15 (c) 為加入人工開發景點設施之情境佈置圖，遊樂區開發區面積僅 10%，園區內林木區塊幾乎不能開發，實境中僅有三個小區域能供開發，僅能佈置有限的設施讓人類活動，對於生物與生態系留有良好的生存空間。

3.6 實務操作上之運用

透過智慧型演算的過程，在各個不同程度的開發區塊上，我們分別找到了最佳優選解，透過這些規劃，我們選定以南台灣某地區作一示範區域，此區域係一長 20 公里、寬 10 公里總面積達 200 平方公里之區域，規畫作為森林遊樂區之預定用地。由空照圖上明顯可見目前並未經任何人為開發利用(圖 3.16)，以下本研究將導入前述之 FRA 模式，進行最大化生物多樣性森林遊樂區之景觀格局設計。

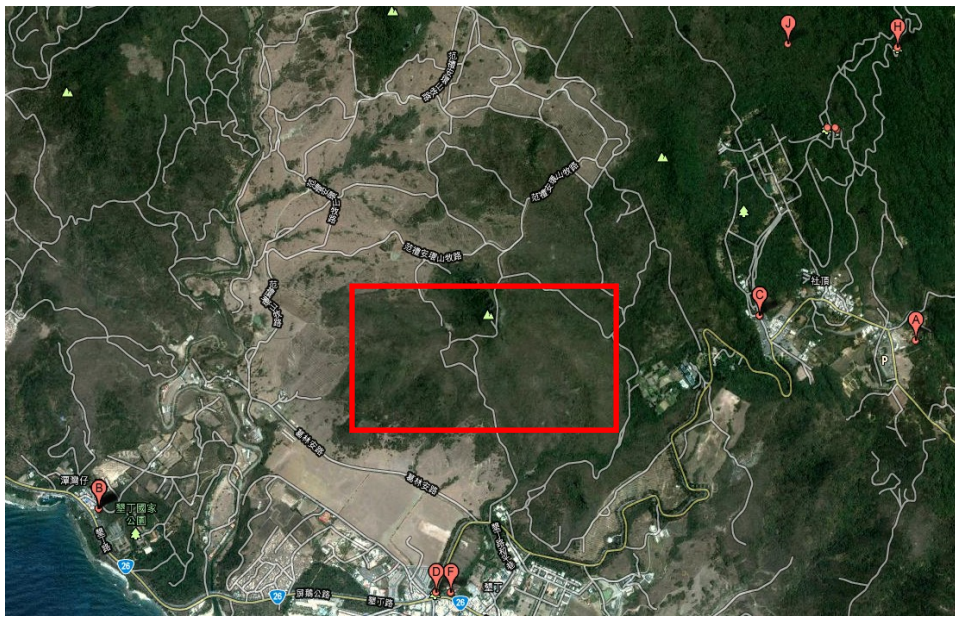


圖 3.16 森林遊樂區預定之場址

自然界中，最好的保護策略就是保護大面積的自然區域，但在人口增加，土地超限利用下，大的自然區域難覓，人類只能面對殘餘孤立的小區塊體，所以分區開發有其必要性，森林遊樂區應包括最小的動態區域，在該區域內於自然狀況下，應保持內部生態系統穩定，意味這區域內具

有穩定整體結構的力量，外圍部份可受部分干擾，被干擾區域的空間佈局發生變化，而總體景觀還能維持穩定，也就能產生變化鑲嵌體的穩定狀態（趙羿等，民 92）。先進國家森林遊樂區設置的功能以生態永續為導向，所以將觀光業與森林遊樂區做一個整體結合是很重要的。景觀建築師 Richard Forster (1973) 首開提出以同心圓分區規劃的方式應用於國家公園之開發，獲得國際自然資源保護聯盟認可，長期經過實驗，證明是理想永續發展的藍圖。

行政院農業委員會在「森林遊樂區設置管理辦法」中第六條明確規定，森林遊樂區應視其資源而劃設使用管理經營分區，可分為：「營林區」、「遊樂設施區」、「景觀保護區」及「森林生態保護區」。根據上述之法令，未來森林遊樂區開發案必定走向分區使用原則，所以我們在此提出分區規劃（Zoning）的方式，如下圖 3.17 所現之以生物多樣性與永續發展原則提出森林遊樂區分區規劃方式：

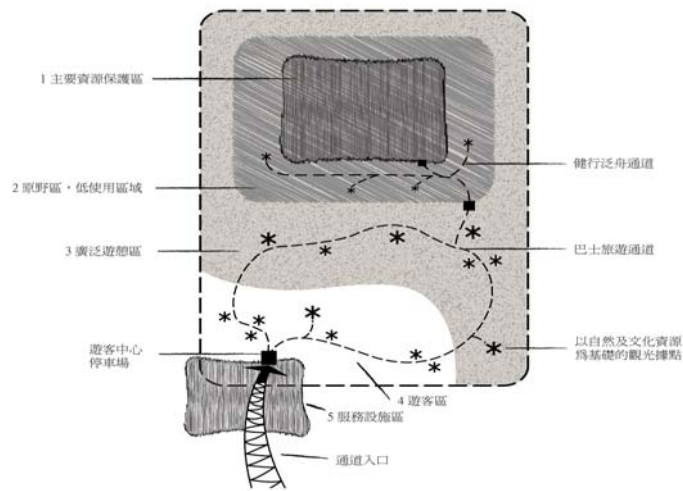


圖 3.17 國家公園分區規劃模式

資料來源：李英弘等譯（民 88）

在生物多樣性與環境永續森林遊樂區開發的模式下，依其開發率的不同提出最佳化佈置的一個典範，針對不同開發率，我們提出分區開發（Zoning）的模式，將一森林遊樂分為三個分區：森林生態及景觀保護區（Zone 1）、在此區域內基於景觀生態保育原則，禁止作出任何開發行為，這是整個系統中最重要動態區域，讓生物生態能完整存在該區域之中維持整個系統中穩定的生態結構。營林區（Zone 2）為提供人類遊憩休閒之地，採低度的開發行為，讓人類在此能有限度利用與開發，體驗森林遊樂區自然生態價值；第三個分區稱之為遊樂設施區（Zone 3），為高度人為開發利用區域，此區域內包含有高度開發的遊樂景點與設施，如飯店、小木屋、高爾夫球場等，供人類在此住宿與玩樂。

本節將利用前述學者 Forster 所提之同心圓分區規劃構想，設計最大化生物多樣性之森林遊樂區景觀，同心圓分區規劃方式如圖 3.18 (a)所示。將欲規劃之森林遊樂區在長、寬分別等分 11 個網格，亦即將此區域劃分為 11×11 網格，共計 121 個網格。由於 Zone 1 如圖 3.18 (b) 是森林生態及景觀保護區、在此區域內基於景觀生態保育原則，禁止作出任何開發行為，開發比例為零，分布區域在系統正中央，可佈置位置細胞 (site cell) 網格數 9 格，建議佈置位址細胞之相關位置列如表 3.2，此時之碎形維度值為 1.08 (此時計算碎形維度之系統仍為「整個」森林遊樂區，此時所計算之維度值，係此生態及景觀保護區之林木景觀對整個系統所造成之影響)。Zone 2 為營林區，由圖 3.18 可知該區域包括有 40 個網格，本區係採低度的開發行為，規劃 30% 之林木可予以開伐，換言之，該區 (zone 2) 可供植林之區塊共有 28 個網格 ($40 \times 0.7 = 28$)，因此在進行該區域之規劃設計之時，進行該 28 個網格之搜尋，尋求最佳之植林區塊，在每次演算求解之過程，應算出 Zone 1 加上 Zone 2 (亦即佈置位置細胞網格數共計有 37 格，其中 Zone 1 之 9 個植林區塊位置固定不變) 對整個森林遊樂區碎形維度值之影響，本分區之建議佈置位址細胞位置詳表 3.2 及圖 3.18 (c) 所示，此時之碎形維度值為 1.5885。接著進行第三分區，Zone 3 之林木區塊佈置。此分區係屬高度人為開發之為遊樂設施區，並規劃為

70%之面積屬人為開發利用區域，所需規劃設計之植林區塊計 21 個網格，加上前謁已完成規劃之分區共計 58 個網格，經過求解演算，該分區之建議佈置位址如圖 3.18(d)及表 3.2 所示。至此，完成該分區策略下之景觀格局設計，此時整個系統所呈現之碎形維度值為 1.8762。由圖 3.18(d)可知，在該森林遊樂區系統之最外圍皆屬開發區，不保留任何林木。

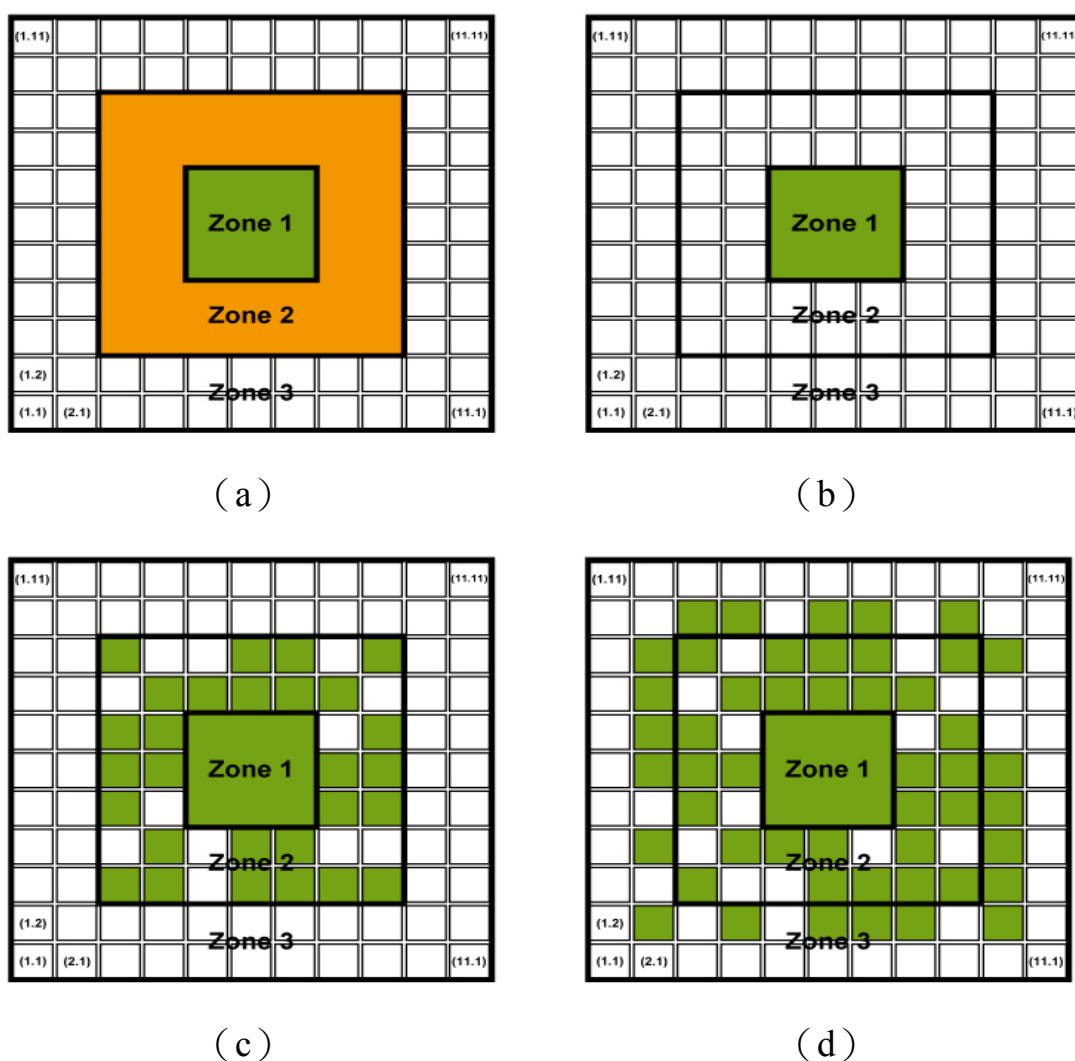


圖 3.18 森林遊樂區分區開發圖

備註：分區開發在實務上的運用，是一個普及化的方法，假設開發區域為長 110 公里 × 寬 110 公里之正方形區域，區域中的網格是應用空間離散技術劃定而成。(a) 圖中

顯示本森林遊樂區依分區策略規劃為三個區域，zone 1 為森林及景觀保護區，zone 2 為營林區，zone 3 為遊樂設施區。(b) 圖首先規劃 zone 1 為森林生態保護區、景觀保護區，是不可開發之區域，可佈置之位址細胞數 9 格。(c) 圖中 zone 2 為營林區，可開發 30% 之區域，含 zone 1 可佈置之位址細胞數共 37 格。(d) 圖中 zone 3 為遊樂設施區，可開發 70% 之區域，含 zone 1、zone 2 可佈置之位址細胞數共 58 格。

資料來源：本研究整理

表 3.2 分區開發策略下森林遊樂區建議佈置位址細胞座標點及相關參數

Zoning/ 編號	開發比 例	可佈置位置細胞 (site cell) 網格數	建議佈置位址細胞 (site cell)	FD
1	0%	9	(5,5) (5,6)...(7,6) (7,7) 參見圖 3.18 (b)	1.08
2	30%	Zone 1+Zone 2 9+28=37	(3,3) (3,5)...(3,7) (3,9) (4,3) (4,4) (4,6) (4,7) (4,8) (5,5)...(5,8) (6,3)...(6,9) (7,3)...(7,9) (8,3) (8,5)...(8,7) (8,9) (9,3) (9,5) (9,6) (9,7) (9,9)& Zone 1 deployment 參見圖 3.18 (c)	1.5885
3	70%	Zone 1~Zone 3 37+21=58	(2,2) (2,4) (2,6)...(2,9) (3,3) (3,5) (3,6) (3,7) (3,9) (3,10) (4,2) (4,4) (4,6) (4,8) (4,10) (5,4)...(5,9) (6,2)...(6,10) (7,2) (7,3) (7,5)...(7,10) (8,2)...(8,6)(8,8) (9,3) (9,5) (9,6) (9,7) (9,9) (9,10) (10,2)...(10,6) (10,9) & Zone 1、Zone 2 deployment 參見圖 3.18 (d)	1.8762

備註：(Zone 1) 為森林遊樂區中不可開發生態與景觀保護之區域，(Zone 2) 為森林遊樂區中低度開發之營林區域，(Zone 3) 為森林遊樂區中高度開發之遊樂設施區域。

資料來源：本研究整理

第四章 討論及管理上之意涵

人類活動往往造成棲地的破碎化，在一個系統空間格局中，棲地破碎化正是造成生物多樣性消失的主因，景觀結構包含景觀內不同生態系的面積、形狀、組成、數量及地理位置，同時景觀結構也會影響景觀內生態系諸多過程，如物質循環與物種移動 (Molles, 2007)。

根據趙羿等(民 92)指出，建立自然保護區時一些廣為人所共識的生態原則如下：(1) 物種豐富度隨林地面積擴大而增加。(2) 一塊連續的大地區較面積相同，但分成兩塊或更多的小區塊的地區，有更多的當地內部物種。(3) 森林地區分開的區塊彼此距離近，連通性佳較分開距離遠的區塊更能支援更多物種。(4) 分離的區塊通過條狀與保護區相連，較孤立的區塊更為適宜生物發展。(5) 在相同條件下，圓形保護區優於長條形，因為前者的內部棲息地更大。這些原則充分展現景觀生態學中土地鑲嵌體的面積、區塊形狀、連接以及邊緣發育的性質等景觀格局屬性與生物自然生態過程間的關係。

所以在本研究中數值算例出現的結果讓我們觀察到一些現象與上述規律非常相符，值得加以探究：(1) 以最大化棲地空間複雜度(碎形維度值)之考量下，所模擬出來之結果顯示，當我們開發時，必須由系統外圍向內部開伐是最好的選擇方式，這樣的方式跟我們平常實際所接觸到的

常識、知識符合，而模擬出來的圖形也是依此原則來排列，因為這樣開發方式比較不會引起開發區內生物群聚的擾動，在砍伐同時，開發區塊內的生物可以選擇向未開發的區塊移動，亦即內部移動，由於生物個體的遷徙能力很強，可以跳躍過一個或數個位址細胞（site cells），避免大規模的動盪，生物族群不會因為環境變遷差異性大而產生族群滅絕危機（鄔建國，民 92）。

（2）當林木斑塊到高度開發 90%，80%時，模型系統建議是會產生一個完整區域供開發者完全利用，而保留的林木斑塊則是平均分散在其他未開發區域，與上述條件（2）的原理。當林木斑塊開發到中、低 60%以下程度時，開發區塊小且集中，開發區塊面積不大，其內部並形成數群 patch，都有連接，分散於系統中，連續形綴塊佔的比例很高，亦符合鄔建國（2003）提及實際生態棲地中，景觀皆呈現連結狀態，連結的部分其實可以視為廊道（Corridors），生物可以在其中自由穿梭，適合生物生存。

同時學者 Molles（2007）指出在小尺度中族群內個體的分布方式有隨機分布（random distribution）、規律分布（regular distribution）、與叢聚分布（clumped distribution）、這三種分布方式是經由族群內個體相互作用、物理環境結構或是綜合上述二者所產生的，族群內部的個體可能會

彼此相互吸引、排斥或忽視。相互吸引會產生叢聚或集團的分布樣式，規律分布出於個體避開彼此或獨享一區塊之地景系統，中性反應則形成隨機分布，參見圖 4.1。

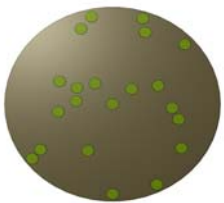
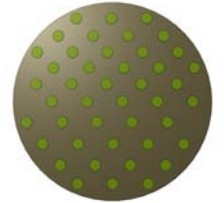
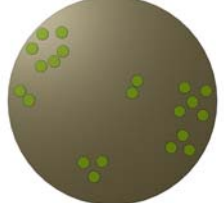
分布樣式	示意圖	作用過程	備註
隨機分布		個體，個體和區域環境間呈現中性的交互作用。	中性反應，每個個體在區域內任何一地出現的機率相等。
規律分布		個體間有互不相容的交互作用或是資源局部枯竭。	個體被均勻置放在整個環境內
叢聚分佈		個體間有相互吸引力或有共同資源吸引個體。	個體生活於局部高豐富量的區域，而這些區域被低豐富量區域所隔開

圖 4.1 生物群聚隨機、規律、叢聚現象分布圖

資料來源：Molles (2007)

另外，根據Li (2000) 之研究指出，規律分布 (Regular point pattern) 會有較大之碎形維度值 $D=2.0$ ，如圖4.2 (a)，隨機分布因為分散區域尚屬均勻，碎形維度值 $D=1.828$ ，如圖4.2 (b)，隨機群聚則將分布區域偏

限於系統中某些區域，碎形維度值 $D=1.321$ ，如圖4.2 (c)，叢聚分布可見系統中各個點集中於9個點狀區塊中，對整個系統而言複雜度低，碎形維度值 $D=1.002$ ，如圖4.2 (d)。

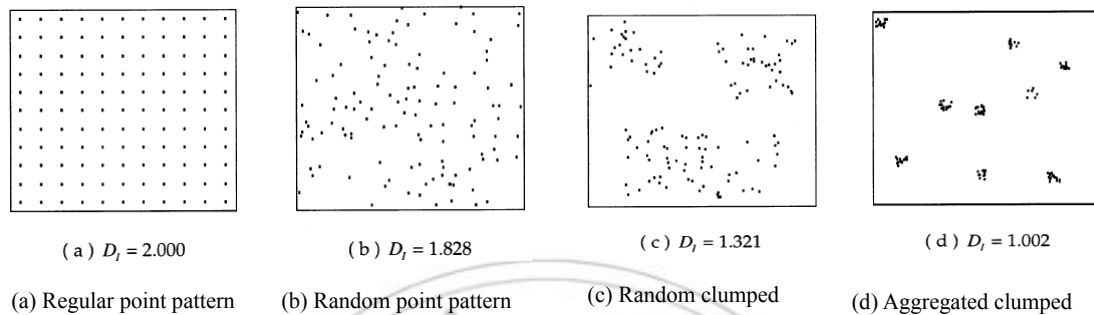


圖 4.2 不同複雜度空間景觀格局比較圖

備註：系統中有限的資源，在不同的佈置之下，維度值 (D) 越高者表示複雜度越高。
資料來源：修改自 Li (2000)

當我們試著以高開發率90%林木區塊佈置為例，將林木區塊以規劃者之經驗、主觀意識或隨機方式來佈置時，發現其呈現之碎形維度值並不會高於本研究所建議之景觀配置碎形維度值，如圖4.3 (a)、(b) 兩圖為例(傳統之設計者以主觀之經驗所設計者)，碎形維度值分別只有1.222與1.1345，皆遠低於FRA模型之建議值(如圖4.3 (c)，碎形維度值為1.4722)。



(a)



(b)



(c)

圖 4.3 運用經驗、主觀意識做林木配置與 FRA 模式演算下所建議之森林

遊樂區林木配置景觀比較圖

備註：(a)、(b) 係傳統上，規劃者運用經驗、主觀意識下所設計之林木佈置位置，經計算，其碎形維度分別為 $FD=1.222$ 、 $FD=1.1345$ ，(c) 圖則為運用 FRA 模式配合演算法所求出之建議最佳佈置林木區塊位置(或開發區域)，此時之 $FD=1.4722$ 。

所以在圖 4.3 (c) 中可以很清楚的顯示，小型區塊群的作用不僅可中斷向外擴張的基質 (matrix) 活動，且具備基石 (stepping stone) 之功能，有利於物種之間的活動，可以提供不同類型且補充大型區塊所不足的許多生態效益。而在孤立的區塊中如圖 4.3 (a)、(b) 顯現這區域僅能

有限度的包含某些特定的物種，大物種存在機率不高，物種發生滅絕的可能性更大 (Dramstad et al., 2001)。模型也顯示集中分佈時，區塊間連通性差，如上圖 4.3 (a)、4.3 (b)，不如分成兩塊或更多的小區塊的地區，有更多的當地內部物種，所以這種開發方式對於生態、生物群聚狀況並不會很好。反觀最佳解所選出來的佈置模式，如上圖 4.3 (c)，雖然缺乏大型區塊，但有相互關係的物種可以在附近內的小區塊內生存，結合這些區塊後，生物棲息地生物生存功能完善 (Dramstad et al., 2001)。同時他們也指出在生態學上最理想的生存區塊形狀為太空船形 (spaceship shaped)，中心為圓形區域用以保護資源，加上曲線形的邊緣以利物種傳播。隨著開發率的不同，在不同開發之下所呈現的生物種類、建物、遊憩區開發可能分佈型態也出現極大不同，可讓景觀設計者依生物保育原則呈現不同形式佈置方式。

(3) 根據滲透理論指出，當林木斑塊佔景觀面積比例小於 60% 時，景觀中的林木斑塊以離散性高、面積小為主要特徵；如下圖 4.4

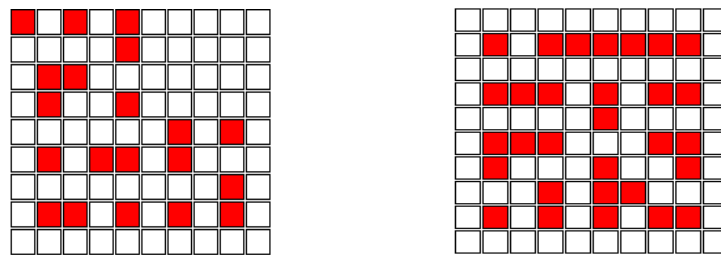


圖 4.4 林木斑塊佔景觀面積比例小於 60% 數值算例圖

當林木斑塊總面積達 60% 以上時，景觀中會出現橫貫兩端的大型林木斑塊區域，這些地方它都有連通性，也就是意味景觀格局由原來高度離散狀態突然轉變為連續狀態 (鄔建國，民 92)。所以從下列數值算例

4.5 圖中，發現低程度開發也呈現相同結果。

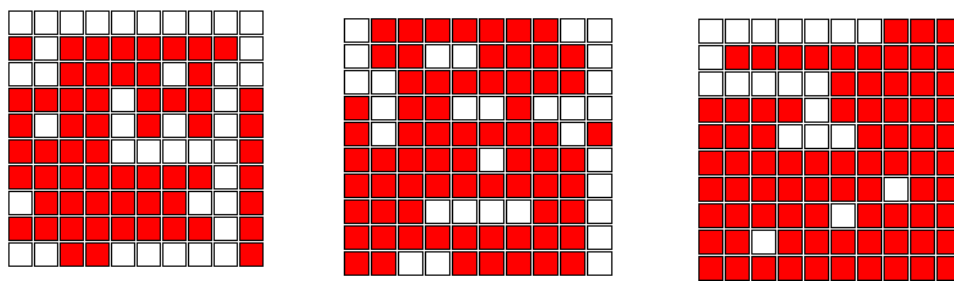


圖 4.5 林木斑塊佔景觀面積比例大於 60% 數值算例圖

第五章 結論與建議

森林生態系之經營為林業所有管理單位所應考量之重要議題，因為森林提供了人類休閒、育樂、生態、教育等功能，單純的享受自然的森林浴已難滿足遊客多元化的旅遊的需求。國家森林遊樂區設置的本意，必須肩負起提供國民休閒旅遊之角色，週休制度實施以來，對休閒場域需求日益擴大，透過森林遊樂區設立與整理可提供更多生態旅遊休閒機會，每座國家森林遊樂區在規劃實質計畫中皆須清楚其發展定位。許多環境的傷害並非來自大量的觀光客，而是來自不良的政策與措施，一般人以為森林資源的保護與觀光發展不相容是錯誤的觀念。經由適當的規劃與管理，兩者可以相容並存，隨著人類活動主導生態社區的地位有越來越高比例，了解和預測我們對生物圈的影響，關係到我們未來的生存和福祉，亦發顯得越來越重要與關鍵。

所以森林遊樂區設計開發運用多目標決策分析和模型技術，可讓各個森林遊樂區依當地特色與人文需求呈現不同遊憩體驗。本研究將可提供新設森林遊樂區於設計階段時之參酌，在研究中所提出之量化空間複雜度之具體設計方法，後續期能配合生態學家與景觀設計學家之實場試驗，必能增進本修正模型之適用性。茲將其對於學術研究及國家發展之預計貢獻說明如下：

(一)、對學術研究之貢獻：

複雜度雖為廣為人知之影響生態學之因子，唯如何量化及具體的建構適合森林生物棲息的環境，目前該類的研究仍極為缺乏；對不同的陸域生物，其體型大小及族群分布各有不同，如何針對特定物種建構適宜之人工林木區塊場所，配合生態金字塔概念、符應保育之風潮都是當務之急。另外，因為複雜度對不同物種所產生的影響層面為何，在進行生物學之現場試驗之前，須先具體掌握及設計棲地之複雜度始能進一步為之。因此本研究之研究成果可以提供陸域森林生物及景觀設計領域之學者以為現場試驗之基礎。

(二)、對國家發展及其他應用領域之貢獻：

由文獻回顧及目前國內外之資料可知，目前並未有任何一套技術或規範可明確的指導森林遊樂區景觀生態系統的設計人員進行設計，因此易造成森林景觀設計恣意而為，在資金受限之情況之下，如何創造出最有效益的生物、生態環境，以避免浪費；此外森林景觀人為開發對林業資源日漸匱乏的台灣而言，是一有效保育生態與復育林業資源之模式，更是林務單位重要政策之一；有效的開發森林系統來取代隨意開發應為刻不容緩之問題。

在高速競爭的時代，這是一個有效率的模式，對於許多生態學家而言，模型其實是一個充滿挑戰的東西，充滿許多不可預測的變數，錯誤

的後果可能導致潛在的災難問題。虛擬實驗來幫助我們理解和管理生態系統是有其必要性，因為在實境的大範圍實驗通常是不可能的，關於模擬模型，生態學家最常詢問的是這個模型是否有效，這個問題確實應該在使用此模組的特定情境中被討論。沒有一個模型可以適用於任何情境。重要的是在於模型能否真正反應出我們預設的結果（如景觀連接），並表現有助益的見解。實際上處理景觀生態學的複雜問題需要新的方法，新方法是組成新模型的重要部分。

森林經營管理者除應尋求各種經營準則與指標外，亦應積極研發各種多尺度、多時空和多目標之景觀監測與管理方法。為防止客源流失，未來政府和業者該如何運用森林遊樂區資源的豐富性與獨特性、加強週邊相關服務性設施，維持並增強遊客對森林旅遊的吸引力，確保未來實質計畫執行之設施品質，實為當今的課題。針對現在正在進行辦理或計畫之國家公園與森林遊樂區，亦可提出重新檢測與參考之依據。

由於本研究僅屬初探性研究，在資料蒐集及探討上恐有諸多不足之處，希望後續研究者能朝以下幾個方向繼續努力：（1）本研究從複雜度角度建構森林遊樂區林木斑塊格局佈置，建議後續研究可加入生物參數的觀點來探討影響森林遊樂區景觀佈置之要素。（2）因受限於時間與經費因素，本研究僅以數學模型與虛擬實境做為主要研究，並未針對台灣單

一森林遊樂區進行地域與生態調查研究。故建議後續研究可針對不同的森林遊樂區進行調查，比較其差異性與相似性，以便對不同森林遊樂區模式作更客觀、綜合性的解釋。(3) 本研究之研究成果後續若能提供其他工程領域之學者參考，適時地修正模式，甚至將該模式之佈置方法列為施工規範，將能更提升本研究所影響的層面與廣度。

參考文獻

中文部分：

1. 王敏先 (民 93)，景觀生態概念與指標應用於景觀規劃之探討，中國文化大學景觀學系碩士論文。
2. 行政院農業委員會 (民 95)，森林育樂設施規劃設計準則及案例彙編，台北：農委會林務局。
3. 行政院農業委員會 (民 89)，臺灣生物多樣性國家報告，台北：農委會林務局。
4. 呂慧穎 (民 90)，都市化對景觀破裂影響的碎形分析，台灣大學園藝學研究所碩士論文。
5. 李英弘，李昌勳譯 (民 88)，觀光規劃，初版，台北市：田園城市文化。
6. 李介中、蔡博文 (民 94)，應用碎形理論於臺灣建地空間型態與地形關係之研究，台灣地理資訊學刊，3期，43-55頁。
7. 肖篤寧、李秀珍、高峻 (民 92)，景觀生態學，科學出版社。
8. 汪本立 (民 94)，應用多重碎形理論於雨量預測之研究，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，台北。
9. 林峰田 (民 80)，空間混和度之碎形指標，國立臺灣大學建築與城鄉

研究所學報，6期，9-17頁。

10. 林曜松 (民 88)，生物多樣性保育之省思，環境教育季刊，38期，1-6頁。
11. 林曜松、趙榮台 (民 94)，維護生物多樣性與促進資源永續利用，生物多樣性概論，中華民國自然生態保育協會出版。
12. 林裕彬、鄧東波、吳振發(民 90)，景觀生態計量方法於農業景觀生態系統之空間結構探討，農業工程學報，2期，47卷，74-91頁。
13. 林沛毅 (民 91)，以景觀生態學觀點探討棲地模擬模型-以台中市大坑地區為例，東海大學景觀學系碩士論文，台中。
14. 林呈益 (民 94)，以歧異度與碎形維度為棲地指標探討堰之影響，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，台北。
15. 林佑倍 (民 94)，國中小生物多樣性教育內涵架構之研究，國立台北師範學院自然科學教育研究所碩士論文。
16. 林俊全 (民 97)，台灣的十大地理議題，遠足出版社。
17. 陳亮瑜 (民 91)，碎形維度與空間形態之研究-台灣地區之聚落空間為例，國立台灣大學地裡環境資源研究所碩士論文。
18. 陳朝圳、張瑋尹 (民 94)，生物特徵模式於森林植物多樣性之研究，台灣林業，31期，6卷，29-35頁。

19. 郭瓊瑩、王秀娟、郭育任（民 91），新世紀的環境規劃，環境與生態，中國文化大學出版部。
20. 許澤宇（民 97），複雜度觀點下之最佳化空間佈置：人工棲地設計與應用，南華大學企業管理研究所博士論文。
21. 景貴和（民 82），景觀生態學的若干理論問題，景觀生態學：理論、方法及應用，地景企業股份有限公司，22-30頁。
22. 楊秋霖（民 93），國家森林遊樂事業發展之願景，台灣林業，30期，4卷，13-17頁。
23. 楊宏志（民 94），森林遊樂研究領域的多元面向，森林生態系永續經營研討會論文集，21-40頁，台中：中興大學。
24. 鄔建國著（民 92），景觀生態學-格局、過程、尺度與等級，台北：五南圖書出版有限公司。
25. 趙榮台譯（民 90），應用生態學，初版，台北：國立編譯館。
26. 趙羿、賴明洲、薛怡珍（民 92），觀生態學-理論與實務，地景企業股份有限公司。
27. 廖思善（民 95），動手玩碎形，初版，台北：天下遠見出版股份有限公司。
28. 鄭祈全、詹進發、許立達（民 88），應用碎形維度監測森林地景結構

- 與變遷之研究，台灣林業科學，14期，4卷，397-407頁。
29. 鄧東波、林裕彬（民 90），以碎形維度探討中部地區建成地型態之研究，人與地，209期，55-61頁。
30. 黎孟修（民 91），原住民對森林遊樂區開發認知之研究，朝陽科技大學休閒事業管理系碩士論文。
31. 薛怡珍、賴明洲（民 89），森林遊樂區預定地選址評估，東海學報，41期，111-132頁
32. 羅紹麟（民 94），森林的經營，科學發展，388期，14-19頁。

英文部分：

1. Barnsley, M. (1988), Fractals Everywhere. Academic Press, New York.
2. Batty, M. & Longley, P. (1994), Fractal Cities: A Geometry of Form and Function, San Diego: Academic Press.
3. Berube, D. & Jebrak, M. (1999), High precision boundary fractal analysis for shape characterization, Computer and Geosciences, Vol. 25, pp. 1059-1071.
4. Buczkowski, S., Kyriacos, S., Nekka, F., & Cartilier, L. (1998), The modified box-counting method: analysis of some characteristic parameters, Pattern Recognition, Vol. 31, pp. 411-418.
5. Dramstad, W.E., Olson, J.D., & Forman, R.T.T. (2001), Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning., Harvard University Graduate School of Design, Washington.
6. Forman, R.T.T. & Godron, M. (1986), Landscape ecology, John Wiley and Sons, New York, New York.
7. Forman, R.T.T. & Moore, P.N. (1990), Toward a theory of boundaries in landscape mosaics. In: A.j. Hansn (Ed), Landscape Boundaries, Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows. springer-verlag.
8. Forman, R.T.T. (1995), Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and regions, Cambridge University Press.
9. Forster, R.R. (1973), Planning for Man and Nature in National Parks, IUCN, Morges, Switzerland.
10. Gaston, K.J., & Spicer, J.I. (1998), Biodiversity: An Introduction. Oxford, Blackwell Science Ltd.
11. Green, D.G. & Sadedin, S. (2005). Interactions matter-complexity in landscapes and ecosystems, Ecological Complexity, Vol. 2: 117–130.

12. Hof, J. & Flather, C. (2004), Optimization of Landscape Pattern, Wu, J. and R. Hobbs, (Eds). Key Topics and Perspectives in Landscape Ecology, Cambridge University Press, Cambridge.
13. Holling, C.S. (1980), Adaptive Environmental Assessment and Management, International Series on Applied Systems Analysis. John Wiley and Sons, Toronto, Canada, Vol. 3, pp. 377.
14. Kenkel, N.C. & Walker, D.J. (1996), Fractals in the biological sciences, COENOSES, Vol. 11, pp. 77-100.
15. Labeledz, P., Ozimek, A., & Ozimek, P. (2009), Box-counting dimension in landscape photographs analyses, 10th International Conference on Information Technologies in Landscape Architecture , Digital Landscape Architecture 2009 Conference, pp. 142-149, May, Valletta, Malta.
16. Li, B.L. (2000), Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics, Ecological Modelling, Vol. 132, pp. 33-50.
17. Mandelbrot, B. (1967), How long is the coast of Britain?_Statistical self-similarity and fractional dimension. Science, Vol. 156, pp. 636-638.
18. Mandelbrot, B.B. (1983), The Fractal Geometry of Nature, W.H. Freeman and Company, San Francisco.
19. Mandelbrot, B.B. (1989), Fractal geometry: what is it, and what does it do? Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences, Vol. 423, pp. 3-16.
20. Mandelbrot, B.B. (1990), Negative fractal dimensions and multifractals, Physica A, Vol. 163, pp. 306-315.
21. Molles, M.C. (2005), Ecology: concepts and applications, New York: McGraw-Hill.

22. Morse, D.R., Lawton, J.H., Dodson, M.M., and Williamson, M.H. (1985), Fractal dimension of vegetation and the distribution of arthropod body lengths, Nature, Vol. 314, pp. 731-733.
23. Murphy, W. (2006), Forest Recreation in a Commercial Environment. Small-scale Forestry and Rural Development: the Intersection of Ecosystems, Economics and Society, Galway-Mayo Institute of Technology, Galway, Ireland, pp. 347-356.
24. Naveh, Z. (2000), What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction. Landscape and Urban Planning, Vol. 50, pp. 7-26.
25. Olson, R.L. & Sequiera, R.A. (1995), An emergent computational approach to the study of ecosystem dynamics. Ecological Modelling, Vol. 75, pp. 95-120.
26. Plotnick, R.E., Gardner, R.H. & O'Neill, R.V. (1993), Lacunarity indices as measures of landscape texture, Landscape Ecology, Vol. 8, No. 3, pp. 201-211.
27. Risser, P.G., Karr, J. R., & Forman. R.T.T. (1984), Landscape ecology: directions and approaches, Illinois Natural History Survey Special Publication number 2.
28. Shulman, M.J. (1984), Resource limitation and recruitment patterns in a coralreef assemblage, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 74, No. 1, pp. 85-109.
29. Sugihara, G. & May, R.M. (1990), Applications of fractals in ecology, Trends in Ecology and Evolution, Vol. 5, No. 3, pp. 79-86.
30. Snyder, S. & Revelle, C. (1997), Multiobjective Grid Packing Model : An Application In Forest Management, Location Science, Vol. 5, No. 3, pp. 165-180.

31. Thorne, J.F. & Huang, C.S. (1991), Toward a Landscape Ecological Aesthetic : Methodologies for Designers and Planners. Landscape and Urban Planning, Vol. 21, pp. 61-79.
32. Turner, M.G. (1989), Landscape ecology: the effect of pattern on process, Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 20, pp. 171-197.
33. Wiegert, R.G. (1975), Simulation models of ecosystems, Annual Review of Ecology System, Vol. 6, pp.311-338.
34. Wiens, J.A., Stenseth, N.C., van Horne, B., & Ims, R.A. (1993), Ecological mechanisms and landscape ecology, OIKOS, Vol. 66, No. 3, pp. 369-380.
35. Wu, J. & Hobbs, R.J. (2002), Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis, Landscape Ecology, Vol. 17, No. 4, pp. 355-365.
36. Wu, J. & Hobbs, R.J. (2007), Key Topics in Landscape Ecology, Cambridge University Press, Cambridge.