

## 數位科技於森林生態系經營區劃之應用-台大實驗林個案研究

成晨光<sup>1</sup> 陳永寬<sup>2</sup> 詹進發<sup>3</sup> 伍肇雄<sup>4</sup> 梁治文<sup>5</sup>

### 【摘要】

森林生態系經營區劃為落實生態系經營之首要工作。本研究旨在應用數位技術以建立台大實驗林生態系經營區劃之作業體系，包括林地分類與經營區劃、以及決策支援系統之建立與林地適宜性分析等。在林地分類與經營區劃方面，主要係應用數值地形模型粹取二級河集水區作為林地分類的基本單元，並推導出十二種地文因子，然後利用多變值統計之因素分析，自十二種地文因子中，篩選出地勢陡高強度、植被多樣性強度、地勢曲折起伏強度、地勢單調平坦強度等四種因素，再應用群落分析方法，利用該四種因素將台大實驗林林地分為一等生產利用類、次等生產利用類、物種豐富類、國土安全警戒類等四類，各佔總面積之 3.74%、64.09%、31.95%及 0.22%，然後參照現行森林經營相關法令、規章、政策，以及土地使用現況，進一步地將一等生產利用類和次等生產利用類之林地區劃為「林木經營區」，將國土安全警戒類林地區劃為「國土保安區」，將物種豐富類林地區劃為「森林育樂區」與「自然保護區」，使林地分類結果更能落實至經營管理層面上。經區劃後之四區，分別佔台大實驗林總面積之 67.83%、0.22%、9.11%、22.84%。

實驗林經林地分類、區劃之後，再以美國農業部林務署研發之生態系經營決策支援系統(EMDS)為藍本，建立適合實驗林使用之決策支援系統，並利用該決策支援系統，根據海拔高、坡度及土壤等影響林地生產力之最主要三因子，針對實驗林之「林木經營區」進行林地適宜性分析，並將其區劃為極適宜、適宜、不適宜等三個等級，各級分別佔「林木經營區」面積 28.60%、57.45%及 13.95%；佔台大實驗林總面積 19.40%、38.97%、9.46%。本研究建立完成之決策支援系統，除可依議題調整參數修正準則外，並可針對各管理階層需要，依不同尺度、準則、權重評估林地適宜性，建立替選方案，為森林經營計劃評估上之便利工具。

---

<sup>1</sup> 通訊作者，中國文化大學數位地球研究中心專員 Corresponding Author, Specialist, Digital Earth Research Center, Chinese Culture University. Email:ccjeremy@staff.pccu.edu.tw

<sup>2</sup> 國立台灣大學森林環境暨資源學系教授 Professor, Department of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University.

<sup>3</sup> 國立政治大學地政學系助理教授 Assistant Professor, Department of Land Economics, National Chengchi University.

<sup>4</sup> 中國文化大學地理學系助理教授 Assistant Professor, Department of Geography, Chinese Culture University.

<sup>5</sup> 國立台灣大學農學院實驗林管理處組長兼代副處長 Deputy Director, The Experimental Forest of National Taiwan University. x

**【關鍵字】** 生態系經營、林地分類、經營區劃、決策支援系統、適宜性分析

## **The Application of Digital Technique on Forest Ecosystem Management Zoning: A Case Study of the Experimental Forest of National Taiwan University**

Chen-Kuang Cheng<sup>1</sup> Yeong-Kuan Chen<sup>2</sup> Jin-Fa Jan<sup>3</sup> Chao-Hsiung Wu<sup>4</sup> Raymond Leong<sup>5</sup>

### **【Abstract】**

Ecosystem management zoning is essential to forest ecosystem management. The objective of this study is to establish an operation framework, by applying digital technique, for the ecosystem management zoning of the Experimental Forest of National Taiwan University (NTU), including forestland classification, management zoning, decision support system, and forestland suitability analysis. As the aspect of forestland classification, digital terrain model was applied to automatically extract the 2<sup>nd</sup>-order watershed as a basic unit for forestland classification and to derive 12 physiographic factors. Four principal factors, i.e. the degree of steepness and height of terrain, the degree of vegetation abundance, the ruggedness degree of terrain, and the smoothness degree of terrain, were derived through factor analysis of 12 physiographic variables. Then cluster analysis was applied to these principal factors to divide the experimental forest into four management categories, i.e. primary production regions, secondary production regions, species abundance regions, and the security alert regions, which occupy 3.74%, 64.09%, 31.95%, and 0.22% of the total area, respectively. For forest management purpose, according to the related laws, regulations, policies, and present land use status, these management regions were categorized into four management zones. These zones include timber production zones (67.83%) comprising primary and secondary production regions; protected zones (0.22%) formed by security alert regions; recreation zones (9.11%) and nature conservation zones (22.84%) made up of species abundance regions.

After forestland classification and management zoning, the EMDS (Ecosystem Management Decision Support System), developed by the U.S. Forest Service, a decision support system was applied to develop a decision support system for the experimental forest, NTU. The system was then used to perform forestland suitability analysis for timber production regions. Based on three major factors affecting timber productivity of the forestland, i.e. elevation, slope, and soil, the timber production zones were classified into three classes including very suitable, moderate, and non-suitable. The areas of these three classes occupy 28.60%, 57.45%, and 13.95% of the timber production zones, or 19.40%, 38.97%, and 9.46% of the entire experimental forest, respectively. The decision support system created in this study

allows the analyst to adjust parameters and modify decision rules. Therefore it can be used to evaluate the suitability of forestlands and management alternatives according to the needs of different management hierarchies, for which varying scales, criteria, and weighting sets are considered. It is proved that the system is a powerful tool for evaluation of forest management plans.

**Keywords: ecosystem management, forestland classification, management zoning, decision support system, suitability analysis**

## 1.前言

數位科技的倍速發展，使得電腦儲存、擷取及運算資料的能力大幅提昇，原需耗費龐大儲存空間和極高運轉效能的影像及地形資料，皆因而獲得突破，並進而可以將數位科技廣泛地運用於森林資源的經營管理。

地理資訊系統乃數位科技在地理空間資訊的應用，其乃是利用電腦蒐集、儲存、處理並分析空間位相資料之空間資訊系統，可結合電腦科技、航遙測技術、空間資料庫及森林經營管理有關資訊，對森林資源及資訊作整合、存取和分析，其在森林經營管理及其他行業之使用愈來愈廣泛。

農委會 2002 年舉辦之「林地分級與台灣森林資源永續經營」研討會曾宣示，台灣森林資源經營，已從早先側重木材生產的單一目標，轉為重視多重目標之多目標經營，如今更演進到重視森林系統整體性、階層性，及各組成份子間交互影響的森林生態系經營。台灣自民國九十年起全面實施森林生態系經營，森林經營者理應依照生態系層級導向的區劃和分級方法，來擬定經營策略和方案，並將森林生態系經營理念在台灣做創造性轉化，才能落實森林生態系經營(戴振耀，2002)。由該宣示可看出，傳統的森林資源經營，因常僅考量單一森林資源或單一經營目標，致無法預測或評估其對森林生態系所可能造成之衝擊，而強調生態、經濟、社會三層面的森林生態系經營，因視森林為一複雜生態系，並依生態原則適度地經營，使森林成為健壯、多樣、永續之生態體系，同時在經濟上可行，並符合民眾需求和社會大眾所接受。地理資訊系統及相關數位科技具備處理及運算龐大及複雜資料的特性，適足以做為森林生態系經營的有效工具。

欲實施森林生態系經營，其首要工作是以森林生態層級系統為基礎之經營區劃。森林生態系經營區劃之目的，主要乃就所經營的林地，先根據其生態屬性，區分為不同的地類，然後再依經營環境之限制條件進行經營區劃，以落實分類管理；同時可在不同的經營區劃內，分析與評估其林地適宜性，譬如，可在生產林範圍內，評估各林地作業單元之經濟生產力，並予以分級，使有效率地發揮林地之經濟效益。因此，欲落實森林生態原則於經營管理實務，林地分類、經營區劃及林地適宜性分析等均為必要的工作項目。此外，為方便森林經營者從事該項工作，建立決策支援系統亦有其必要性，因森林經營者可藉助該決策支援系統迅速地掌握林地現況，並針對不同的經營目的將林地作合理的規劃與利用。

林地分類係根據林地的環境特性予以歸類，使林地的利用達到合理的配置，然而，適宜的林地分類作業體系事實上和分類系統、分類方法、和分類單元具有密切的關係。就分類系統而言，常因不同的國家、地理區域、政府機構、或林地使用目的而有所不同(Bailey, 1996)。而分類方法則可分為區域分類(regionalization)與基地分類(site classification)二種，但由於多變值統計分析之發

展，使得基地分類方法近年來受到森林資源規劃者與經營者之重視與應用。至於分類單元方面，雖然常見的方法有網格、地形單元、集水區等(Mashimo and Arimitsu 1981, Meijere and Mardanus 1988)，但因集水區具有地理空間差異性，可視為理想的林地分類單元(Odum 1969)。有關林地分類的相關研究，國外方面有美國的 Corliss (1974)、Daubenmire(1976)、Pfister(1976)，加拿大的 Lacate (1981)，和日本的 Kawana(1981)、Mashimo and Arimitsu (1981)等。文獻所見皆屬傳統分類方法，計有地位指數法、土壤分類法、生育區類型法等，大都採用單一因子，無法真正反應出生態系之結構關係。因此，應用多重生態因子做為分類標準，近年來頗為盛行。在國內方面，郭傳鎮(1994)、沈昆禧和管立豪(1995)等曾以林地分類做為探討主題，而黃書禮(1988)之淡水河流域河川水質管理、鄭祈全(1995)之六龜林地分級、許秀英(1995)之八仙山事業區林地分類、賴晃宇(1995)之台大實驗林水源涵養保安林規劃、翁瑞豪(1995)之森林火災管理，以及廖錦偉(1997)之台灣杉造林地選擇等亦採用多變值統計分析之因素分析、群落分析、判別分析，並配合地理資訊系統進行林地分類的研究。

森林經營區劃之相關研究成果國內並不多見，楊榮啟、高強等 (楊榮啟等 1982, Kao and Yang 1991, 1992)曾以效率觀點，探討如何在區域均衡考量下，進行林區重劃，並將國有林原十三個林區重劃為現今之八個林區。高強(2002)並曾評估比較該區劃結果之實際經營績效。此等研究均在森林多目標經營架構下，探討森林是否發揮其多重經營目標。在生態系經營理念下的區劃則有鄭祈全(2000, 2002)、王素芬(2001)等以集水區做為分類的基地單元，先進行森林生態系經營的林地分類，再進行各類林地的適宜性分析，依據該分析結果進行林地的分級和分區。惟羅紹麟(2002)認為分類分區為異中求同，分級為同中求異，其主張在森林經營上理應先分類分區，再進行林地的分級。

林地適宜性分析的主要目的在了解林地使用的潛力與限制，使林地資源作有效的空間配置，以減少林地利用的負面效應。有關適宜性分析的方法很多，較具代表性的如美國農業部的土地潛力分類(land capability classification)、聯合國糧農組織之土地評估(land evaluation)等。國內方面，鄭祈全(2000, 2002)、王素芬(2001)、詹進發(2002)等都曾以林地適宜性分析做為探討主題，其中王素芬(2001)、鄭祈全(2002)更建立林試所六龜試驗林之林地分級決策支援系統，並利用該決策支援系統深入探討林地適宜性的分析模式和台灣杉生育地的選定方式。詹進發(2002)則著眼於林務局目前仍沿用地位指數做為林地分級標準，故致力於研究林務局與林試所二種不同生態系經營區劃系統之比較。

本研究有鑑於生態系經營區劃為落實森林生態系經營之首要工作，因此，擬針對台大實驗林建立一生態系經營區劃之作業體系，包括林地分類與經營區劃、以及決策支援系統之建立與林地適宜性分析等，供台大實驗林未來執行森林生態系經營之用。

## 2. 研究方法

### 2.1 研究試區概況及試區資料

台大實驗林位於台灣森林之中心，行政區域屬南投縣，地跨該縣鹿谷、水里及信義等三鄉。該實驗林總面積為 32,781 公頃，南北狹長，南北長約 37 公里，東西寬自 6 至 14 公里不等；地勢北低南高，海拔最低為 220 公尺，位於濁水溪南岸之龜子頭；海拔最高為 3,959 公尺，位於南端境界線上之玉山山頂，高低差達 3,732 公尺；在氣候方面，氣溫以一、二月為最低，七、八月為最高，平均年雨量約 2,000 公厘，全年依降雨情形，可劃分為乾季與雨季，自十月至翌年四月為乾季，其餘月份為雨季。平均相對濕度在 80% 以上，其中以溪頭最高(89%)，和社最低(79%)。

台大實驗林共劃分為 42 個林班，分別為溪頭、清水溝、水里、內茅埔、和社及對高岳等六個營林區，總面積為 32,781 公頃。其中對高岳營林區所屬之 28、29 及 31 等三個林班，面積 5,898 公頃，之前由林務局代管，現雖已歸還台大，惟因資料不全，不在本文研究範圍之內。

至於所使用的資料有農林航空測量所提供之 5m x 5m 及 40m x 40m 的數值地形模型(DTM)、林業試驗所土壤調查隊所完成之土壤分級圖。在研究設備方面則有個人電腦、地理資訊系統軟體 ArcView 3.1、地理資訊系統軟體 ARC/INFO 8.0.1、生態系經營決策支援系統軟體 EMDS 2.0、知識庫套裝軟體 NetWeaver 15.20 及統計套裝軟體 SAS/STAT 6.12。

### 2.2 研究方法

本研究參考鄭祈全等(2000)所建議之生態系分類法，目的在建立台大實驗林生態系經營區劃之作業體系，過程包括生態層級系統之林地分類與經營區劃、以及決策支援系統之建立與林地適宜性分析等。有關實驗林生態系經營區劃之研究方法詳敘如下。

#### 2.2.1 生態層級系統之林地分類與經營區劃

如前言所敘，林地分類與分類系統、分類方法及分類單元具有密切的關係。就分類單元而言，由於集水區因地文、水文、植被各異，用以探討森林資源經營問題，在生態上頗具意義，因此應用數值地形模型自動粹取集水區作為林地分類的基本單元，為目前林地分類單元常見的方法。本研究使用陳永寬等(1999, 2000, 2001)所粹取之台大實驗林一級河至六級河集水區作為選取分類單元之對象，並將研究試區之範圍和各級集水區之生態單元做面積對照，俾選取合適的河川級序集水區做為本研究之基地單元。在分類方法方面，本研究採用有利於多變值統計

分析的基地分類方法。至於分類系統方面，則採用多變值統計方法，將數值地形模型所推導出的十二種地文因子進行因素分析(factor analysis)，並選取所需要的共同因素(common factor)，然後再透過群落分析(cluster analysis)，將實驗林林地做生態上的歸類，以完成生態層級的分類系統，亦即將實驗林全區視為大尺度的區域單元；經統計分析歸類後之單元視為中尺度之地景單元；而分類所用之基本生態單元(集水區)則視為小尺度的基地單元。

在完成林地分類之後，再參照現行森林經營相關法令、規章、政策，以及土地使用現況，進一步地將台大實驗林區劃為不同的生態系經營區，使林地分類結果能落實至經營管理層面上。

### 2.2.2 決策支援系統之建立與林地適宜性分析

本研究以美國林務署所研發之生態系經營決策支援系統(EMDS)作為建構台大實驗林多尺度決策支援系統之架構，並提供實驗林林地適宜性分析之用。事實上，EMDS 是以知識庫為基礎的生態系經營決策支援系統，其主要功能在於將以知識為基礎之推論轉化為邏輯推論形式，配合地理資訊系統訂定評估方案，並對生態環境資料加以評價，而其知識庫係以模糊邏輯為基礎，可整合生態、地理、生物、社會與經濟等主題，其所組成之網路架構對於複雜、抽象的生態問題，亦可提供比傳統方式更符合生態原則之解決方式，因此，本步驟先將上述完成之生態層級系統之林地分類與生態系經營區劃結果，以 EMDS 為藍本，建構為一符合生態原則之多尺度決策支援系統，再利用該決策支援系統，執行林地適宜性分析，其作法為參考國內外研究報告與相關法規，採用海拔高和坡度二種最主要的地理因子，再加上土壤分級資料，依據模糊邏輯法給予分級標準，以建立評估準則。由於 EMDS 運算時，可使用不同的尺度單元，同時針對林地生產力之影響因子，亦可給予不同的權重，以產生各種替選方案，但因本研究的目的僅在於林地適宜性之評估，因此，過程中僅採用一種尺度和等權重的方式，針對實驗林之「林木經營區」，進行林地適宜性之評估工作，並將該林木經營區區劃為不同的等級。

## 3. 結果

### 3.1 林地分類

#### 3.1.1 林地分類單元之選擇

應用數值地形模型自動粹取集水區之結果，台大實驗林一級河集水區共有 265 個(如圖 1)，二級河集水區共有 52 個(如圖 2)。由於二級河集水區的結果與現行之基本經營單位—林班之規模最為接近，因此，本研究以二級河集水區作為林地分類的基地單元。



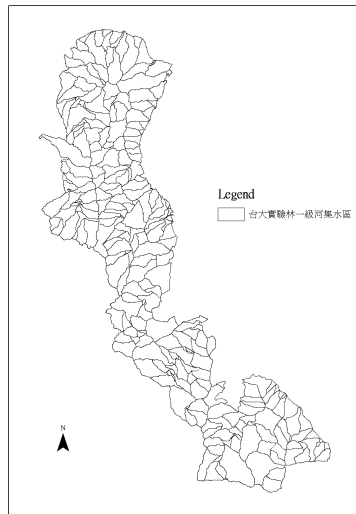


圖 1 一級河集水區圖

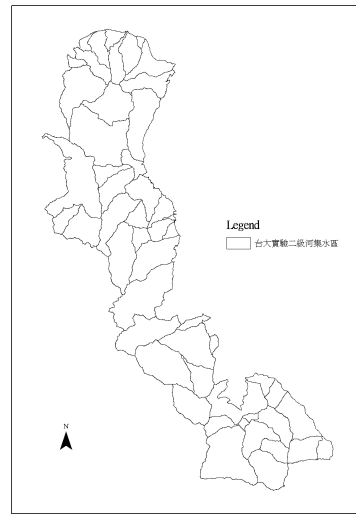


圖 2 二級河集水區圖

### 3.1.2 集水區地文因子屬性計算

本步驟主要是以二級河集水區為單元，分別計算十二種地文因子之平均值如圖 3~圖 14，供後續多變值統計分析之用。

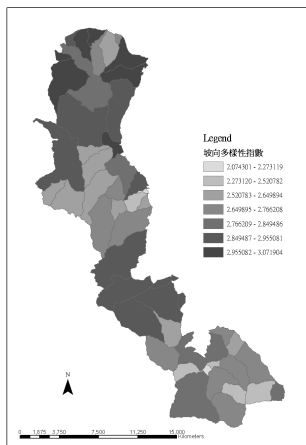


圖 3 坡向多樣化指標圖

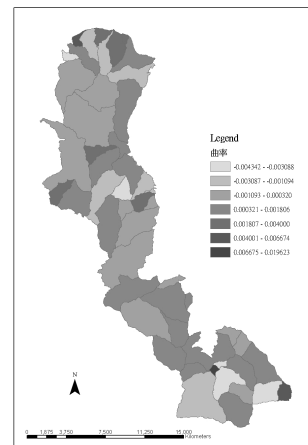


圖 4 曲率圖

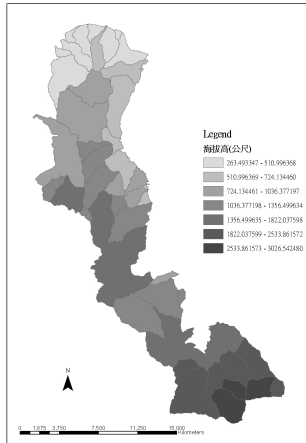


圖 5 海拔高圖

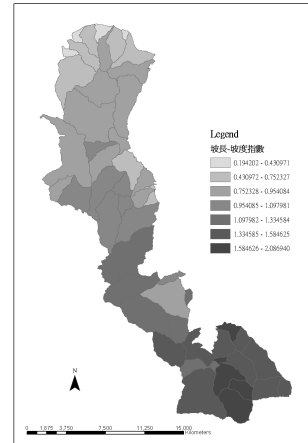


圖 6 坡長—坡度指數圖

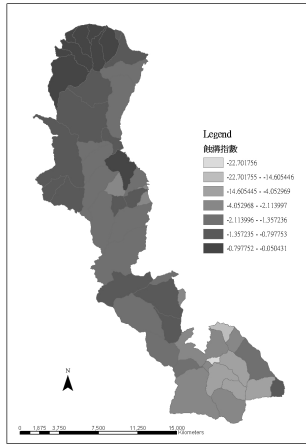


圖 7 蝕溝指數圖

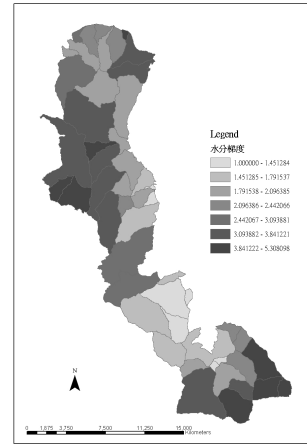


圖 8 水分梯度圖

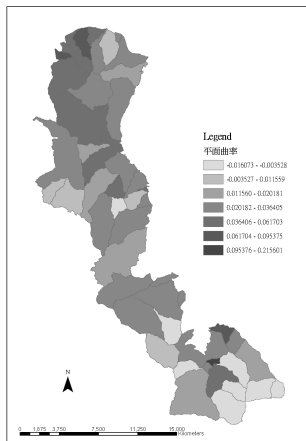


圖 9 平面曲率圖

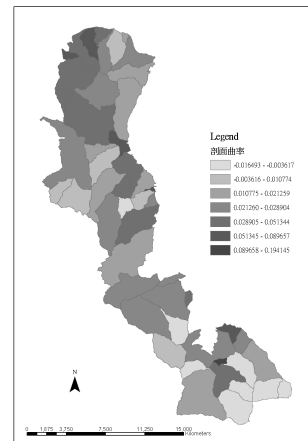


圖 10 剖面曲率圖

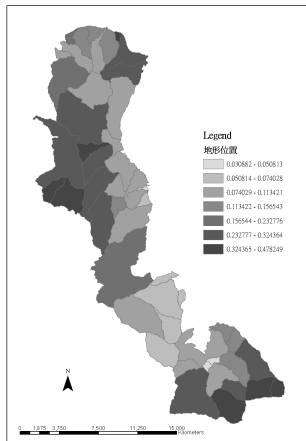


圖 11 地形位置圖

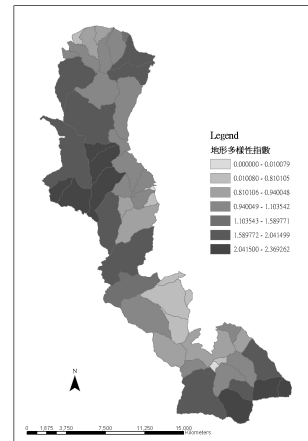


圖 12 地形多樣化指標圖

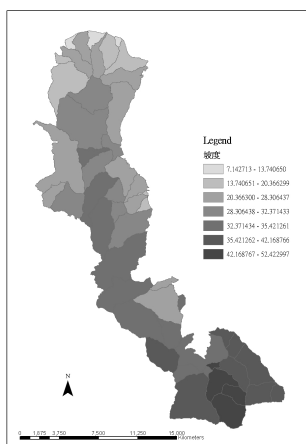


圖 13 坡度圖

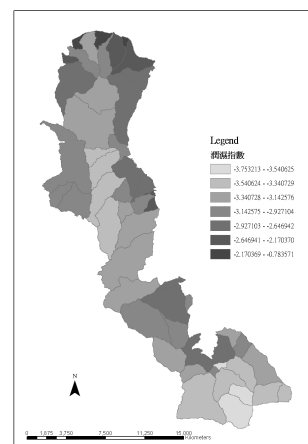


圖 14 潤濕指標圖

### 3.1.3 因素分析

為瞭解十二種地文因子間之相關性，本步驟先針對 52 個二級河集水區之 12 個地文因子，計算其相關矩陣如表 1。由該表可看出，有些變數彼此間存在著相關性。

表 1 地文因子的相關係數矩陣

地文因子	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
坡長-坡度指數(1)	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
潤濕指標(2)	-0.7568	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
地形位置(3)	0.0324	-0.1181	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
剖面曲率(4)	0.0370	0.0319	-0.3985	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-
平面曲率(5)	0.0420	0.0232	-0.3683	0.9913	1.0000	-	-	-	-	-	-	-
水分梯度(6)	0.0283	-0.1334	0.9897	-0.4120	-0.3844	1.0000	-	-	-	-	-	-
海拔高(7)	0.8387	-0.6561	0.3562	-0.3673	-0.3561	0.3448	1.0000	-	-	-	-	-
蝕溝指數(8)	-0.6438	0.3239	0.1333	-0.6221	-0.6352	0.1604	-0.3218	1.0000	-	-	-	-
曲率(9)	-0.0614	0.1831	0.0402	-0.2431	-0.2483	0.0110	0.0143	0.2252	1.0000	-	-	-
坡度(10)	0.9732	-0.8753	0.0986	0.0128	0.0216	0.1005	0.8402	-0.5721	-0.0937	1.0000	-	-
坡向多樣化指標(11)	-0.3550	0.2261	0.0100	0.1373	0.1253	0.0547	-0.3787	0.2679	-0.3589	-0.3221	1.0000	-
地形多樣化指標(12)	0.0606	-0.2911	0.9253	-0.4088	-0.3772	0.9303	0.3354	0.1684	-0.1434	0.1658	0.1553	1.0000

由於地文因子具有 12 個變數，且變數間彼此存在著相關性，因此，為減少資料的空間向度，以利於分析結果之說明，本步驟以因素分析之主成分法萃取共同因素，並以該共同因素替代原始變數。至於共同因素數目之決定，本研究以特徵值大於 1 為保留標準，計選取四個共同因素，其累積解釋變異量達到 90.53%，如表 2。其次，為使共同因素的分析意義更為明顯，本研究另採用最大變異法進行因素轉軸，同時重新計算各因素之因素負荷量，各相關統計分析結果如表 3 至表 5 所示。

表 2 共同因素之特徵值與累積解釋變異量

	特徵值	比率	累計比率
因素一	<b>4.2329</b>	35.27%	35.27%
因素二	<b>3.6631</b>	30.53%	65.80%
因素三	<b>1.8877</b>	15.73%	81.53%
因素四	<b>1.0793</b>	8.99%	<b>90.53%</b>

	特徵值	比率	累計比率
因素五	0.5339	4.45%	94.97%
因素六	0.4069	3.39%	98.36%
因素七	0.1081	0.90%	99.27%
因素八	0.0432	0.36%	99.63%
因素九	0.0279	0.23%	99.86%
因素十	0.0079	0.07%	99.92%
因素十一	0.0062	0.05%	99.98%
因素十二	0.0029	0.02%	100.00%

表 3 因素組型矩陣

	因素一	因素二	因素三	因素四
坡長-坡度指數(1)	0.7389	-0.6228	-0.1154	-0.0661
潤濕指標(2)	-0.7311	0.4200	-0.0245	0.2679
地形位置(3)	0.6230	0.5820	0.4009	0.3237
剖面曲率(4)	-0.4319	-0.6961	0.4793	0.2594
平面曲率(5)	-0.4105	-0.6899	0.4984	0.2794
水分梯度(6)	0.6218	0.5951	0.4155	0.2698
海拔高(7)	0.9034	-0.2014	-0.1956	-0.0736
蝕溝指數(8)	-0.2245	0.8186	-0.2664	-0.2966
曲率(9)	-0.0088	0.2075	-0.6197	0.5761
坡度(10)	0.7946	-0.5732	-0.0572	-0.1159
坡向多樣化指標(11)	-0.3256	0.2491	0.5739	-0.4876
地形多樣化指標(12)	0.6470	0.5487	0.4863	0.0622

表 4 轉軸後各因素之因素組型矩陣

	因素一	因素二	因素三	因素四
坡長-坡度指數(1)	<b>0.9583</b>	-0.0141	0.1433	0.1114
潤濕指標(2)	<b>-0.8702</b>	-0.0898	0.0070	0.1342
地形位置(3)	0.0605	<b>0.9824</b>	-0.1426	0.0578
剖面曲率(4)	-0.0824	-0.2558	<b>0.9347</b>	-0.1495
平面曲率(5)	-0.0754	-0.2233	<b>0.9459</b>	-0.1440
水分梯度(6)	0.0627	<b>0.9766</b>	-0.1687	0.0071
海拔高(7)	<b>0.8719</b>	0.2547	-0.2141	0.1716

	因素一	因素二	因素三	因素四
蝕溝指數(8)	-0.5263	0.0623	<b>-0.7685</b>	-0.0893
曲率(9)	-0.1745	-0.0120	-0.1941	<b>0.8311</b>
坡度(10)	<b>0.9801</b>	0.0554	0.1066	0.0423
坡向多樣化指標(11)	-0.3557	0.0808	-0.0094	<b>-0.7759</b>
地形多樣化指標(12)	0.1461	<b>0.9269</b>	-0.2053	-0.1932

各因素之屬性及其命名如下

因素一：以海拔高、坡度、坡長—坡度指數、潤濕指標(逆向)為主要特性。本研究以「地勢陡高強度」名之。

因素二：以地形位置、水分梯度及地形多樣化指標為主要特性。一般在量測已達穩定狀態植被間之環境差異時,主要是量測對植被具有顯著影響的水份梯度,森林的組成從空間分佈的格局上來看,是沿著地形的水份梯度變化而變化,而在物種多樣性方面也是隨著水份梯度的增加而增加(賴,1995).本研究以「物種多樣性強度」名之。

因素三：以平面曲率、剖面曲率及蝕溝指數(逆向)為主要特性。本研究以「地勢曲折起伏強度」名之。

因素四：以坡向多樣化指標(逆向)及曲率為主要特性。本研究以「地勢平坦單調強度」名之。

表 5 因素分數產生矩陣

	地勢陡高強度	物種多樣性強度	地勢曲折起伏強度	地勢平坦單調強度
坡長-坡度指數(1)	0.25317	-0.05033	0.00826	0.01319
潤濕指標(2)	-0.25456	0.05124	0.0766	0.17735
地形位置(3)	-0.06161	0.38832	0.12411	0.10929
剖面曲率(4)	-0.06265	0.06673	0.4003	0.01222
平面曲率(5)	-0.06488	0.08256	0.41247	0.02048
水分梯度(6)	-0.05354	0.37581	0.1021	0.06619
海拔高(7)	0.2283	0.007	-0.10155	0.03831
蝕溝指數(8)	-0.08539	-0.08625	-0.34216	-0.12798
曲率(9)	-0.11262	0.05084	0.041	0.61555
坡度(10)	0.26295	-0.03649	-0.00878	-0.04023
坡向多樣化指標(11)	-0.03384	-0.01032	-0.07794	-0.54746
地形多樣化指標(12)	-0.00328	0.32147	0.03704	-0.10376

### 3.1.4 林地分類組數之決定

在求計 52 個集水區在四個共同因素上之因素分數之後，直接以非階層式群落分析之 K-means 方法將 4 個因素得分將集水區分為若干群落，各種不同群落數之 CCC 值的變化如表 6，CCC 值在群落組數由 4 組增為 5 組時出現區域轉折點，且為最高值，因此選定 K=4 作為最適群落組數，將 52 個集水區歸併成四種地類，依各地類在各因素屬性之強度可以區分出一等生產利用類(群落一)、次等生產利用類(群落二)、物種豐富類(群落三)及國土安全警戒類(群落四)等四種地類，各地類在各因素屬性軸上之平均值的統計如表 7；各地類面積之統計如表 8，其展示如圖 16。

表 6 立方群落指標值

群落數	F-value	R-square	CCC
2	8.38	0.22098	-2.939
3	12.96	0.38305	-1.327
<b>4</b>	<b>17.87</b>	<b>0.5124</b>	<b>0.624</b>
5	13.45	0.61755	-3.600
6	12.04	0.66601	-4.308
7	19.01	0.70442	0.677
8	8.95	0.73593	-6.56

表 7 各地類(群落)在各因素軸上之平均值統計表

群落	地勢	植被	地勢	地勢
	陡高強度	多樣性強度	曲折起伏強度	平坦單調強度
一等生產利用類(群落一)	-1.33033	-0.30739	0.17887	<b>1.52979</b>
次等生產利用類(群落二)	0.00477	-0.47153	-0.11821	-0.43411
物種豐富類(群落三)	0.56003	<b>1.31747</b>	-0.25683	0.1879
國土安全警戒類(群落四)	<b>1.88392</b>	-0.35806	<b>5.75138</b>	0.30624

表 8 各地類群落之面積統計摘要表

地類別	面積(公頃)	集水區(個數)	所佔面積比率(%)
一等生產利用類(群落一)	1.036.0882	7	3.7
次等生產利用類(群落二)	17,755.3953	31	64.09
物種豐富類(群落三)	8,849.3790	13	31.95

國土安全警戒類(群落四)	61.0928	1	0.22
合計	27,701.9553	52	100.00

### 3.2 森林經營區劃

為方便落實至經營管理層面，本研究參照現行森林經營相關法令、規章、政策，以及土地使用現況，同時再參照各森林經營單位之分區類別和準則，將台大實驗林分為國土保安區、森林育樂區、林木經營區及自然保護區等四種區劃，該經營區劃準則如表 9。依據該準則，將上節所導出的四種地類施行區劃，其中一等生產利用類及次等生產利用類林地劃為「林木經營區」，將國土安全警戒類林地劃為「國土保安區」，將物種豐富類林地劃為「森林育樂區」與「自然保護區」。四區各佔台大實驗林總面積之 67.83%、0.22%、9.11%、22.84%。；區劃結果如表 10 及圖 17 所示。

表 9 森林經營區劃準則表

分區名稱	目標	原則	相關法令與政策	涵括地區
國土保安區	以國土保安之公益效能為重，輔以適當之復育撫育措施及生態工法，保全森林健康及水源涵養。	1.保安林、水庫集水區、水源水質保護區、施業限制地。 2.海拔高 2500 公尺以上或平均坡度 35 度以上之生態單元。	1.依森林法劃編入之保安林。 2.依國家公園法劃設之一般管制區。 3.依野生動物保育法劃設之野生動物保護區之緩衝區。 4.依飲用水管理條例劃設之水源水質保護區。	本研究之國土安全警戒地類
森林育樂區	配合國民生態旅遊需要，以森林資源為導向，並以環境教育為主。	1.生態旅遊活動地區。 2.為符合經濟效益及減少生態衝擊，森林育樂區之區位以目前其所隸屬之經營區為優先劃定範圍。	1.依森林法劃設之森林遊樂區。 2.依國家公園法劃設之遊憩區。 3.依野生動物保育法劃設之野生動物保護區的永續利用區。 4.依國家風景特定區計畫之遊憩區、服務設施區。	位於本研究之物種豐富地類之範圍內且以最鄰近於目前之森林遊樂區的經營區為最優先劃定區域。
林木經營區	以育林、林木生產、副產物培育利用為主要目標之經濟林。	1.海拔高 2500 公尺以下、平均坡度 35 度以下之生態單元。 2.經林地適宜性分析結果，列為「適合」及「極適合」之生態單元。		本研究之一等及次等生產利用地類



分區名稱	目 標	原 則	相關法令與政策	涵括地區
自然保護區	生物多樣性保育為主，保水固土為輔。	1.天然原生林分佈區域。 2.為保護國家特有之自然風景、野生動物及史蹟。 3.保育野生動物及其棲息環境。 4.為保育自然之需要。	1.依自然保護區設置管理辦法劃設之自然保護區。 2.依文化資產保存法劃設之自然保留區。 3.依國家公園法劃設之生態保護區、特別景觀區、史蹟保存區。 4.依野生動物保育法劃設之野生動物保護區之核心區、野生動物重要棲息環境。 5.依國家風景特定區計畫之特別景觀區、自然景觀區。	本研究之物種豐富地類

表 10 台大實驗林經營區劃面積統計摘要表

森林經營區劃	面積(公頃)	集水區(個數)	所佔面積比率(%)
林木經營區	18,791.4835	38	67.83
森林育樂區	2,524.9550	3	9.11
自然保護區	6,324.4240	10	22.84
國土保安區	61.0928	1	0.22
合計	27,701.9553	52	100.00

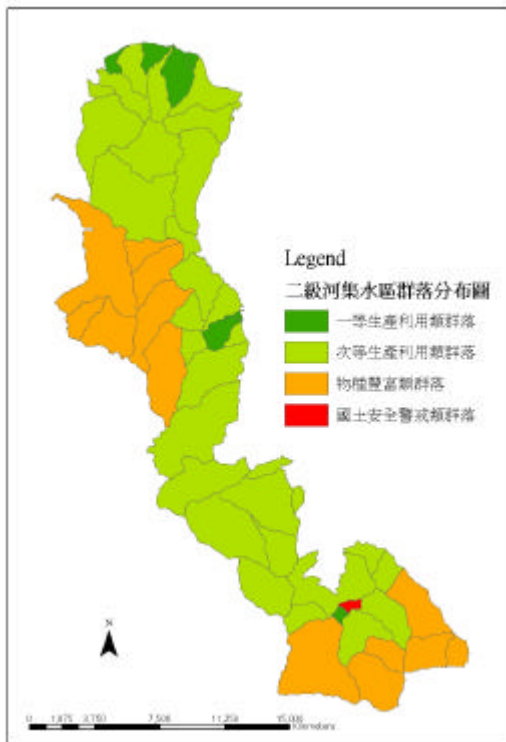


圖 15 台大實驗林二級河集水區各地類分佈圖

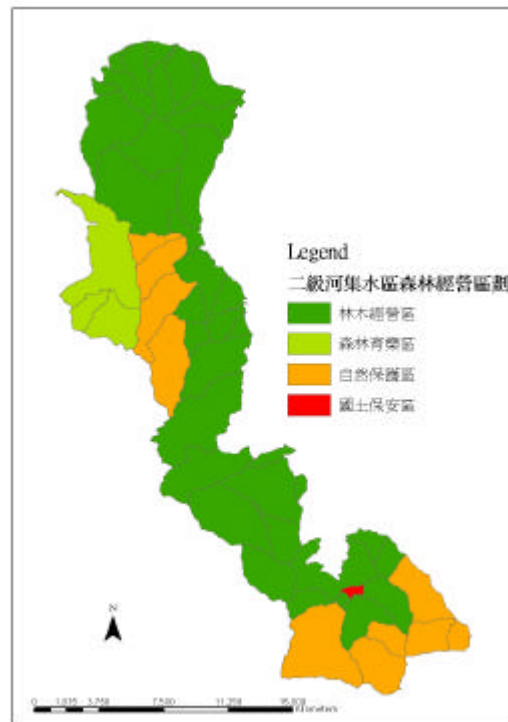


圖 16 台大實驗林經營區劃圖

### 3.3 決策支援系統之建立與林地適宜性分析

#### 3.3.1 決策支援系統之建立

本研究以 EMDS 為框架，參照王素芬之森林生態系決策支援系統(2001)，建構決策支援系統。過程中首先需建立知識庫及資料庫，而知識庫中評估因子為高程、坡度、土壤因子等，依序建置資料庫；土壤特性分成九級，1 到 9 分別表示由最好到最差，線性轉換成 1 0 之隸屬函數。坡度方面則依據林務局坡度分級標準，25 度以下為平地至丘陵地形，屬於可從事林木經營之地區；另據山寺喜成(1977)稱，大型喬木植物適生坡度以 35 度以下為佳。故指定 25 度以下者，林地經營適合度隸屬函數為 1，坡度在 25 度到 35 度之間，其隸屬函數由 1 至 0 遞減；坡度 35 度以上，隸屬函數由 0 至-1 遞減。至於海拔高方面則依據「國家

公園或風景特定區內森林區域管理經營配合辦法」第七條規定，海拔高度兩 2,500 公尺以上地區禁止伐採。因此，指定 2,500 公尺以下林地經營適合度隸屬函數由 1 向 0 遞減，2,500 公尺以上隸屬函數由 0 向-1 遞減。

資料庫與知識庫建立之後，即可利用 EMDS 連結資料庫及知識庫，建構成決策支援系統，並以模糊邏輯法分析建立評估方案，以評估林地之適宜性。

### 3.3.2 台大實驗林林地適宜性分析

針對實驗林之「林木經營區」，利用所建立的決策支援系統，根據上述海拔高、坡度及土壤等之隸屬函數，進行林木經營區各集水區之林地適宜性分析。由於適宜度之評估值範圍介於 -1 1 之間，本研究將適宜度分為三級，即 0 至-1 表不適宜、0 至 0.3 表適宜、0.3 至 1 表極適宜，其中列於「適合」及「極適合」類別之林地，即為各林木經營區中之可作業地；「不適合」類，即為不可作業地，經營者可將該地做為其他非林木經營用途。表 11 為林木經營區林地分級之面積統計摘要表；圖 18 為林木經營區之適宜性分級圖。

表 11 林木經營區林地分級之面積統計摘要表

適宜性分類	面積(公頃)	集水區(個數)	所佔面積比率(%)
極適宜	5,373.7590	14	28.60
適宜	10,795.8967	16	57.45
不適宜	2,621.8278	8	13.95
合計	18,791.4835	38	100.00

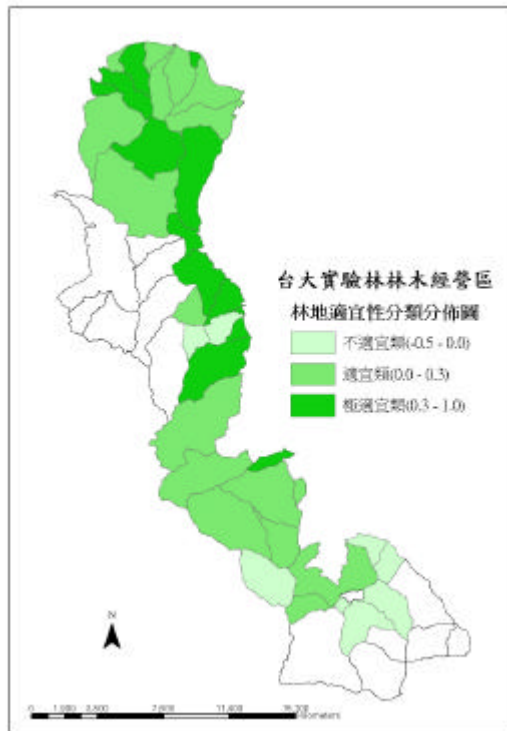


圖 17 台大實驗林林木經營區適宜性分級圖

## 4. 討論

- (1) 本研究藉由因素分析來萃取出十二種地文因子之四種共同因素，分別為地勢陡高強度、植被多樣性強度、地勢曲折起伏強度及地勢單調平坦強度，這四種因素將做為分類準則以應用於其後之群落分析，以幾何角度來看，這四個準則可視為四個維度，構成一個四維空間，準則本身就代表一個空間上的軸，且具有方向性。為共同因素命名是本研究在因素分析中最主要的目的之一，經由因素的命名，賦予個別共同因素在森林生態系經營策略上的意義，以藉其推導出各個林地生態地理上的屬性，否則因素本身的意義就不明確，甚至於難具意義。本研究之因素的命名依生態地理之屬性及具顯著相關之地文變數交集特質，找出其構念意義，符合因素命名之核心性、專業性及忠實性等三原則。以因素一之命名為例，從表 4 轉軸後各因素之因素組型矩陣可以看出有四個地文因子之組型負荷量之絕對值都在 0.9 左右，其中坡度達 0.9801，海拔高也達 0.8719，又加上其若應用於群落分析，將會構成一個維度，具有方向性，

因此命名為「地勢陡高強度」，「強度」則是用來突顯其在「地勢陡高」這個構念軸上的方向性。各因素之屬性及其命名都如表 4 之說明。

- (2) 本研究以前項所列之四種共同因素為準則，透過群落分析方法來將林地分類，藉此釐清各地類之屬性，在這四個因素軸上之位置，可以推導出各種地類之特性，以國土安全警戒地類為例：其在地勢陡高強度值約為 1.88 遠高於其他地類（如表 7），其在地勢曲折起伏強度值約為 5.75 也遠高於其他地類，依邏輯基礎應推導其為國土安全警戒類。本研究據以導出之四種地類，分別為一等生產利用類、次等生產利用類、物種豐富類及國土安全警戒類等四類林地。
- (3) 本研究應用主軸法來萃取共同因素，總共萃取了四個共同因素。所謂主軸法是以共同因素對總共同性之貢獻極大化為原則，逐一萃取數個共同因素的方法；特徵值即為該共同因素對總共同性之貢獻，由萃取方法得知第一個共同因素之特徵值最大，其代表能力最強，其餘依序類推。因此，為各地類命名時必須特別注意各因素之權重絕不相等，因素一之權重大於因素二，因素二也必然大於因素三，其餘可依此類推，因素之特徵值可以視為該因素之權重值，例如本研究之因素一（地勢陡高強度）之特徵值為 4.2329、因素二（物種多樣性強度）為 3.6631、因素三（地勢曲折起伏強度）為 1.8877、因素四（地勢平坦單調強度）為 1.0793（如表 2），為地類命名時必須參考該權重值，否則會輕重不分，以致地類之生態地理屬性的推導產生謬誤。
- (4) 在森林經營區劃方面，自然保護區的性質理應有許多類，例如：以維持生物歧異度者、保護特定生物或地質者及其他特定目的者，本研究限於資料的限制，將自然保護區的目的設定於維持物種歧異度，若有更豐富的生物生態資料，理應可以藉由地理資訊系統的技術推導出最佳的規劃成果。
- (5) 在林木經營區之適宜性分析的部份，本研究採用海拔高、坡度及土壤等影響林木生產力之最主要的三項因子，並賦予等權重來進行適宜性分析的模擬，其目的是為了建構適宜性分析之決策支援系統。惟這三個因子對林木生產力的影響程度不一定相同，理應透過實驗設計及多元迴歸分析來探討其與生產力的關係，才能得知其確切的權重關係。再者，本研究之適宜性分析的評估值介於-1.0 至 1.0 之間，以-1.0 至 0 之間的評估值視為不適宜、0 至 0.3 之間視為適宜及 0.3 至 1.0 之間視為最適宜，惟該區間是可以變動的，端賴經營者來決定，易言之，適宜性應分為幾個區間及各區間的範圍，主要是由決策者依其經營準則及其他環境參數來決定，可以很主觀，也可以深具目標導向。

## 5. 結論

森林生態系經營區劃為落實生態系經營之首要工作，本研究不同於傳統上以人為主觀判斷之森林經營區劃方法，乃結合數位科技及地理資訊系統技術、配合多變值統計分析方法，嘗試建立台大實驗林生態系經營區劃之作業體系，包括林地分類與經營區劃、以及決策支援系統之建立與林地適宜性分析等，其結論可歸納如下：

- (1) 本研究藉由因素分析導出林地在生態上之四種共同因素的屬性，其分別為地勢陡高強度、植被多樣性強度、地勢曲折起伏強度及地勢單調平坦強度；再藉由群落分析所得之各種地類，在這四個因素軸上之位置，依邏輯基礎推導出各種地類，本研究據以導出之地類，分別為一等生產利用類、次等生產利用類、物種豐富類及國土安全警戒類等四類土地，其所佔總面積百分比分別為 3.74%、64.09%、31.95% 及 0.22%。該導出地類成果是透過試區森林生態系本身具有之最重要的環境因子—地形所獲致的，又加上該地類分析是以集水區做為森林生態系之分類的基本單元，其本身就具備重視生態系統的階層性、完整性及各基本單元之間的交互影響，所以，這種地類推導方法之資料及分析過程具備十足的客觀性、正確性及生態系統性，可做為施行森林生態系經營之地類分析的參考。
- (2) 為方便落實至經營管理層面，本研究將前段推導出之地類，參照現行森林經營相關法令、規章、政策，以及土地使用現況，進一步將上述一等生產利用類、次等生產利用類林地合併區劃為「林木經營區」，將國土安全警戒類林地區劃為「國土保安區」，將物種豐富類林地區劃為「森林育樂區」與「自然保護區」，這四區各佔台大實驗林總面積之 67.83%、0.22%、9.11%、22.84%。這種區劃方法乃是以森林生態層級系統為基礎，依照林地的生態屬性所導出，其顯然較客觀也較具說服力，這有別於以往依林地生產力之評估值來做經營區劃的方法，其也與森林多目標經營將森林視為可依經營者目標需要而任意分割的區劃理念大不相同，可做為推行森林生態系經營之區劃的參考。
- (3) 森林經營除了需符合生態原則之外，亦應考量不同管理階層之實際需要與經營效率。依本研究所建置之決策支援系統，針對林木經營區做適宜性分析，可以評估各林地之林木生產力，使經營者及作業人員瞭解各林地之潛力與限制，以提高經營效率。該林地適宜性決策支援系統，乃根據海拔高、坡度及土壤等三項因子，利用美國農部林務署研發之生態系經營決策支援系統(EMDS)進行林木生產適宜性分析，將林木經營區劃分三個等級，分別為極適宜、適宜及不適宜等三級，其所佔林木經營區之

面積百分比分別為 28.60%、57.45%及 13.95%；佔台大實驗林總面積 19.40%、38.97%、9.46%。此系統除可依關心之議題隨時調整參數修正準則外，且可針對各管理階層之需要，依不同尺度及不同準則權重以評估林地之適宜性並建立不同的替選決策方案，是森林經營策略性評估上之相當便利的工具。

- (4) 以模糊邏輯法進行林地適宜性分析不論是在學理或實證上都較傳統的方式更接近生態系經營的要求，且可依經營者所設定的標準來進行林地適宜性評等。因此建議日後森林資源經營評估，在生態系經營的要求下，應採用決策支援系統並以模糊邏輯法進行生態分析。
- (5) 影響林地適宜性分析結果最重要的是知識庫的建立，而變數因子的選擇及準則的訂定則受使用者之主觀判斷影響甚大。關於變數因子，若考慮生態系經營的多樣性，除了環境因子外，還需考慮許多如生物因子與社會人文因子等，以增加資料庫及分析的完備性，惟也需衡量經營的需求以及人力時間的投入等因素；關於準則之訂定，若能再加上數學規劃針對分級準則進行敏感度分析，測試準則之合理性，且在決策的過程中不斷地回饋與修正，應能得到更合理的評估結果。

## 誌謝

本研究所使用的土壤資料，係由農委會林業試驗所育林組土壤研究室所提供，特此誌謝。

## 6. 引用文獻

1. 王素芬 2001 森林生態系決策支援系統 - 以六龜試驗林為例 國立臺灣大學森林學研究所博士論文
2. 沈昆禧、管立豪 1995 林地分級及其應用 台灣林業 21(1):23-27
3. 高強 2002 森林資源永續經營之績效評估 「台灣林地分級與森林資源永續經營研討會」論文集 行政院農業委員會
4. 許秀英 1995 應用群落分析法於林地分類之研究—以八仙山事業區為例 宜蘭農工學報 10:19-28
5. 翁瑞豪 1995 應用土地分類於森林火災管理之研究-以陽明山國家公園為例 國立中興大學資源管理研究所碩士論文
6. 郭傳鎮 1994 地理資訊系統在水源涵養保安林規劃上之研究 國立臺灣大學森林學研究所碩士論文

7. 陳永寬 1999 整合性多尺度森林生態系經營資訊系統之研究 ( 1/3 )  
八十八年農委會科技計畫期終報告書
8. 陳永寬 2000 整合性多尺度森林生態系經營資訊系統之研究 ( 2/3 )  
八十九年農委會科技計畫期終報告書
9. 陳永寬、梁治文、成晨光、郭家隆、林長青 2001 整合性多尺度森林  
生態系經營資訊系統之研究 ( 3/3 ) 九十年農委會科技計畫期終報告  
書
10. 黃書禮 1988 淡水河流域土地使用規劃與河川質管理之研究 - 土地  
分類之應用與土地管理策略之研擬 國立中興大學都市計畫研究所
11. 楊榮啟、林文亮與高強 1993 台灣省現行國有林劃分與其經營效率之  
評估 林務局研究報告 台大森林系
12. 廖錦偉 1997 地理資訊系統在臺灣杉造林地選擇上之應用 國立臺灣  
大學森林學研究所碩士論文
13. 鄭祈全 1995 地理資訊系統在林地分級上之應用 林業試驗所研究報  
告季刊 10(2) : 241-254
14. 鄭祈全、詹進發、賴晃宇 2000 林地分級多尺度生態單元之研究 臺  
灣林業科學 15(1):71-79
15. 鄭祈全 2002 林地分級作業體系之探討與應用 「台灣林地分級與森  
林資源永續經營研討會」論文集 行政院農業委員會
16. 詹進發 2002 多尺度生態單元為基礎之林地分級(2/4) 九十一年農委  
會科技計畫期終報告書
17. 賴晃宇 1995 應用數值地形模型與地理資訊系統於水源涵養保安林  
之規劃研究 國立臺灣大學森林學研究所碩士論文
18. 羅紹麟 2002 森林經營之時空問題探討-從傳統到現代 「台灣林地分  
級與森林資源永續經營研討會」論文集 行政院農業委員會
19. 戴振耀 2002 江河不廢萬古流-建構以自然生態維護、資源永續利用  
和鄉土人文關懷的台灣長期森林發展規劃 「台灣林地分級與森林資  
源永續經營研討會」論文集 行政院農業委員會
20. 山寺喜成 1977 無土壤岩石綠化施工檢討 綠化工技術 15(1)
21. Bailey, R.G. 1996 Ecosystem geography. New York: Springer-Verlag.



22. Corliss, J. F. 1974 Ecoclass: a method for classifying ecosystems. Proc. Soc. Am. For.
23. Daubenmire, R. 1976 The use of vegetation in assessing the productivity of forestlands. The Botanical review 42 (2): pp.115-143.
24. Hills, G.A., D.V. Love and D.S. Lacate 1970 Developing a better environment, Toronto: Ontario Economic Council, Ontario Government Bookstore.
25. Kao, C. and Y.C. Yang 1992 Measuring the efficiency of forest management. Forest Science 37:1239-1252.
26. Kao, C. and Y.C. Yang 1992 Reorganization of forest districts via efficiency measurement. European J. Operational Research 58:356-362.
27. Kawana, A. 1981 Classification of forest land in Japan, In R.A. Carpenter Assessing Tropical Forestland, pp. 88-97.
28. Lacate, D. S. 1981 Discussion of biophysical land classification in Canada, Nat. Resour. Environ. Ser. 3: 96-104.
29. Mashimo, Y., and K. Arimitsu 1981 A site classification for forest land-use in Japan. XVII IUFRO World Congress, Tokyo, Division I pp. 103-106
30. Meijere, J.C., and B. Mardanus. 1988 Land use modeling for the upper Komerling watershed. ITC Journal 1988-1: pp. 91-95.
31. Odum, E.P. 1969 The strategy of ecosystem development. Science 164:262-70.
32. Pfister, R. D. 1976 Forestland capability assessment by habitat types, Proc. Soc. Am. For. pp. 312-325.