

地理資訊系統的原理與應用

馮豐隆

一、本章在描述與說明 GIS 的原理，並強調 GIS 應用於環境與自然資源調查與分析是非常重要的。描述 GIS 主要的部份包括：網格與向量資料結構、資料輸入模組、驗證、儲存和產出、DTM、空間分析的方法和模式以及分類方法與插入方法。且對於許多 GIS 共同使用的原則加以解釋。另外也談論 GIS 最近的發展、GIS 在資源經營管理應用的回顧。

二、本章的主要組成包括

(一)空間資訊之需求

(二)地圖表空間資訊

1.地圖

2.地圖種類

3.地圖資料

(三)電腦地理資料

1.屬性與圖層資料

2.多尺度性不同空間尺度

3.整合性不同時間/空間尺度

(四)電腦輔助製圖與地理資訊系統

(五)地理資料分析

1.空間分析

2.非空間屬性分析

(六)地理資訊系統及其組成

(七)地理資訊系統於土地利用規劃與森林資源管理上的應用

(八)地理資訊系統未來的方向與趨勢

(九)參考文獻

三、GIS 的有關文獻分散於許多不同領域的雜誌裡，本章儘可能的將讀書所需的目錄(bibliography)，列出供參考。若讀者想學習 GIS 的特殊應用的話，可參考 Teicholz and Berry(1983), Tomlinson *et al.* (1976), Salmen *et al.* (1976), Knapp and Rider (1979), Nagy and Wagle (1979), Marble *et al.* (1981), Dueker (1979), Burrough and de Veer (1984), Fabos and Caswell (1972), Fraser-Taylor (1980)哈佛大學的電腦製圖與空間分析研究室(the Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Harvard University)、國際製圖聯合會(International Cartographical Union)AUTOCARTO 會議論文集、土壤資訊系統工作小組出版品(Moore *et al.* 1981, Burrough and Bie 1984)。

電腦硬體價格與作業的效率有相當的關係，目前價格下降不少，但與軟體一樣依然需要使用者一筆很大的投資，目前技術更新很快，但原則方面的討論仍相當有效，軟、硬體如何有效搭配以符合組織的需求，是購置 GIS 最主要的考慮。

往後可利用 WWW 學習 (Keyword) GIS。

國立中興大學森林學系

National Chung Hsing University

250. Kuo Kuang Road, Taichung, Taiwan, Rep. of China

Tel: (O) 886-4-2854060 (H) 886-4-2853175

Fax: 886-4-2873628

E-mail : flfeng@nchu.edu.tw

第一章 地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)

(一)空間資訊之需求

整理地表空間分布重要性質的資料已成為組織社會一項重要活動。由古文明迄今，空間資料係由航行家、地理學家、調查者收集，交由製圖者(cartographer)繪製。一般都是為了特殊目的而繪製，如：地形圖、疆域圖、航海圖等各種主題圖(thematic maps)，以方便於針對單一主題的瞭解與掌握。十九世紀，歐洲強權擴展其勢力以製圖來評估與瞭解其資源—地質、地形、土壤、生態與土地。

(二)地圖表空間資訊

1.地圖

地圖是將廣大的地球表面的地貌特徵，選擇及歸納大量重要的材料以符號和規範的記號做標記，並用投影、座標方格、定位和比例尺構成地圖的框架，再加上歸屬模式中的類比(catalog)模型(異於實體模形(iconic)和符號模式(symbolic))，以表示其空間分布(spatial distribution)。

地圖亦按一定的規則設計，用符號表示不同的地貌特徵，用圖例做解釋。符號有點、線、面三種，點通常表示地點，地點的種類可用點的形狀、顏色、大小來區分。線表公路、林道、步道等交通線；江、河、溪之間等水系，線也用來區分不同的區域。面配合不同的顏色和各種點、線、面、或表土壤型、表植被、林型、土地利用型及人口密度等的空間現象(spatial phenomena)。

地圖可以分為基本圖與主題圖，主題圖為表示資源分布的主題圖，如土壤圖、地質圖、土地利用圖、林相圖等。亦稱統計地圖(statistical map)，表示資源分布與數量。其表示方法主要有：點陣圖、地誌圖與等值圖等三種。

(1)點陣圖(dotmap)：使每個一定大小的圓點代表一定數量，如 1,000 人、100 公頃或 10,000 公噸。同時並利用點的大小及密度來表示各地區統計量的分布情形。如圖 1-1。

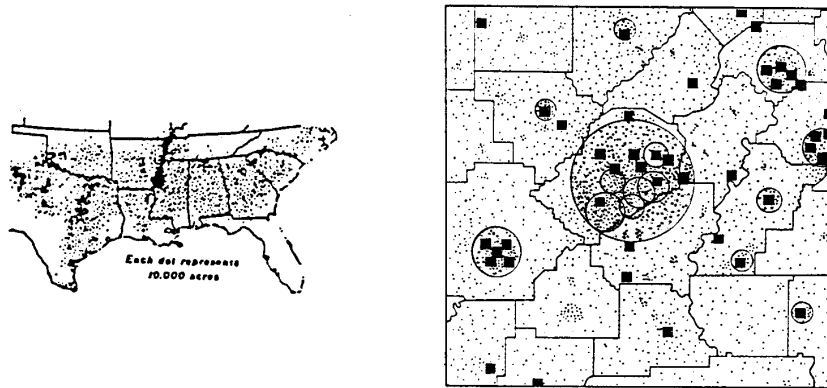


圖 1-1 點陣圖

(2)地誌圖(choropleth map)：則將統計資料依分區，如省、縣、市、鄉鎮等或事業區、林班、小班等林業組織等其他區域，不一定是行政區域，依顏色或不同濃度表示的統計圖。其色彩的濃淡與分布密度成正比。如圖 1-2。

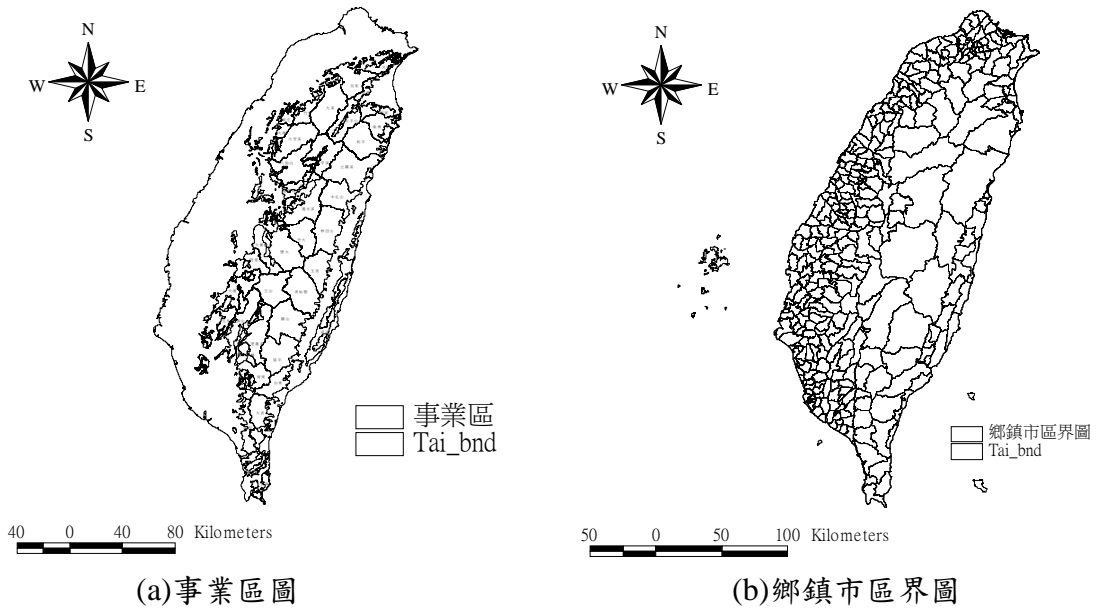
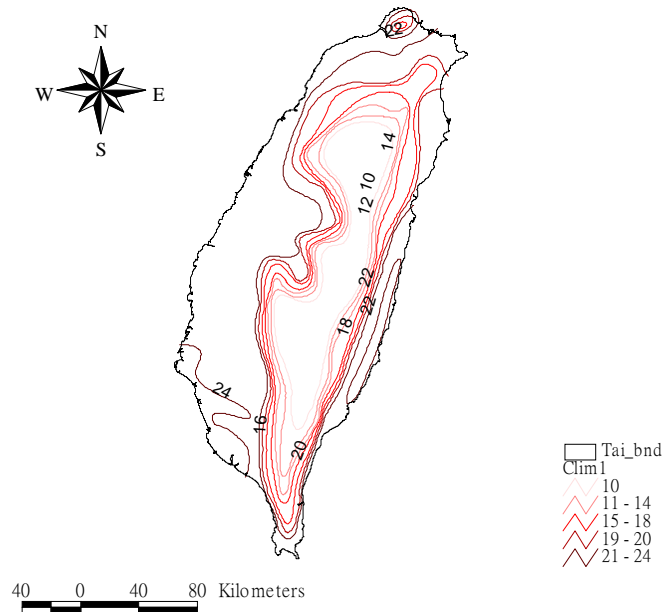


圖 1-2 地誌圖

(3)等值圖(isopleth)：此等線分連接等值地價，等高線亦為其中的一種。其他如：等溫線圖(isotherm)、等壓線圖(isobar)、等雨線圖(isohyet)屬之。如圖 1-3、1-4、1-5。



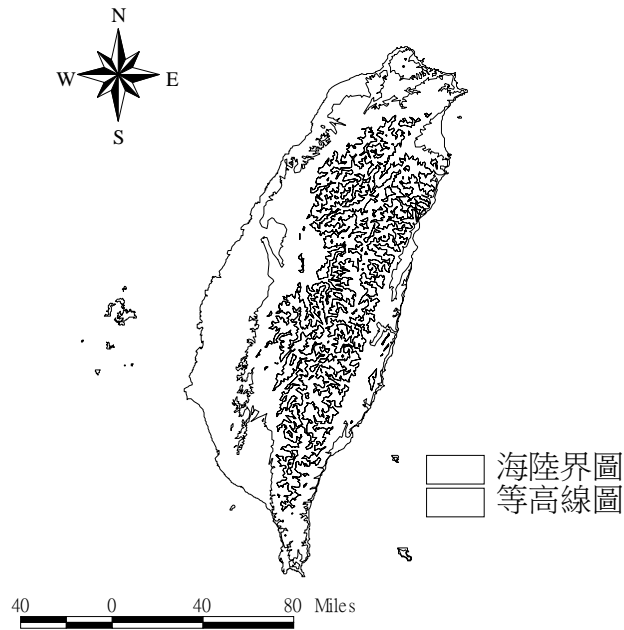


圖 1-4 等高線圖

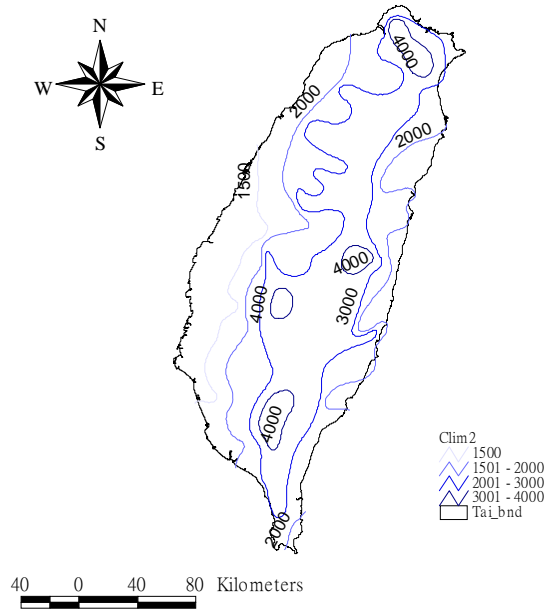


圖 1-5 等雨量圖

主題圖應用極廣，不僅用於展示一般目的，亦可顯示特殊目的(Fisher 1978, Hodgkiss 1981)。主題可分為定質化、定量化。定質、定量可以利用如圖 1-6 的地誌圖(choropleth map)將同質區歸類，異質區則以邊界區分，如土壤圖、土地利用型圖，普查(censuses)結果的展示圖。定量資料則可用數學來描述連續表面，將等數值的點連接成等值線(isoline or contours)來表示，如圖 1-7 高線圖與等值線、等壓線等。

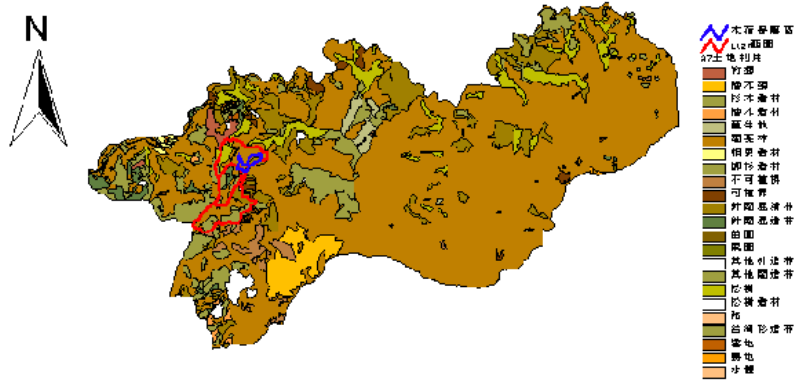


圖 1-6 惠孫林場的土地利用型圖為地誌圖

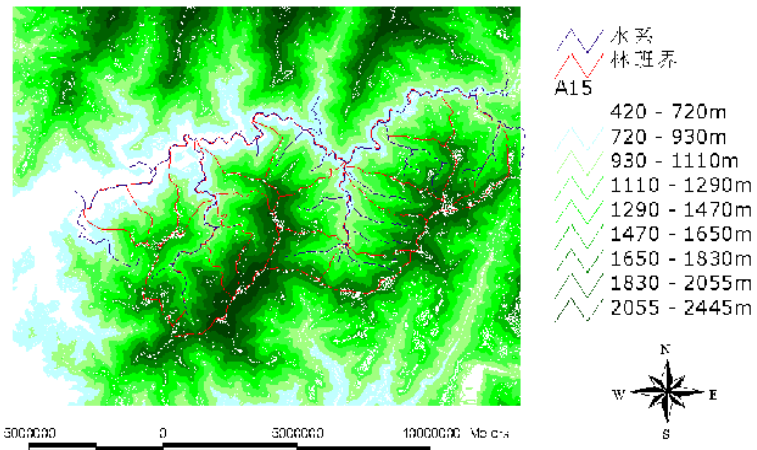


圖 1-7 惠孫林場之等高線圖為等值線圖

2.地圖種類

(1)依內容

a.地形圖(topographic map)：其中等高線圖判釋的最佳訓練的方法為從熟悉的區域開始，看地圖並於現地對照地形；使用之地圖亦改變其比例尺，以習慣於不同比例尺地圖對地形表示之差異點。初步訓練後在野外工作，應經常攜帶地圖，使自己能習慣於地形複雜區域的判釋。如圖 1-8。

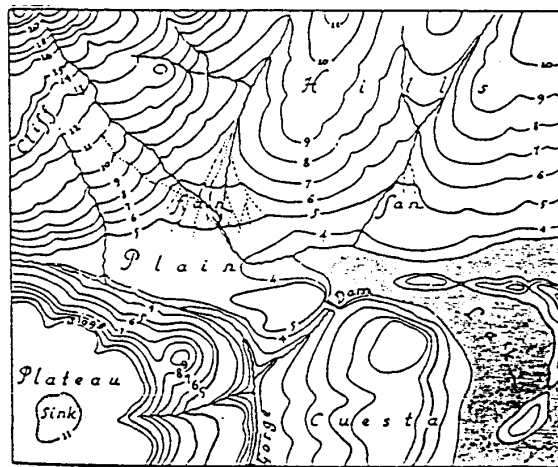


圖 1-8 閱圖人員看等高線圖後應能想像其立體模型

b.主題圖(thematic maps)

- (a)地籍圖(cadastral maps) (b)道路圖(road maps) (c)土壤圖(soil maps)
(d)植生圖(vegetation maps) (e)土地利用圖(land-use maps) (f)林相圖
(forest maps)

(2)依表示法

- a.像片圖(phot-map)：正視相片圖(orthophoto map)、鑲嵌圖(mosaic)。
b.線繪圖(line map)：用線條及記號表示地圖，一般地圖均屬之。

3.地圖資料

(1)圖廓外資料

圖名、圖廓位置、圖號、索引圖(接合圖)、行政區劃、比例尺、圖例、偏角圖(註：偏角圖：地圖上之 UTM 方格北與地球之正北、磁北的關係圖)。

(2)圖內容

a.位置

人類從早期由太陽高度或北極星的位置(在北半球)判斷出緯度，而精確的經度則到 18 世紀中葉，經緯儀的發明，更準確的天文表問世才成可能。

(a)經緯度(longitude & latitude)

- i.經度(longitude)：由基準子午線(prime meridian)即本初子午線(目前為 Greenwich 子午線)以角度測定之弧距離；經線由兩極間南北伸展表示東西之間的距離，其中一條被選為起始的子午線叫做本初子午線(1884 年在 Washington 召開國際會議把英國格林威治皇家天文台的經線定為本初子午線，且把格林威治東西兩側的經度各自分為 180 度)。
ii.緯度(latitude)：由赤道(equator)以角度測定之弧距離。表示地球圓周的許許多多平行圈謂之。

(b)表座標系統的地球投影座標

地球是近似球體，地圖是平面的紙，因此曲面的地球無法拉平成地圖。

任何將地球球面轉換到地圖平面上的數學方法稱為地圖投影法(map projection)至於投影圖可分為等積圖、正角圖二種，另有一改進的正角圖柱圖法。除地球儀外，沒有任何一種地圖，既是等積(equivalent)，又是等角(conformal)的地圖。

- 1.等積圖(equivalent map)：使地圖上任何一區域或整個地圖的面積和地球縮小為同一比例尺時面積相等的地圖。為使面積達成一致，常常會將其形狀和角度扭曲很多。保持相同尺寸不變的等積投影，專用於經濟、歷史、政治及其它地理現象的參考地圖。如：朗伯特等積投影。
- 2.正角圖(conformal map)：在任何對應點，其周圍小範圍內的圖形相似，角度亦能正確的表示。距離越遠其扭曲越大，但任何地點各方向的比例尺是一致的。可保持角(或形狀)的關係，故等角投影廣泛用於地形圖的製作。
- 3.Mercator 投影：為 1569 年荷蘭人 Mercator 繪製其世界航海地圖時所採用的正角圓柱圖法(conformal cylindrical)，子午線(經線)為等間隔的平行縱

線，緯線為平行線橫線，但緯度愈高其間隔越大。這種投影方法所有的角都相互處在真實的羅盤方位點上，所有地區的大小均按相互間正確比例反映於投影面上。

(1)橫Mercator投影(Transverse Mercator Projection)：關於地球的投影，其投影的方向自正常的南北向，轉90度的方向即為橫投影(Transverse Projection)，橫Mercator投影，倘吾人將圓柱(cylinder)的軸與地球南北軸一致的Mercator，將軸倒轉90度與地球東西軸一致時，即得橫Mercator投影。

(2)UTM地圖投影(Universal Transverse Mercator Map Projection)：為橫Mercator投影的一種，自180度經線起向東分成每6度帶的經線帶，以其真中的經線為中央經線，(中央子午線，座標計算乃距中央子午線東西各3度)，用橫Mercator法的投影到平面上。目前成為世界各國的標準圖法，以此法所得之座標為UTM方格(UTM grid)。UTM方格(Universal Transverse Mercator Grid)：全世界被分成60個南北帶(North-South zone)，每一帶為6度寬之帶，就各帶繪出橫Mercator投影圖。

註：i.台灣UTM，以123°為中央經線，以6°分帶的經緯帶區別之，其中心點以0.9996為123°，橫座標西移500km。

ii.台灣2°TM，以121°為中央經緯，以2°分帶的經緯帶區別之，其中心點以0.9999為121°，橫座標西移250km ($N_3=X*0.9999$, $E_2=y*0.9999+250000m$)。

iii.台灣3°TM，以121°為中央經緯，以3°分帶的經緯帶區別之，其中心點以1為121°，橫座標西移350km ($N_3=X$, $E_3=y+350000m$)。

iv.興大森林研究所頂樓座標

WGS-84	經度 E120 40' 36.91028"
	緯度 N 24 07' 20.68375"
GRS-76	經度 E120 40' 07.11281"
	緯度 N 24 07' 27.00884"
TM-2	縱線 216319.331
	橫線 2668823.644

b.地形起伏(topographic relief)：為土地在其丘陵、溪谷、山岳、平原及其他地形的垂直變化，其主要變化因子有四：

- (a)離海平面(sea level)標高(elevation)；
- (b)相對起伏(relative relief)：山對臨接平原、河谷之高度；
- (c)平均坡度(average slope)：即該局部土地的傾斜坡度；
- (d)織地(texture)：地面小溪流等細小特徵。

表示方法：等高線(contour lines)其表示方法如圖 1-9。

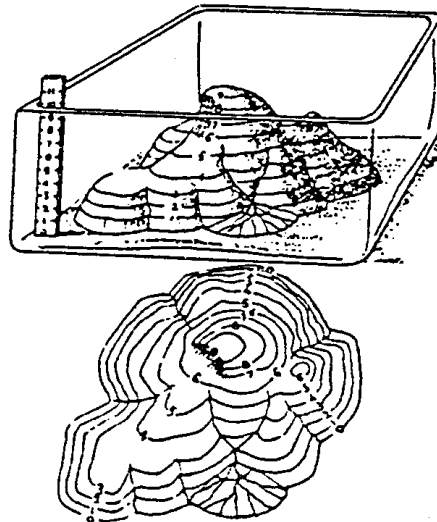


圖1-9 地形模形與等高線之關係圖

c. 方位

(a) 方位角(azimuth)：自北為起點，順時方向(clockwise)測 0~360 度水平角(horizontal angle)。

(b) 磁方位角(magnetic azimuth)：由磁北測定。

(c) 方向角(bearing)：以北(N)或南(S)為起點。分四個象限(quadrant)

d. 比例尺：表圖上的距離與地面距離(ground distance)的關係，其表示方法有二：(已知最早按比例尺繪製的地方地圖(為條形比例尺)是 1422 年的維也納平面圖)

(a) 比例尺分數(representative fraction)：分子平常為 1，分母稱比例尺數(scale number)以 s 表示；比例尺公式為 $RF=1/S=d/D=地圖距離/地面距離$ 。

(b) 圖解比例尺(graphical scale)：比例尺線條上有一定的刻度，以表示此尺用於測定地圖上的距離，如圖 1-10。

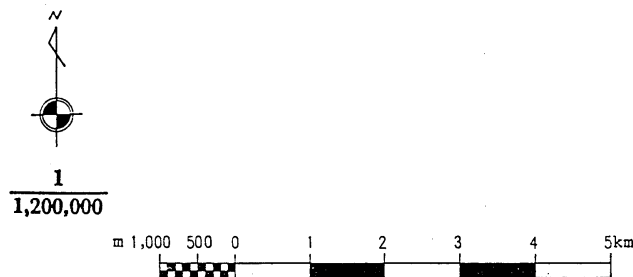


圖 1-10 圖解比例尺

(三)電腦地理資料

20 世紀，對地圖的需求大量增加，立體空中照相及遙感探測使得地圖涵蓋面積更大，也更為正確，這也使得主題圖成為資源開發管理更有用資料的來源。

許多調查的目標就是資源調查，清點存貨(Inventory)，資源調查為量測觀察等資料收集與資料記錄建檔、儲存與分析、分類，以瞭解資源的現況、功能的過

程。首先發展以適當的數學解決空間問題是在 1930-1940 年間，那也正是統計方法、時間序列同時發展的時候。直到 1960 年代，數位電腦利用空間分析的概念與方法將主題圖量化和實際進行空間分析(Cliff and Ord 1981, Journel and Huijbregts 1978, Ripley 1981)。近年來，空間資料及空間分析之需求並不僅為地球科學家所重視而已，都市規劃者、地政單位等也都廣泛應用。

在電腦應用到繪圖以前，所有繪製空間資料地圖皆以點表示，資料是畫在一張紙或投影片上，後來空間資料就以點、線、面表示，以不同符號、顏色、文字代表不同意義，並用圖例來說明圖的內容。

因為紙上地圖伴隨著資料庫的紀要，對資訊收集、編譯及使用，有以下幾個非常重要的結果：

- 1.原始資料大量減少、類別簡化，為了使它們易於了解及可敘述，許多地區性的詳細資料都被略過且遺失。
- 2.地圖可以畫得很正確，描述得清晰。尤其複雜的主題圖。
- 3.表示與地圖尺度有關的面積大小，只能由一些地圖來表示。
- 4.資料一旦放入圖中，要與其他空間資料結合並不便宜也不容易。
- 5.印出的地圖是靜態、定性的。無法再收集儲存新資料，而僅以主題圖線劃單元來做定量空間分析是很困難。

收集和編譯資料及出版印製地圖是花錢且耗時的事，同樣地，若由一通用圖中要抽出某單一主題的地圖，則要重新用手畫出，當然也是非常昂貴。

當需要地球表面變化的資訊，則傳統的地圖無法表現，然現在可由航空照片，尤其是衛星影像，看出隨時間變化的情形，但其產物非地圖而是航照影像(photographic image)或磁帶上的一連串資料，需要以新工具來把這些數值轉換到地圖上，所以結合遙測(remote sensing)、地面調查(earth bound survey)及製圖學(cartography)才產生所謂的地理資訊系統(GIS)。

1.屬性與圖層資料

(1)地理資料的種類：

地理資料的種類包括有地理位置(geographic position)、屬性(attributes)、空間關係(spatial relationship)與時間(time)等。

- a.地理位置—地理資料是空間資料主要的形式，每一特徵可用位置來表達。位置的表示可用座標系統，如：經緯度、UTM、State Plane coordinate systems等，有些座標尚能做數學變換。所有座標系統之使用可因地而異，但以便利及適用或國際一般公認的為主。
- b.屬性—地理資料的第二個特徵為屬性。以林分為例，樹種組成、林分結構、林分蓄積、平均樹高等屬性稱之為非空間屬性(non-spatial attributes)，它們沒有位置的資訊。
- c.空間關係—通常很多，可能複雜，但是很重要。空間關係對於個人的官感通常是直覺的，實際上它是無法儲存資訊。如林木間的競爭、孔隙、邊緣對林木生長的影響、地景鑲塊體的演變空間趨勢等。

d.時間—在時間上，地理資訊是一個參考值。當地理資料收集時，時間的資訊將可明白。歷史的資訊亦是有價值的資訊。如樹木生長、結構變化、地景變遷等。

(2)空間資料模式(Data Models)：

人類眼睛可以有效地辨別形狀(Shapes)與形式(forms)，但是電腦則需要很正確的指引空間形態的操作與展示，其中有兩種相映且互補的方法來表示空間的資料屬性，其為顯性的網格式資料與隱性的向量式資料，來描述空間實體。如圖1-11在電腦中以顯性或隱性兩種不同方式表示椅子。

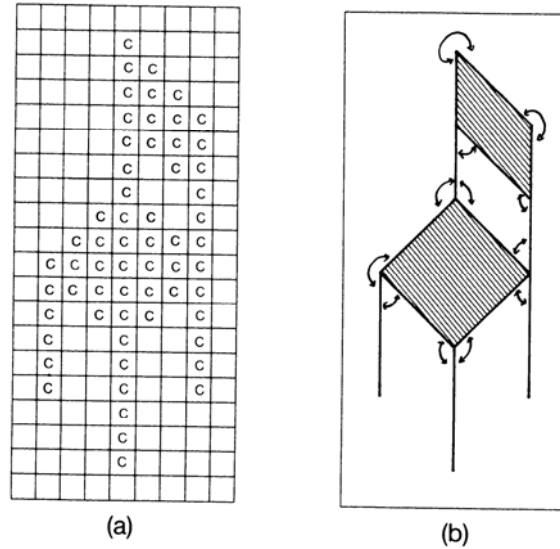


圖 1-11 椅子的影像(a)網格(raster or grid cell)(b)向量式(vector format)

網格式(raster)：顯性表示法意即椅子是由一組點在網格(grid or raster)上組成，所以電腦知道這是椅子不是桌子，每一個單元皆以 C 值表之。椅子屬性→符號/顏色→單元(cell)X 數字、本色度表示之。吾人可用以下簡單資料結構表示椅子。

向量式(vector)：隱性表示法亦即物體用一組線表示，由起點與終點，與某些形式的連接，這種線的起點、終點定義為向量(VECTOR)來表示椅子的形態、線間的指標，提示電腦線如何連結一起形成椅子。

可分為兩種模式：向量模式(the vector model)、網格模式(the raster model)。

在向量模式中，以點(point)、線(line)、多邊形(polygon)之方式儲存於電腦內，比較接近實際的狀況；在網格模式中，空間分成數個小網格(cell)，網格間的組合較符合模擬狀況。

a.向量資料(the vector data model)：

優點：資料結構比網格模式緊密；登錄及操作地形資料較有效率；向量模式較適合製圖且接近手繪地圖。

缺點：比網格資料結構還複雜；疊圖操作較難；高程空間變化之描述較無效率；操作及增強數位影像較無效率。

有兩種儲存地理屬性及辨別地理單元的模式：spaghetti data model和topological model。

b.網格資料(the raster data model)：

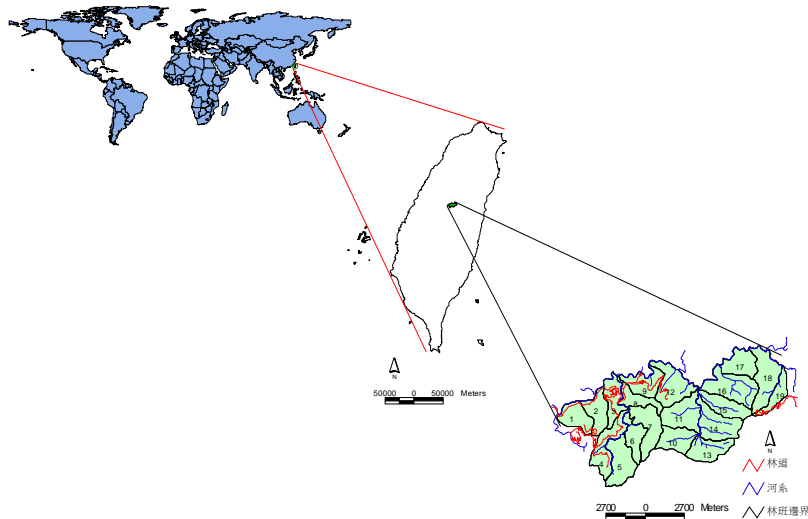
優點：簡單的資料結構；疊圖操作容易、執行較有效率；網格格式下，高程空間變化性較有效率；網格格式能有效率的操作，增強數位影像。

缺點：網格資料結構不夠緊密，但資料壓縮技術可以克服；相對地形較難描述；圖籍輸出較缺乏美學觀點。

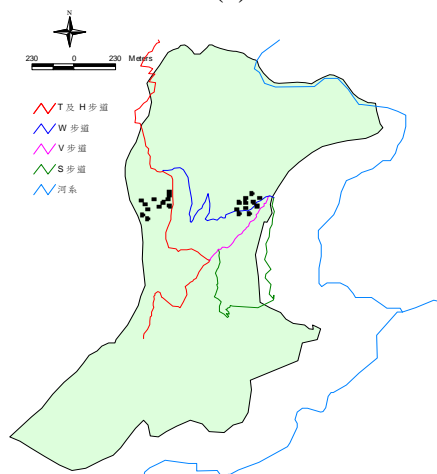
有兩種壓縮網格資料之模式：length encoding及使網格屬性資料容量加大。

2.多尺度性不同空間尺度

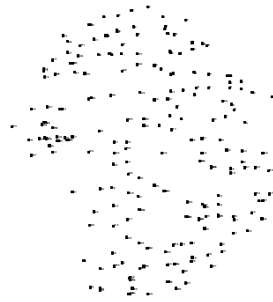
應用多尺度空間決策支援系統，考量不同空間尺度—全球、區域、地區、林分、單株之量化性態值的現況、功能與變遷，藉以掌握某時點甚或時間歷程裏，各種尺度層級的資料與資訊。如圖 1-12。



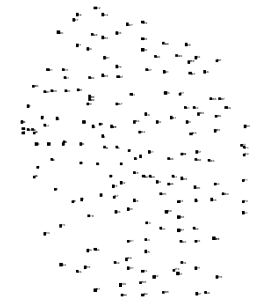
(a)



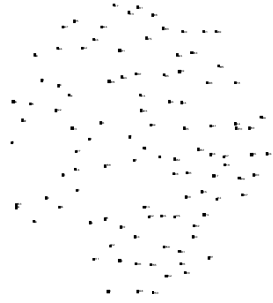
(b)



(1)山頂 A1 樣區林木位置圖



(2)山頂 B1 樣區林木位置圖



(3)山頂 C1 樣區林木位置圖

山頂三個不同杉木疏伐密度林木位置圖

(c)

圖 1-12(a)(b)(c) 以惠蓀林場-關刀溪森林生態系 LTER 多尺度一覽圖

3. 整合不同時間/空間尺度

(1) 整合空間、時間多尺度資料庫

整合生物、生態/社會、經濟/知識、技術；結合研究者、經營者、民眾，各領域之科際整合，並結合空間尺度與時間尺度的資料、資訊於地理資訊系統中。當政策擬定、問題解決、經營方案制定、計劃與執行、監測與行動調整時，若有決策支援系統，則將方便於做理性、公開、有效率的決策。決策支援系統大體可以區分為目標確定、調查資料收集、資料管理、資料分析、模式建立/資訊提供、資料傳遞、共享、方案擬訂與評估、決策與計劃、執行與監測。其彼此間之關係，靠著資料與經處理分析後的資訊將其串聯，所謂理想的決策需要有充分的資訊，所以考慮以科際整合並符合時代潮流的森林生態系經營觀念，建立多尺度空間資料庫與網路系統。建立森林生態系經營保育資料庫，整合(A)生物、生態資訊(B)人文社經資訊(C)行政、法規資訊(D)經營、保育資訊，等有關資料與資訊。本人

目前正以林木生長收獲為中心，以多度空間資料觀念，研擬森林生態系經營保育資料庫。有以下四個重點：(a)收集整合不同空間層級如全球、區域、地區、地方等或全島、森林生態系經營單位、林分、林木資料與林地資料。(b)建立一致化輸入格式、檔案儲存之資料庫及資料管理系統。(c)在地理資訊系統下整合圖籍與屬性資料庫、空間模式庫及資料管理系統。(d)利用網際網路、電子郵遞完成資料傳遞與共享。

(2)整合性資訊庫

資訊庫之資訊知大體可以分為三大類(1)針對其林木、林分、林地、生態系、景觀，來調查當時狀況(status)；(2)針對各種環境因子與生物、生態性態值的功能關係(function)和(3)掌握各種性態值與功能其在時間歷程的變遷(change)。

已有的資料需先好好的分析成資訊—表示林地、林木、環境的現況、功能、變遷。以往資源調查的資料可提供部分歧異度的資訊，最近更由美國Joensum引進理論觀念及量計、推計來評估歧異度，方法的發展和影響因素方面的研究於芬蘭(Finland)(Tomppo, 1995)。

a.推估情報的可信度(reliability of estimation)，可能誤差的減少是往後應再加強改進的地方

b.森林健康方面的研究

c.歧異度調查方面的研究

(a)發展基於森林性態值，棲息地和統計生態的方法，來量測生物歧異度

(b)林分結構、育林方法、經營措施對生物歧異度和種類發生的影響

(c)分析土地利用的歷史—林木伐期、盜用、濫墾、超限利用

(d)火災頻率、土地利用的歷史對森林生物歧異度的影響，亦有由年輪學(dendrochronological approach)探討歧異度者。

過去資源調整所採取的系統取樣調查設計，對於趨勢分析(trend analysis)，分層的依據有相當的幫忙，宜將之置於地理資訊系統的圖籍或屬性資料，善加分析探討以瞭解各種樹種、林型的樹種組成、林分結構、生態幅度、林分發展變化。凡此狀況、功能、變遷的資訊皆將提供森林的健康、歧異度、生產力的保續經營充分的資訊。

(四)電腦輔助製圖與地理資訊系統(Computer assisted mapping and GIS)

1960、1970年代，地圖資訊應用的新趨勢為：資源評估(resource assessment)、土地評價(land evaluation)及規劃(planning)。

要使計算更完全，有二種方法：

(1)形態描述法、邊界描繪法(gestalt methods)：找出自然發生的環境單位，將這些可辨認、唯一且相互獨立的屬性畫出圖來，這些相互獨立組合的環境特性，包括地形、地理、土壤、植生和水，即構成 Vink(1981)所提的相關複合體(Correlative Complex)。這個基本觀念亦應用於整合資源調查(integrated resource surveys)，然而，為許多不同目標而使用整合資源調查結果時，則發現主要問題出在所得到的資料太普遍了，無法為了某個特別議題，而由某一地景擷取部分所需的資料。

(2)漸近推估法(Interpolation of gradual)：當單一主題有關資源的地圖可利用時，使用者喜歡找方法把這些有用的資料整合而加以綜觀或重新再分類或再產生所需要的資料。當有各種不同單一領域資源地圖(monodisciplinary resource maps)時，使用者傾向於能從整合各圖籍來看，重新分類或更一般化。在美國，規劃者與地景建築者，則認為可以透過疊合(overlap)不同領域之單項主題圖的透明片，將各種資料整合、結合。當中建立此簡單技術最有名的是 Ian McHarg (McHarg 1969)。利用電腦以統計值繪製整合圖製圖的系統(Synagraphic Mapping System)即是 Fish(1963)利用 Edgar M. Horwood 電腦繪圖的觀念。

利用電腦製圖，把統計值印在紙上，以模式分析資料，再將結果以印表機(line printer)秀出，SYMAP(Synagraphic Mapping System)算是第一個組合製圖過程的電腦程式。

因為 SYMAP, GRID, IMGRID, GEOMAP 和其他程式被設計為提供快速且便宜的網格資料，最初結果只能用粗糙的印表機繪圖，許多製圖者拒絕接受這種地圖。直到 1977 年，電腦繪圖的經驗才算完備。

利用電腦繪圖的理由：

- 1.已存在的地圖可以快速印出；
- 2.已存在的地圖可以便宜印出；
- 3.可符合特定使用者之需；
- 4.不需要特殊技術人力下都可生產地圖；
- 5.在相同資料下可允許不同繪圖表現；
- 6.當資料已是數字型態時，可利用製圖及將最近資料繪入圖中；
- 7.可便利分析資料，當需要統計分析及製圖間交互作用時統計分析結果可用圖籍表現；
- 8.減少以印刷地圖作為資料儲存方式，亦可減少資料分類的影響及資料品質的概述；
- 9.量化執行可做到手繪地圖做不到的事，如三維地圖或立體圖；
- 10.可以清晰說明由選擇和一般化過程完成的不同主題的地圖；
- 11.自動化的引進可做為整個製圖過程之檢討，亦可節省及改善製圖過程。

1970 年代後期，才有大量投資在電腦輔助繪圖軟、硬體的建立及應用上，尤其是北美的政府及個別企業，歐洲的規模比北美小，其中包括瑞典、挪威、丹麥、法國、荷蘭、英國、西德等國。

電腦輔助繪圖並未如預期般直接降低成本，這種新技術的獲得及建立經常是很昂貴的，並且需要受過訓練的員工來作業，且電腦輔助設計的工廠及電腦輔助系統都不一樣，以致投資在建立軟、硬體設備之成本不易回收，成果不易看出，同時昂貴系統的購買者被迫需要僱用程式操作員以適應他們所需的特殊系統，在許多繪圖組織中具有許多不確定性，他們只是更快速的完成現有工作或是提供使用者更多的產品而已。

電腦硬體發展快速，組織內容將自動化應用在安全的地方—校正圖樣、掃描

輪廓，準備印製的底片。過去許多繪製者並不了解數值化的圖形資料對於空間問題的分析上是強而有力的。

其實，電腦繪圖在技術建立上是極費力的。過去，數以百計的電腦程式，多數都建立在改進手動方法為自動化，而不是在探究空間資料的掌握。

1960—1970 在電腦應用上有兩個趨勢：(1)既有工作的自動化，強調製圖的正確性及視覺上的品質；(2)強調空間分析，但是犧牲了好的繪圖結果。

(五)地理資料分析

1. GIS分析功能的分類(Classification of GIS Analysis Functions)

GIS技術的發展能提供多數複雜的分析功能。功能可分為四個主要類群：(1)維持及分析空間資料(2)維持及分析屬性資料(3)整合及分析空間和屬性資料(4)輸出格式化。每一主要群可細分成多種型態功能，彼此之間的差異在於技巧的多寡。

2. 空間資料的分析與維護(And Analysis of The Spatial Data)

功能的分析與維持常使用來傳遞空間資料檔，並且評估他們的正確性。非屬性資訊最初有關於空間資料，它們提供有關GIS間的不同功能。GIS須有能力去傳送資料源進入資料結構，而且編輯那些檔案。它必須結合鄰近的檔案去形成單一檔案，為了改善有效儲存能力，必須降低使用儲存資訊的資料數量。座標縮減(coordinate thinning)是一個降低座標對數量的程序。在不同資料層中，它必須使線條描述一致性，特別是GIS包括所有功能必須仰賴使用者供應資料的程度。

(1)格式轉換(transformations)

GIS的資料供應在數化儀下常為點的形態，它們必須輸入一定量的數化檔或DLG格式的基本圖。這些檔案要傳送入資料結構和檔案格式必須藉由GIS。網格檔必須放入以網格為基礎的GIS；以向量為基礎的地形結構通常必須建立地形座標資料。若資料收集的格式不適合GIS格式轉換手續將會耗時。

(2)幾何轉換(transformation)

幾何轉換使用在GIS中的地面座標分配到地圖或資料層之過程。記錄(registration)的方法可分為兩種：相對位置(relative position)和絕對位置(absolute position)。

(3)相對位置的記錄(registration by relative position)

在此手續，第一子層資料隸屬於第二母層資料，可使用游標或數化儀來標定或修正位置，假如記錄點正確，則會平均分配在地圖上。

(4)絕對位置的記錄(registration by absolute position)

每一資料層分別記錄相同的地理座標系統，彼此也互相記錄。當資料層被相對位置記錄時，錯誤的母層資料將影響子層資料。

(5)幾何投射間之轉換(between geometric projection)

地球為一球面，為了適應位置，發展經度和緯度系統。地球表面標能輕

易顯現在球面地圖，但是不方便在二度空間平面顯示。地圖投影的數學轉換可解決此問題。地圖投影通常使用大比例尺，以確保GIS的使用。

(6)緯度/經度系統(latitude/longitude system)

經度線從北到南，經過Greenwich天文台定為零度，往東往西各為東經、西經。緯度垂直經度，以赤道定為零度，向北向南各為北緯、南緯。

(7)合併

在不同的資料層中，合併為使符合特徵的位置具一致性的手續。合併的功能使疊圖的差異產生一致性。程序通常須要操作者在相同位置的地圖或資料層中修正相配特徵。在不同來源資料的整合分析上，合併是一項重要的功能。

(8)邊緣相配(matching)

邊緣相配是一個調整特徵位置的程序。地圖的特徵沿著圖緣無法接合時，使用邊緣相配可使位置邊緣產生連續性，而使圖籍接合。

(9)編輯功能(function)

編輯功能使用來增加、刪除及改變地理位置特徵。編輯軟體的複雜化常大大的影響協助功能的速度及準確性。在數化和疊圖的操作上碎片(sliver)常會出現。

(10)線座標變少(coordinate thinning)

這功能使用於降低GIS所儲存座標資料的數量。通常輸入的座標常多於線或多邊形所須的數量，座標變少可降低座標點數目，資料檔的大小及資料之容量。有助於改善系統執行。

3.非空間屬性資料的分析和維護(And Analysis of Non-Spatial Attribute Data)

這群的功能使用在編輯、檢查和分析非空間屬性資料。可分為兩種形式：屬性編輯功能(attribute editing function)及屬性查詢功能(attribute query)。

(1)屬性編輯功能(attribute editing function)

編輯功能允許屬性取回、檢查和改變。並且能夠增加或減少屬性。

(2)屬性查詢功能(attribute query)

屬性查詢功能常因受到軟體功能限制，做到簡單的訂正，例如尋找等級的分配去選擇多邊形。倘若不使用複雜的空間操作的話，屬性分析將非常有力。一全特徵資料庫提供操作者的命令去執行大範圍的疑問語並且在合適的報告格式中輸出結果。

4.空間和屬性資料的整合分析(Analysis of Spatial and Attribute Data)

GIS的力量在於它有能力一起分析空間和屬性資料。這些能力最能區別GIS的自動繪圖和電腦幫助製圖系統。分析程序的範圍非常大，主要分成四個部份：(1)擷取、分類和測量(2)疊圖(3)鄰界(4)連接或網路功能。

(1)擷取、分類和測量(retrieval、classification and measurement functions)

空間和屬性資料都可修正，但只有屬性可修改或創造。空間位元的位置不會改變，也不會重新創造。

a.擷取(retrieval)

修正操作在空間和屬性資料中包含選擇搜尋、操作及輸出資料，不須要修改特徵的地理位置或創造新的空間實體。

b.分類及一般化(classification and generalization)

辨別特徵的程序屬於那一類群者稱之為分類(classification)。每一GIS皆能提供一些分類形式。在單一資料層中，分類可包括每一多邊形到屬性的階級符號。在多資料層的分類中，功能類似疊圖。

一般化(generalization)又稱地圖分解(map dissolve)，是藉由結合等級產生較不詳細的分類過程。

c.測量功能(measurement function)

每一GIS皆能提供測量功能，空間測量包括點間距離、線長、多邊形的周長及面積。當數位數值資料使用時，三度空間測量對於工程應用則越顯重要。在向量GIS中，測量必須針對多邊形的大小、形狀長寬距離等；在網格GIS中，測量必須針對相鄰細胞的鑑定操作。

(2)疊圖作業(overlay operation)

算術及邏輯的疊圖操作是所有GIS軟體的部份。算術疊圖包括從資料層到第二層相對位置的增加、減算、分割等操作功能。邏輯疊圖包括面積的專一條件是否一起發生。在GIS中，適應性提供給操作者及疊圖執行非常寬的功能。影響功能執行的主要因素之一為資料模式的使用，網路及向量模式在算術及邏輯的操作各有不同的意義。在網路模式中，疊圖的操作較有效率。疊圖手續是相當複雜的，對於空間資料的屬性分離儲存是其優點，屬性的操作較有效率。

(3)鄰近作業(neighborhood operation)

鄰界操作為評價環繞專一地域面積的特徵。每一鄰界功能至少須有三個參數：一或多個目標地區、沿著每一目標的專一鄰界、執行鄰界單元的功能。鄰界功能在評價區域面積的特性。

a.搜尋(search)

搜尋功能為依照鄰界特性來描述每一目標特徵的價值。可分為三要素：目標、鄰界及鄰界價值。每個目標及鄰界單元可儲存一或多層資料。搜尋面積常為正方形或矩形或圓形。搜尋功能有兩種形式：數字資料和主題資料。數字功能具有平均、最大、最小、總數等；主題功能具有過半數、最大、最小、變異測量等。在網路模式，搜尋功能能應用在每一地區。過程類似經由鄰界資料層的大小來移動視窗，細胞接著細胞，移動到相符位置的輸出資料層。

b.線—面與點—面作業(line-in-polygon and point-in-polygon operations)

在向量模式中，多邊形點、線的鑑定是一特別的搜尋功能。在網路模式，搜尋功能本質上是一疊圖操作。若使用quadtree資料結構，搜尋功能執行的效率超過網路及向量模式。線—多邊形和點—多邊形操作對於區域範

圍內的座標系具有使線路系統更清晰的優點。

c.位向功能(topographic functions)

地形是有關於表面的特徵，是每個區域的海拔位置，在GIS則形成數位海拔資料。在向量系統中的測量模式為TIN，包括海拔高、坡度、坡向和其它參數等。而最常使用的數值參數為坡度和坡向。坡度(slope)為海拔變化的速率；坡向(aspect)為表面面對之方向。坡度經由海拔高的點到地平線變化之角度；坡向為從北順時針變化之方位角。坡度坡向測量的應用非常廣泛。

d. thinness polygons

thinness polygon是一個環繞每一測定範圍的結構。常用來分析氣候資料，例如降雨量。由環繞單一點的觀測值來預測。

e.空間推估(spatial interpolation)

插補是在鄰界位置中，使用已知值來預測未知值的程序，通常必須藉由數學功能。插補的結果依視已知點的精確度、數量和分佈狀況而定。不同的插補結果產生不同的地形結構。

f.產生等高線(contour generation)

地形輪廓常為連接相同值點的地形表面描寫。除了連接相同值的資料點外，尚須預測遺失的值點。

5.連接功能(Functions)

連接操作的區別特徵是在旋轉的面積上，使用功能來求積值。也就是說，須要一或多的屬性計算及執行結果的總數能一步步的保留。連接功能必須包括：(1)特別的方法使空間單元能相互連絡。(2)特別的規則在相互連絡間能允許移動(3)測量單元。連接功能可分為下列數群：contiguity、proximity、network、spread、stream、intervisibility。

(1)接近測量(contiguity measures)

接近測量是評估空間單元特徵是否連接。若角對角的鄰接區域是相鄰的，則可自成為一單一連接區域；若為邊對邊的鄰接區域，則將形成兩個連接區域。接近測量的應用為鑑別數值區域的特有大小及形狀特徵。

(2)漸近(proximity)

proximity是一個在特徵間距離的測量。通常為長度單元的測量。proximity測量有四個參數：目標地區、測量單元、計算proximity的功能、分析區域。proximity分析的形態稱為緩衝區(buffer zone)。緩衝區具有一至多地圖單元寬度圍繞主題。以森林為例，緩衝區將可保護此區樹木免受砍伐。

(3)網路功能(network functions)

網路是一相互連接的線性特徵所形成的模式。通常使用在一地到另一地的移動資源。GIS可執行網路分析的三個原則：網路裝載的預測、路線的有效運用、資源分配。網路有專一的性質，須要特別的分析功能。分析功能包括四部份：資源庫、一或多個資源所在的位置、一個主題能夠陳述資源所到的

目地的、一個強制目標相遇的地方。網路配合GIS軟體將使功能更為便利。

(4)擴展功能(spread functions)

擴展功能是一項普通但是有力的操作，它能使用在分析較寬範圍的影，並且在複雜的表面上評價時間。常用來鑑定排水流域。擴展功能擁有proximity及network的特徵，操作原理採從一或多個開始點一步步移動，並計算距離變化值。擴展功能的區別特徵為跑數總數的計算。每一地區的跑數總值形成輸出檔。擴展功能的優點之一為能通融不規則的分佈。擴展功能是一個有價值及非常複雜的功能，特別是分類模式。

(5)尋找或溪流擴展功能(seek or stream functions)

尋找功能是執行一步步直接搜尋外部的的方法，常來自指定規則的起始點。這程序是反覆進行直到任何破壞規則的移動。尋找功能的輸出是有很多途徑的，直到功能停止。尋找功能能使用在擴展功能上提供自動定路線的選擇能力。

(6)景觀區域功能(intervisibility functions)

景觀區域功能是一個操作的累積型態，是指特定目標地區所能看見的範圍。此功能可使用在地圖的景觀視覺上，利用數位高層資料來定義環境地形。對於地景(landscape)的特徵規劃，景觀區域功能是一項有力的工具。

(7)光亮(illumination)

光亮是描述光線對三度空間表面的影響。有三個因子控制此功能：光源的量度和位置、表面的地形影響、景觀模型的位置和方向。由數位高層資料常產生陰影替換影像(shaded relief image)。光亮功能亦可評估自然條件。生長的條件受到日光數量和方向的影響。例如植被的分佈。光亮功能分析的結果常為影像的模式，最好以三度空間方式來展現。

(8)透視圖(perspective view)

透視圖是一項介紹的工具，通常使用三度空間的特徵來顯現，例如自然地景。然而剖面圖傾向於認知替換。透視圖的替換著重於表面特徵的誇張。透視圖的產生如同照相輸出或是繪成網格圖。常見如主題圖或衛星影像圖或三度空間的地景透視圖。

現就以上鄰近作業的空間推估(spatial interpolation)詳加說明：

1.空間推估之意義

所謂空間推估 (spatial interpolation)，乃指利用已知測點推估全區域中未被取樣地區之性態值的一種程序稱之(Burrough 1986)。我們所熟悉的地形圖上的等高線，是以航空照片立體判釋經由立體測繪儀繪出之同等高度之線圖，因此在航空照片上，我們能夠得到地表全部的高度資料，以建立等高線。但卻無法自航空照片上直接判釋獲取土壤類型、地表水、溫度及其他許多的林分結構變數。因為無法看出這些變數的實際排列情形，所以只能藉由取樣的工作來達成，並且利用一些"適當"(plausible)的模式來獲取我們想要的全區任一點資料，所以選擇一種適當的空間推估模式，將影響到資料本身的精確度，也因此凸顯出推估方法的重要

性。

2.空間推估之分類

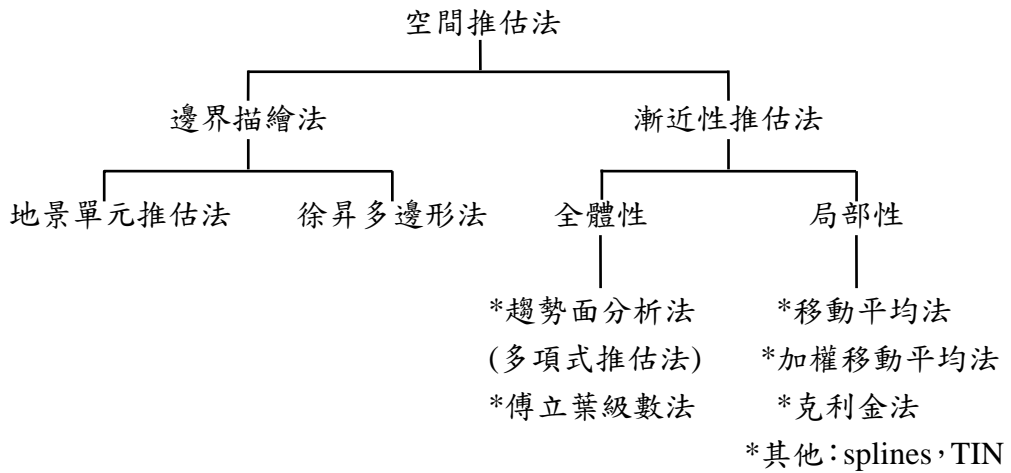


圖 1-13 空間推估法之分類

以下將目前發展之常用空間推估法說明如下：

(1)邊界描繪推估法 (drawing boundaries)

a.地景單元推估法 (landscape units)

最簡單的邊界推估方法是利用外部地景特徵的輪廓稱為"地景單元"。例如土壤、地質、植群、土地利用等主題圖的繪製。典型的例子是由航空照片判釋之林型圖，透過植群外觀之鑑別賦與每個林型名稱或代號所完成之林業基本圖籍。在影像分析上這種方法則假設所有重要的變數是發生在邊界，而邊界內所有變數是均質而且等方向性，由於自然界大多數變數是漸近的而不是突發的，所以此種方法在自然科學中的應用將較不適用，僅能提供定性的特徵分類，或經由擴大係數進行比例推估。

b.徐昇多邊形法 (Thiessen polygen)

第二種方法是經由徐昇多邊形法 (或稱 Voronoi polygons, Dirichlet-cells) 來進行，由 A.H.Thiessen 於 1911 年所提出，這種觀念是建立在一個二維的取樣點上，對於未測點之最佳的資訊是以最鄰近資料點來推估，例如全區的氣候資料可藉由鄰近的數個氣候站資料來加以推估。其方法如圖一所示 (Burrough, 1986)：

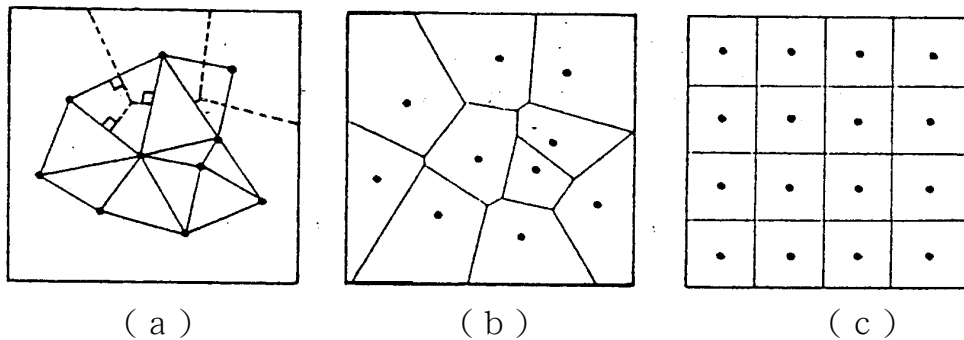


圖 1-14 徐昇多邊形法，(a)、(b)為樣點不規則分佈，(c)為樣點之規則分佈 (修自 Burrough 1986)

首先以直線連接區域內相鄰觀測站，形成多個三角形，在三角形各邊做中垂線（如圖 1-14 之(a)圖），繪成以各點為中心的多邊形，即形成徐昇多邊形（如圖 1-14(b)圖）。該法在樣點規則分佈時將形成圖一之(c)圖。徐昇多邊形法，已具有距離因素影響的概念，以中垂線做平均內插雖然簡單方便，但精確度較低，尤其是應用在樣本點規則分佈的第三次資源調查資料時，顯然無法進行合理之推估。

(2)漸近性推估法 (Interpolation of gradual)

自然界的空間變化大都是連續性的，能夠經由一些平滑的數學表面來加以定義，這類的技術包括：最小平方趨勢表面法(Least square trend surface)、傅立葉級數法、(Fourier series)、移動平均法 (Moving average，又稱權重法)和克利金法 (Kriging)。上述的幾種方法又可大致區分為二類，即全體性和局部性。前者是建構研究區內所有的測點性質，其新值是利用全部之樣本值外推，並可觀察其大範圍空間之趨勢，包括趨勢表面法和傅立葉級數法。後者新值是以鄰近之樣本值來推估，強調局部性的變化，通常推估後之模式會通過原來樣本，包括克利金法以及移動平均法。

(六)地理資訊系統及其組成

(1)地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)

利用電腦繪製地圖及空間分析在自動擷取資料、資料分析及成果顯示在相關領域。這些領域包括地籍及地形圖等主題圖繪製，土木工程、地質學、數學等空間變異的研究；土壤學、調查與航照技術、鄉村規劃、都市計劃、設施網路設計、遙測、影像分析等歷史的發展都是互相平行的、同時的(如圖 1-15)，軍事上的應用則以套疊技術為主且領銜許多領域的整合應用。

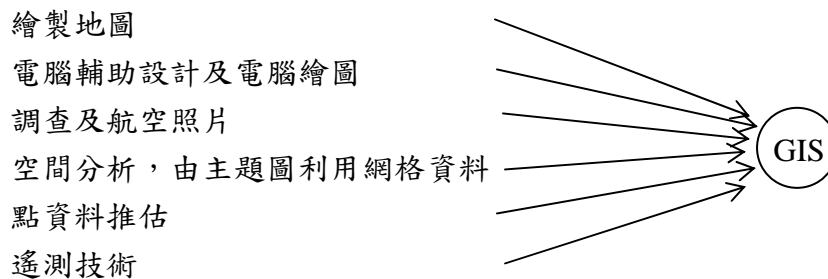


圖 1-15 地理資訊系統是整合不同空間資料處理平行發展的結果

建立一套強有力的工作來收集、儲存、擷取、轉換、展示空間資料就是 GIS。地理資料建立之條件有三：(1)已知座標系統位置(2)與位置無關的屬性資料，如顏色、PH 價值、罹病率(3)彼此在空間分布位置之關聯。

GIS 與電腦繪圖不同，因後者著重於展示及操縱可看見的物質，而前者則著重空間資料的建立、儲存、分析與展示。現代的 GIS 需要好的電腦繪圖，但一製圖套裝軟體若沒有空間資料的儲存、分析與展示功能，也不能夠獨立有效率地完

成工作，繪圖軟體(drawing packages)也無法單獨建立這種系統。

GIS 有許多部分與電腦輔助設計(Computer-Aided Design, CAD)系統所用的資料如由天上的飛機到地面調查等廣泛的範圍，技術的主題都相同，GIS 與 CAD 都需要有目標做參考，都需要非圖形資料，也都需要描述與地形的關係。二者主要的不同在於 GIS 需要大量容量及細分的資料輸入，並使用特別的分析方法，這些不同往往不小，對 CAD 有效的系統也許對 GIS 非常不適合，反之亦然。

(2)GIS 的組成(GIS Components)

GIS 的一般硬體組成可由圖 1-16 表示，電腦中央處理系統與磁碟機、數化儀與其他設備則將地圖、文件轉成數量化型式，再送到電腦、繪圖機、印表機，再將成果印製出來或由視覺展示單元(visual display unit, VDU)來監控。

a.腦硬體(Computer hardware)：應用軟體單位組、適當組織關聯，三者需達平衡

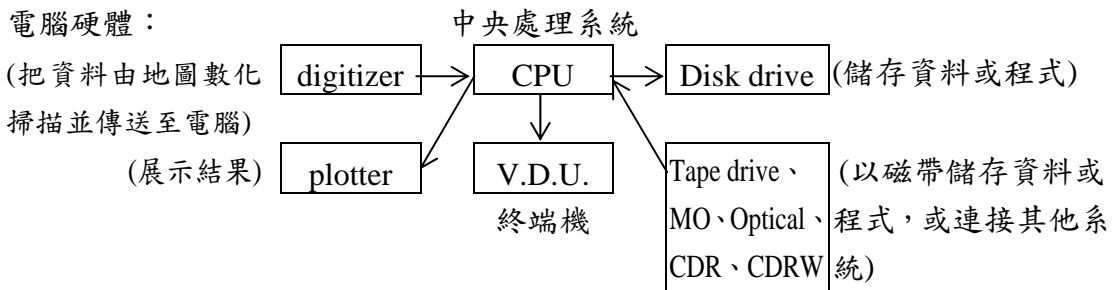


圖 1-16 GIS 主要硬體組成

b.軟體模組：包括 5 個單位(如圖 1-17)

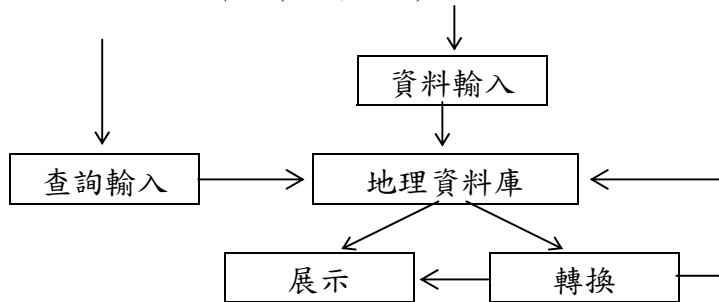


圖 1-17 GIS 主要軟體組成

(a)資料輸入與驗證(data input and verification)：

來源：地圖、野外觀測、感應器(sensor)：包括以航空照相、衛星、紀錄器等收集資料，將資料轉換成數字形態再由終端機、數化儀(digitizer)、掃描器(scanner)以檔案形式儲存於磁片、磁碟內(如圖 1-18)。

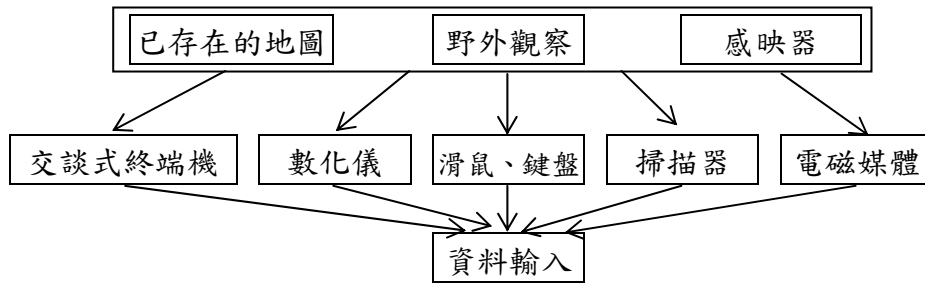


圖 1-18 資料輸入

(b)資料儲存及資料庫管理(Data Storage and Database Management)：

如圖 1-19，資料儲存及資料庫管理系統是將有關位置、位向關係的關連與地理之素的屬性以點、線、面表示在地球表面的物體，予以結構化與組織起來的方式，其必須由電腦來操作且由此系統的使用知悉。

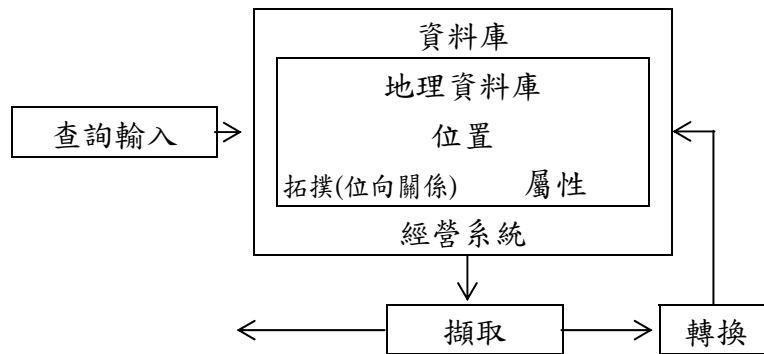


圖 1-19 地理料庫的組成

(c)資料輸出和描述(Data Output and Presentation)：

資料輸出與描述(如圖 1-20)，係有關資料展示與分析結果的報告的方法。資料可以地圖、表格和圖形(Figures-Graphs and Charts)等不同方式表示，且透過終端機、印表機、繪圖機，將其資料資料、資訊輸出。

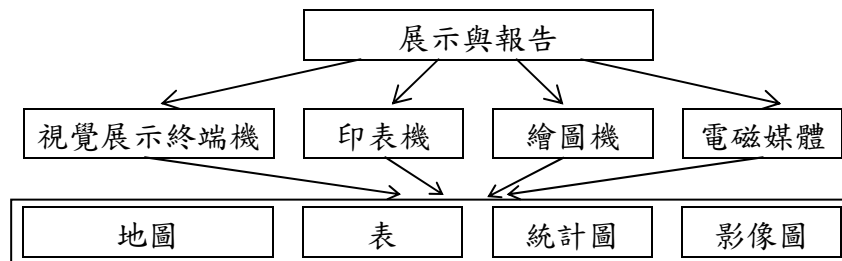


圖 1-20 資料輸出

(d)資料轉換：如圖 1-21 所示包括使用與分析二種操作，也就是(1)轉換需要移除資料中錯誤的部份，需要進行資料更新、需要配合其他要整合應用的資料格式。(2)整序列的分析方法應用到資料上，以達到 GIS 能解

答的問題上。

資料轉換觀念可運作在空間及非空間的資料上，不管個別的使用或混合使用都可以。許多資料轉換與尺度(scale)的改變，把資料配合至新的投影座標上，資料的擷取和面積、周界的計算。簡單的轉換方法可以結合以獲得某些地理或空間模型的特定型態是本書主題，在 5,6,7,8 章內涵蓋。有關空間轉換及轉換時確保資料庫的完整，在第 4 章內再加以討論。

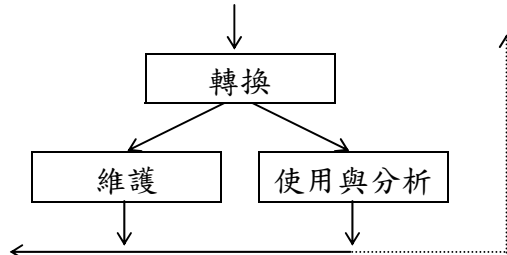


圖 1-21 資料轉換

(e)與使用者的交互關係，GIS 的設計者要解答使用者想問的下列問題：

- (1) A 在那裏？
- (2) 位置 A 與位置 B 有關係的部份在那裏？
- (3) 在 B 的 D 距離內 A 型發生多少？
- (4) 在 X 位置、函數 Z 的值 = ？
- (5) B 有多大？(面積、周長、數量)
- (6) 擷取不同類的空間資料結果如何？
- (7) 沿 path P 由 X 到 Y 最小成本、阻力或距離的路徑是？
- (8) 在點 X_1, X_2, \dots 是什麼？
- (9) 與某些特性、屬性聯合的下一物件(object)是什麼？
- (10) 重新分類的物件，是由那些特定屬性的組合？
- (11) 在已知假設情境 S 下，在時間 T 中，利用真實世界的數值資料庫做為模型來模擬過程 P？

由傳統方法要回答這些問題是困難的，有些用電腦輔助方法也是困難且耗費時間。使用者在使用 GIS 時，不智地製造、傳播誤差是很危險，將使工作成為沒價值。

與使用者的交互關係—疑問輸入—接受及使用資料系統是絕對必須。這個問題近幾年來才稍為人重視。一般使用者才能直接接觸電腦也是最近的事，由於電腦科技的發達，使電腦走入一般人的生活中。本書假設所有使用者與 GIS 間之關係可經由菜單式指令系統及如英文般的指令而進行。

(3)GIS 組成面面觀(The organizational aspects of GIS)

GIS 有五個技術的支系統，使其能運作，但其不能保證，所有特定的 GIS 可以有有效的應用，為了使使用有效率，GIS 需置於一適當的組織結構中(如圖 1-22)。

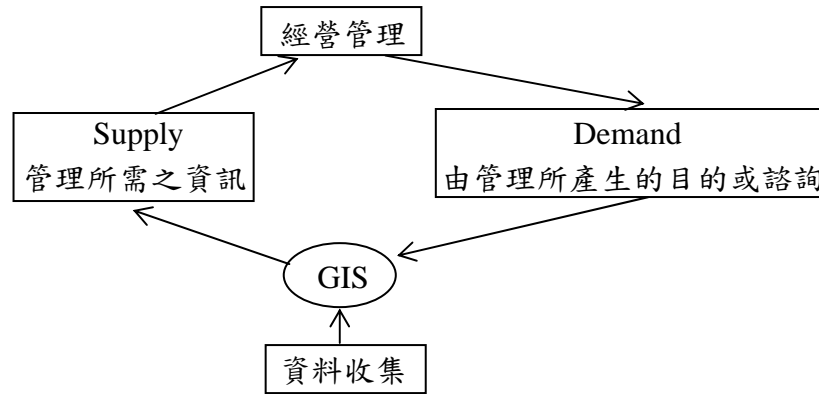


圖 1-22 GIS 的組織

就如同處理複雜產物的組織一樣，新技術唯有完全融入工作流程中而不是事後放馬後炮，才能有效的應用。因此除了投資在軟硬體上之外還要進行員工及管理階層的再訓練。

在 1970 年代，許多商學系統都很昂貴，因此一般經理都不敢投資。近幾年來，硬體便宜許多，也促進了自動化。但是有技術的人員及合理價位的軟體仍然稀少。但有許多選擇可提供給公司有關於 GIS 的投資。

(七)地理資訊系統於土地利用規劃與林業的應用

Duggin(1990)曾明確指出森林資源調查包括二個最重要的工作，即林地分類和材積的推估。而地理資訊系統的功能，正可用來輔助以上二者之分析。

1.林地分類

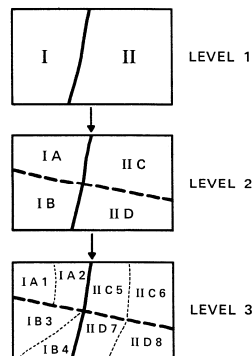
林地分類即是將從林地蒐集到的一些資料和資訊加以系統化分類，來表示各分類級間的相關性和歧異性，並依照林地特徵加以歸納。

分類之前必需對林地作調查，收集有關林地之各項資料，無論是自然、地理、物理、社會的、經濟的、法律的或是人文上之一些問題均需注意，由於不同場合時間、空間之土地使用方式亦有所不同，故對林地進行調查時必須加以注意。

分類方法有二：(Barley *et al* 1978)

(1)區域化法(Regionalizations)

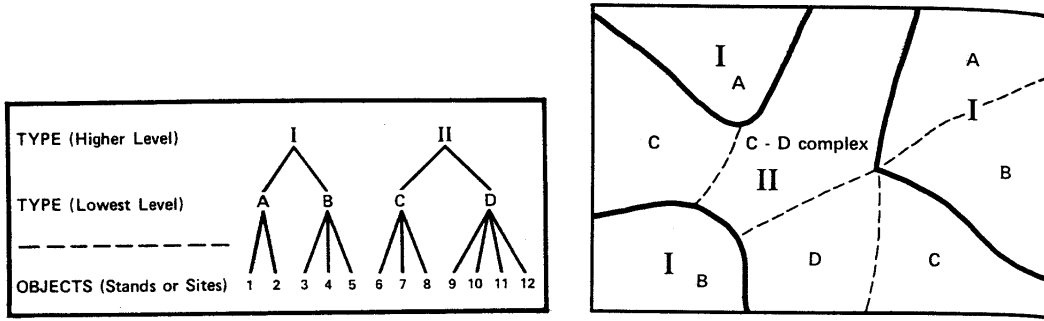
視林地為一完整個體，而加以細分為許多小單位。如圖。



(2)層級分類法(Hierarchical classification)

此種分類方法為一般分類學上常採用之方法，其分類結果亦可用地圖表示，

如圖。



一、林地分類法

林地分類方法所依據有五：

(1)依物理特徵來分(Physical characteristics)：

其屬性及利用上之特徵是永久不變的。依林地之天然物理性質而分。包括地形、土壤、母岩、氣候、水文、生育地型等。

(2)以立地因子而分(Site characteristics)：

有鑑於各林地有其不同的立地而分之。包括林地座標、經緯度、坡度、坡向、方位、海拔高、氣候等。

(3)以植生特徵來分(Vegetation characteristics)：

以林地目前所生長之林木或植被的性態值(特徵)而分。包括樹高、年齡、胸高斷面積、材積、平均直徑、直徑分佈、鬱閉度、樹種等。

(4)以林地潛在資源而分(Potential capability classification)：

其中包括鳥類、野生動物棲息地、戶外遊憩功能、資源保育、森林美感、水源涵養、土砂捍扯、木材生產，即森林的 FOREST、SE、六大功能的發揮等。

(5)以人文特徵來分(Cultural characteristics)：

至於林地分類整個流程可由圖 1-23 看出，林地分類可由現況評估及潛能評估兩方面加以評估方案擬定時可由潛能、可行性、適合性來加以考慮、探討。由之評估結果做成建議而依之規劃與執行。

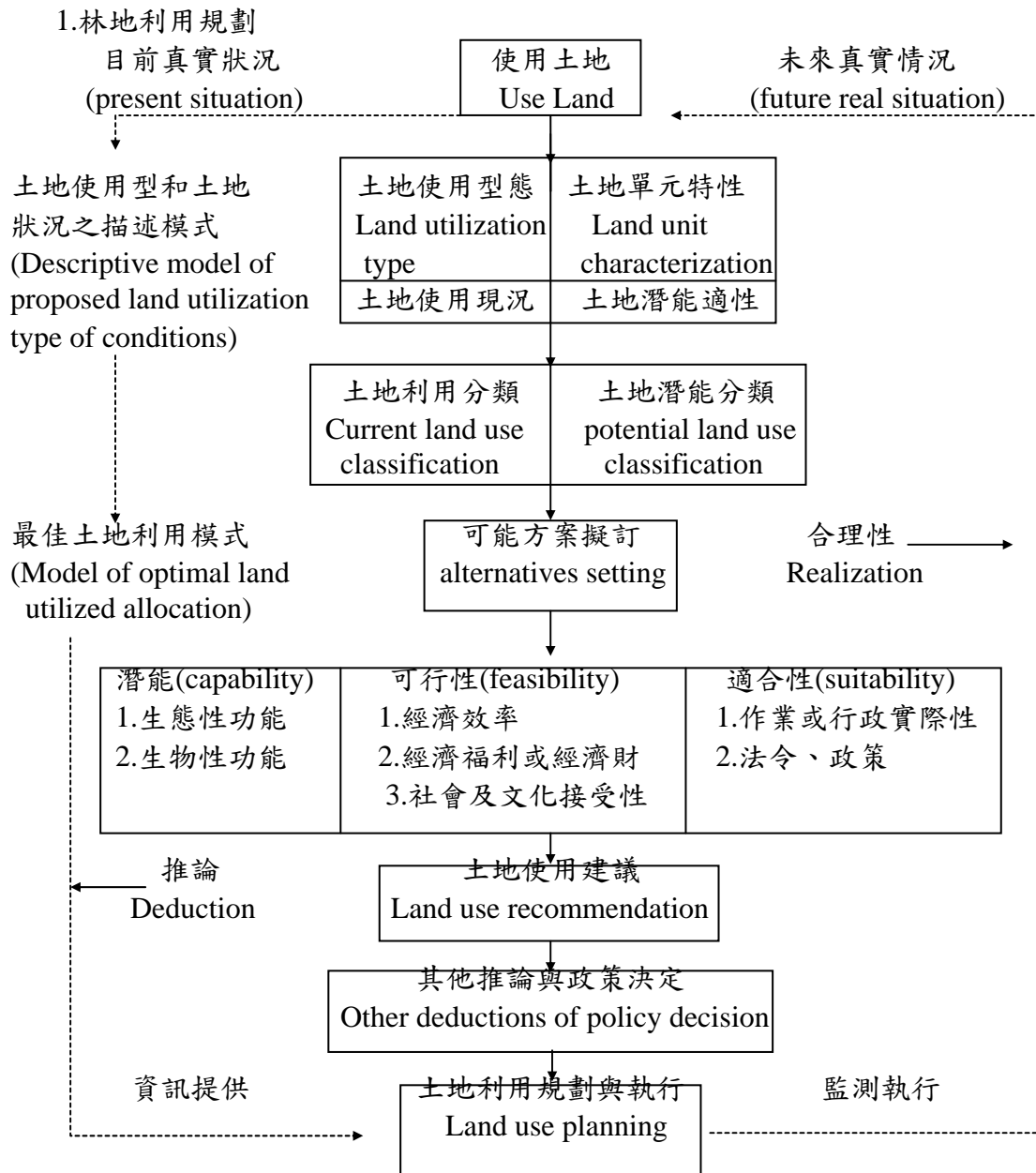


圖1-23 林地分類系統流程

考慮到林地現有的狀況，或為特殊用途而分。包括林地所有權、道路、建築物、行政區界、政治區界等。

在台灣地區地理資訊系統已普遍應用在林業經營管理上，例如陳永寬(1986)對於林業地理資訊組成、林地使用規畫等之研究。鄭祈全(1992)應用於森林經營之規畫以及陳朝圳(1993)應用在台灣穗花杉族群變化之研究。紀麗美和邱立文(1994)應用於第三次資源調查的地理資料庫的建立。吳貞純、馮豐隆、羅紹麟(1998)應用於森林遊樂區之使用區域分類等。

2. 林業應用

所有林業決策支援若由資訊技術來看，可由圖 1-24 看出步驟與各項功能及所需設備，至於一般過程則可分成以下 8 個步驟：

- (1) 資料評估—已存在資料彙集
- (2) 資料收集、取樣調查
- (3) 資料建檔、整合資料庫之經營管理
- (4) 資料的貯存
- (5) 資料的處理分析模式建立—空間推估、時間預測
- (6) 資訊形成、整合、傳遞與展示—景觀、林分、林木
- (7) 方案決定、問題解決

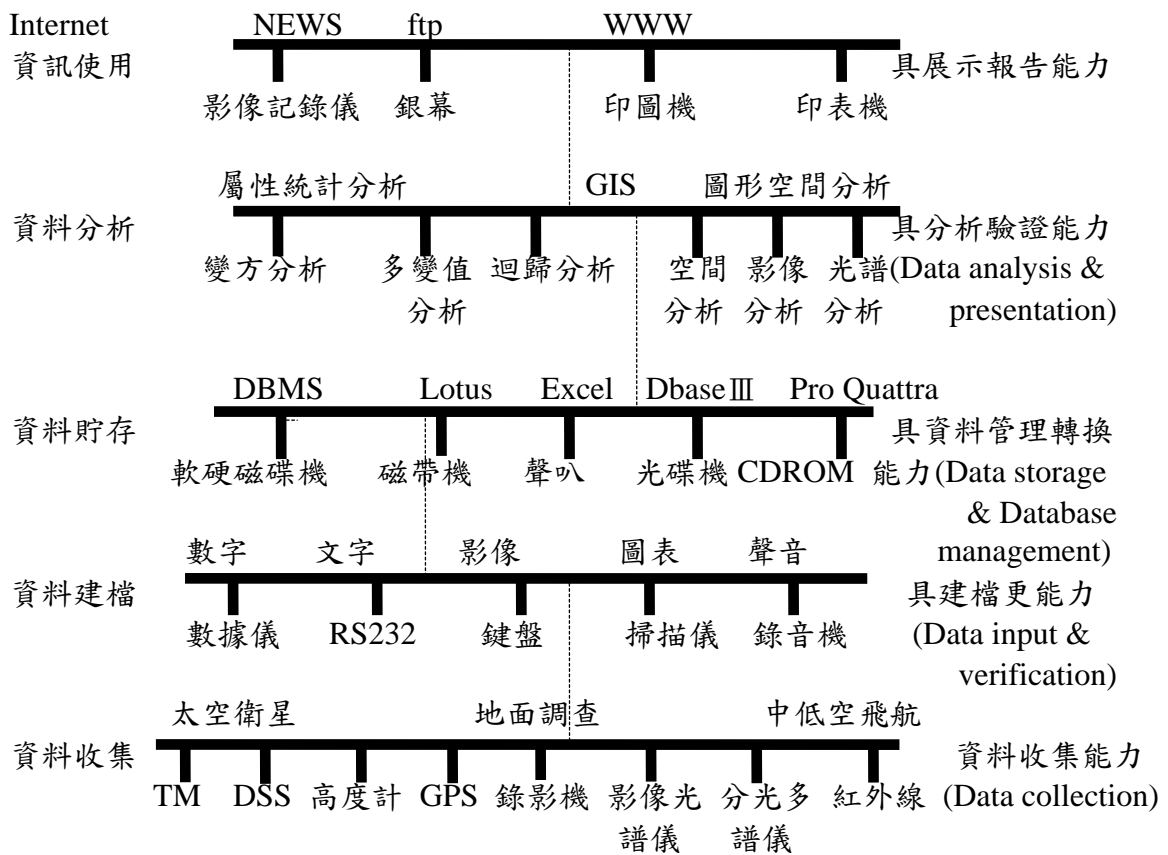
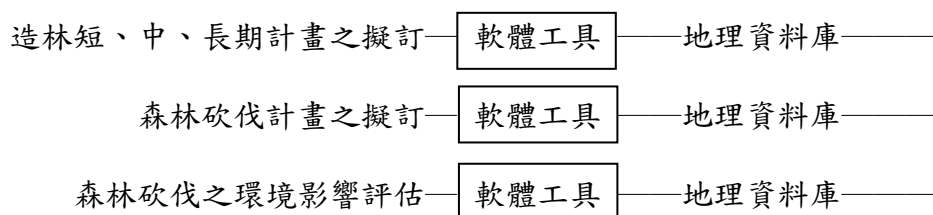


圖 1-24 資料收集處理分析與應用層集一覽表

地理資訊系統於林業上的應用，可透過其地理資料庫及具空間、屬性分析功能加以剖析如下：



集水區潛在災害評估	軟體工具	地理資料庫	
治山防洪整體計畫之擬訂	軟體工具	地理資料庫	真實世界
潛在森林災害分析	軟體工具	地理資料庫	
森林火災應變系統	軟體工具	地理資料庫	
森林資源現況分析與監測	軟體工具	地理資料庫	
森林遊憩潛力分析	軟體工具	地理資料庫	
現有生態保護區現況分析	軟體工具	地理資料庫	
環境資源經營保育分析與監視	軟體工具	地理資料庫	
森林資源現況分析與監測	軟體工具	地理資料庫	
土地利用型現況分析	軟體工具	地理資料庫	
森林資源潛力分析	軟體工具	地理資料庫	
潛在森林災害分析	軟體工具	地理資料庫	
潛在森林災害評估	軟體工具	地理資料庫	真實世界
森林災害應變系統	軟體工具	地理資料庫	
造林計畫之擬訂	軟體工具	地理資料庫	
森林砍伐計畫之擬訂	軟體工具	地理資料庫	
林道建設計畫之擬訂	軟體工具	地理資料庫	
森林經營之環境影響評估	軟體工具	地理資料庫	
FORESTSE各別計畫之擬訂	軟體工具	地理資料庫	
整體計畫之擬訂	軟體工具	地理資料庫	

註：(1)森林資源現況功能分析、推估、生長變化、變遷的監測、經營管理及其評估

(2)野生動植物的棲息地、生育地保育、物種、族群的經營管理。

(3)遊樂資源：遊樂設施區、景觀保護區、資源保育區、營林區等區劃與經

營措略規劃

- (4)資源保育：特殊地景、集水區、群叢、環境及物種、基因之保存
- (5)環境美資源：地形景觀、植生配置、物候考量、氣象、動物等瞬間景觀的考量
- (6)水土資源：河流流量、洪峰流量之估計、逕流量估計、水庫淤砂量估計、出砂量估計、流域經營
- (7)林木資源：製材木、桿材、葯炭材、紙漿材
- (8)潛在森林災害分析如：森林瞭望塔選址、森林火災預防

儘管已普遍應用在林業經營管理上，但地理資訊系統應用在森林資源樣區調查設計上的研究仍不多見，僅鄭祈全和周朝富(1991)提出三段取樣調查法，以衛星資料、航空照片及地面樣點分別取樣，再於地理資訊系統中整合，以及馮豐隆和黃志成(1993)利用地理資訊系統運用在森林資源調查與分析上，並提出未來設立永久樣區之方法與建議。當前森林經營考量以生態系的結構、組成、現況，配合能流、物流、食物鏈之生態功能與過程，配合自然人力經營管理所可能造成的變遷的生態系經營為主，而其中又以適應性為實施軸心。

適應性經營，基於目前有限的生態知識與社會價值認知，透過經營實驗(management experiment)後的監測(monitor)行動提供量化、可推測和預測的資訊，以為知識增進、技術改良而反覆、回饋、調整經營計劃與經營活動，更而促進平衡生態系的供需。使經營試驗與研究結合，由實驗研究的設計與經營實務來組合知識、技術，連結經營策略與生態理論。所以在此過程裏，資料、資訊、知識、技術的累積是相當重要，所以地理資料庫的建立與空間分析、屬性分析的技術成為不可或缺的關鍵。

1.整合空間、時間多尺度資料庫

當政策擬定、問題解決、經營方案制定、計劃與執行、監測與行動調整時，若有決策支援系統，則將方便於做理性、公開、有效率的決策。決策支援系統大體可以區分為目標確定、調查資料收集、資料管理、資料分析、模式建立/資訊提供、資料傳遞、共享、方案擬訂與評估、決策與計劃、執行與監測。其彼此間之關係，靠著資料與經處理分析後的資訊將其串聯，所謂理想的決策需要有充分的資訊，所以考慮以科際整合並符合時代潮流的森林生態系經營觀念，建立多尺度空間資料庫與網路系統。研究中，以東北角海岸國定風景特定區陸域生態系與惠孫林場為例，建立森林生態系經營保育資料庫，整合(A)生物、生態資訊(B)人文社經資訊(C)行政、法規資訊(D)經營、保育資訊，等有關資料與資訊。本人目前正以林木生長收穫為中心，以多度空間資料觀念，研擬森林生態系經營保育資料庫。有以下四個重點：(1)收集整合不同空間層級如全球、區域、地區、地方等或全島、森林生態系經營單位、林分、林木資料與林地資料。(2)建立一致化輸入格式、檔案儲存之資料庫及資料管理系統。(3)在地理資訊系統下整合圖籍與屬性資料庫、空間模式庫及資料管理系統。(4)利用網際網路、電子郵件完成資料傳遞與共享。

2. 整合性資訊庫

資訊庫之資訊知大體可以分為三大類(1)針對其林木、林分、林地、生態系、景觀，來調查當時狀況(status)；(2)針對各種環境因子與生物、生態性態值的功能關係(function)和(3)掌握各種性態值與功能其在時間歷程的變遷(change)。

已有的資料需先好好的分析成資訊—表示林地、林木、環境的現況、功能、變遷。以往資源調查的資料可提供部分歧異度的資訊，最近更由美國 Joensum 引進理論觀念及量計、推計來評估歧異度，方法的發展和影響因素方面的研究於芬蘭(Finland)如火如荼的展開(Tomppo, 1995)。

(1)推估情報的可信度 (reliability of estimation)，可能誤差的減少是往後應再加強改進的地方

(2)森林健康分面的研究

(3)異度調查方面的研究

a.發展基於森林性態值，棲息地和統計生態的方法，來量測生物歧異度

b.林分結構、育林方法、經營措施對生物歧異度和種類發生的影響

c.分析土地利用的歷史—林木伐期、盜用、濫墾、超限利用

d.火災頻率、土地利用的歷史對森林生物歧異度的影響，亦有由年輪學 (dendrochronological approach)探討歧異度者。

過去資源調整所採取的系統取樣調查設計，對於趨勢分析(trend analysis)，分層的依據有相當的幫忙，宜將之置於地理資訊系統的圖籍或屬性資料，善加分析探討以瞭解各種樹種、林型的樹種組成、林分結構、生態幅度、林分發展變化。凡此狀況、功能、變遷的資訊皆將提供森林的健康、歧異度、生產力的保續經營充分的資訊。

3. 資源調查系統分析與監測資訊的應用

利用各種空間分析、屬性統計分析的技巧，將點、線、面的取樣資料，進行族群面的生態性態值結構、組織、推估，由樣本到族群析出某些重要影響因子，再把不同時間收集經營管理或自然因子，對森林的組成、結構與功能所造成之影響進行監測。其內容有四：

(1)森林健康監測、森林生產力監測、森林歧異度監測

雖然森林健康可以由許多方式來定義，然通常有一共同協定，即可以用少數幾個重要森林生態系健康的屬性來表示。這些屬性包括生長、枯死和再生的平衡(balance of growth mortality and regeneration)，適當的生物歧異度 (appropriate biological diversity)，對不同壓力如病蟲害、惡劣氣候、氣象和空氣污染衝擊的抵抗力與恢復能力(馮1996)。

(2)林木(Timber)

1.造林更新伐採跡地

2.育林方法、材積銷量等合計畫所列

3.材積表(volume table)：各種經營林木樹種的生長蓄積是否符合林積表所列之蓄積量。

(3)水土保持(Soil Water Conservation)

- 1.土地生產力
- 2.是否符合最佳經營執行方式
- (4)戶外遊憩(Outdoor recreation)
 - 1.野溪與荒野地是否不受遊憩活動影響。
 - 2.遊憩設施是否符合限地要求，如半原始區(Semi-primitive area)不宜設置。
 - 3.視覺品質：所有計畫執行是否皆符合視覺景觀品質的標準。
 - 4.荒野地使用：任何荒野地使用如步道，是否超過其容納量。
 - 5.步道調查，設置和條件：步道建設計畫是否依計畫進行。
 - 6.遊樂使用與設施條件：建設與維護是否符合計畫，是否符合"易到達度與衛生設備標準"。
 - 7.生物特殊興趣區：活動計畫是否符合保育策略。

至於吾人實際進行監測區域有三：東北角風景特定區、惠蓀林場、新化林場，其詳細如下：

(一)以東北角風景特定區資源調查與監測為例

近三年來，在觀光局委託下，進行東北角風景特定區陸域生態系資源調查與監測。由過去調查資料的收集，航空照片、基本圖的購置、判釋、踏勘、清繪並完成基本圖籍，83年土地利用型圖的數化建檔。利用土地利用型圖進行分層取樣設計，設立16個20m×25m的地面樣區，進行上層植物與地被植生的調查，與樣區衛星定位的工作，完成樣區位置分布圖、林木位置圖、樣區環境、上層植物、地被植生種類、胸徑、樹高的調查，並於沒遭破壞的8個樣區內進行6種不同昆蟲調查方法試驗，經評估選擇吊網、黏蟲紙於樣區內調查法，進行每二個月一次的調查。將上層植物、地被植生與昆蟲調查資料，進行組成分析、結構分析、歧異度分析，藉以瞭解上層植物與地被植生的關係，植生與昆蟲間關係。另外檢討樣區的代表性，以為永久樣區供做長期監測之用，最近更進行風景特定區成立前(民國70年)的土地利用型判釋、數化、建檔，試圖以全區的土地利用型，甚或各局部區域的土地利用型圖進行空間分析，以供土地利用監測之用，另外利用永久樣區的上層林木、地被植物與昆蟲、和固定的穿越線進行鳥類的調查，藉由生物及其生態之性態值，在相同地點、不同時間的變化下進行生物、生態的監測，土壤種類、深度、土系及杉材線蟲為害琉球松分布圖的資料亦收集於地理資訊系統中。

以東北角海岸國定風景特定區為研究區域，由航照判釋及地面踏勘、查核、繪製土地利用型圖，進而數化於地理資訊系統中。並由土地利用型圖層查詢，得知陸域之相思林及其它闊葉樹林二種林型所占面積較大，以土地利用型為基礎，進行分層逢機取樣設計，進行林木、下層植被樣區調查，並於此植生調查樣區內，進行連續的昆蟲資源調查與鳥類調查，期以土地利用、植生、昆蟲與鳥類為例，逐步建立表示生物、生態及土地利用之狀況、功能、變遷的資訊。以便提供風景特定區範圍內各種開發之監測。整個資源調查與監測系統包括(1)資料收集，(2)資料建檔、數化、儲存，(3)資料分析，(4)資訊展示，(5)資訊應用，

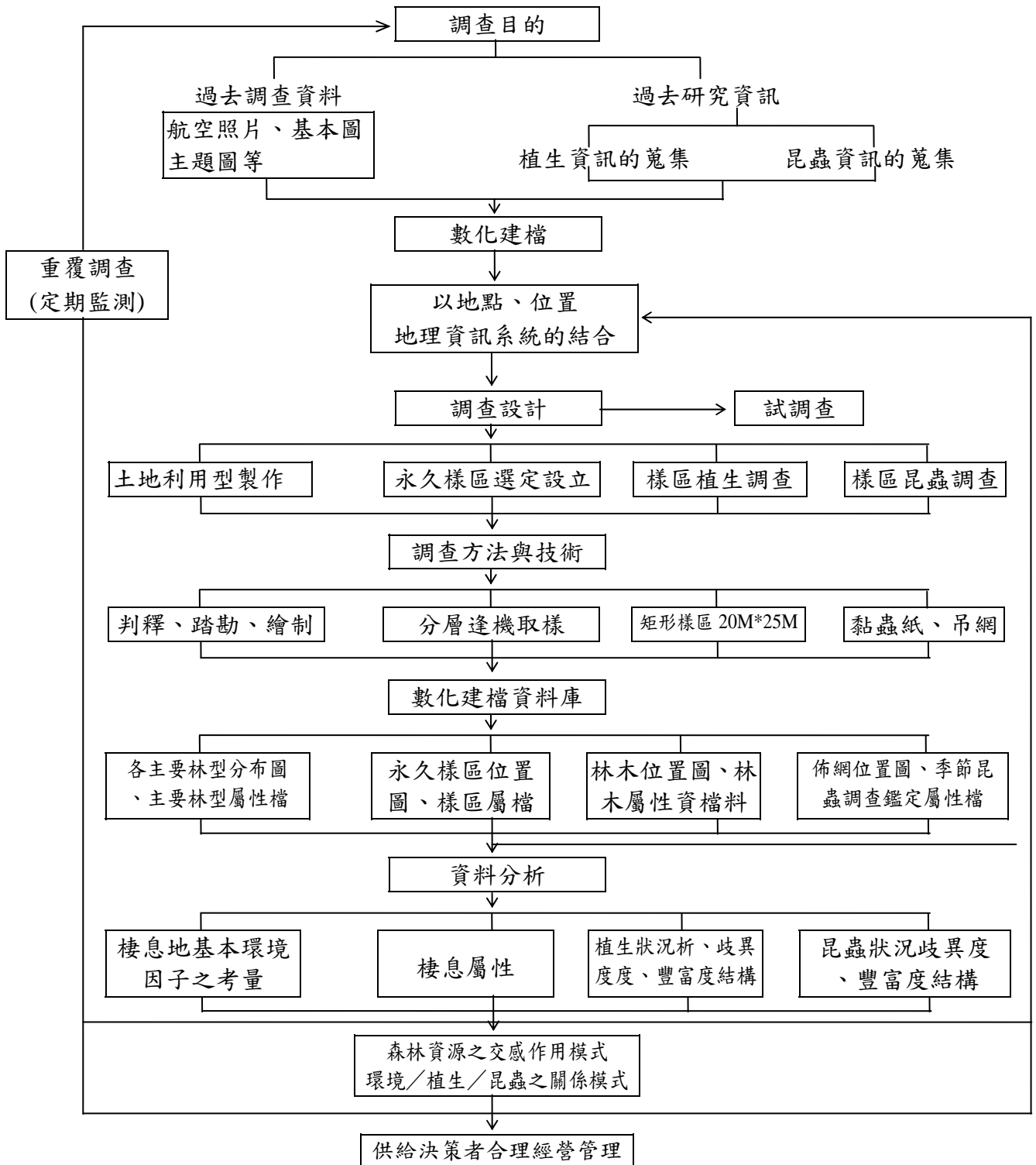


圖 1-25 整合性自然資源調查之理論架構(馮等 1996)

(二)若以關刀溪森林生態系長期研究區之多尺度地理資料庫之建立為例：

過去 4 年對惠蓀林場的屬性及圖籍資料進行收集、調查、建檔、數化、儲存工作、完成惠蓀林場基本圖籍—林班圖、河系圖、林道圖、1964、1977、1987 三年土地利用型圖及 1963，1969，1980，1983，1987，五年的第三林班土地利

用型變遷(馮、黃、陳 1993)，木荷生育地因子之探討(許、馮 1994)，更以全球衛星定位系統，結合地理資訊系統，在松風山山頂、遊客中心做精確定值，以為惠蓀林場差分定位之基站，完成永久樣區定位的研究(馮、黃 1994)，並將 GPS 應用於造林位置圖、伐木位置圖等林業製圖上的應用(馮、黃 1996)，最近更以景觀生態學探討全區土地利用變遷(馮、黃 1996)，並進行杉木人工林生長監測等工作，試圖以多尺度觀念完成森林資源調查與監測架構系統，並以科技整合進行長期生態調查區內水文、氣象植生，和各種動物的調查資料整合。

(三)以新化林場資源調查與監測為例

完成第二次林木資源調查與資料庫(陳、馮 1996)、地理資訊庫的建立，水源涵養林經營資料庫建立與造林樹種之選擇(陳、馮 1994)，利用地理資訊系統進行分層取樣設計及樣區的面積大小，樣本大小之設計工作，另外桃花心木的生長監測亦繼續進行中，因為針對該區第二次林木調查的 60 個樣區，進行檢討分析，以確立永久樣區之去留。另外目前新化林場 500 公頃範圍內有 100 多公頃是私有地，利用地籍圖配合 GIS，將可針對林地管理做監測。

(八)GIS 未來的方向與趨勢(Future directions and trends in GIS)

過去許多 GIS 是建立應用於地方上，然而最近有強力指出使用者大多是政府部門，其正積極地建立整個國家的地理資訊系統。

地理資訊處理過程中最大問題是在測量學所產生的 sheer data volume，部分原因是地表複雜的結果，也大部分是因為地理現象很少定義的很好或很少能像汽車由電腦再複製產生。科學家們都嘗試著用不同的方法去描述相同的地方，即使受相同訓練的人也因不同的方法來繪製地理物件的邊界，然而其邊界常是旋繞的且非常不規則，而且地理現象也無法經濟有效地加以描述。更多的問題出自於數值化的地理資料，不夠精密、高度的變異的或不確定的品質如第 6 章所提的誤差。最後地理物件間的空間關係通常要求的是高度應用—特殊化(application-specific)的描述。

本書並無法解答所有問題，資料量(data volumes)的問題即很少觸及，但是通常誤差(error)及資料量的問題皆是由於這個世界不精確的結果。伴隨著當前概念模式之需，能夠描述自然空間變異即區格模式(compartmentalized models)及十全十美的邏輯(watertight logic)。

我們應該尋找好方法來描述這個妄想的世界以及定性考量不準確性的新方法，那是人類思考過程的完整部分，這些方向，吾人可由碎形(fractals)，模糊邏輯(fuzzy logic)和人工智慧(artificial intelligence)方法所提供的新思考著手。若只是一味的去配合技術問題的話，將導致我們目前觀念上缺憾。這個新方向隱藏在吾人研究中，但在這新觀念融合到原則的本體以前，仍要有相當多的研究與探討。我們應嚴肅的看待這些新的想法，可提昇我們觀念去改善地理訊系統的短處。

(九)參考文獻

- 1.林務局 1995 第三次台灣森林資源調查及土地利用調查 台灣省農林廳林務局 pp.108-133
- 2.吳貞純 馮豐隆 羅紹麟 1998 地理資訊系統應用於森林遊樂區土地使用分區之研究~以八仙山森林遊樂區為例戶外遊憩
- 3.紀麗美 邱立文 1994 地理資料庫之建置與應用 台灣林業 20(5): 27-32
- 4.許榮章 馮豐隆 1994 地理資訊系統應用於木荷生育地因子之探討 興大實驗林研究報告 16(1):133-156
- 5.陳永寬 1986 森林經營地理資訊系統研究 台灣大學森林學研究所博士論文 pp.179
- 6.陳英彥 馮豐隆 1994 地理資訊系統應用於水源涵養林經營資料庫之建立與造林樹種之選擇 遙感探測第二十期 29-53
- 7.陳朝圳 1993 地理資訊系統在森林經營管理上之應用—以自然保護區為例 中興大學森林學研究所博士論文 pp.1-62
- 8.馮豐隆 1995 生物與生態監測 臺灣林業 21(9):12-18
- 9.馮豐隆 1995 整合林業林學資料庫的建立 臺灣林業 21(10):12-19.
- 10.Fong-Long Feng 1996 GIS Model-Based Spatial Analysis of Forest Stand Structure and Volume Estimation Journ. Expt. Forest of NCHU 18(2):65-77
- 11.馮豐隆 1997 "1997 現階段中興大學森林調查測計研究室五大主題的研究報告" 興大實驗報告
- 12.馮豐隆 林子玉 黃志成 陳志賢 陳英彥 林明進 1997 新化林場第二次林木資源調查與地理資料庫之建立 中興大學實驗林研究彙刊 19(1):1-21.
- 13.馮豐隆 黃志成 1994 全球衛星定位系統在永久樣區定位之研究 中華林學季刊 27(2):69-86
- 14.馮豐隆 黃志成 1996 整合 GIS 與 GPS 技術於林業製圖 中興大學實驗林研究彙刊 18(1):137-150.
- 15.馮豐隆 黃志成 1997 空間模式應用於林分結構母數推估之研究 中興大學實驗林研究彙刊 19(2):57-75.
- 16.馮豐隆 黃志成 1997 惠蓀林場土地利用之地景排列和變遷 中華林學季刊 30(4):387-400.
- 17.馮豐隆 黃志成 陳英彥 1993 地理資訊系統應用於惠蓀實驗林場土地利用變遷之研究 遙感探測第十九期: 71-95
- 18.馮豐隆 蔡政弘 1997 地理資訊系統在樣區設置上之應用 中興大學實驗林研究彙刊 20(1) (印梓中)
- 19.馮豐隆等 1997 中興大學實驗林地理資訊系統之建立與應用(三) 興大森林系研究報告 87 農建-8.1-林-04(4-3) 87 科技-1.7-林-06(4-6)

pp.146

- 20.鄭祈全 1992 地理資訊系統應用於林地土壤沖蝕之研究 台大實驗林研究報告 6(3):73-86.
- 21.鄭祈全 周朝富 1991 森林資源調查多層取樣設計之研究 遙感探測 14:18-40
- 22.蘇鴻傑 1979 台灣北部烏來一小集水區闊葉樹林群落生態之研究(四)分析取樣中植物社會介量之研究 台大實驗林報告 123:173-196
- 23.Bailey R. G., R. D. Pfister and J. A. Henderson (1978) A View Nature of Land and Resource Classification Journal of Forestry pp.650-655.
- 24.Christian, C. S. and Stewart, G. A. (1968) Aerial surveys and integrated studies. In *Proc. Toulouse Conference*, 21-28 September 1964. Natural Resources Research VI, UNESCO, Paris.
- 25.Cliff, A. D. and Ord, J. K. (1981) *Spatial processes: models and applications*. Pion, London.
- 26.Hills, G. A. (1961) The ecological basis for land use planning. Research Report No.46, Ontario Department of Lands and Forests, Ontario, Canada.
- 27.Hopkins, L. D. (1977) Methods for generating land suitability maps: a comparative evaluation. *Am. Inst. Plan. J.* October, 386-400.
- 28.Journel, A. G. and Huijbregts, Ch. J. (1978) *Mining geostatistics*. Academic Press, London.
- 29.McHarg, I. L. (1969) *Design with nature*. Doubleday/Natural History Press, New York.
- 30.Ripley, B. D. (1981) *Spatial statistics*. Wiley, New York.
- 31.Steinitz, C. and Brown, H. J. (1981) A computer modelling approach to managing urban expansion. *GeoProcessing* 1, 341-75.
- 32.Tomppo E.(1995) Multi-source national forest inventory of Finland. 19 IUFRO F 4.02 presented paper 12pp.
- 33.Vink, A. P. A. (1981) *Landschapsecologie en landgebruik*. Scheltema en Holkema, Amsterdam.
- 34.Webster, R. (1977) *Quantitative and numerical methods for soil survey and classification*. Oxford University Press, Oxford.