

第四篇 多尺度森林生態系資源調查系統

【摘要】

由全球、區域、地區、林分、單株的森林空間多尺度來考量資源調查的資料收集、資料貯存、資料分析。各空間尺度以大尺度取樣調查收集較小尺度、較詳細的資料，再由較小尺度的樣本資料處理分析成為上一層次的資訊推估依據。而資料的貯存原則上以最小層級的調查資料貯存為主，其他各層級的資訊則需列明其處理分析過程和導出變數的定義。整個資源調查系統，由調查目的確定、取樣設計、調查項目、工具應用到資料建立、貯存、管理，以致於資料分析、模式的建立與資訊如何應用於經營管理上。

Multiscale Forest Resource Inventory and Monitoring

【Abstract】

The procedure of forest resource inventory are objective setting, data collection, data input and digitize, data analysis and modeling. We have to deal with forest inventory in different scales-global, region, local, stand and individual tree. Large scale data could give the profile of whole science, but small scale data have showed information in details. We had better storage data in small scale, and use the data to derive information of upper layer. The method and procedure of estimate on and analysis are needed to described in details.

一、觀念

性態值尺度 (Characteristic scale) 為：探討有關生態系為對象之性態值在不同時間、空間的現況、功能與變遷的過程。尤其指可以偵測的全球、區域、地區地景、林分、單株等不同維度的地理的性態值。(Stafford et al., 1994) 若以中興大學實驗林，第三林班、其內的木荷保護區，區內各單株林木的位置圖或新化林場，桃花心木造林地樣區內之立木來說明不同空間尺度之圖籍表示，則由附圖可見一斑，而全省、惠蓀林場、第三林班、木荷保護區等各個不同尺度內之不同圖層亦可由附錄之附圖展現。

經營新觀念—由過去的“以時入山林，林木不可勝收”的林木經營為單一考慮，至以多目標產物生產為主 FORESTSE (魚類野生動物 Fish and wildlife、戶外遊憩 Outdoor recreation、資源保護 Resource preservation、美感景緻 Esthetics、水土保持 Soil and water conservation、林木 Timber、社會教育 Social Education) 的多目標經營，至目前所倡導的以生態系知識、原則配合經營者、專家學者與大眾需求以意見溝通、技術改進為考量的生態系經營 (ecosystem management)。凡此由單一目標、多項目標到整體目標的自然資源經營，在在皆重視保續 (永續) 經營。而其所需要的資訊不外乎 (一) 資源的供給需求與經營狀況分析、(二) 資源性態值間

的關係、(三)有關經營資源性態值的變化。合理的經營管理需有充分的資訊，資訊內容則需具有供給、需求與經營三方面來加以評估，另外資料需作整合考量。

生態系經營的精髓在於承認人類目前資料與科學知識間存有相當的缺陷，而應努力於：(1)資料的整合，(2)資料收集之規畫設計，(3)科學的探研。整合過去已具有的圖籍、屬性資料、資訊與模式等資訊與衛星遙測、航空測量、地面調查等不同資料於多尺度的地理資訊系統中。改進資源調查與監測的技術，以獲得充分的資料、資訊與知識技術，那將可以促進資源經營管理與保育。

資訊對於評估不同尺度資源之經營策略與效果上相當需要。永續發展、保續發展 (Sustainable development) 係考慮現代與後代的需求的經營。森林生態系可經由健康、歧異度與生產力的保續經營、保育活動，而確保森林生態系，所以森林生態系經營為自然資源經營者進行保續生態的很好方法，森林生態系之經營措施應包括：

- (1)有效地整合科學與技術於決策中
- (2)在進行規劃時與其他單位結合、密切合作
- (3)使用生態評估，以對生態交互關係多一份瞭解
- (4)應用適應性經營 (adaptive management)，以獲得更新的資訊，科學知識與技術，並隨時調整經營方法策略，以便合理經營生態系
- (5)監測與評估，資源經營的成果與生態系保育狀況

二、調查系統

一個完成的調查體系，宜包括取樣設計、資料的結果、建檔、儲存、分析與應用，其內容如圖 4-1 所示：

(一) 調查資料收集—

- a.整合檢討、建檔過去已有資料
- b.由地面、低空、高空、太空等不同層次的載台與感應器整合收集資料
- c.設立永久樣區以進行整合資源調查與監測

(二) 調查設計

- a.規劃調查永久樣區的時間間隔
- b.進行多層級 (multiphase) 空間取樣設計 (spatial sampling)，同時對不同空間層次的資源，加以取樣調查
- c.系統建立後需無時無刻，進行檢討、調整適應之。

調查體系如下：

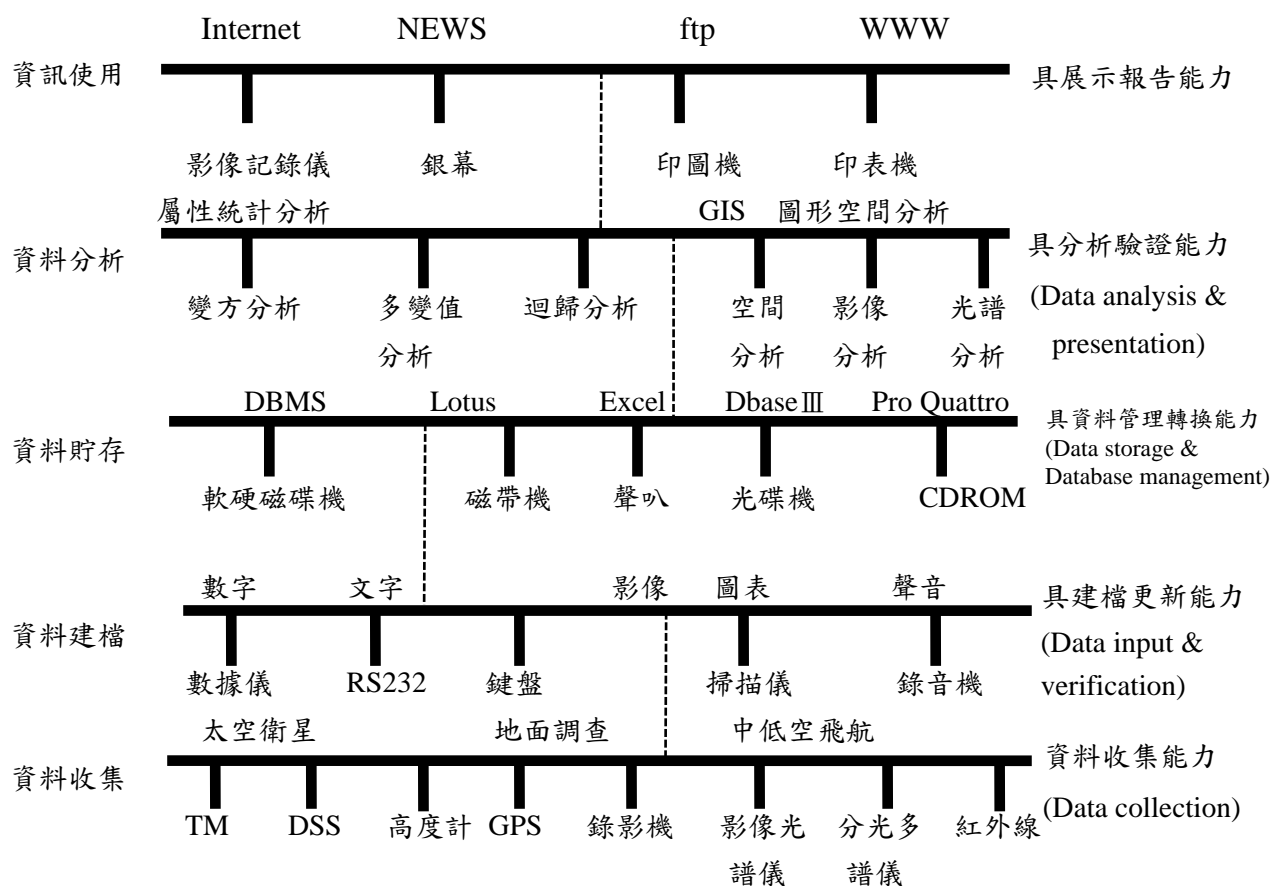


圖 4-1 資料收集處理分析與應用層集一覽表

三、取樣設計

空間統計的模式，不但改進了由點推面的資料內差（interpolation）外，也對野外調查的取樣設計有相當的幫助，進行分層取樣、空間取樣計劃，以便以較佳的解析度來瞭解某空間尺度下的生物、生態與環境的現象。

四、調查技術／資料收集

收集、儲存同地點範圍的不同載台的空間相關資料。

- 1.地面資料 (ground work)
- 2.中低空載臺 (Aircraft-mounted remote sensing)
 - (1)航空照片 (aerial photos)
 - (2)錄影影像 (video)
 - (3)多光譜掃描影像 (multispectral scanning imagery)
- 3.太空衛星 (Satellite remote sensing)
 - (1)衛星影像 (satellite imagery)
 - (A)大地衛星 TM (Land-sat Thematic Mapper) : 30m *30m

(B)SPOT：全色片 (panchromatic) 10m * 10m：多光譜 (multispectral) 20m * 20m

4. 衛星定位系統 (Global position system, GPS)

差分衛星定位(DGPS)

利用差分衛星定位(DGPS)將航空照片資料、測量的範圍與地面資料，透過參考座標(georeferenced data)與過去到現在，不同時間的資料，以 GIS 的 COGO (馮、黃，1994) 納入或聯結於地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)的圖籍中。

5. 供做驗證、證實地面調查的遙測資料，其空間尺度相當分歧，但此間隙將可由飛航空照，遙測系統提供數百公尺至數千公尺高度範圍的資料，不同空間尺度的遙測資料可增加對地球表面積的瞭解和對資源的推估、預測。

以下吾人針對航空照片資料與大地衛星數據資料的成本加以比較如表 4-1，且衛星感應器系統—Landsat 與 SPOT 加以比較，如表 4-2。

表 4-1 航空照片與大地衛星數據資料成本比較(Hoffer, 1994)

涵蓋面積 寬×長(km)	資料形態	需要照片數	總成本 (美金)	單位 km ² 成本
185 × 170	Landsat TM (digital -format)	1	\$ 4,400	\$0.14
非立體照片 (10% 前後疊、30%左右疊)				
185 × 170	1:40,000-scale photos	609	\$ 7,308	\$0.23
185 × 170	1:24,000-scale photos	1,680	\$ 20,160	\$0.64
185 × 170	1:10,000-scale photos	9,545	\$114,540	\$3.64
立體照片 (60% 前後疊、30%左右疊)				
185 × 170	1:40,000-scale photos	1,363	\$ 16,356	\$0.52
185 × 170	1:24,000-scale photos	3,744	\$ 44,928	\$1.43
185 × 170	1:10,000-scale photos	21,390	\$256,680	\$8.16

表 4-2 衛星感應系統的比較(Hoffer, 1994)

衛星	Landsats 1,2,3	Landsats 4 & 5	SPOT 1,2,3	
發射日期	1972 年 7 月 23 日 1975 年 7 月 21 日 1978 年 3 月 5 日	1982 年 7 月 16 日 1984 年 3 月 1 日	1986 年 2 月 21 日 1990 年 1 月 21 日 1993 年 9 月 25 日	
掃描密度	920 km (570mi)	705 km (438mi)	832 km (517mi)	
環繞掃描地球一週需時	18 days	16 days	26 days	
穿越赤道的時間	8:50; 9:08; 9.31 a.m.	9:45 a.m.	10:30 a.m.	
目前功能	No	Yes	Yes	
感應器	MSS (Multispectral Scanner)	TM (Thematic Mapper)	Multispectral HRV (High-resolution visible)	Panchromatic HRV
地面解析度	80 m	30 m	20 m	10 m
掃描亮度	185 km	185 km	60 km	60 km
波長區和頻道				
可見光	0.5-0.6 μm 0.6-0.7 μm	0.45-0.52 μm 0.52-0.60 μm 0.63-0.69 μm	0.50-0.59 μm 0.61-0.68 μm	0.53-0.73 μm
近紅外光	0.7-0.8 μm 0.8-1.1 μm	0.76-0.9 μm	0.79-0.89 μm	
紅外光		1.55-1.75 μm 2.08-2.53 μm		
熱紅外光		10.12.5 μm^5		
1992 年資料成本				
每景成本(美元)	\$1,000	\$4,400	\$2,450	\$2,450
成本/平方哩	\$0.08	\$0.36	\$1.75	\$1.75

五、資料管理

越來越多的環境學家採用地理資訊系統與遙感探測，來檢視在不同時間、空間尺度下，環境的變化。在同時考慮時間、空間解析度時，所採用的資料密度則往往是技術上的考慮，如：是否有夠大的空間儲存資料，夠快的計算能力等。依 Frank et al. (1991) 預測由於硬體不斷的發展，資料處理速度每年將有兩倍以上的改進速度。而主記憶體價格，每兩年會降價 50% 左右。十九世紀末，個人地理資訊系統工作站亦將大大地改進，其 CPU 將達 500-1000 MIPS (Million instructions per second)；主記憶體 (main memory) 達 500 megabytes. 儲存空間 (Storage space) 亦將有 5 gigabytes 的硬磁碟；光碟 (optical disk) 容量亦將達 50 gigabytes；銀幕：2000×2000

pixels；傳送速度：100Mbs-1（megbits/sec）。資料軟體部分則將重視資料庫管理系統（Database management system, DBMS），理想的資料庫管理系統，是當使用者要求資料時，他不必考慮資料庫所在位置與其結構，而是由資料庫管理系統自動將所要求的資料由不同的資料庫找出，處理提供。亦即使用者可以容易不假外來技術很容易地得到及時、一致的資料。

有關資料貯存應用方面可看重以下數端：

- a.分散式資料庫建立，即考慮電腦檔規劃設立
- b.整合圖、文、表、聲音、影像等多媒體
- c.主從設計（client and server）考慮地區網路（LAN）、廣域網路（WAN）的應用。
- d.透過網際網路設計、採取分散式處理，Internet，WWW

六、資料分析

依估計每 20 個月，即增加當時世界資料量的一倍（Frawley et al.,1992）。此世紀要發射的地球觀測衛星（earth-observing satellite, EOS），每天產生一千億位元（ 10^{12} terabyte）資料，較過去所有任務所獲得資訊總量來的多。然而人們處理分析資料的速度相行之下，就差很多，而且此產生資料與瞭解資料間的鴻溝越差越大（Frawley et al.,1992）。亦即我們未來收集、儲存資料的能力會比經營、分析、解釋資料的能力強很多（Stafford 1994），此也是我們需更努力研究探討的地方。

有關資料分析方面就生態系經營來講其內容宜包括各個層級內性態值的以下三種資訊：

(一)現況描述

物種組成、物種結構、物種的 α 歧異度、 β 歧異度。

(二)功能的探討

因果關係與獨立、依變數間關係。

(三)變遷的監測

瞭解各種狀況、關係在時間歷程變化狀況

以空間統計（或稱地理統計工具,Geostatistical tools）進行空間尺度與結構資料的性態值化和模式化。變異則由共變異變異圖（covariance variograms）或半變異圖（semi-variograms）來模式化地描述地形的空間變異（Dubayah et al., 1989）。

- 1.非空間屬性之統計分析
- 2.光譜分析
- 3.空間圖形分析

太陽幅射（Dubayah et al., 1990），表面反照率，albedo（Webster et al.,1989），植生（Pastor & Broschart 1990），光譜植生指標（Davis et al., 1989）土壤性質

(Burrough 1983a, 1983b)。另外有些學者則以因子分析 (fractal analysis) 探討降雨 (Lovejoy & Schertzer 1985)、土壤性質 (Robertson et al., 1988)；土地利用 (Milne 1991)。

空間統計結構的模式將改進點資料的內差 (interpolation)，由野外調查的取樣設計，調查資料，進行分析則可對於生態過程有更深的瞭解。(Davis et al., 1991) 以 S+語言 (Becker et al., 1988) 發展之空間系統分析，另有利用 Visual 程式環境如 Khoros (Rasure et al., 1990)，Visual Basic，Dalphi 皆大有可為。

4. 整合統計分析、光譜分析、空間圖形分析

整合處理 GIS\RS 的資料於時間的維度下，進行 RS 光譜分析、影像處理，如：向量與網格資料的轉換、結合展示與更新影像與圖籍等。遙測資料，若能與其他空間資料結合則將於描述地球表面、預測未來狀況上有無限的潛能。因為地理資訊系統，沒有適當表示時間的維度的方法，而一般處理遙測量測資料時，需經時間與空間取樣。所以這種整合將可使事件發生之因果關係，地球表面的變化，某現象演變，生長，演替等更易於掌握。

七、整合 RS/GIS/GPS 技術

這三種技術的整合成為一相當有效的組合，RS 提供 GIS 的資料，更新已存在的資料，監測土地使用／土地覆蓋改變。GIS 對分析 RS 資料亦有很大的幫助，其有效的改進分類的精度。

GPS 提供 GIS 資料庫有效的圖形控制，使得遙測資料分析時，所需野外訓練樣區或驗證資料，可以有效且正確的定位。

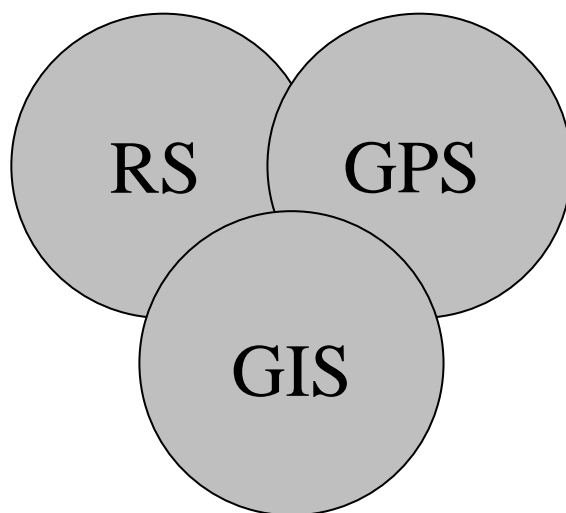


圖 4-2：遙感探測、衛星定位系統與地理資訊系統之關係圖

需面對的重要問題：

GIS 資料庫內，資料性態值的定義與有效說明文獻：

- (1) 數化圖籍資料
- (2) 有關的屬性檔

GIS 資料庫的植生圖到底是由 Landsat TM 電腦資料來分析或由航空照判釋來的？比例尺多少？什麼型態的航空照片？什麼時候攝影？什麼季節拍攝的資料？何時將其做成為圖層等等皆需記錄。

若沒有這些文獻，其他的人則無法曉得資料的來源，而做正確的使用。更值得顧慮的是會有“Garbage in, Garbage out”的現象，那麼分析結果，就更有瑕疵了。

你不知某事，那是個小問題；你不知道你不知道什麼，那才是大問題。

以下為科技發展未來要面臨的問題：

- (1) 發展有效的技術，去整合和分析來自不同感應器的材料如 AVHRR, Landsat TM, 或 SPOT 或 Land Sat TM, Satellite Radar data.
- (2) 在許多領域中，如何將研究成果，施行於實際應用中
- (3) 發展有效的專家系統，幫忙分析
- (4) 教育和訓練，使用者更瞭解這個技術，使其能適當、有效地使用這個強有力的工具。

其實尚有其他許多問題需要解決，這些活動所面臨的挑戰與機會皆是相伴而生。總而言之：

1. 衛星光譜資料，可在低成本下改進空間(spatial)、光譜(spectral)、輻射(radiometric)和時間(temporal)的解析度。
2. 繼續發展電腦貯存和處理分析的能力。
3. 更需瞭解和整合使用光學、微波和其他遙測感應器資料。
4. 更有效地整合 RS/GIS/GPS 技術。
5. 增加資料分析的專家系統的使用。

這種發展，將會明顯地改進資料品質與分析的能力，以提供資源經營者更相信知識／技術工具／資料／人才，是生態系經營管理的利器。

八、模式建立

1. 生物、生態---雜異度穩定、生產力等，生物、生態之狀況與功能並對生物的生長變化資訊加以推估、模擬，模式的建立、資訊的獲得。
2. 社會、經濟---發展、保續、福利資訊，成本與經濟效率、社會、文化等。
3. 行政、法規---法令、政策、作業或行政有關規定與技術、知識。
4. 經營、保育---潛能、可行性、經濟性、合法性、適合性資訊

九、資訊應用

如以林地分類來加以探討，則可由現有土地利用狀況，配合土地潛能的適性，在考慮(一)生物性、生態性功能的潛能(capability)分析、(二)經濟效率、經濟福利或經濟財與社會、文化接受性的可行性分析(feasibility)、(三)作業技術、知識與法令、政策的適宜性分析(suitability)下，進行不同空間尺度層級的林地分類。

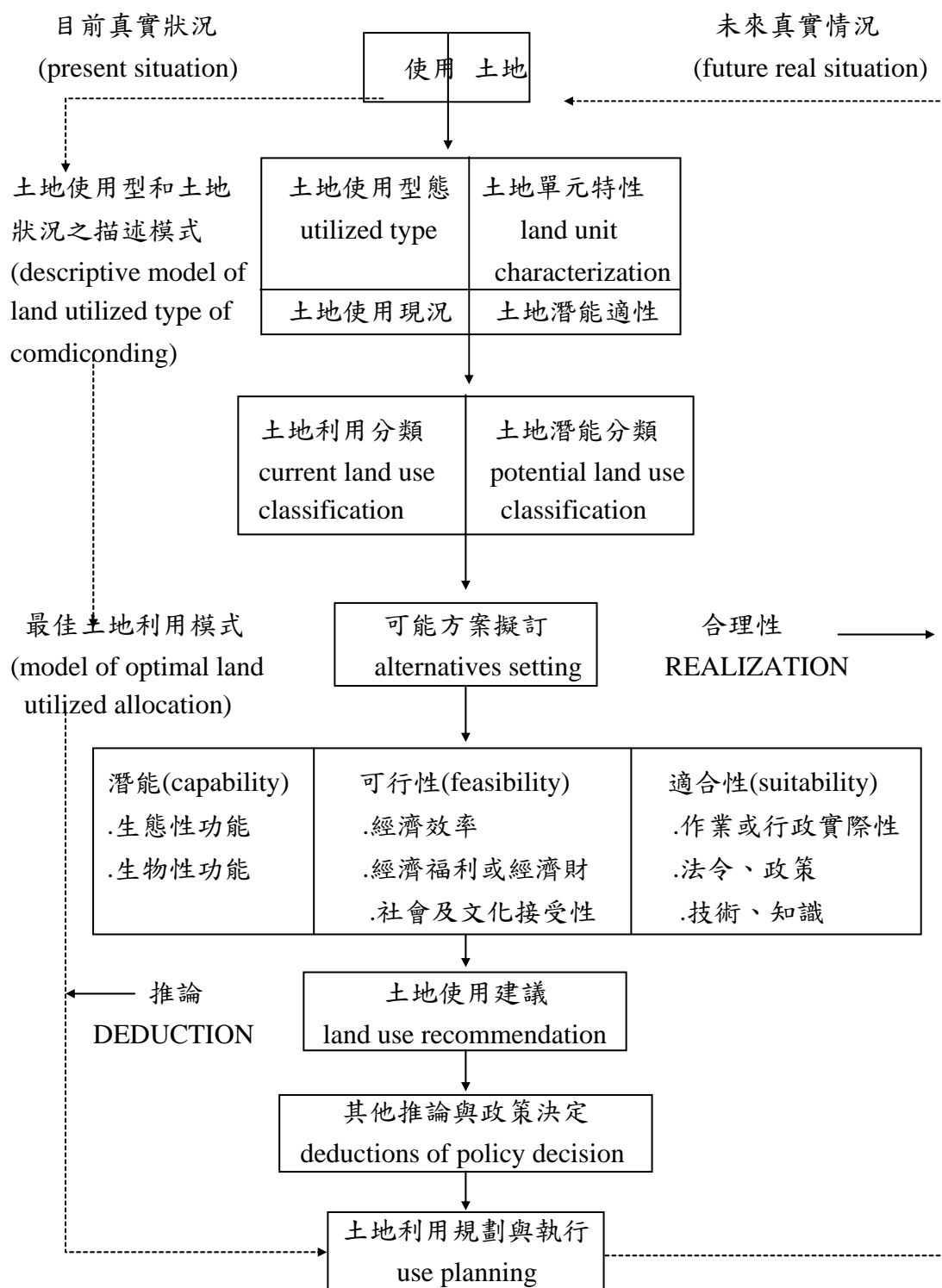


圖 4-3：林地分類系統流程

十、決策

結合取樣設計、調查技術、資料管理、資料分析、模式建立等決策支援的科技，透過時間、空間將精確的資料予以整合於地理資訊系統中。透過適當、有組織的資料庫管理系統，可以增加環境研究的生產力與促進環境研究品質。另外使研究與應

用結合，使自然資源經營管理與保育者有更充分的資訊與知識來擬訂政策與計畫，以便合理、有效地執行經營管理與保育。

如何將環境研究科學家、環境經營保育者與資料庫管理者結合在一起，共同為建立空間圖層與屬性資料之地理資訊系統理想的資料庫管理系統，更基於統自然資源、經營管理與生態系的知識建立空間，層級式的經營管理方案而努力，是往後最重要的課題。

十一、參考文獻

- 1.陳晁峰、馮豐隆，1995，空測資料收集與資訊管理系統，遙感探測，22：39-52 頁。
- 2.馮豐隆、黃志成，1994，台灣森林資源監測系統建立之研究，興大實驗林研究報告，15(2)：83-101 頁。
- 3.馮豐隆，1995，整合林業資料庫的建立，台灣林業 21(10)：12-19 頁。
- 4.馮豐隆，1995，生物與生態監測，台灣林業，21(9)：12-18 頁。
- 5.Barrett, E.C. and Curtis, L.F. 1974. *Environmental Remote Sensing : Application and Achievement*. London,, Edward Arnold.
- 6.Burrough P.A. 1986 *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment* Clarendon Press Oxford
- 7.Clarke, R. (ed.) 1986. *The Handbook of Ecological Monitoring*. Oxford, Uarendon press.
- 8.Michener W.K.,J.W.Brunton and S.G. Stafford 1994 *Environmental Information Management and Analysis: Ecosystem to Global Scales*. Taylor & Francis Ltd. p1-18.
- 9.Ripple W.J. and S. Wang 1989 *Quadtree Data Structures for Geographic Information Systems*. Canadian Journal of remote Sensing 15(3):172-176.
- 10.Stafford S.G.,P.B.Alaback, G.J.Koerper and M.W. Klopsch 1984 *Creation of a Forest Science Data Bank*. Journal of Forestry 82(7):432-433.
- 11.Stafford S.G.,P.B.Alaback, K.L.Waddell, and R.L.Slagle 1986 *Data Management Procedures in Ecological Research*. from Research Data Management in the Ecological Science edited by William K. Michener for Belle W. Baruch Library in Marine Science No.16. P93-113.
- 12.Stafford S.G.,M.W. Klopsch, K.L.Waddell, and R.L.Slagle, P.B.Alaback 1986 *Optimizing the Computational Environment for Ecological Research*. from Research Data Management in the Ecological Science edited by William K. Michener for Belle W. Baruch Library in Marine Science No.16. P73-91.
- 13.Spellerberg I.F. 1993 *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press.334pp.
- 14.Stafford S.G.,1993 *Data, Data Everywhere but Not a Byte to Read: Managing Monitoring Information* Environmental Monitoring and Assessment 28:125-141.