

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：研習)

六龜試驗林森林經營準則與指標之研究

服務機構：農委會林業試驗所
出國人職稱：研究員兼組長
姓名：鄭祈全
出國地區：美國奧立岡州立大學
出國期間：92年8月1日—92年10月31日
報告日期：92年12月31日

F8/c09300156

行政院及所屬各機關出國報告提要

頁數 16 含附件：否

報告名稱：六龜試驗林森林經營準則與標之研究

主辦機關/聯絡人/電話：

行政院農委會林業試驗所/郭麗娜/02-23039978#1318

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

鄭祈全/行政院農委會林業試驗所/森林經營組/研究員兼組長
/02-23039978#1318

出國類別：研習

出國地區：美國

出國期間：92年8月1日 92年10月31日

報告日期：92年12月31日

分類號/目：F8/林業

關鍵詞：準則與指標、永續經營、生態系經營、決策支援系統

內容摘要：森林生態系經營為台灣今後森林經營的主要方向。為求建立合理、適切的本土性森林生態系經營模式，應從環境、社會、經濟三大層面，發展森林經營準則與指標(Criteria and Indicators; C&I)，使森林經營能符合預期的目標。發展森林經營準則與指標之主要目的，在針對森林永續經營提出共通性的認知與科學性的定義，經由準則與指標所引導出來的森林經營方式，才能符合民眾目前對森林多元化的需求，因此，準則與指標的發展，可視為森林生態系經營的必要項目。本報告係作者於2003/8/1～2003/10/31前往美國奧立岡州立大學(Oregon State University)短期研究森林經營準則與指標之研究情形、心得及建議事項，內容除了蒐集國外有關生態系經營和準則與指標等資料以及現場觀摩之外，主要以目前正在執行森林生態系經營的林試所六龜試驗林為研究對象，並進行個案研究。由於森林生態系經營涵括環境、社會、及經濟三個層面，範圍較廣，加上六龜試驗林之經濟和社會面的資料取得、及研究時間僅三個月等問題，因此，僅針對該試驗林之林地適宜性(或森林生產力)，進行有關準則與指標之研究，並以美國林務署之生態系決策支援系統(Ecosystem Management Decision Support; EMDS)為架構，整合六龜試驗林有關林地適宜性的準則與指標，並建立一決策支援系統，供作永續性準則與指標評估之用。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網(<http://report.gsn.gov.tw>)

「六龜試驗林森林經營準則與指標」研究報告

【摘要】

森林生態系經營為台灣今後森林經營的主要方向。為求建立合理、適切的本土性森林生態系經營模式，應從環境、社會、經濟三大層面，發展森林經營準則與指標(Criteria and Indicators; C&I)，使森林經營能符合預期的目標。發展森林經營準則與指標之主要目的，在針對森林永續經營提出共通性的認知與科學性的定義，經由準則與指標所引導出來的森林經營方式，才能符合民眾目前對森林多元化的需求，因此，準則與指標的發展，可視為森林生態系經營的必要項目。本報告係作者於2003/8/1~2003/10/31前往美國奧立岡州立大學(Oregon State University)短期研究森林經營準則與指標之研究情形、心得及建議事項，內容除了蒐集國外有關生態系經營和準則與指標等資料以及現場觀摩之外，主要以目前正在執行森林生態系經營的林試所六龜試驗林為研究對象，並進行個案研究。由於森林生態系經營涵括環境、社會、及經濟三個層面，範圍較廣，加上六龜試驗林之經濟和社會面的資料取得、及研究時間僅三個月等問題，因此，僅針對該試驗林之林地適宜性(或森林生產力)，進行有關準則與指標之研究，並以美國林務署之生態系決策支援系統(Ecosystem Management Decision Support; EMDS)為架構，整合六龜試驗林有關林地適宜性的準則與指標，並建立一決策支援系統，供作永續性準則與指標評估之用。

目次

一、前言.....	3
二、研究情形.....	4
三、研究心得.....	6
四、建議.....	15

一、前言

森林永續經營為目前全球森林資源經營之熱門議題，而森林生態系經營為達成森林永續經營之必要階段。美國林務署為順應此趨勢，於1992年6月由署長訂定了實行森林生態系經營的政策，強調森林功能為多目標利用，需考量公眾的需求與環境的價值，使其成為具多樣性及永續性的生態系統。國內林業亦深受其影響，在自然保育、木材需求、遊樂需求及全球變遷壓力下，亦期望以符合生態原則的經營管理方式來經營本土的森林資源，俾達到符合生態、經濟、和社會層面之「永續發展」目標。因此，有關森林生態系經營的研討會與研究計畫遂相繼地舉辦與進行。然而，欲從傳統的森林經營轉變為森林生態系經營，卻不是一件容易的事，仍有許多問題有待林業人員之努力與突破。

林試所有鑑於森林永續經營和森林生態系經營為目前國內、外森林資源經營之熱門議題，除了分別於民國八十九年三月和九月舉行「森林資源保育與經營」研討會和「中美森林生態系經營」研討會之外，並自民國八十七年起在農委會經費補助之下，於六龜試驗林進行為期三年之森林生態系經營先驅計畫。作者曾參與該先驅計畫，主要的工作項目為航遙測與地理資訊系統技術於生態系分類和森林地景變遷監測等應用。然而，在執行該計畫期間，深深覺得該項研究工作之完成，除有賴於地理資訊系統、專家系統及模擬系統等技術之整合，再配合資料庫、模式庫及知識庫等建立之外，有關供經營作業判斷和決策用之準則與指標(criteria and indicators; C&I)之研擬與決定，事實上關係著森林生態系經營成敗的角色，因此，發展準則與指標以量化森林的現況與變遷，以及其未來的趨勢，實為森林永續經營和森林生態系經營之首要工作，此可從1993年蒙特婁會議決議：希各國發展其專有的評估準則與指標，以邁向森林永續發展，可窺知其重要性。

作者早期從事應用遙測、地理資訊系統、數值地型模型及專家系統等技術於林地分級、森林資源調查、森林經營規畫及林地管理方面之研究，經由參與六龜森林生態系經營計畫之經驗與體認，深知森林永續經營和森林生態系經營正主導著全球森林資源經營之方向，而評估森林永續性之準則與指標的發展，為森林生態系經營整體架構之重要項目，因此，遂以「六龜試驗林森林永續經營準則與指標之研究」作為短期研究的主題。至於前往的研究機構，則基於美國西部地區有較多的大學與研究機構如西雅圖的華盛頓大學、奧立崗州立大學和美國林務署PNW研究站等，業已在森林生態系經營與森林永續經營方面有實際的成果，因此，選擇奧立崗州立大學和美國林務署PNW研究站作為短期研究之機構，目的在瞭解該機構有關森林生態系經營、森林永續經營及永續經營準則與指標之研究與現場經驗。

二、研究情形

如前言所述，選擇奧立崗州立大學和美國林務署西北研究站(PNW)作短期研究的主要原因是因森林生態系經營起源於美國西北部，在1990年代因保育斑鼻的問題而衍出生態系經營的觀念，奧立崗州立大學森林學院也因地緣關係，在森林生態系經營與森林永續經營方面已有不少的實際成果，加上美國林務署西北研究站與奧立崗州立大學森林學院有合作關係，在森林生態系經營亦有不錯的研究成果與報告，因此，遂選擇奧立崗州立大學和美國林務署西北研究站(PNW)作為短期研究永續經營準則與指標之場所。

在三個月的訪問期間，除了在奧立崗州立大學森林學院和美國林務署西北研究站蒐集有關永續經營準則與指標之文獻、報告和參與研究計畫討論之外，並拜訪奧立崗州政府林業部門，以了解其在森林生態系經營、經營計畫案和永續經營準則與指標等方面之實際作業情形。此外，另借鏡美國和加拿大等林業部門有關準則與指標的做法，譬如準則與指標的訂定和須考慮的因素等，以林試所六龜試驗林作為個案研究。至於選擇六龜試驗林作為個案研究，主要是因林試所自民國八十七年始在農委會計畫補助之下著手為期三年之六龜試驗林森林生態系經營，其目標在發展森林生態系的經營理論及尋求合理經營森林生態系的技術，並在森林永續發展的前提下，為社會大眾提供最大的森林資源的效用。惟截至目前為止，有關該試驗林之生態系分類、地景規劃、和各類資源經營的規畫如濱水生態系保育策略、多元化育林體系策略；以及各種森林施業對生態系因子之可能效應，如砍伐與林道開闢對地景變遷之影響，疏伐作業對土壤養分、土壤微生物、微環境、鳥類群聚及二氧化碳蓄存之影響等方面的探討，大致上都已有初步的試驗成果，但森林生態系經營的整體架構除了計畫、執行、監測之外，有關應用準則與指標來評估森林作業是否符合永續經營亦是生態系經營的重要目標之一。目前，初步完成的六龜生態系經營計畫，由於經濟和社會方面的資料不足，以致於未納入生態系經營計畫書中，故現階段僅能就生態面，以各種準則與指標來評估其森林永續性，因此，本報告有關準則與指標之研究僅針對六龜試驗林之林地適宜性進行個案研究，內容包括發展林地適宜性(或森林生產力)之準則與指標的有關事項，譬如經營尺度問題、基本資料庫之建立、以及整合準則與指標所需之決策支援系統的研發等。

1. 六龜試驗林永續評估用基本資料庫之建立

六龜試驗林於民國七十七年左右因編定經營計畫之需要，才有全面的資源調查工作，當時調查的項目包括自然生態環境、植物資源、動物資源等，而有關人文社會經濟方面的資料較為缺乏。該次的調查因屬全面的資源調查，因此，調查方式除地面調查之外，亦採用航遙測技術，而調查所得之森林面積、林型和其分布面積、森林蓄積、生長量與枯死量、以及動物資料等，亦分別以地理資訊系統加以建檔。由於該次的調查資料除人文社會經濟的資料欠缺之外，其餘的資料將作為基準資料，並供六龜試驗林永續性評估之用。

2. 六龜試驗林經營尺度問題

生態系分類為森林生態系經營之首要工作，而執行森林生態系經營時，涉及經營尺度的問題，因此，建立符合階層式架構的生態系分類日漸受到重視，而該項工作可應用

數值地形模型、地理資訊系統、和多變值統計分析等技術來達到目的，其中數值地形模型供自動粹取集水區作為生態單元之用，地理資訊系統和多變值統計分析則用來建立階層式的生態系分類架構。有關六龜試驗林階層式的生態系分類架構，將採用符合生態系原則之基地(site)、地景(landscape mosaic)、區域(ecoregion)等三個階層架構，作為本研究之經營尺度，並提供永續性評估之用。有關六龜試驗林粹取經營單元的作法和所建立的階層式生態系分類架構與方法，亦可供未來全國性生態系分類和生態系經營之參考。

3. 整合準則與指標所需之決策支援系統的研發

由於決策支援系統可提供森林經營者經營作業上的判斷和提高決策的效率，因此，可用來解決森林資源經營問題，同時，從美國林務署最近有關準則與指標之計畫如森林經營監測計畫—The Local Unit Criteria and Indicators Development(LUCID)，亦可看出研發決策支援系統的需要性，因此，欲評估森林經營之永續性，有必要建立一決策支援系統，俾作為應用準則與指標評估森林永續經營之有效工具。為達成此目的，本個案研究以美國林務署發展的生態系決策支援系統為架構，針對六龜試驗林，建立具有整合準則與指標的決策支援系統，而有關林地適宜性森林永續性評估之準則與指標，亦將適時提供決策支援系統供作永續性評估之用。惟所建立的決策支援系統，除要求應能符合生態環境之不確定特性之外，亦可視實際需要，輕易地調整評估區域的範圍或隨時增減相關因子或改變評估的準則，並可即時以交談式的方式得到森林經營是否符合永續性的評估結果。有關六龜試驗林準則與指標之研究內容主要強調林地適宜性分析如下：

針對六龜試驗林劃定的林木經營區，進行林地適宜性分析，使該林木經營區能就林地適宜性作有效地規劃與評估。有關林地適宜性分析，主要以坡度和土壤特性二項做為林地生產力之影響因子。在研訂坡度準則方面，係依據台灣森林經營管理方案中之規定：「為加強森林國土保安之公益功能，坡度在 35 度以上的部份，全面限止伐採作業」，以 35 度為林地適宜性之上限，亦即坡度大於 35 度者視為不適於生產的地區；在研訂土壤準則方面，則以六龜試驗林土壤調查之土壤特性資料為主。此外，為符合生態環境之不確定性問題，在林地適宜性分析時，採用模糊邏輯理論予以規劃，並將林地適宜性規劃結果，依不同的等級產生分級圖。之後，再分別將地理資訊系統建檔之林型和其分布面積、森林蓄積、生長量與枯死量等，與基準資料比較，以達到林地適宜性永續性評估之目的。

三、研究心得

研究心得主要針對三個月來在奧立崗州立大學森林學院、美國林務署西北研究站、以及奧立崗州政府林業部門所蒐集到有關永續經營準則與指標的文獻與報告、以及現場參觀有關森林生態系經營、經營計畫案和永續經營準則與指標實際作業情形等資料，予以彙整，並提供六龜試驗林有關準則與指標個案研究之用。

1. 有關永續經營準則與指標之文獻與報告彙整及現場參觀後之心得：

在 1990 Montreal Process 提出 7 項準則與 67 項指標之後，森林已成為全球永續發展議題中極為重要的考量對象。許多國家亦先後將森林永續經營準則與指標納入國家林業政策，並期望將該準則與指標按照經營尺度落實於森林經營計畫案中。茲以加拿大和美國目前有關森林永續經營準則與指標為例說明如下。

(1) 加拿大森林部長委員會(CCFM)於 1997 年擇定生物多樣性、林地適宜性、水土資源、生態循環、多元化利益及社會責任等六項準則，及其下所發展的廿二個要項與八十三個指標，描述其評估重點、現有資料及其與森林永續性的關係，以協助森林經營在生態、環境、經濟及社會課題上的進展(資料摘自加拿大森林永續經營之準則與指標)。

加拿大森林永續經營之準則與指標

準則 1.0 生物多樣性保育

- 要項 1.1 生態系多樣性
- 要項 1.2 物種多樣性
- 要項 1.3 遺傳多樣性

準則 2.0 森林生態系狀況及生產力的維持與提昇

- 要項 2.1 干擾及逆壓的影響
- 要項 2.2 生態系復元能力
- 要項 2.3 現存生物量

準則 3.0 土壤及水資源保育

- 要項 3.1 物理環境因素
- 要項 3.2 政策及保護林因素

準則 4.0 森林生態系對全球生態循環的貢獻

- 要項 4.1 對全球碳收支的貢獻
- 要項 4.2 林地之變更
- 要項 4.3 林業與二氧化碳保育
- 要項 4.4 林業政策因素
- 要項 4.5 對水文循環的貢獻

準則 5.0 森林對社會的多元化利益

- 要項 5.1 生產能力
- 要項 5.2 資源工業的競爭能力

- 要項 5.3 對全國經濟的貢獻
- 要項 5.4 非木材價值
- 準測 6.0 永續發展的社會責任
 - 要項 6.1 原住民固有的條約保障之權
 - 要項 6.2 原住民部落在森林永續經營中的參與
 - 要項 6.3 森林社區的永續性
 - 要項 6.4 公平有效的決策制定
 - 要項 6.5 掌握資訊的決策制定

(2)美國亦參照 Montreal Process 之 7 項準則與 67 項指標，在「關心林地與服務民眾」(Caring for the Land and Serving People)之任務下，要求美國林務署研擬有關永續監測的計畫，第一個計畫由 Boise 國有林和林務署研究所透過國際合作方式，並由林務署調查暨監測所(Inventory and Monitoring Institute; IMI)負責檢測 CIFOR(Center for International Forestry Research)森林經營單元之永續性準則與指標，該項工作已於 1999 完成，重點除了檢測準則與指標之永續性應用之外，另強調有關生態、經濟、和社會面之方法論與作法。第二個計畫則由林務署要求調查暨監測所研發區域單元的準則與指標，稱為 LUCID (Local Unit Criteria and Indicators Development)，並選定六個國有林作為區域單元準則與指標之研究試區，該計畫項下總計有生態、經濟及社會 3 原則、16 準則、58 指標和 119 個建議測定值，茲摘錄包含尺度和準則與指標之森林永續發展流程如圖 1。

經由加拿大與美國森林永續經營之準則與指標例子可看出，二者在 Montreal Process 所提出之 7 項準則與 67 項指標之大原則下，各自發展與其國家林業政策有關之準則與指標，並據以作為國家森林永續經營評估之依據。惟發展該準則與指標時，除了考量生態、經濟及社會三方面的準則與指標之外，亦需考量整合各種不同準則與指標之系統如圖 2 和考量不同經營尺度的問題如區域單元、地景單元、生態單元等，圖 3 即為有關維持生態完整性之準則與指標例子(資料摘自 LUCID 計畫)，此外，經費亦為考量因素之一，例如奧立崗州政府林業部門即在此情況下，透過委員會組織制度，選擇幾項較為重要的準則與指標，予以實施，並落實於州政府之森林經營計畫內之監測項下，俾作為州森林永續經營評估之用。有關奧立崗州政府林業部門研訂準則與指標之作業方式如圖 4。

2. 有關六龜試驗林森林經營準則與指標之個案研究心得：

基於發展森林經營準則與指標所考量的因素(譬如整合各種不同準則與指標之系統、不同經營尺度及經費問題等)，本個案研究僅以六龜試驗林之林地適宜性為對象，並發展其準則與指標，故內容依序為經營尺度問題、基本資料庫之建立、以及整合準則與指標之決策支援系統的研發等項目。

(1) 經營尺度問題：本個案研究以集水區為基本的經營單元

在建立基本資料庫和研發所需之決策支援系統之前，經營尺度之決定為發展森林經營準則與指標之首要考慮事項。有關經營尺度的問題，誠如上述所敘，不同的國家斟酌



圖 1 包含尺度和準則與指標之森林永續發展流程圖

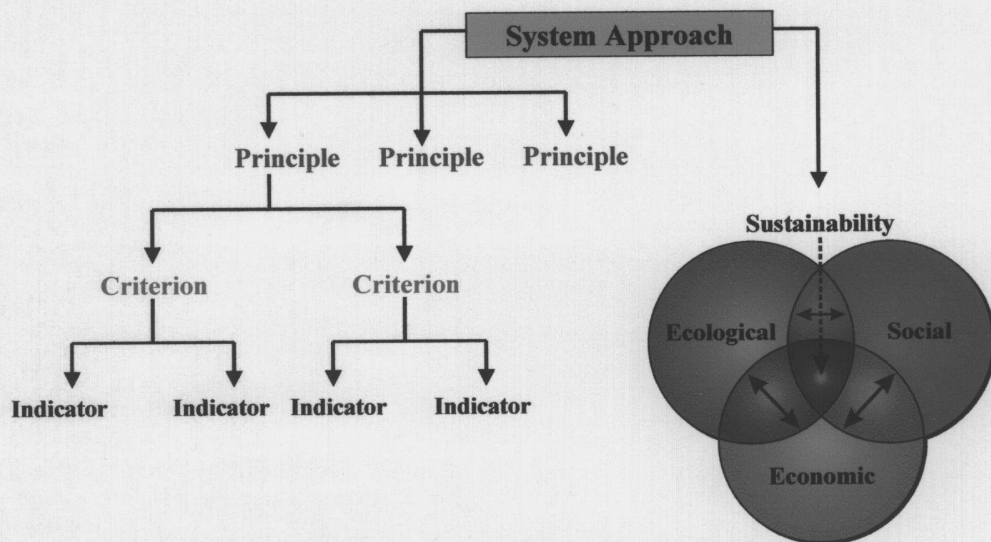


圖 2 整合生態、社會和經濟準則與指標之系統方法

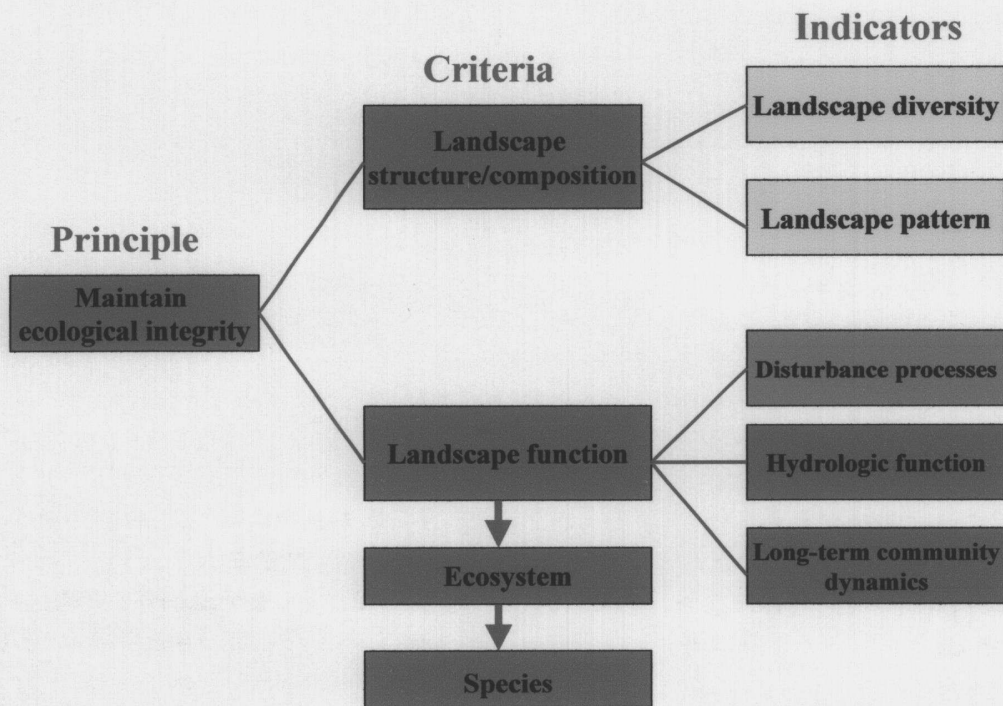


圖 3 以維持生態完整性為例之準則與指標架構圖

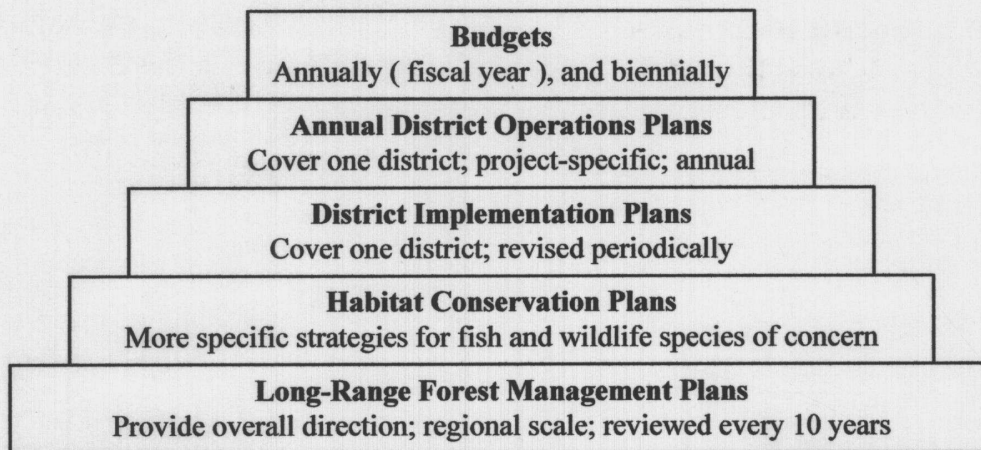


圖 4 美國奧立崗州政府林業部門研訂準則與指標之作業方式

各自的國情而發展與其國家林業政策有關之準則與指標，並據以作為國家森林永續經營評估之依據，此處所提之準則與指標，事實上包括不同經營尺度的準則與指標。就六龜試驗林而言，由於轄區總面積約一萬公頃，因此，在執行此項工作時，本個案研究考慮以集水區作為基本的經營單元，並據以形成較大的地景單元和區域單元等，其原因乃集水區因具有地理空間差異性，故在地形、水文及生態上有其特別的意義，因此，可視為一基本的生態單元，並供作為本個案研究之最小的經營單元。

本個案研究基於此考量，在經營單元之粹取上，主要利用六龜試驗林之數值地形模型，經過濾處理、窪洞處理、排水匯集量之計算、河川網路之粹取、河川編碼等步驟，以自動化粹取方式分別產生不同級序之集水區單元，並利用海拔高、坡度及坡向三個地形因子，透過多變值統計之群落分析方法(cluster analysis)，將六龜試驗林區劃成多尺度之經營單元，以符合試驗林經營管理所需之階層式架構。圖 5 為利用六龜試驗林之數值地形模型，以自動化方式分別粹取不同級序集水區之結果。圖 6 為透過多變值統計之群落分析方法，以二級河集水區為經營單元，利用海拔高、坡度及坡向三個地形因子，將該試驗林區劃成三種尺度之經營單元：基地單元(site)、地景單元(landscape mosaic)、及區域單元(ecoregion)。由該結果明顯地可看出，若整個六龜試驗林視為一個區域單元，則該區域單元係由三個地景單元所構成，而各地景單元則由不同數目的基地單元(即本研究的二級河集水區單元)所構成，此多尺度經營單元的區劃結果頗符合地形之連續體特性。

(2) 基本資料庫之建立

除了考量不同經營尺度之外，研發決策支援系統，以整合各種不同的準則與指標亦成為森林永續性評估之關鍵性項目，惟在建立所需之決策支援系統之前，基本資料庫之建立亦為必要的工作。然而，以往所建立之地理資料庫，並非以經營單元作為建立資料庫之單元，因此無法滿足當今森林生態系經營(以生態系或地景為經營單元)之需求。本個案研究基於此考量，在粹取出集水區作為最小經營單元之後，隨即將上述所得之多尺度經營單元如基地單元、地景單元、及區域單元等，建成多尺度的地理資料庫，其過程包括地理資料庫之規劃與整合、以及將所建立的資料庫整合於決策支援系統中，俾供後續整合各種準則與指標及研發決策支援系統之用。

(3) 整合準則與指標所需之決策支援系統的研發

a. 決策支援系統之建立

有關研發決策支援系統，以整合各種準則與指標的工作已成為評估森林永續經營最重要且最關鍵性的項目。針對此，本個案研究以美國林務署所開發的 EMDS 作為整合準則與指標所需之決策支援系統的建構基礎，因此，在知識庫建立方面，係根據 EMDS 所提供的 NetWeaver，以相依網路(dependency network)和資料連結(data link)等二種物件為架構，將林地適宜性相關因子和評估準則予以結合。其次，在資料庫建立方面，為瞭解不同經營尺度所扮演的角色，以及探討其對林地適宜性之影響，除了建立相關的主題圖層(如土壤特性和坡度等)和依經營單元方式建立屬性資料之外，另將上述所粹取之不

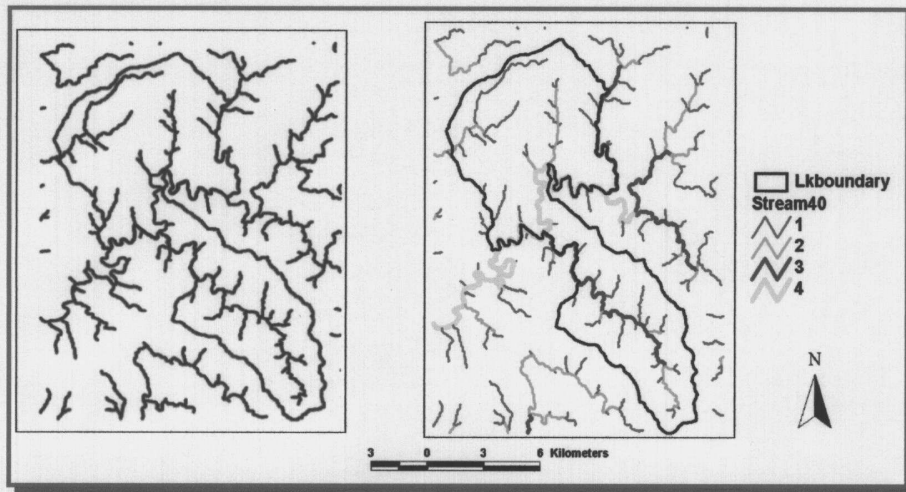


圖 5 六龜試驗林河川網路圖和河川級序圖

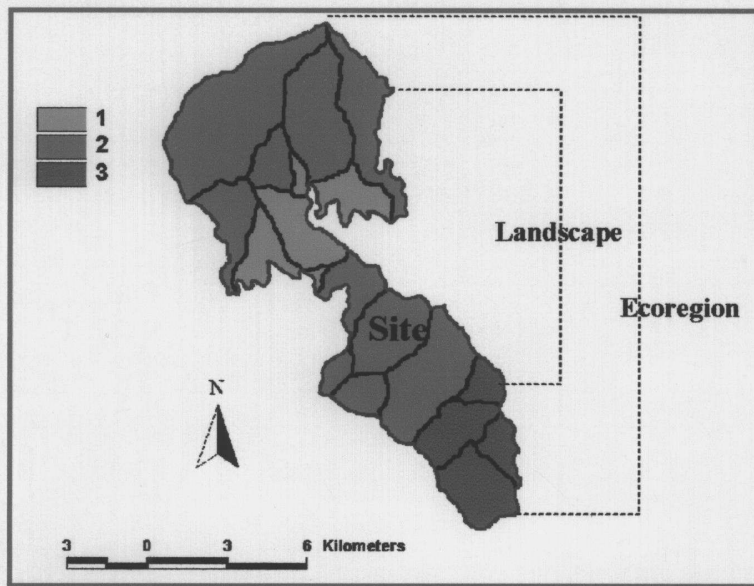


圖 6 六龜試驗林區劃成基地單元、地景單元、及區域單元之經營尺度圖

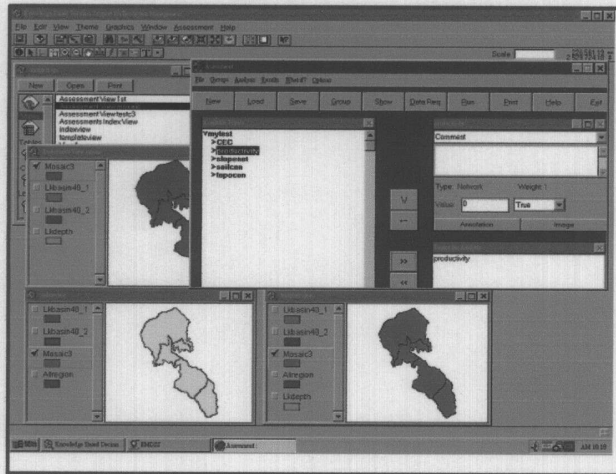


圖 7 以準則與指標為基礎所建構之決策支援系統

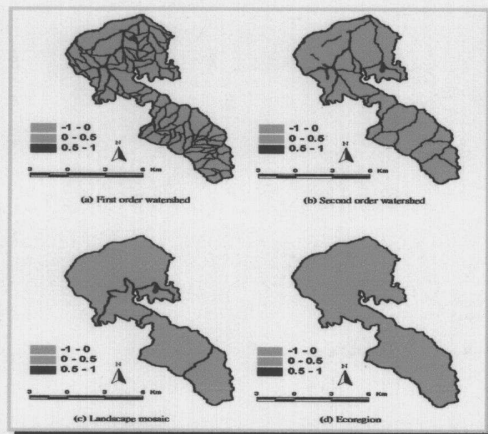


圖 8 決策支援系統於林地適宜性分析之結果

(a)一級河集水區單元 (b)二級河集水區單元

(c)地景單元 (d)區域單元

同尺度的經營單元圖，建成一個 ArcView 的主題圖層，並在完成知識庫和資料庫圖層的建立之後，隨即將該資料庫和知識庫與決策支援系統相結合，並建構一可整合準則與指標之決策支援系統，供六龜試驗林林地適宜性分析之用。圖 7 即為本個案研究以 EMDS 整合與林地適宜性有關之資料庫和知識庫後所建構成的決策支援系統，該系統可針對坡度和土壤特性二因子迅速地評估六龜試驗林內每一經營單元之林地適宜性，同時，在此系統之下亦可以輕易地調整評估區域的範圍和大小，同時可以視實際需要，隨時增減相關因子或改變評估的準則，即時得到林地適宜性的評估結果。因此，就系統建構與實際應用而言，本個案研究所建構的決策支援系統，整體上可符合林地適宜性分析和森林永續經營評估之需要。

b. 林地適宜性之準則訂定

本個案研究選擇坡度和土壤特性做為林地適宜性之主要影響因子。在研訂坡度準則方面，係依據台灣森林經營管理方案中之規定：「為加強森林國土保安之公益功能，坡度在 35 度以上的部份，全面限止伐採作業」，以 35 度為林地生產力之上限，亦即坡度大於 35 度者視為不適於生產的地區。在研訂土壤準則方面，原本應以分成九級(1-9 分別代表最差到最好)之土壤特性資料為主，然為了簡化級數，本研究另將土壤特性資料與土壤調查手冊中所記載之林地適合程度(分成 1-3 級)作比對，目的在檢測以分成 3 級之土壤特性資料取代土壤因子的可信度。

c. 決策支援系統應用於林地適宜性分析

由於模糊邏輯運算對於不確定性的問題可提供較合理的分析結果(Renolds 1998)，因此，本個案研究在應用決策支援系統進行林地適宜性分析與評估時，係採用模糊邏輯運算方式，將坡度和土壤特性二因子依限制條件的適宜程度轉換成-1~1 之間的隸屬函數，其中 1 表示林地完全適宜生產的情況；-1 則表示林地完全不適宜生產的情況，而隸屬函數的遞減，就適合度而言代表林地逐漸不適宜生產。有關本研究坡度和土壤特性二因子的設定方式為：坡度在 25° 以下為平地至丘陵地形，適宜林木的生產，故指定其隸屬函數為 1；坡度在 25 到 35° 之間為山地地形，其隸屬函數從 1 遞減為 0；坡度在 35° 以上為陡峭地形，不適宜林木的生產，故隸屬函數從 0 遞減為-1。至於土壤特性部份，本個案研究亦根據同樣的方式，將分級為最差到最好的土壤特性資料經線性轉換成-1~1 的隸屬函數。

在完成林地適宜性分析之後，為評估林地適宜性之結果，本個案研究將林地適宜性隸屬函數大於 0.5 的部份視為最適宜林地生產之區域；隸屬函數介於 0~0.5 的部份視為適宜林地生產之區域；而隸屬函數小於 0 的部份則視為不適宜生產的區域，並繪出適宜性之分布區域。其次，為易於評估林地適宜性結果，另針對研究結果之隸屬函數大於 0 的部份，計算其面積大小。

圖 8(a)和圖 8(b)為一級河和二級河集水區單元之林地適宜性分析結果，其面積分別為 5189 公頃和 4938 公頃，由圖中可發現，就整個地景而言，以二級河集水區為經營單元之林地適宜性分析結果常形成較大的區塊，而以一級河集水區為經營單元之林地適宜性分析結果則區塊較為細碎，此乃因較大的經營單元在進行林地適宜性分析時，常因經

營單元之坡度因子符合或不符合限制條件，而會有全部歸類或不歸類的情形發生，此為使用不同大小經營單元之必然現象。此外，由圖 8(a)和圖 8(b)之林地適宜性分佈圖中可以發現，林地適宜性分佈圖的邊界會有不同於集水區單元邊界之情形，究其原因，主要是因林地適宜性分析所使用的土壤特性圖是以土系為基本單元，而坡度圖以集水區為基本單元，二者經由模糊邏輯運算和資料套疊後即產生邊界不一致的情形。

圖 8(c)和圖 8(d)為利用地景單元和區域單元所得到之林地適宜性分析結果，其面積分別為 5394 公頃和 6075 公頃。若從林地適宜林木生產之地景分佈來看，區域單元的林地適宜性分析結果較地景單元的分析結果顯得粗略，其造成的原因，與上述以一級河或二級河集水區為經營單元的情形相似。至於圖 8(c)和圖 8(d)中之林地適宜性分佈的邊界，仍有不同於集水區單元邊界的情形，其原因與上述情形類似。

由決策支援系統應用於林地適宜性分析之結果顯示，如果研究的範圍擴大，或者研究目的是要評估較大面積之林地適宜性時，經營單元可以採用較大的地景單元，或者更大的區域單元，因此，林業單位在執行此項業務時，理應就其目的與需求，考慮使用何種經營尺度。本個案研究在研發該決策支援系統時，事實上已將經營尺度的問題納入考慮，亦即考量到不同尺度的經營單元，因此，由本個案研究結果可得結論為：在林地適宜性分析議題上，不同經營尺度(如區域單元、地景單元、基地單元)和不同經營單元大小(如一級河二級河集水區單元)都有其各自的意義存在，完全視經營目的或規劃區域的範圍而定，此結論頗符合生態學的層級理論，也說明了本個案研究欲建立多尺度決策支援系統之真正原因。

d. 林地適宜性之永續性評估

在應用模糊邏輯理論進行林地適宜性分析之後，可將林地適宜性規劃結果，依不同的等級產生分級圖。之後，將分別建檔於地理資訊系統中之林型和其分布面積、森林蓄積、生長量與枯死量等資料，換算成森林生產力資料，然後再與基準資料作比較，以達到林地適宜性永續性評估之目的。然而，截至目前，六龜試驗林僅有一次較為完整且建檔的基本調查資料(六龜試驗林經營計畫案，1988)，因此，有關林地適宜性之永續性評估工作仍需等到蒐集另一次的森林資源調查資料，方能進行該項評估。

四、建議

- (一) 森林永續經營為目前國內、外森林資源經營之熱門議題，該目標之達成實有賴於森林生態系經營作業之落實。林試所自 1998 年始在農委會計畫補助之下，於六龜試驗林扇平地區等七個林班著手為期三年之森林生態系經營先驅計畫，大都已有初步的試驗成果，目前擬將試驗研究擴大至整個六龜試驗林，並編定該試驗林之生態系經營計畫案。由於森林生態系經營的整體架構包括計畫、執行、監測、評估等單元，若檢視目前的六龜生態系經營計畫可發現，雖然經營尺度的問題已予以考慮，但若推廣至全台灣，則由小尺度經營單元轉換成大尺度經營單元，仍有許多的問題亟待克服，譬如應用全台灣數值地型模型自動粹取不同尺度的經營單元和建立適合台灣森林經營本土化使用之階層式架構。有關該項工作之執行，建議由林務局、林試所、及林業領域之各學科教授與研究人員組成合作團隊，儘早規劃和進行本土化生態系分類之制定工作。至於在規劃、研訂生態系分類架構方面，應考量全國性的階層式架構，譬如大尺度的區域單元、中尺度的地景單元、以及小尺度的基地單元，並針對不同的經營尺度或經營單元，從環境、社會、經濟三大層面，發展森林經營準則與指標，並進行合理、適切的本土性森林生態系經營和森林永續性經營評估，使森林經營能符合預期的目標。
- (二) 本個案研究為整合森林經營準則與指標所建立的決策支援系統，係根據 EMDS，以物件導向和模糊邏輯理論為基礎來建構適合六龜試驗林使用的決策支援系統，該系統可依不同的經營目的或不同經營尺度的生態議題，視實際需要隨時調整其評估區域或增減相關因子或改變評估準則，並可迅速有效地地評估林地適宜性，除了可降低森林經營者的工作量與難度之外，亦可與不同管理階層整合而形成一有效的森林經營模式，使成為民眾、規劃者、管理者、和決策者間之有效的溝通工具。但從六龜試驗林林地適宜性分析發現，分析結果會受到經營尺度之影響，譬如，使用大尺度的分析結果雖然較為粗略，但可快速地瞭解到大面積的森林概況，適合於政策面的評估，而小尺度的分析結果雖可獲得較詳盡的資料，但需耗費較多的人力與時間，較適合於作業面的評估。因此，就實際應用面而言，在面對未來全國林地分級之龐大工作量以及國內林業界正推展森林永續經營和森林生態系經營之際，應早日建立一決策支援系統，以整合來自環境、社會、經濟三層面之森林經營準則與指標，並將其納入國家林業政策和按照經營尺度落實於森林經營計畫案中，俾落實森林經營之永續性發展。
- (三) 為因應森林永續經營和森林生態系經營之發展趨勢，國際間近年來的研究重點均強調整體經營(Integrated management)，亦即將傳統的森林經營和地景生態學整合，從單一尺度經營轉為多尺度經營；從有邊界的經營轉為跨越邊界的經營；以及從傳統的森林經營轉為適應性經營等，因此，就六龜試驗林之森林永續性評估而言，目前僅處於透過林地適宜性的準則與指標來評估試驗林的森林生產力，對於發展有關生物多樣性、水土保育、經濟及社會等層面之準則與指標，以及藉助該準則與指標來評估森林經營是否符合永續性等，仍有一大段的路要走，尤其是想把這願景推展至全國性森林

永續經營和生態系經營時，建議更應以目標導向方式朝整體經營發展，早日發展生物多樣性、水土保育、經濟及社會等層面之準則與指標，以作為政府評估全國森林永續經營的重要政策性工具。