

興大森林系研究報告

臺灣森林資源調查體系之探討(一)

83科技-2.11-林-14(2)

Studies on the System of Forest Resource Inventory in Taiwan

報告人：	研究人員	機關名稱	職稱
	林子玉	國立中興大學森林系	教授
	馮豐隆	國立中興大學森林系	副教授
	陳英彥	國立中興大學森林研究所	研究生
	黃志成	國立中興大學森林研究所	研究生
	林明進	國立中興大學森林研究所	研究生
	陳志賢	國立中興大學森林研究所	研究生
	紀素榕	國立中興大學森林系	助理

本研究工作承農委會林業科補助經費
國立中興大學森林學系印製

中華民國 83 年 7 月 30 日

本研究工作承農委會林業處
補助經費

謹致十二萬分謝意

臺灣森林資源調查體系之探討(一) 馮豐隆等編著

中華民國八十三年七月

臺灣森林資源調查體系之探討 (一)

目 錄

[摘要]	1
[Abstract]	1
一、前言	2
二、材料與方法步驟	4
(一)材料	4
(二)方法	4
第一章 臺灣地區森林資源調查之比較探討	1-1
[摘要]	1-1
一、前言	1-1
二、前人研究	1-2
三、比較各項森林資源調查之異同	1-5
(一)歷史背景與調查目的	1-5
(二)調查體系	1-7
(三)調查方法及取樣技術	1-8
(四)調查範圍及項目	1-13
(五)資料分析與資料處理	1-14
(六)調查經費與結果	1-17
四、建立臺灣森林調查體系之雛型	1-21
五、結論與建議	1-23
第二章 臺灣全省三次森林資源調查之探討	2-1
[摘要]	2-1
一、前言	2-1
二、森林資源調查之定義	2-1
三、本省森林資源調查之濫觴	2-2
四、本省三次森林資源調查之背景與目的	2-2
五、本省三次森林資源調查方法之探討	2-5

六、全省森林資源調查與檢訂調查之異同	2-8
(一)調查目的	2-8
(二)調查範圍	2-8
(三)調查方法	2-8
(四)調查對象	2-8
(五)主要調查項目	2-9
七、討論與建議	2-9
(一)經營理念方面	2-9
(二)調查技術方面	2-10
(三)資料分析方面	2-11
八、結論	2-12
第三章 整合森林資源調查與檢訂調查可行性之探討	3-1
[摘要]	3-1
一、前言	3-1
二、目前之森林調查體系	3-2
三、森林資源調查與檢訂調查之調查目標與方法	3-2
(一)調查目標	3-2
(二)調查方法	3-2
四、森林資源調查與檢訂調查之重疊度	3-3
五、森林資源調查與檢訂調查結果及費用之比較	3-5
(一)調查結果之比較	3-5
(二)調查費用之比較	3-5
六、森林資源調查與檢訂調查整合之必要性	3-7
(一)資訊需求之共通而有整合必要	3-7
(二)整合性調查可存菁汰蕪	3-7
(三)建立整合性調查方式的必要	3-8
(四)調查作業標準化之必要	3-8
(五)森林角色重新定位,整合性調查勢在必行	3-9
(六)由德、日之林業經營,知整合之可行	3-9
七、森林資源調查與檢訂調查之整合	3-10
(一)設立常態性森林調查單位	3-11
(二)調查底圖比例尺之整合	3-11
(三)導入航測技術從事森林調查及測量	3-12
(四)調查項目及記錄之整合	3-12
(五)整合性調查應加強非林木導向資訊之蒐集	3-12
(六)應用連續森林調查定期更新資訊	3-13
(七)實施先驅性調查	3-13

八、結論	3-13
第四章 森林資源調查中四種取樣調查法之比較	4-1
[摘要]	4-1
一、前言	4-1
二、前人研究	4-2
三、研究材料與方法	4-4
(一)試區概述	4-4
(二)使用工具	4-4
(三)研究方法	4-5
四、結果與討論	4-14
(一)結果	4-14
(二)討論	4-16
五、結論與建議	4-24
附錄 水平樣線法與水平樣點法	4-25
參考文獻	5-1

臺灣森林資源調查體系之探討 (一)

圖表目錄

圖一	本問題思考流程	3
圖二	取樣調查流程圖	6
圖三	永久樣區設立流程圖	7
圖1-1	整合森林資源調查圖	1-4
圖1-2	森林資源調查比較流程圖	1-5
圖1-3	第一次森林資源調查	1-10
圖1-4	第二次森林資源調查	1-11
圖1-5	第三次森林資源調查	1-12
圖1-6	建立臺灣森林調查體系之雛型	1-22
圖3-1	整合性森林調查流程圖	3-10
圖4-1	試驗地位置示意圖(八仙山事業區)	4-8
圖4-2	試驗地實測圖	4-9
圖4-3	研究方法之流程圖	4-13
附圖4-1	角距常數及臨界木	4-25
附圖4-2	臨界木及其所代表之樣區	4-27
附圖4-3	林木入選為樣木之判定	4-30
表1-1	臺灣全省大型資源調查之歷史背景與調查目的一覽表	1-6
表1-2	臺灣全省大型資源調查單位一覽表	1-7
表1-3	臺灣資源調查取樣調查方法比較一覽表	1-9
表1-4	臺灣森林資源調查範圍及調查項目一覽表	1-13
表1-5	材積推估方式一覽表	1-15
表1-6	面積推估方式一覽表	1-16
表1-7	資料處理工具	1-16
表1-8	調查經費與結果一覽表	1-17
表1-9	第一次資源調查與第二次資源調查林型別林地面積與蓄積比較一覽表	1-18
表1-10	連續森林資源調查生產林地林型別年淨生長量與枯死量一覽表	1-19
表1-11	林相變更生長量調查林型別林地面積與蓄積一覽表	1-20
表1-12	樟樹全省面積、材積與重量分佈一覽表	1-20
附表1-1	每木調查樹種別材積彙總表	1-25
表3-1	森林資源調查與檢訂調查調查項目比重表	3-4

表3-2	森林資源調查與檢訂調查結果比較	3-5
表3-3	森林資源調查及檢訂調查費用之比較	3-6
表4-1	四種調查方法每組所估測之株數、胸高斷面積、材積（每公頃） 一覽表	4-6
表4-1(續)	四種調查方法每組所估測之株數、胸高斷面積、材積（每公頃） 一覽表	4-7
表4-2	主觀分析一覽表	4-14
表4-3	客觀分析變異係數百分比一覽表	4-15
表4-4	客觀分析虛無擬說 t 值分析一覽表	4-15

第一章 臺灣地區森林資源調查之比較探討 Studies on Comparisons of Forest Inventory in Taiwan Area

[摘要]

本省森林分佈廣闊，氣候變化顯著，地勢起伏劇烈，蘊育極豐富的森林資源。林地面積多達196萬公頃，佔全省面積的半數以上，林木蓄積量更高達三百多億立方公尺，所以實在是國家的重要資源。由於時代及文化背景的變遷，現在的需求自不同於以往，如何對資源做合理的利用、整合性的經營以達多目標經營的通盤考量，實有賴於對資源做更進一步的瞭解和分析，所以資源調查提供了完整的森林資源資訊，是做合理經營計劃及決策不可或缺的一環，明瞭現存林地面積及蓄積、林木生長情形、林地生產力、土地變更利用現況、林地變更及林相改良的情形、水資源、野生動物與植物、森林遊樂等。其意在掌握現在及未來森林資源在時空變化上的資訊。藉由資訊來提供經營者對未來的經營理念及方針有所依循。而歷年來有過三次的全國性土地資源調查、二次檢訂調查、連續森林調查、林相變更生量調查、樟樹調查林相改良地林木生長調查等各項調查。而其中有很多寶貴的資料與資訊是現在時空上無法取得的，且森林資源的經營是長期整合性的生態系統，所需資訊亦需長期且整合性的資料來加以分析，如果加以比較其中的異同，我們可以歸納出一個未來整合性的架構，可提供未來資源調查體系之參考。

一、前言

由於每次的森林資源調查通常耗資甚鉅，耗時甚長，且森林資源經營管理是考慮長期整合性的生態系統，所需資訊亦需有長期且整合性的資料來加以分析。鑒於以往本省多次各類型的森林資源調查及生長量調查之經驗、目前發布使用資料與資訊格式種類的分歧和現代的森林資源經營管理理念演變等現象。如何共同研擬勾劃出森林多目標經營的共識與藍圖，然後規劃出經營森林各主要目標時所需資訊的獲得過程，並整合各主要目標經營所需調查資料與分析過程，藉以建立整合性資源調查與資訊提供之體系。

本次報告主要在比較台灣地區歷年來進行過之森林資源調查歷史背景、調查目的、調查單位、範圍及項目、調查方法及取樣技術、資料處理（材積推估方式）與資料分析、結果展示等，並整合資料與資訊，建立森林資源調查體系之雛型。其目的在有效提供各級經營決策者的經營決策及經營計劃擬定之依據。

二、前人研究

曾經對過去所做的三次森林資源調查，做過分析與檢討的有（楊，1988）、（馮，1993）、（吳，1991，1992）等。而其分別為光復前的森林資源調查、民國43～45年的森林資源調查、民國61～66年的森林資源調查等三次。其分述如下：

(楊, 1988) 曾對調查目的加以說明, 並進行航空照片與地面樣區中取樣誤差的分析, 結果指出在民國 43 ~ 45 年全島林地面積取樣誤差率是 1.5%, 林木材積取樣誤差率是 1.6%。至於各項面積的統計值, 例如土地利用型之面積及各林分材積之面積等, 其取樣誤差隨面積大小成反比而變化, 一般而言, 取樣誤差率大約如下所示:

50,000公頃以下	不定或超過40%
59,000~100,000公頃	20~40%
100,000~300,000公頃	10~20%
300,000公頃以上	10%以下

而在民國 61 ~ 66 年, 就全島生產林地而言, 其面積誤差率將在 3% 以下, 材積誤差率將在 5% 以下, 但就一個林區的生產林地而言, 其面積之誤差率將在 $\pm 3 \sim 10\%$, 材積誤差率將在 $\pm 5 \sim 15\%$ 。

(馮, 1993) 曾對調查目的、調查方法、取樣設計等做比較, 其中結果得出一調查規範與取樣設計之調查資訊系統的設計流程, 如圖一所示。

(吳, 1977) 曾對調查方法、取樣精密度、調查目的與經營計畫配合、費用等之評價, 結果指出如下:

- (1) 光復前的森林調查由於未使用航測技術, 一切調查資料均由地面調查獲得, 但由於現場作業困難, 語言與山胞溝通有困難, 內業人員亦日以繼夜兼程整理, 才完成調查, 致使結果未甚精確。
- (2) 民國 43 ~ 45 年的森林資源調查開始引進航測技術從事森林調查, 但尚未有立體像片對, 可資應用, 判釋儀器亦較為簡單, 而且其所攝影之照片並非覆蓋全島, 僅將本省依東西向劃分成 24 條等間隔區帶, 然後利用飛機照相, 故其精密度則不如在民國 61 ~ 66 年的資源調查。
- (3) 民國 61 ~ 66 年的森林資源調查中, 照片攝影覆蓋全島且中間並無空隙, 飛機根據 87 條平行的經度線來照相, 全省照片樣區共有 134,334、地面樣區共有 4000 多個, 都較民國 43 ~ 45 年的資源調查照片樣區 48,000 個、地面樣區 400 個多出甚多, 且地面樣區採用樣線調查法亦較優, 並以電腦來處理分析資料。

另外 (陳, 1991、1992) 兩篇報告中曾對臺灣全省三次森林資源調查做探討, 並整合森林資源調查與檢定調查可行性做探討, 其中主要在探討調查體系、目的、方法、目標、項目、重疊度、費用及結果做比較, 並建立整合性調查方式、調查作業標準化之整合性調查, 如圖 1-1 所示。

以上有關森林資源調查所做之比較, 其中有很多結果資料是引發吾所要探討之方向, 由於自第二次森林資源調查以後又有許多大面積的森林資源調查, 如: 連續森林資源調查、林相變更生長量調查、樟樹調查林相改良地林木生長量調查、第三次森林資源調查等。其中在調查方法及取樣技術、資料分析 (材積推估方式)、資料處理工具等, 再做一次全面性之比較探討, 並對各項調查做整合, 建

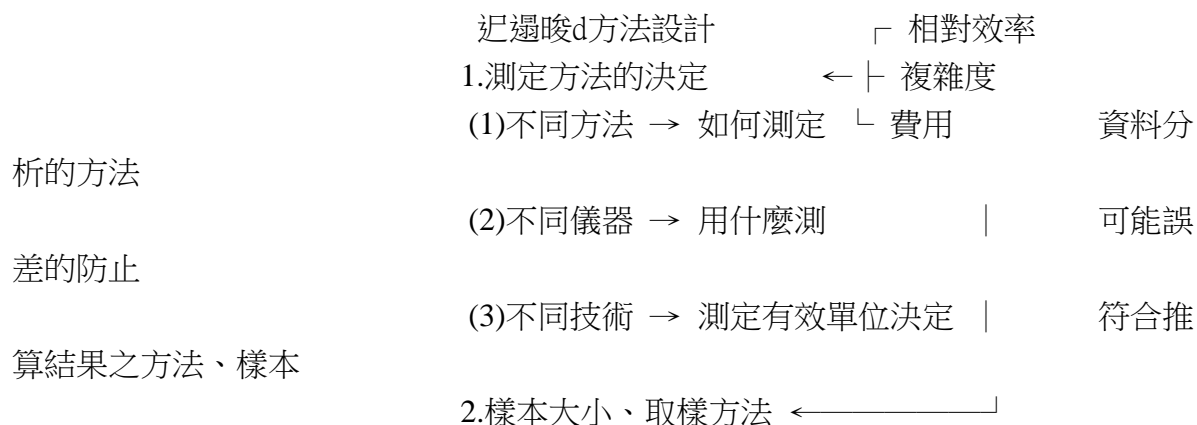
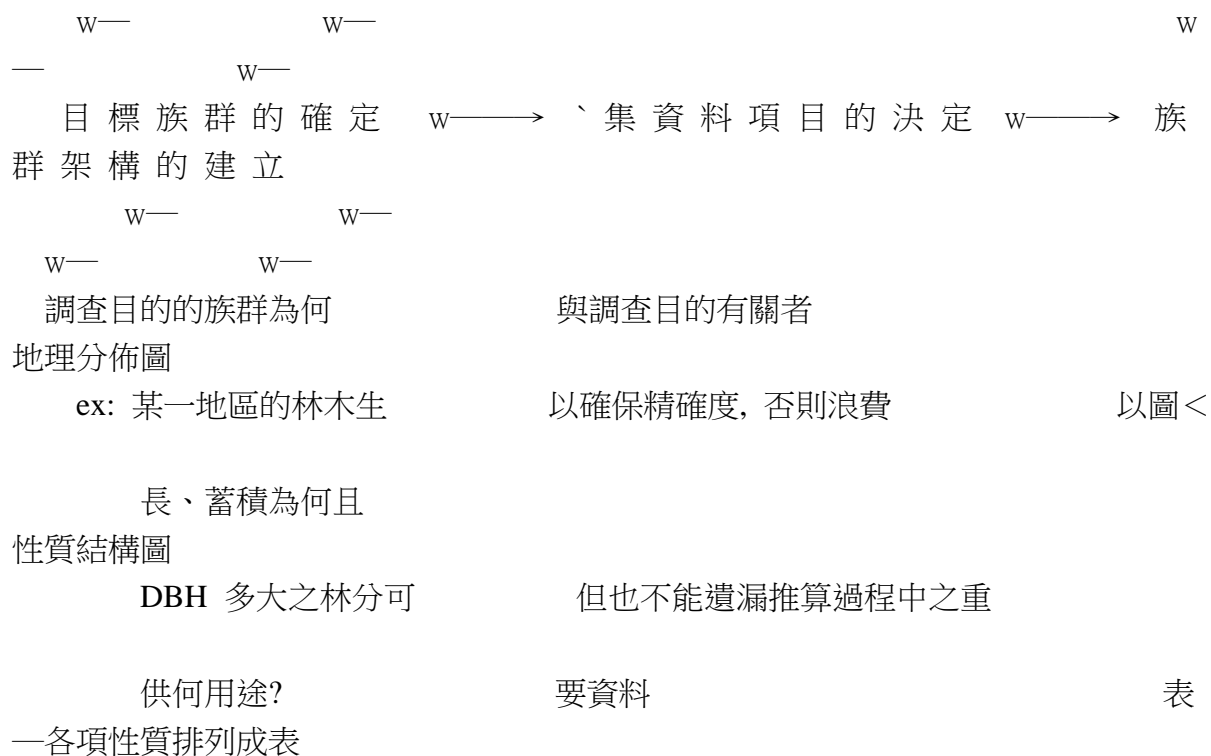
立一未來調查體系之雛型，最後達建立臺灣調查體系之查詢系統。

表之(誤差率,誤差機率)

目標 所需資訊如何以統計形式

的建立

考慮未來樣本資料的應用





||
||
|↓

|
↓

↑

式

禰 嬭 w→ 禰 B理

禰 檻R 糜T表

圖

圖 1-1：整合森林資源調查圖

三、比較各項森林資源調查之異同

由於無論在何時、何地每項調查皆有其歷史背景，即當時的現況與需求，進而產生調查之目的，並由負責調查的單位針對所要調查的族群範圍及調查的項目，依不同的調查方法及取樣技術來蒐集原始資料，然後在將資料進行處理分析，最後得出結果與報告，有一順序。所以吾人大體從歷史背景與調查目的、調查單位、範圍及項目、調查方法及取樣技術、資料處理與資料分析、結果展示等六個項目來比較探討，而言個項目內討論的內容，如圖1-2所示。

各 比 較 項 目

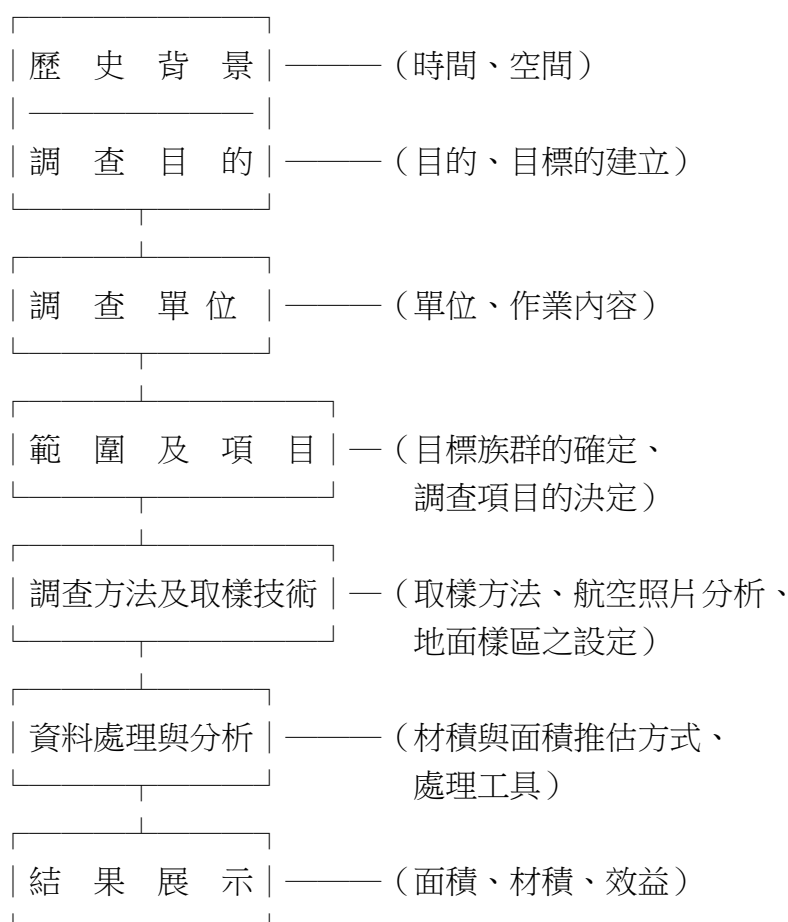


圖1-2：森林資源調查比較流程圖

(一)歷史背景與調查目的

經詳細收集本省歷年來全省性大面積的森林資源調查，大體可依年度前後而分成第一次森林資源調查、第二次森林資源調查、檢訂調查、連續森林調查、林相變更生長量調查、樟樹調查林相改良地林木生長調查、第三次森林資源調查等

- 各項皆有其舉辦的歷史背景與調查目的，今加以列表比較，如表1-1。

表1-1：臺灣全省大型資源調查之歷史背景與調查目的一覽表

調查別	歷史背景	調查目的
第二次森林	1945~至民國45年，當時政府	調查林地面積，林木材積統計資料
第二次森林	1945~至民國45年，當時政府 土地利用情形自光復以來呈 劇烈變化，為了在短時間內把握實況 以訂經營政策，歷時二年完成。	包括生長、枯死量等）。 調查土地利用狀態，使適當利用， 減少土壤流失及增加農業生產。
第二次森林	1945~至民國66年，社會結構	瞭解全省森林資源及土地利用現況
第二次森林	農業社會變為工業社會，土地利用 激烈改變；政府為有效利用有限之 地，確實把握現況，以供決策參考 歷時五年半完成。	提出釐訂及修正今後林業政策及 經營方針之依據。配合國土綜合開 計劃，提供有關資料。勘測具有 畜牧開發潛能之區域。蒐集林業經 營所需基本資料。集 森林遊樂區、自然生態保護 濫墾或超限使用地區等之研究 劃定。
資源調查	1954年地當時直接由林務局經營 者共有 1,606,342公頃，區劃為 43個事業區，每事業區分別編訂經營 計劃以為施業管理之準繩，並定每十	經營計劃符合森林現況，國家 經濟發展，林業建設之需要並導使 實森林達成理想之法正經營狀態 劃定。

~檢訂一次，前後在民國54~58
~及民國64~71年有兩次檢定調
d。

s續森林調 蟻礮窖隻~5月~66年10月，不 Q用第二次森林資源調查（台灣森
d 被礮泐庖L去之森林調查方式為何， L及土地利用航測調查）所設定之
竣撤玲搨O最近而確實之資料，尤其 L地樣區抽選其中一部分樣區以原
O林木生長量及枯損量實為從事本工 峻d方法加以重測，以蒐集台灣之
@不可缺者。 L木生長及枯死之更可靠的資料，
H供今後林業政策之制定。

L相變更生 x灣省林務局，為整理低劣林相的天 A解造林地林木生長情形、林地生
瀨q調查 M林，並促進林木生產，充分發揮林 出O、林分構造、各事業區內樹種
a生產力，供應木材原，自民國54 蔭階材積分佈情形及績效，作為
~起開始實施林相變更計劃，共分為 筍槽A辦理林相變更計劃之參考及
T期38,667.81 公頃，其後為瞭解林 L業經營之計劃依據。建立造林樹
禡零醞y林地林木生長情形，林務局 塢坏效睦L收穫表，以供森林撫育
績b民國71年至73年間實施調查 @業之參考。

C

拊蟻峻d 蟻礮閒釵~至75年間由於各種木材 峻d樟樹的分佈、面積、材積及蓄
b國內外均嚴重滯銷，材價低迷，唯 n，並對樟樹加以管理與經營，配
W樟樹大徑木之材價最高，為每立方 X市場需求計劃，以謀求最大經濟

膜 18,000~30,000元，若配合市場 Q益為目標的人工林經營方法。
摺D有計劃的生產，對林務局紓解財

x境有相當的幫助。

臚T次森林 蒨閒椰~7月開始，原定於8 2年6 A解全島的土地利用現況。蒐集全
鐘蝸峻d 諤髡芋A但因經費不足，確定已無法 q森林資源之面積及蓄積的有關資
輻誦~度完成。本省林業經營已由過 C實施全島的造林地清查，了解
h注重木材生產，進入以多目標經營 y林木生育狀況。辦理林地分類。
却L資源，並掌握最新的林況、地況 i行全島的森林遊樂區資源之勘察
A辦理林地分類及建立全省森林地理 C勘查全島重要野生動、植物資源
糜T系統。 坐嬪G現況，並建立基礎資料庫。
竭勃却L地理資訊系統。

表1-1之所以會將歷史背景與調查目的一同列表，是因為在每一個時代背景轉換中有不同的需求，而這個需求就是我們的調查目的。而歷史背景的串連亦是一部台灣的林業史；從光復後土地利用情形呈激烈變化，所以進而想要瞭解森林現況，經過了社會結構由農業社會變成工業社會，而經營型態也改變強調木材利用與土地有效利用之主要效益功能，進而對各個資源加以調查，並訂定經營計劃及管理準繩，最後導向多目標經營森林資源為目的的永續經營，為目前的理想。調查目的也由原先只先瞭解林木與林地，進而瞭解各相關資源與事業，如：農牧開發潛能區域、集水區、森林遊樂區、自然生態保護區、濫墾或超限使用區、野生動植物資源之分佈現況等整合性資源，並建立基礎資料庫。建立森林地理資訊系統。

(二)調查體系

由於每次之森林調查有許多不同之協助調查單位，所以分別將其主辦單位及協助單位加以列表，以明瞭各單位如表1-2。

表1-2：臺灣全省大型資源調查單位一覽表

調 查 別	主 辦 單 位	協 助 單 位
臚@次森林資源調查	A復會（即農委會）	A林廳、林產管理局、林業試驗所、A業試驗所、台灣大學及美國林務局
臚G次森林資源調查	L務局	A林航空測量隊及台灣省農牧局、美磳L務署
阡q調查	L務局	A林航空測量隊
s續森林調查	L務局	A林航空測量隊及台灣省農牧局
L相變更生長量調查	L務局	A發會技術上指導，調查成果資料分R及報告則由中興大學森林系撰寫
捫蟻暖d林相改良地 L木生長量調查	L務局	凶酗j學森林系資料分析與報告撰寫
臚T次森林資源調查	L務局	A委會、台灣省糧食局、水土保持局 A林航空測量所及各林區管理處等

由表1-2可瞭解各次調查的協助單位有很大的不同，如將其依工作性質分配，則可分為：(1) 航空照片資料：農林航空測量隊。(2) 地面樣區資料：林務局（森林經理組）、各林區管理處。另外有台灣省農牧局、水土保持局、台灣省糧食局。(3) 資料分析與結果報告：中興大學森林系。(4) 技術指導：林務局、農發會（農委會）。而一個體系要發揮功能，實有賴於各單位之相互配合及分工合作，所以體系之整合實有其必要。

(三)調查方法及取樣技術

由於森林資源的調查，常是面積大、範圍廣、複雜性大的取樣工作，在實施上常需要較長的時間，所耗費的人力及物力較多，因此利用取樣技術是必要且有效的方法。而森林資源調查取樣的技術可分為兩部份：一為航空照片，二為地面樣區。由調查之樣本來推估族群，以達節省人力、物力與時間，進而取得森林資源調查之資訊提供經營者決策支援。但是歷年來各次資源調查所使用之調查方法及取樣技術有所不同，今將其列表比較，如表1-3所示。

由表1-3可明顯地看出，每次的調查方法皆是採用雙重取樣方法，並以航空照片和地面樣區做為判釋之依據，且未來的趨勢也是如此，若在衛星影像之獲得與處理，並對陰影加以改善，則可配合地面永久樣區、航空照片與衛星影像資料，以獲得多項取樣（**multiphare sampling**）之豐富且及時的資訊，效果將更好。從每次的航空照片照片比例、飛機飛行的高度、攝影飛行方向及間隔距離皆不同，且地面樣區之調查方法可分為三類；同心圓樣區、線型樣區、矩形樣區三類。如以上能加以測試以瞭解各種取樣方式間之林分推測法的關係，則在時間序列間林分的變化問題，才得以正確比較，更而選擇最佳的取樣方法，以為往後調查之依據，亦可提高精確度及減少資料轉換之誤差。

表1-3：臺灣資源調查取樣調查方法比較一覽表

調 查 別	調 查 方 法 及 取 樣 技 術
臚@次森林資源調查	艦登隕霽 q方法及雙重取樣法。
區	傲D航空照片：全島以間隔 1.7 公里與中央山脈垂直東西向飛行 @ ，成一公里之有效寬幅之帶狀攝影，並保持一定飛行高度。 @ 照片比例：海岸平地為1:9000而最高山地則大至1:3000。 鳴D地面樣區：採用同心圓樣區，調查則使用2*2 M 正方形樣
臚G次森林資源調查	艦登隕霽 q方法及雙重取樣法。
低	傲D航空照片：將全島依 2.5 公里之間隔劃分成與中央山脈平 行南北飛行之 8.7 條航線，飛行高度依地面調整，得一定比 @ 例尺的照片，低者10000 呎、高者20000 呎。照片比例： 者為 1:15000、高者為 1:18000。 鳴D地面樣區：採用線型樣區調查法。
阡q調查	L務局在森林經營計劃檢定工作綱要中，強調以圓形樣區為宜， C個樣區面積為1/10公頃半徑為17.84公尺，1/20公頃為12.62公 堦C樣區設定採用系統抽樣，並以水平樣線法調查，且可視調查 a區之林相變化、地勢情形，在便於調查原則下，適當調節之，

B最少每 3 公頃面積內，應設定樣區一個。

s續森林調查

Q用第二次資源調查所設定之林地樣區，並以原調查方法加以重

C

樣。

傲D航空照片上之照片樣點相當於雙重取樣設計之第一次抽

鳴D採用線型樣區抽樣，以不同机率選定樣木之調查方法。

L相變更生長量調查
公

邇暖d對象為造林木之成績調查，因其林相均勻，林木多為30

壩H下之小徑木，故採用1/20公頃圓形樣區及二次抽樣調查。二

萱煩侏暖d之樣區為1/50公頃之圓形樣區，係在樣區調查時為其

P心圓。二次抽樣樣區內，測定項目為樹高測定及胸徑測定等。

捫蟻暖d林相改良地
分

恂L務局電腦中心之造林台帳系統各齡級造林面積比例和位置

L木生長量調查

G決定區集個數和位置每個樣區集依坡度取上、中、下三個樣區

關

A樣區中心點彼此間距為 30m，再依前人對林齡與樹冠面積的

Y決定樣區的大小。

臚T次森林資源調查

誚艇蝟鏡灑咧 却k，利用航空照片與地面調查之雙重取樣技術

C

傲D航空照片：此次調查係根據調查範圍及所需照片比例尺（約1:17000）影像重疊度（前後60%，左右30%）等，擬定攝影計畫實施空照，航向為南北向，航高依地面海拔調整，俾得一定比例尺之照片，照片樣點之選擇採系統取樣。

鳴D地面樣區：採用矩形樣區調查法。

註：由於檢訂調查、連續森林調查、林相變更生長量調查及樟樹調查林相改良地林木生長量調查等均無飛機飛行拍攝，所以只將一、二、三次森林資源調查依圖1-3、圖1-4、圖1-5分別圖示之。

圖1-3 第一次森林資源調查

圖1-4 第二次森林資源調查

圖1-5 第三次森林資源調查

(四)調查範圍及項目

由於歷年來各次的森林資源調查所涵蓋的範圍，因調查的性質與內容有所不同，所以在範圍及項目亦有所不同。三次全省性的資源調查是為了掌握全省的資源及土地利用現況，並加以經營管理與合理的分配利用。檢訂調查是為了做經營各事業區的計劃依據，每隔五至十年實施調查，調查之範圍較小，但調查之項目較細。連續森林資源調查是為了明瞭林木及林地之生產地力，如生長量與枯死量。林相變更生長量調查，是為了瞭解林相變更地，變更後林地與林木生長之情形，所以範圍僅限於林相變更地。樟樹調查林相改良地林木生長量調查，是針對西部、東部、宜蘭等23個事業區調查樟樹的分佈、面積、材積與蓄積，並列表如表1-4所示。

表1-4：臺灣森林資源調查範圍及調查項目一覽表

調查別	範圍	調查項目
第三次森林資源調查	全島	L地面積、林木材積、土地利用情形
第四次森林資源調查	全島	L資源、土地利用現況、農牧開發潛能之 B集水區、森林遊樂區、自然生態保護 B濫墾及超限使用之情形
第五次調查（54~58）	郭庚荅 ~區	B樹種、利用材積、及全林區之連年生
（66~71）	甜雁荅 ~區	B
連續森林調查	q生產林地	L木生長量、枯死量
L相變更生長量調查	咼壩洽悻庚荅	L木生長力、林地生產力、林分構造、各事

~區 ~區內樹種直徑階材積分佈情形及績效

拈蟻暖d林相改良地 睽壩洽陝戚祿L 孿G、面積、材積、蓄積
L木生長量調查 牻城z處 3 1 個事

@ ~區

臚T次森林資源調查 q g地利用現況、面積、蓄積、造林地清查、
y林木生育狀況、森林遊樂區、野生動植物
B林木生長量、枯死量

由上表可知資源調查只有三次的資源調查是全島性，其於皆是局部性著重於生產林地、事業區為範圍的資源調查。而調查項目除了以單純的林木與林地為對象之外，也增加對其他非林木與林地之相關資源做調查（如：集水區、自然生態保護區、森林遊樂區、野生動物等）。瞭解有關之森林資源，以利規劃多目標經營之依據。但實際上有諸多重複，如能加以整合並配合未來生態資源調查之趨勢，而成為整合性生態資源調查。

(五)資料分析與資料處理

森林資源調查在野外調查作業完畢後，即進行資料分析與處理。但各次的森林資源調查在分析時所採用的方法不同、推估的方式不同，所代之公式亦不同。所以吾將各次資源調查之材積推估方式、面積推估方式與資料處理工具分別列表加以比較。

1.資料分析：A.材積推估方式（表1-5）

B.面積推估方式（表1-6）

2.資料處理：處理工具（表1-7）

由表1-5中，第一類是以地方材積表為推算的基礎。第二類是以T R E E程式為推算的基礎。其實第三類中的連續森林調查是從第二次森林資源調查中抽取其中一部份做連續調查，所以須乘上分層擴大係數。第四類是以生長、收穫模式之關係式，以直徑分佈法，利用累積分佈函數來推算。第五類考慮了地理因子做為變數之材積式為推算之基礎。由於各次森林資源調查所用之分析方法、推估方式與所代公式皆不同，所以無法相互轉換使用，且因為相互之差異甚大，所以今後之調查有整合之必要。

表1-5：材積推估方式一覽表

調 查 別 分 析 步 驟

]第 一 類) (1).編制各事業區主要樹種之地方材積表
臚@次森林資源調查 (2).樣木材積依胸高直徑由地方材積表求得，並由樣區材積推求

坌q調查 單位面積之平均材積

(3).全林區之總材積，應等於全林區之面積，乘以單位面積之平均材積，但以各級林分之平均材積不同，又各級林分佔有之面積與全林區面積間各佔一定之比率，故全林區之總材積，應為各林分材積之和

$$V = A (P_1 X_1 + P_2 X_2 + P_3 X_3 + \dots + P_K X_K)$$

V：全林區之總材積

A：全林區之面積

X₁ X₂ X₃ X_K：林分之平均材積

P₁ P₂ P₃ P_K：各級林分之面積與全面積之比

]第 二 類) (1).建立樹種立木材積式及樹高方程式
臚G次森林資源調查 (2).樣木材積計算依 T R E E 程式計算每一樣木所代表之株數、

斷面積及材積

(3).樣區資料統計核對後利用電腦累計出總材積

第三類) (1).將每一株林木淨材積換算為每一公頃之材積
s續森林調查 (2).然後與該株林木所屬分層之擴大係數相乘而得其在所屬分層

之材積

(3).將各層之材積相加以求得林區別之總材積

第四類) (1).建立生長、收穫模式之關係式
L相變更生長量調查 (2).直徑分佈法:利用 Weibull求得累積分佈函數，進而得出某
L木生長量調查 一區段累積分佈函數值，配合該樹種較佳樹高曲線式和材積

式算出每公頃的材積量和某胸徑的材積分佈

第五類) (1).利用地理資訊系統整合模擬模式地面樣區調查資料
L木生長量調查 (2).建立林分結構、林分蓄積分佈模式系統架構
L木生長量調查 (3).各樹種林型之人工林 $V/h a = f$ (林齡、坡度、坡向、海
@ 拔高);天然林 $V/h a = f$ (坡度、坡向、海拔高)
(4).製作數值地形模型(DTM)，並以40 m x 40 m地理單元的平均
坡度、坡向、海拔高為推算單位
(5).最後以所建之 Weibull母數(θ)迴歸推估模式，來推算各地
理單元的母數(parameter estimation)，再以直徑分佈法，
亦可推算出天然林型涵蓋地理單元之材積並加以累計，可得

各種天然林型之林木蓄積

註：T R E E程式是在處理樣木資料之前，需有特別方程式，如樹種材積式
及樹高方程式做為才積及生長量計算之基礎

表1-6：面積推估方式一覽表

調查別	@	推估方式
臚@次森林資源調查 臚G次森林資源調查 s續森林調查		堯潔虜筩蝸d皆是利用面積儀(planimeter)或點格 l法(dot count)求算基本圖 (或林型判釋圖)的面積
阡q調查 (54~58) (66~71)		H事業區為單位施行境界測量，使用經緯儀為原則， D得面積
L相變更生量調查		恂L相變更地造林台帳中造林面積求得
拊蟻d林相改良地 L木生長量調查 @		抗y林地台帳中造林面積求得]由林務局電腦資訊中心取得資料) @
臚T次森林資源調查		O將基本圖(或林型判釋圖)數化輸入地理資訊系統(eographic Information System ; GIS)中，再以積 檻k求出

表1-7：資料處理工具

隸@查 別	處理工具
臚@次森林資源調查	蛸莨菑判unching Machine 及Serting Machine
臚G次森林資源調查	悵拳恂]世霸7 4) 大電腦處理
阡q調查	悵拳恂]電腦，目前改由SUN SPARE工作站
s續森林調查	悵拳恂]電腦
L相變更生量調查	Q用林務局WANG VS 80或NEC PC 8801型電腦處理
拊蟻d林相改良地	Q用WANG VS 80和WANG PC電腦。伐倒木有關資料LOTUS

L木生長調查 .2.3 , BUSSINESS GRAPHIC程式集於WANG PC中處理

臚T次森林資源調查 C配合SUN SPARE工作站與區域網路

(fm94rpt.1-2)

(六) 調查經費與結果

由於各次的資源調查有不同之經費與結果，所以將其列表比較如：表1-8：調查經費與結果一覽表。並分別對各次調查之林型別面積與蓄積調查之結果列表比較，如表1-9：第一次資源調查與第二次資源調查林型別林地面積與蓄積比較一覽表。表1-10：連續森林資源調查生產林地林型別年淨生長量與枯死量一覽表。表1-11：林相變更生長量調查林型別林地面積與蓄積一覽表。表1-12：樟樹全省面積、材積與重量分佈一覽表。

表1-8：調查經費與結果一覽表

調 查 別	經 費	林地面積	平均費用	姿縱 75	林地蓄積
	(元)	(公頃)	(元/公頃)	~物價	(立方公尺)
臚@次森林資源調查	5,085,274	1,969,500	@2.58	7.64	1億8,441萬
臚G次森林資源調查	15,309,187	1,864,700	@8.21	9.94	3億2,642萬
阡q調查 (54~58)	14,130,537	1,612,494	@8.75	15.23	1億8,100萬
(64~71)	32,336,940	1,567,259	20.63	22.73	1億8,995萬
s續森林調查	@——	1,786,500	@——	——	3億7,619萬
(生產林地)			@		@
L相變更生長量調查	@——	36,880.8128	@——	——	2佰萬
	423,899				

拊蟻暖d林相改良地 @—— 4,601.1067 @—— 39萬6,239

L木生長量調查

臚T次森林資源調查 126,151,920 @—— @—— ——

註：第一次森林資源調查、第二次森林資源調查總經費係參考吳(1977)之資料換算；另兩次檢訂調查則根據游(1983)之資料而得。

由上表可以得知檢定調查之費用高於森林資源調查，此因其以各事業區詳細調查，項目繁多，然調查項目多有重複，若能將各種森林資源調查項目予以整合，必可節省經費，符合經濟效益。

表1-9：第一次資源調查與第二次資源調查林型別林地面積與蓄積比較一覽表

項 目	第一次森林資源調查		第二次森林資源調查	
	L地面積 (公頃)	林木蓄積 (1000 m3)	林地面積 (公頃)	林木蓄積 (1000 m3)
鉦 B冷杉	56,900	27,201	35,400	42,902
K 杉	123,300	31,804	71,200	42,636
木	39,400	19,793	74,600	18,949
鉦L針葉樹	129,600	16,075	234,000	32,022
觀信寧岷恬	1,548,000	89,544	1,371,300	189,912
D生產林地	——	——	78,200	——
行作業林地	76,500	——	——	——
X 計	1,969,500	184,417	1,864,700	326,421

由上表得知第二次森林資源調查所得之總林地面積雖無增加，但是林木之蓄積卻有明顯的增加，而在雲杉、冷杉與鐵杉之林地面積有減少的現象，相對的檜木與其他針葉樹林地面積卻有增加的現象。由此可知林型別林地面積變遷之情形及林木蓄積量變化情形，以利掌握森林資源及經營管理。

表1-10：連續森林資源調查生產林地林型別年淨生長量與枯死量一覽表

項 目	年 淨 生 長 量		年 淨 枯 死 量	
	總 1000 m ³	平均 (m ³ /ha)	總 1000 m ³	平均 (m ³ /ha)
L 型				
鉦 B冷杉	127.3	3.60	16.3	0.46
K 杉	299.6	4.21	9.0	0.13
木	439.7	5.89	39.6	0.53
鉦L針葉樹	362.8	4.81	11.9	0.16
w葉樹人工林	1,164.2	7.34	151.3	0.95
w闊葉混交林	1,008.0	6.45	75.9	0.49
觀信壽L	4,632.0	6.16	874.2	1.16
觀信壽H人工林	1,356.2	4.87	220.8	0.79
觀信蟒P麻竹	248.8	4.83	24.5	0.48
邦L	73.0	0.55	11.4	0.09
X 計	9,711.6	5.44	1,434.9	0.80

由上表得知全省年淨生長量合計為9,711,600 m³，平均每公頃年淨生長量5.44 m³。全省年淨枯死量合計為1,434,900 m³，平均每公頃年淨枯死量則為0.80 m³。若就林型別而論，則闊葉樹林型：年淨生長量4,632,000 m³為各林型中最大者，值得重視。但是年淨枯死量874,200 m³與平均每公頃淨枯死量為1.16 m³/ha亦為各林型中最大者。而在針葉樹人工林平均每公頃年淨生長量為7.34 m³/ha，在各林型中為最大。

表1-11：林相變更生長量調查林型別林地面積與蓄積一覽表

林 型	林地面積（公頃）	林木蓄積（m3）
h 杉	7,642.8080	746,143.79
G 葉松	7,867.3430	474,243.43
臘 樹	4,676.3049	229,840.40
思 樹	5,628.4609	309,238.93
w 一 類	1,294.6746	60,590.74
Q 樹 類	670.1074	33,036.29
木 類	3,524.1729	322,426.56
t 生 樹 種	4,023.3084	230,535.58
楠 類	253.3925	3,727.40
鋸L闊葉樹	1,300.2402	14,016.58
X 計	36,880.8128	2,423,899.70

由上表得知林相變更時變更面積最大者為二葉松7,867.3430 ha 最大，其次是柳杉7,642.8080 ha，相思樹、光臘樹及速生樹種等面積即大。但在林木蓄積方面則以柳杉746,143.79 ha 為最大，顯示柳杉在林相變更後之生長情形較優。

表1-12：樟樹全省面積、材積與重量分佈一覽表

a區	面 積	C 公 頃	材	積	重
----	-----	-------	---	---	---

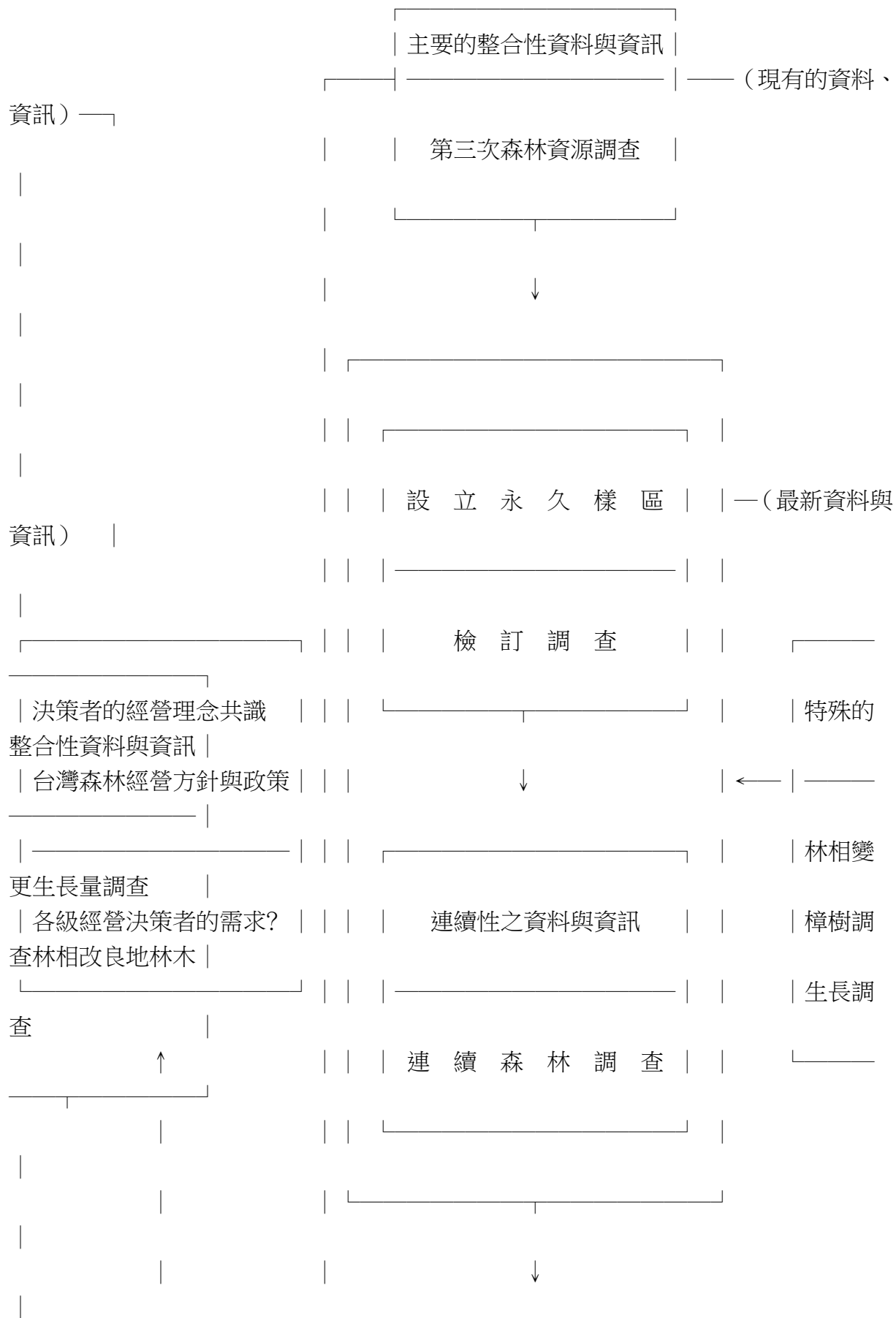
量

量	(公頃)	郁&賴	C公頃平均 (m3/ha)	總蓄積 (m3)	每公頃平均 (kg/ha)	總重 (kg)
輪	1,565.3569	101	103.31	161,717.02	102,104.03	159,829,263.53
F部	2,202.5123	220	97.87	205,696.03	123,980.71	264,598,723.75
F北	934.1475	180	134.11	125,278.52	151,652.92	141,666,205.41
	4,601.1076	174	86.11	396,239.53	106,602.36	490,479,284.60

由上表得知全省樟樹分佈面積為4,601.1076 ha，其中東部分佈面積2,202.5123最廣，總蓄積量205,696.03 m³ 與總重量264,598,723.75 kg 亦最多。而東北地區則在每公頃平均材積134,11 (m³/ha)與每公頃平均重量151,652.92 (kg/ha)為最多。由上表可顯示出雖然東部分佈面積廣且總蓄積與總重量最大，但每公頃平均卻低於西部，表示樟樹在西部的生長情形較東部為優。

四、建立臺灣森林調查體系之雛型

經過上述之比較可以歸納成為一體系之雛型，是以第三次資源調查為主的資料與資訊，（如：航空照片、地面樣區或分析後之結果）為前提，而這些都是現有的資料與資訊。可是這些並不能代表未來的資料與資訊，所以設立永久樣區及做連續性資源調查是必須的，所以我們就可以在現有的體制下，在各個事業區中，以第三次資源調查所設之樣區，選取一部份做永久樣區，如有不足則需再增加樣區以提高其代表性，並做連續性調查，採用檢定調查的方式來做以求得各個事業區經營計劃之依據。另一方面對於特殊的森林資源調查，（如：林相變更生長量調查與樟樹調查林相改良地林木生長量調查）將其歸納整合，並由各事業區中設立永久樣區和做連續性的調查，蒐集所有最新的資料與資訊，做成資料庫與資訊庫，建立資料與資訊提供中心，提供各級經營策者之參考。如圖1-6：



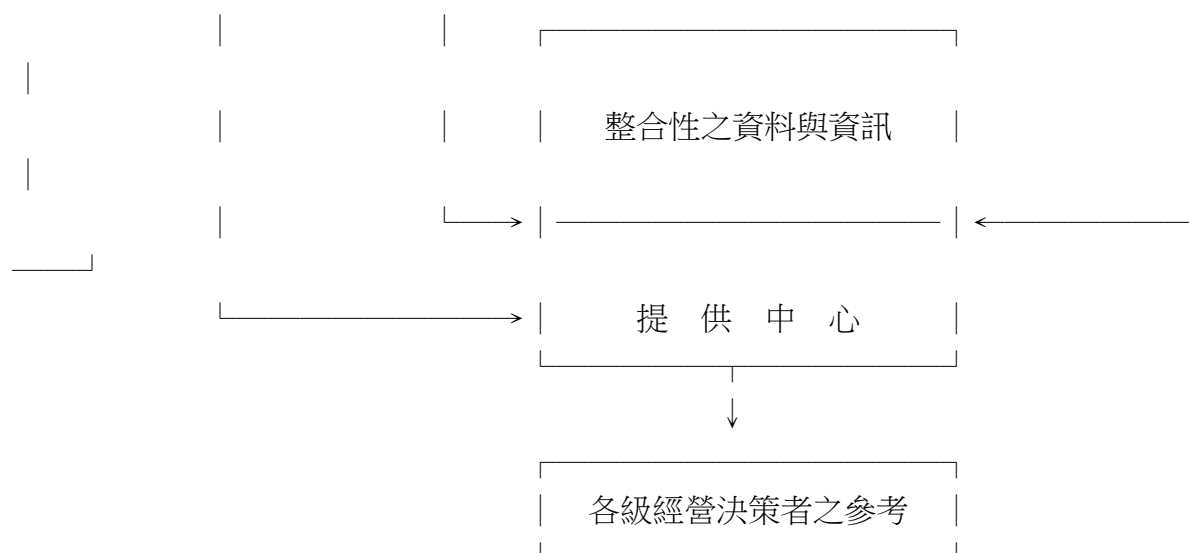


圖1-6 建立臺灣森林調查體系之雛型

五、結論與建議

- (1) 由於花費時間、金錢、人力甚巨，所以利用過去調查的資料與資訊是必要的，但就三次的資源調查之地面樣區其取樣方法就不一致，第一次採用同心圓、第二次採用水平樣線、第三次採用矩形樣區，因此許多資料並無法比較。另一方面航空照片資料之比例亦不相同，所以在轉換時其精確度有待考量。
- (2) 就調查方法而言，如果將來設有永久樣區，則地面樣區的資料就可經由連續性的調查獲的，只要加上航空照片及衛星影像即時的監控，亦可掌握森林資源的現況。在取樣技術方面，多採用系統取樣，由於方便、容易設計、精密度也甚佳，所以只要在取樣調查方法（如：圓形取樣法、長方形取樣法、水平樣線取樣法、樣點取樣法）中選取最適、最優、最精確的方法，即可提高取樣技術的精密度。
- (3) 台灣已實施了三次全島性森林資源調查，因此對於全島森林資源應有相當之瞭解，且已建立地理資訊系統及各相關資料也已建檔儲存，因此在第三次資源調查後實無再全面實施調查之必要。而對於森林變動情形，則可由地面永久樣區及遙測衛星影像資料，來建立地理資訊系統的資料，便可瞭解其變動情形，亦可對未來的森林狀況加以模擬推估，以方便掌握森林經營管理。
- (4) 利用第三次資源調查時所設的樣區及地理資訊系統之功能進行分析，依樹種、海拔、坡向、土壤等因子個別判斷，選出具代表各主要林型、樹種、生長量之樣區加以整理建立永久樣區，以供為連續調查及生長量研究分析之參考。
- (5) 建立森林資源調查體系由專責單位來統籌野外調查設計訓練工作、規範製作，並將調查的工作交由各林管處，在一定期間進行地面調查、航照判釋與影像處理，並置入地理資料資訊系統中，以供各林管處、工作站之經營管理用，另外透過網路，隨時將更新資料轉入林務局企劃組及資料處理中心，以做為經營計劃、林業政策擬定之用。

未來研究方向：擬分四部分進行

第一部分：現有的資料與資訊

檢討以往本省森林資源調查並建立樣區資料查詢系統

A:收集、整理、比較以往本省森林資源調查。

B:檢討各種調查的目的、調查方法、取樣設計、調查項目、資料處理與資料分析等。

第二部分：須補充之資料與資訊

擬出森林經營各主要目標所需資訊可能措施與方案

A:各級經營決策者的經營理念與共識。

B:臺灣森林經營方針與政策。

第三部分：擬定目標建立經營決策支援體系下之資源調查體系

(並建立各有關實施執行手冊)

A:利用第三次資源調查系統取樣的地面樣區結果，進行林型分層，有效規劃建立永久樣區、設立、經營永久樣區並調查分析其現況。

B:如何對取樣設計、調查項目、工具、儀器與方法之選用。並對輸入格式、檔案儲存、資料處理與資料分析等資料庫與模式庫加以規格化與格式化。

第四部分：籌劃“森林資源經營資訊提供中心”以利經營規劃與問題解決。

附表1-1 每木調查樹種別材積彙總表

第二章 臺灣全省三次森林資源調查之探討 Review of Taiwan Three Time Forest Inventory

[摘要]

森林為國家重要資源，雖屬可再生之天然資源，因其特質有別於一般產業，實應善予經營與利用，基於此因，為確立林業政策及訂定經營計畫，有必要實施大面積森林資源調查，以獲取有關森林範圍及其性質內容等資料，而森林資源調查為獲取經營所需資訊的必要措施，亦為合理化經營的基礎；本文旨在探討本省三次森林資源調查之調查目的、方法等，並對實施過程加以瞭解，提出討論及建議，略陳獻曝之見。

一、前言

本省森林面積幾近二百萬公頃，佔全島面積約52%，林木蓄積亦達三億多立方公尺，為國家蘊量極豐的重要資源，亟需施以合理經營；而預擬經營計畫所需森林資源各項資訊，必藉調查方可獲得；本省林業的發展，皆因當時文化背景及客觀條件之限制，其調查內容及技術屢有不同，由於科技的發展與人類智慧的創造性，在理論與實際調查方法亦有創新，不可同日而語；本文乃就三次森林資源調查目的、方法與內容等提出探討，俾能知其特徵，冀求從其調查結果中考慮、擬定正確面積與蓄積的合理模式，為森林調查者鑽研方針，如此，當可減少龐大之調查經費，並提供經營上精確資訊。

二、森林資源調查之定義

森林資源調查，一般概指國家森林調查(National forest survey)而言，為對全國森林所作之調查與統計(楊，1979)，聯合國糧農組織(FAO)之 Harrison氏曾將其定義如下：國家森林資源調查，為調查其森林面積及所有狀態，以及推算林木蓄積、生長量與年伐量(包括林木自然消失量，亦即枯死量)等。森林調查有時不僅限於全國之森林調查，為對廣大區域森林資源所作調查之總稱，譬如一行政區域如省、縣之森林調查，亦可包括在內。

三、本省森林資源調查之濫觴

清朝康熙22年(1683)之採樟腦事業，為本島森林開拓之先驅，其後清政府對臺灣本島森林資源極少關心，迄至光緒21年(1895)日本佔據本省，才開始深入山區，並計劃開發臺灣森林，在明治43年(1910)至昭和18年(1943)間，日本人開始林野調查、整理，繼而從事大規模的森林資源調查工作，此可稱為本省森林資源調查之濫觴。

四、本省三次森林資源調查之背景與目的

第一次森林資源調查於民國43年(1954)至45年(1956)實施，當時政府鑑於全島土地利用情形自光復以來呈現激烈變化，需要於極短時間內確實把握實況，以便釐訂全島之土地利用政策及森林經營政策，遂由農復會調用有關機關技術人員組隊，歷時二年完成，其調查目的為：

- (一)獲可靠之林地面積、林木材積統計資料(包括生長、枯死量等)，以確立林業政策所需資訊，俾使臺灣森林資源能有適當的經營，導向林產物收穫的保續。
- (二)獲現在土地利用狀態，使臺灣土地能作適當利用，並減少土壤流失及增加農業生產。

第二次森林資源調查於民國61年(1972)至66年(1977)實施，距第一次調查幾近二十年，社會結構已由農業社會蛻變為工業社會型態，而土地利用型態亦呈顯著而激烈的改變；政府為有效利用有限之土地，發揮最大效用，深感需要辦理第二次全省土地利用及森林資源調查，確實把握現況，以供決策之參考，遂由林務局組隊進行調查，歷時五年半完成，其調查目的有：

- (一)瞭解全省森林資源及土地利用現況。
- (二)提出釐訂及修正今後林業政策及經營方針之依據。
- (三)配合國土綜合開發計劃，提供有關資料。
- (四)勘測具有農牧開發潛能之區域。
- (五)蒐集林業經營及山坡地開發所需基本資料。
- (六)集水區、森林遊樂區、自然生態保護區、濫墾或超限使用地區等之研究與劃定。

第三次森林資源調查自78年7月開始，現仍實施中，預定於82年6月完成；衡觀近十幾年來，臺灣的社會型態已完全由農業與工商並行型態轉變為以工商業為主的社會型態，一以人口增加，工商業發達而引起土地不當之開發利用，導致生活環境品質日趨惡化；另因國民所得提高、教育普及，對高品質生活環境需求日殷；政府鑑於臺灣土地資源有限，需作合理分配與規劃，以舒解上述壓力；遂責成林務局辦理第三次全省森林資源及土地利用調查，藉以掌握全省林況、地況最新資訊，以辦理林地分類及建立全省森林地理資訊系統，其調查目的有：

- (一)了解全島的土地利用現況。
- (二)蒐集全島森林資源之面積及蓄積的有關資料。
- (三)實施全島的造林地清查、了解造林木生育狀況。
- (四)辦理林地分類。
- (五)進行全島森林遊樂資源之勘察。
- (六)勘查全島重要野生動、植物資源之分佈現況，並建立基礎資料庫。
- (七)建立森林地理資訊系統。

綜觀以上三次森林資源調查之實施，因時代背景的不同，其調查目的自有差異，然獲取森林資源之面積與蓄積及土地利用現況，應是主要共同目的，惟均偏重於林木資訊(Timber information)之取得，而對非林木價值(Non-timber values)—如森林遊樂、野生動植物等之調查尚嫌不足(吳，1977)，在第二次全省森林資源調查目的中第(六)項雖有明列，但調查報告並無詳細之分析資料；又第三次調查亦將勘查全島重要野生動、植物資源之分佈現況列為主要調查目的之一，但由調查表的記錄項目來看，有關野生動物之調查，僅調查其種類、數量和出現處所等，要獲得棲息地環境的管理資料，恐有未逮；蓋森林乃一複雜之生物社會，為林木、林地及林內一切動、植物與生育環境間之交互影響作用，故林業經營已非僅對林木、林地之經營，而應在符合生態原則，即多項資源(Multi-resource)之觀念下經營，才是森林資源調查的主要目的。

至於三次森林資源調查之目標是否達成，必藉調查研究評估，方能予以量化，也才能就實際效益予以判定，但林業上要使用這種方法確實有點困難；現僅就第一、二次調查統計及第三次調查目的略抒芻見：

- 1、第一次調查之調查目的中，有關林地面積及林木材積統計資料之獲得，由報告中已將林地依所有權別、林分級(製材林木、桿材林木、小桿材及幼苗林分及竹林)、主要林型面積及林木材積級、海拔高、各材積級可作業與不可作業林地等分別記載其所佔面積，非林地亦依保育問題分等及沖蝕等級加以分類；而林木材積則依各林分級、主要樹種之各直徑級及所有權別、針闊葉樹等予以區分統計，並註明枯死木之材積，因此其目的應是導向於林產物之收穫；而有關第二項目的，主要土地利用型亦依林地及非林地，以土地類別分別統計面積而獲土地利用型狀態的資料，且建立保育問題等級，應可提供控制土壤沖蝕之參考，大體上已達調查目標。
- 2、由第二次調查的統計表，得知此次調查已以各事業區為單位，分別求出可為經營計劃所需之各項資料，故可供施業之依據；而調查目的中第三項所謂提供有關資料，以統計資料中能配合國土綜合開發計畫者，基本上似嫌薄弱。
- 3、至於第一、二次森林資源調查在材積推估上，始終未將航測資料與地面資料予以整合，只分別由航照判釋材積和地面調查求取樣區材積，做為蓄積推測之依據，此乃第三次調查所須改進的問題，亦為亟待完成的主要目的之一；有關第一項調查目的，欲了解全省土地利用現況，據知分為平地、山坡地及國有林三部份進行，而全省平地、山坡地及區外保安林的土地利用型，曾由農林航空測量所做過全面調查及修測，且已完成資料數化，因此，第三次調查僅針對國有林部份，完成後可與前述資料整合而得全省土地利用現況資料；而調查目的第三項—實施全島造林地清查以了解造林木生育狀況，則除對國有林造林地進行清查，租地造林亦在清查之列，而國有林造林地主由八個林管處作業課負責執行，全面清查各轄區六年以上造林地林木生育狀況，並訂正以往造林與經理主掌單位在臺帳資料上的差距；而租地造林之清查則由八個林管處林政課負責，全面清理現有國有林租地狀況，藉此掌握並補正欠缺之臺帳及相關資料，如此應可確立今後租地造林政策執行之方向。第四項調查目的—辦理林地分類，為達成森林多目標經營的先決條件，要將林地適當分類，則須對森林生態結構與環境詳加調查，否則分類資料不足，何以分類？第三次森林資源調查尚在實施中，對土壤、遊樂資源及野生動植物調查上較第一、二次調查積極，惟係配合

地面樣區調查實施或沿途偶而為之，故其所得資料有限，要達到整體管理規劃，恐難如預期，因而要如何加強這方面的調查，完成所定目標，除了擴大調查範圍或改變調查技術(如使用熱紅外線掃描溫體動物)，可能別無他途，但這又牽涉到經費預算及技術問題，凡此等等，皆為主其事者所應熟思的。

五、本省三次森林資源調查方法之探討

本省三次森林資源調查方法因背景不同，方法互異，乃就其特性略加討論：

(一)第一次調查方法係採雙重分層取樣法(Double stratified sampling)，是以照片樣區(一次樣本)配以野外調查(二次樣本)而獲取所需之資料，其特性如下：

1、航空照片的使用

此次調查所用航空照片並非覆蓋全島，為採用東西橫貫飛行(與中央山脈走向垂直)之24條航帶，飛機保持一定高度(20,000呎)飛行，因此，照片比例尺由平地的1/9000至高山的1/3000不等。

2、林地抽出樣區數目之計算

為在一定預算的範圍內，以預算之費用及族群之變異為基礎，抽出地面樣區數，並計算照片判讀樣區數，即係以Neyman的公式算出地面樣區，再依最適分配法(Optimum allocation)決定各層樣區數。

3、地面樣區之取法及形狀

地面樣區由各階層分配到的樣區實行系統抽出，其形狀主要為同心圓，而更新狀態的林地調查則使用2m×2m的正方形樣區。

4、樣木材積之計算

(1)有適當材積表可用時

A、胸徑10cm以下者不予計算材積

B、胸徑(連皮)10~29.9cm(桿材林木)，其材積依帶皮胸徑與樹高查出

C、胸徑(連皮)30cm以上，且至少可截取一段製材原木之林木(製材林木)，根據胸徑級、造材段數、形狀級、查出各段材積、總材積

D、依全株或各段之腐朽率及瑕疵率算出其淨材積

E、健全生立木、瑕疵木應分別計算

(2)無適當之材積表時，樣木之材積應分株計算

(二)第二次調查之調查方法採用分層雙重取樣法(Stratified double sampl-

ing)，以整個臺灣當做調查對象，一次及二次樣本的抽選，未曾考慮任何細部的分級或分區，僅就臺灣全島進行取樣，即所謂事後分層；有關第二次調查之特性如下：

1、航空照片之使用

此次調查所用航空照片覆蓋全島，將全島依2.4公里之間隔劃分成與中央山脈平行之南北向87條航線，飛行高度依地面海拔調整，故可獲一定比例尺(約1/15000~1/18000)的照片。

2、林地樣區之抽出

由於樣區數目計算資料不完整，樣區未如第一次調查以Neyman公式求算，此與第一次調查不同；因第二次調查抽出之地面樣區數及照片樣區數較第一次調查多，故其"取樣誤差"可能較小；本次照片樣區係利用方

格模板做系統取樣，由落於每張照片有效區域內的照片樣點所構成，而地面樣區不直接由照片樣點選出，係以 UTM地圖方格系統為準，在最接近此方格交點之照片上逢機抽選一照片樣點當做地面樣點，即以圖名"臺北市"的五萬分一地形圖之中心方格座標為原點，每隔三公里抽出一個地面樣區；地面樣區為大小不同之矩形，調查方法採水平樣線法(Horizontal line sampling)，為多面積樣區取樣的一種。

3、樣木材積之計算

分別利用八個 $V=aDBHC$ 形式的材積方程式，由 CDC 3150、DEC-10、PDP-11 及 CDC CYBER 74-18 等型電腦算出。

式中 V ：樣木材積 D ：胸高直徑 H ：樹高 a, b, c ：常數

(三)第三次調查方法亦為雙重取樣法，利用照片與地面調查之雙重取樣技術，目前仍被用來估計各種土地面積和蒐集林地及林分資料，林務局續予採用；第三次調查之特性有：

1、航空照片之使用

此次調查係根據調查範圍及所需照片比例尺(約1/17000)、影像重疊度(前後60%，左右30%)等，擬訂攝影計畫實施空照，航向為南北向，航高依地面海拔調整，俾得一定比例尺之照片。

2、照片樣點之選擇及地面樣區之取法與形狀

照片樣點之選擇採系統取樣，先將透明方格板置於像片基本圖上，配合座標系統轉刺於圖上相關位置；而地面樣區逕由照片樣點中選定，在圖名"中正紀念堂"的1/5000像片基本圖上，以"橫麥卡脫方格"中之交點(302000, 2770000)為原點，每隔 3,000公尺選定一個地面樣區，並將其位置針刺於照片上，再至野外尋找其正確位置。此次調查之地面樣區為矩形，樣區面積大小依林型、林木密度、林木之胸徑大小而決定。

六、全省森林資源調查與檢訂調查之異同

檢訂調查乃指森林經營計畫調查 (Forest management planning survey)，與全省之森林資源調查(Forest resource survey)有所不同，現就其調查目的、範圍、方法、對象及調查項目略作比較：

(一)調查目的

檢訂調查為編訂經營計畫及資源預測之調查，即對森林資源現狀和隨時間變化的生長量及枯死量加以推算，決定實施保續收穫的容許砍伐量，並蒐集天然更新、人工造林等資訊。

而全省森林資源調查旨在取得森林資源現在及變化的資訊(楊，1984)，此與檢訂調查雷同，惟其根本不同點在於檢訂調查是依經營者的意向蒐集資訊；而全省森林資源調查是蒐集釐訂國家林業政策及經濟政策之各項森林資訊而言。

(二)調查範圍

檢訂調查是以國有林事業區之林地為調查範圍；而全省森林資源調查是為蒐集全省有關地理性、經濟性、政策性之資訊，對所有有林木之林地所做大面積的一次調查。

(三)調查方法

檢訂調查採水平樣線法，地面樣區為矩形，與第二次森林資源調查相同；而不同於第一次森林資源調查的同心圓樣區及第三次森林資源調查之變動矩形樣區。

(四)調查對象

檢訂調查對象包括所有林木，只要有處分價值，不管其為枯立木、折斷木或倒木，均予調查，因此調查之蓄積中含有腐朽材積，故蓄積量常呈偏高；而森林資源調查則記載每株林木之腐朽、形狀不良情形，所得材積為真正可供利用的製材或桿材材積。

(五)主要調查項目

檢訂調查的主要項目為齡級、樹種、利用材積及全林區之連年生長量；而森林資源調查則包括全省之林地面積、林木材積、材積之年生長量及年可伐量，以及林木之年枯死量，因砍伐、火災、病虫害及風災等之材積減損率。

(六)由檢訂調查與森林資源調查的樣區調查紀錄表，可知檢訂調查之紀錄項目已與第二、三次森林資源調查大同小異，可以說第二、三次調查目的與各事業區之經營計畫相配合，而檢訂調查所取得的資訊，仍針對中、長程經營計畫之編定，雖然檢訂調查之內容常因調查時期不同而異，但此問題應可解決，既然如此，可否將兩種調查予以協調整合，只要增編檢訂隊人手，一年之內應可檢訂數個林區(註：根據資料，除72~75年停止施行，自66~80年度，每年度有1~4個林區完成檢訂，而81年度預定3個)，如能依期施行檢訂調查，再將各事業區(檢訂自81年度改以事業區為單位)的調查結果予以合計，則可得出全省森林資源的資訊，避免調查重疊，浪費無謂經費和人力。

七、討論與建議

(一)經營理念方面

- 1.本省林業經營方向，既由以往之木材生產政策轉變為多目標經營，往後應以多項資源經營(Multiresource management)之觀念，在符合生態原則下進行經營，而欲達此理念，必先藉調查方法對森林生態系的結構、功能與平衡加以瞭解，此為未來經營趨勢，也是森林調查的主要目的。
- 2.若干先進國家為掌握森林資源，以期提出合理規劃及利用，都定期實施森林資源調查，如美國每12年一次，加拿大每10年一次(焦，1990)，而本省三次森林資源調查之間距有16或12年不等，如能透過立法或明文規定實施間隔，則必可更確實掌握森林動態資訊的變化，進而建立全省性調查體系及準則。

(二)調查技術方面

- 1.照片判釋，乃是參酌航照比例尺、拍攝季節及各種因素組合之相關特性予以判釋的高度技術，欲達所需正確度並提高調查準確性，事實上需有豐富經驗及嫻熟技巧，才能減少人為判斷或從事度量時產生之偏性誤差，因而對判釋及調查人員加強訓練，建立照片複判及督導抽查制度，應是減少此種誤差的必要措施。
- 2.三次森林資源調查，因航測技術之引進，且空照任務於第二次調查時已由林務局自購飛機執行，照片品質較之第一次調查由空軍拍攝者為佳(吳，1977)，又照片張數、照片樣區及地面樣區數亦逐次增加，調查項目亦趨詳盡，理論上，調查精密度應相形提高。
- 3.三次森林資源調查，基本上均採用雙重取樣法(Double sampling)，此法雖較單用地面調查節省人力及經費，但實際作業時仍有諸多問題，如地形險峻，地面樣區不易到達，或照片及地面樣點對位困難等，其實這些問題應可藉由提昇調查技術而獲解決；近年來遙測技術與地理資訊系統(GIS)已在林業上應用，且第三次森林資源調查列為主要目的之一；由於此技術之發展，解決了資訊蒐集不易的問題；因此，大面積的森林資源調查，未來可考慮應用三段取樣法(Three-phase sampling)，以衛星照片(森林分

層)——航空照片(二級取樣)——地面樣區(三級取樣)來進行調查，根據鄭、周(1991)研究，整合林地分類與三段取樣調查技術，較之傳統的森林調查方法節省人力與費用，為未來之可行技術；其實此一調查方法，在加拿大已被應用於偏遠而不可到達的森林調查；美國、芬蘭等國亦頗多採行。

4. 目前航空照片雖廣被應用，且甚具功效，惟需有高度之判釋技巧方可獲正確資訊，而照片本身的傾斜及投影誤差，常對距離、坡度、高度與樹冠直徑、林分密度以及方位、高程等造成影響，此非人力所能克服，故必有高品質的航空照片相輔以成；未來可考慮兼採多譜掃描數據(Multispectral scanner data)做為高海拔(2500m以上)地區的森林調查，並經試驗後認為在森林資源調查上大有可為；如日人 Yukio Mukai等曾利用大地衛星，以多譜資訊測估林分材積，準確度為90.5%(焦，1990)，已足可用於資源調查，且大地衛星有定期回至原地再次取樣之特性，由前後兩次或多次影像可做地面變化之比較；故本省可以海拔2500m 為界，依森林經營之目的與集約度，採用不同之調查方法——三段取樣或雙層取樣；準此區分，可為日後森林資源調查之參考。
5. 有關照片樣點與地面樣點對位困難的問題，建議使用全球定位系統(Global positioning system, GPS) 應是可行的辦法；GPS為美國國防部所發展的測定位置及測定時間之系統，而GPS衛星測量乃利用GPS衛星所發射之無線電訊號，以測定點位的三度空間座標，目的即在測定衛星到接收器之距離量，一般為消弭衛星與接收器時錶間的不同步誤差，至少需同時觀測四顆衛星，以求解觀測站之座標而達單點定位的目的。GPS目前在多數國家被用來做為飛彈、飛機及船舶之導航與地面汽車之導向、追蹤等，均能做高精度之即時性測量定位，未來如能加以應用，則對位困難的問題必可迎刃而解。
6. 目前森林資源調查的照片判釋材積，係利用空中材積表予以判釋區分，現仍依照 楊等(1961, 1963) 編製之檜木、鐵杉、冷杉及闊葉樹、柳杉五種林型之空中材積表，而其他樹種闕如；本省因地形險峻、樹種複雜，甚多地區人力難及，以現有五種林型之空中材積表實嫌不足，如能建立更多種林型的照片判釋用材積表，直接由航空照片判釋林分材積，則可節省地面樣區調查費用，亦可提高判釋精確度與促致標準化。

(三)資料分析方面

1. 森林資源調查，其目的不外乎對林地面積及林木蓄積的推算，惟有關材積推算及生長量之預測，迄今仍無法導出一普遍可行的方法(楊，1979)，故每次辦理森林資源調查都投入龐大經費與時間，俟調查資料統計後，對森林現況之掌握已大打折扣，因而，如何利用調查結果樹立一套推估森林生長與收穫，或森林演替之模式，應是森林調查人員必須重視之課題；未來可致力於求取航空照片判讀值與地面實測值間之關係，以供做推算面積與材積之用，應是研究重點。日本曾利用固定面積資料，開發利用高精密度的生長模式，使森林調查簿做自動更新(Update)，美國威爾豪斯 (Weyerhaeuser)林業公司也有類似研究；因此，如能將地面調查的林分資料模式化後儲存於電子計算機，則可隨時求得各個林分位置及林分結構資訊，並加以推測，亦可利用生長模式來推估平均斷面積及最大、最小生長量，再使用迴歸式由中央直徑推算每公頃株數，進而做到資料的自動更新，配以實地調查值予以檢核而知推算值之精確度；本省森林資源調查爾後應朝此

方向研究，則地面調查費用必可大為減低，惟欲達此目的，必以設立永久樣區(Permanent sample plot)為前提，方可提供再調查(Remeasured)時求得生長量的推算值，亦即實施連續森林調查法 (Continuous forest inventory，簡稱CFI)，使森林資源調查程序標準化。

2. 森林調查的主要任務，即在建立森林資源資訊系統，而資料庫中各種資料藉由地理資訊系統予以結合，要使遙測資料與地面資料能準確套合，仍需繁複而高度之技術；在森林調查獲得有用資料後，如何處理並利用模式分析成有用資訊，予以管理及提供森林經營上的應用，是未來研究的重點與趨勢。

八、結論

森林要達成永續，則必講究空間與時間的規劃，善用其蓄積與生長，並需有決策支持系統(Decision support system) 做合理的規劃及經營，而掌握關於森林資源的所有可用資訊，必借助森林調查；由本省三次森林資源調查綜以觀之，因航空攝影技術之引進、照片品質的提昇，調查底圖由小比例尺的地形圖而至大比例尺的像片基本圖，以及取樣技術與調查方法的改進，在在提高了森林調查的精確度；今後如何結合衛星資訊—航空照片—地面調查之三段取樣；如何利用森林調查資料去建立推估、預測的模式，以提供森林資源調查參採，應是研究之方向。

第三章 整合森林資源調查與檢訂調查可行性之探討 Studies on Integrating Forest Inventory and planning Check Survey

[摘要]

本研究針對台灣森林資源收集的兩大系統—森林資源調查與檢訂調查，加以探討其目標、方法、重疊情形與調查結果、費用等。更而剖析此兩種調查整合的必要性。最後由 設立調查專一單位 航遙測應用 定期調查更新資料—永久樣區設立 林木、非林木資料調查項目蒐集與記錄 圖籍建立等來加以說明整合可行性。

一、前言

合理之林業經營計畫及決策，必賴以健全的森林資源資訊，爰此，實施森林調查絕對有其必要，亦為達成合理經營森林的基礎；本省為獲取森林資源面積及蓄積等各項資料，並瞭解土地利用現況，實施三次大面積的森林資源調查；又為編訂經營計畫及資源預測需要而施行經營計畫檢訂調查，此兩種調查之目的、對象及要求精度雖有差異，然其意旨均在取得森林資源的現在及時空變化上的資訊，基本上極其類似，故常予人疊床架屋之感。

由於地理環境特殊，本省於"台灣森林經營改革方案"公布後，其林業經營方針即明訂以保續經營為原則，即以森林公益效用為主要經營目的；而欲釐訂合理的經營決策及達成多目標利用，必藉調查以掌握各項可信賴之經營資訊；在各類森林調查中，除業務性森林調查因面積較小，需求精度高，必要時須採全林每木調查外；區域性與全國性森林調查相若，實可調整調查項目及方法，達到釐訂國家林業政策兼能以事業區或林區為經營對象而編訂經營計畫，彙整各林區檢訂調查結果即可得全省性森林調查資料，如以目前八個林管處，每年調查一林區而言，則每八年即可修訂該區經營計畫，並更新全省性森林調查成果，據此而建立森林資源資訊系統，確立森林調查體系及準則，在節省調查人力、經費與資料及時更新(Update)上，當可預期；本文乃針對此兩種調查整合之可行性揣加初探，藉供籌辦森林調查時參採。

二、目前之森林調查體系

本省光復後，於民國37年(1948)，國有林事業區經營計畫檢訂工作始行著辦，1948~1956 年間之檢訂係由林產管理局(林務局前身)辦理，迨至1956~1960 年則與農林航空測量隊共同執行，以期利用航空測量調查技術來配合及完成事業區施業案之檢訂編案；1960年林產管理局改組為林務局，且農林航空測量隊正式成立，檢訂工作乃由林務局繼續實施，原則上統由各林管處試行辦理，後因成效不彰，改由林務局與檢訂之林區共同指派林業及航測技術人員組成檢訂隊，進行森林調查及編訂經營計畫，迄今仍維持此一調查體系從事檢訂工作。

本省辦理三次森林資源調查，除第一次調查係由農復會(即農委會)主辦外，第二、三次均由林務局主辦，調用有關機關技術人員籌組專責單位進行調查。

至於保安林檢訂調查，係於保安林編訂後，為因應社會環境變遷及配合保安林經營方式或加強經營內容而適時實施，林務局亦負有全盤檢訂之任務。

三、森林資源調查與檢訂調查之調查目標與方法

(一)調查目標

森林資源調查之目標乃在供給關於森林資源之所有資料，以備制訂與實施林業政策；適應此一目標之資料包括關於森林面積、經濟樹種、林木蓄積、生長量、枯死量與砍伐量等之統計數字及標準化地圖，第三次調查更以建立全省森林地理資訊系統為最終目標。

經營計畫檢訂調查之目標，乃在提供各事業區森林資源之基本統計資料，俾據以擬訂基於保續經營原則之經營計畫；適應此一目標之資料包括事業區（或全林區）的樹種、組成齡級分布、直徑級分布、蓄積量、生長量及枯死量等資訊，此類資訊可用於中程或長程計畫，並求出確保一定木材供給量之收穫量，容許砍伐量所包括的樹種及林分，林相改良或林相變更的有關事項等；而森林內各個林分的位置是經營計畫必需且極重要的資訊，此乃森林資源調查所不重視；故地圖需顯示林班地界、詳細之地形及林分之位置；因而，森林經營計畫可說即為森林施業的基本憲法。

(二)調查方法

本省向來重視森林資源調查，除編(檢)訂森林經營計畫時做調查工作及執行伐採計畫的特別調查外，已辦過兩次大規模森林資源調查，且正實施第三次調查；第一次調查時採用圓形樣區，第二次則採用水平樣線法，第三次調查改採變動矩形樣區，其樣區面積大小依林型、林木密度及林木胸徑之大小而決定。

檢訂調查之調查方法，林務局在森林經營計畫檢訂工作綱要中，強調以圓形樣區為宜，惟根據專家驗證，水平樣線法之變異係數及誤差率比圓形樣區小；中興大學惠蓀林場經營計畫之檢訂調查即屬之。

四、森林資源調查與檢訂調查之重疊度

目前森林調查之兩大類型，即為森林資源調查及編訂經營計畫的檢訂調查，而由其調查目的及項目，可略窺此兩種調查重疊之端倪。

第一次森林資源調查，目的在於獲取可靠之林地面積、林木材積等統計資料，係針對全省森林及土地資源所做的資源調查，並非為編訂經營計畫，故欲編成各事業區之森林經營計畫，仍須在每個事業區做進一步的詳細調查。

而第二次森林資源調查鑒於第一次調查之未能與經營計畫配合，在資料整理統計時，即以事業區為單元，分別求出其經營計畫所需各項資料，以供施業依據，此在其調查目的中即已闡及；且在地面樣區調查時，為達一定之精密度，並顧及統計值的可靠性，依分層統計原理在地面樣區不足之林區，依分層分配情形增加補助樣區予以彌補，期能與各事業區經營計畫儘量配合。

至於第三次森林資源調查更著力辦理林地分級，供選定適宜生產林木地區集約經營之用，終極目的在於建立森林經營地理資訊系統，並整合各種現有資料以建立完整資料庫，俾能隨時提供林業經營、管理及決策所需資訊；基本上已有提供編訂經營計畫的趨勢。

有關森林資源調查與檢訂調查之調查項目，其重疊度及比重(楊,1983)，可由表3-1知其梗概。

表3-1：森林資源調查與檢訂調查調查項目比重表

調 查 項 目	比 重
---------	-----

森林之分布狀況及全面積	森林資源調查 = 檢訂調查
各林型之材積級面積	森林資源調查 > 檢訂調查
各齡級、作業級之面積	森林資源調查 < 檢訂調查
各林型、地位級之面積	森林資源調查 < 檢訂調查
林地地形、海拔、方位等之記述	森林資源調查 = 檢訂調查
所有權之調查	森林資源調查 > 檢訂調查
林區之交通情況	森林資源調查 < 檢訂調查
材積之調查、統計與分析	森林資源調查 = 檢訂調查
生長量之調查及分析	森林資源調查 = 檢訂調查
腐朽或因砍伐、災害等材積減損	森林資源調查 > 檢訂調查

由表3-1中各調查項目，森林資源調查與檢訂調查比重相等者，整合性調查可維持原來之調查項目及方式進行調查；至於森林資源調查比重大於檢訂調查時，則仍維持森林資源調查之調查項目即可滿足編訂經營計畫的需要；而森林資源調查比重小於檢訂調查時，以檢訂調查之項目進行調查並蒐集編案資料。

五、森林資源調查與檢訂調查結果及費用之比較

第三次森林資源調查現仍實施中，其支用經費及調查結果尚無正式統計，現就第一次調查(民國43~45年實施)、第二次調查(民國61~66年實施)，以及民國54~58年與66~71年兩次檢訂調查做一比較。

(一)調查結果之比較

表3-2：森林資源調查與檢訂調查結果比較 (資料來源:游,1983)

調查別	區域	林地面積 (公頃)	林木蓄積 (立方公尺)	立木材積分析	備註
第一次調查	全島	196萬9,500	1億8,600萬	形狀級 調查法	含 公 私
第二次調查	全島	186萬4,700	3億3,002萬	水平樣 線法	有 林
54~58年 檢訂調查	43個 事業區	161萬2,494	1億8,100萬	胸高形 數法	無 公 私
66~71年 檢訂調查	37個 事業區	156萬7,259	1億8,995萬	胸高形 數法	有 林

由表3-2得知，第一、二次森林資源調查的林地面積，均較兩次檢訂調查為多，乃因森林資源調查的林地面積中包括有公、私有林及保留地之故；是以第一次調查之調查結果與兩次檢訂調查差距不大，係因其立木取樣之觀念極為相近。

而第二次調查的林木蓄積高出其他調查甚多,其因約略有三:

- 1.因其取樣調查屬無面積(Arealess)樣區之胸高斷面積調查,無論林木之大小與遠近,若入稜鏡視角內均予計列,亦即凡入稜鏡規幅(Gauge)之林木數量乘以有關係數,即得單位面積之林木蓄積,如此,其蓄積量往往大於傳統之立木調查。
- 2.傳統立木調查法規定取樣林木胸徑在10公分以上,而水平樣線法之取樣調查則規定取樣林木胸徑在5公分以上,此亦造成蓄積量大增之原因(游,1983)。
- 3.由於年淨生長率約有2.57%,且兩次調查間生長量之累積,其中含造林木蓄積的增加(陳,1981)。

(二)調查費用之比較

將第一、二次森林資源調查及兩次檢訂調查的調查費用,依物價指數換算為民國75年之物價水準,得出數值如表3-3。

表3-3: 森林資源調查及檢訂調查費用之比較

調查別	林地面積 (公頃)	調查總經費 (元)	平均費用 (元/公頃)	換算為75 年物價
第一次調查	1,969,500	5,085,274	2.58	7.64
第二次調查	1,864,700	15,309,187	8.21	9.94
54~58年 檢訂調查	1,612,494	14,130,537	8.76	15.23
66~71年 檢訂調查	1,567,259	32,336,940	20.63	22.73

註:第一、二次森林資源調查總經費係參考吳(1977)之資料換算;另兩次檢訂調查則根據游(1983)之資料而得

由以上費用之比較，得知第一次森林資源調查每公頃平均支出費用較第二次調查為低，此因第一次調查所使用航照張數為4000張(第二次13,000張)、照片樣區有48,000個(第二次125,000個)及地面樣區400個(第二次調查4132個)，均較第二次調查少，故節省地面調查經費之支出。

又如以檢訂調查與森林資源調查做一比較，則任何一次檢訂調查每公頃平均支出均較森林資源調查為高，此因檢訂調查係以事業區或林區為調查對象，其調查項目較多，且為編訂經營計畫所需之調查，其調查自然詳細，要求精確度亦因經營之集約而提高，故其支用經費必大。

可知同時施行兩種森林調查，其費用因調查重複而必然增加，整合後之調查費用理當較兩者支出為少，是以森林調查所獲得森林資訊的支出費用不宜過多，且最多亦不應超過由資訊所產生之效益，秉持此一原則從事森林調查，方合乎經濟；因此，如能將檢訂調查與森林資源調查加以整合，其調查經費必可大為降低，應是想當然耳。

六、森林資源調查與檢訂調查整合之必要性

森林資源調查與檢訂調查何以要整合，由以下數點略述：

(一)資訊需求之共通而有整合必要

本省因地形陡峻，任何一種森林調查欲獲得準確之結果，人力與財力皆所費必多，由前述知此兩種調查之目標雖有差別，但對森林資源資訊卻有許多共通的需求，故為提高工作效率，期使整體性調查資料間確能相互比較，實施整合性資源調查確為必要。

(二)整合性調查可存菁汰蕪

單獨實施森林資源調查，雖可採統一之調查方法，並在同一時點掌握森林實況，但因須另組調查單位及編列龐大經費支應，且往往未能與經營主體所需要之直接資料相配合，故整合此兩種調查，應可存優去蕪，避免無謂浪費。

(三)建立整合性調查方式的必要

森林資源因具相互關聯，兼以人類對森林資源的需求日趨多樣化，因此，實施整合性資源調查(Integrated resource inventory)，以獲得整體性規劃及決策所需資訊，在目前森林經營上乃勢之所趨，它非僅是實現多目標利用所需綜合資源資訊之取得來源，亦為建立有組織、具效率及協調性林業經營的基本架構；故多種資源之調查，如調查技術及樣本之選取等均須協同一致，在此情況下，更涉及調查效率及一套通用的調查、統計方法；因使用不同方式，於不同時點所蒐集到的資料，常因其標準、定義及取樣方法之互異，比較時易滋錯誤，倘據此資料做經營決策，後果不言而喻。因此，要做整合性調查，必設計一種能符合不同目標或目的之調查方式，即所謂多項目標(Multipurpose)綜合調查；目前從事森林資源調查與檢訂調查工作單位均隸屬林務局，雖調查所得資訊未盡相同，但因屬同一機構，複雜性降低，整合上應更可行。

(四)調查作業標準化之必要

森林資源乃屬再生資源，目前人類對再生資源的需求呈幾何級數增加(楊.林,1991)，但再生資源的供給卻隨經營策略以及伴隨之天災人禍而有不穩定的變動，世界各國均已有所警覺，因此學習更妥適的經營及資源分配，以使能保續其供應需求的增加；為實現此一目標，必有一確定之準則來偵察資源的變化，及時檢訂森林經營各種施業措施與結果，以及預測未

來趨勢，謀求改善及補救之道；當今各國森林學者亦皆強調檢訂與調查作業必須標準化，並將兩種資料與決策聯成一氣，使資料的收集、貯存及尋回等趨於一致，並聯合遙測技術與地面取樣的正確使用，使具時效性及節省費用，故整合此兩種調查有其必要性。

(五)森林角色重新定位,整合性調查勢在必行

由於環境的變遷及社會投注之關心與需求,森林扮演的角色已被重新定位,經營策略也由單純之林木生產轉變為多目標利用,因而森林調查應逐漸趨向整合性資源調查,而森林資源調查與檢訂調查目前調查所得資訊僅限於林木資訊之取得,充其量僅為單項或少數幾項目標之經營利用,離多目標經營方針尚有一段距離;故建立整合性調查計畫,從事整體性考量,才能落實多目標經營,滿足經濟性、環境性與社會性的需求。

(六)由德、日之林業經營,知整合之可行

衡觀德國林業,其從事合理之森林經營已上百餘年之久,各主要林區皆編具經營計畫,故為編訂經營計畫所實施之森林調查具有較高精確度,彙整此項森林調查之結果,即可求出全國森林資源的統計資料;亦即將全國之森林,按經營區、林班、小班等分別調查其材積及生長量等,再總計之,即為國家森林資源資料。又鄰近之日本,其森林經營與德國如出一轍,極為重視國有林經營計畫與民有林森林計畫之編訂,對國家森林資源的調查問題反而不太在意,認為當前者完成之後,有關國家森林資源之資訊自然唾手可得;故由前兩國的林業經營觀之,整合性森林調查必然可行。

七、森林資源調查與檢訂調查之整合

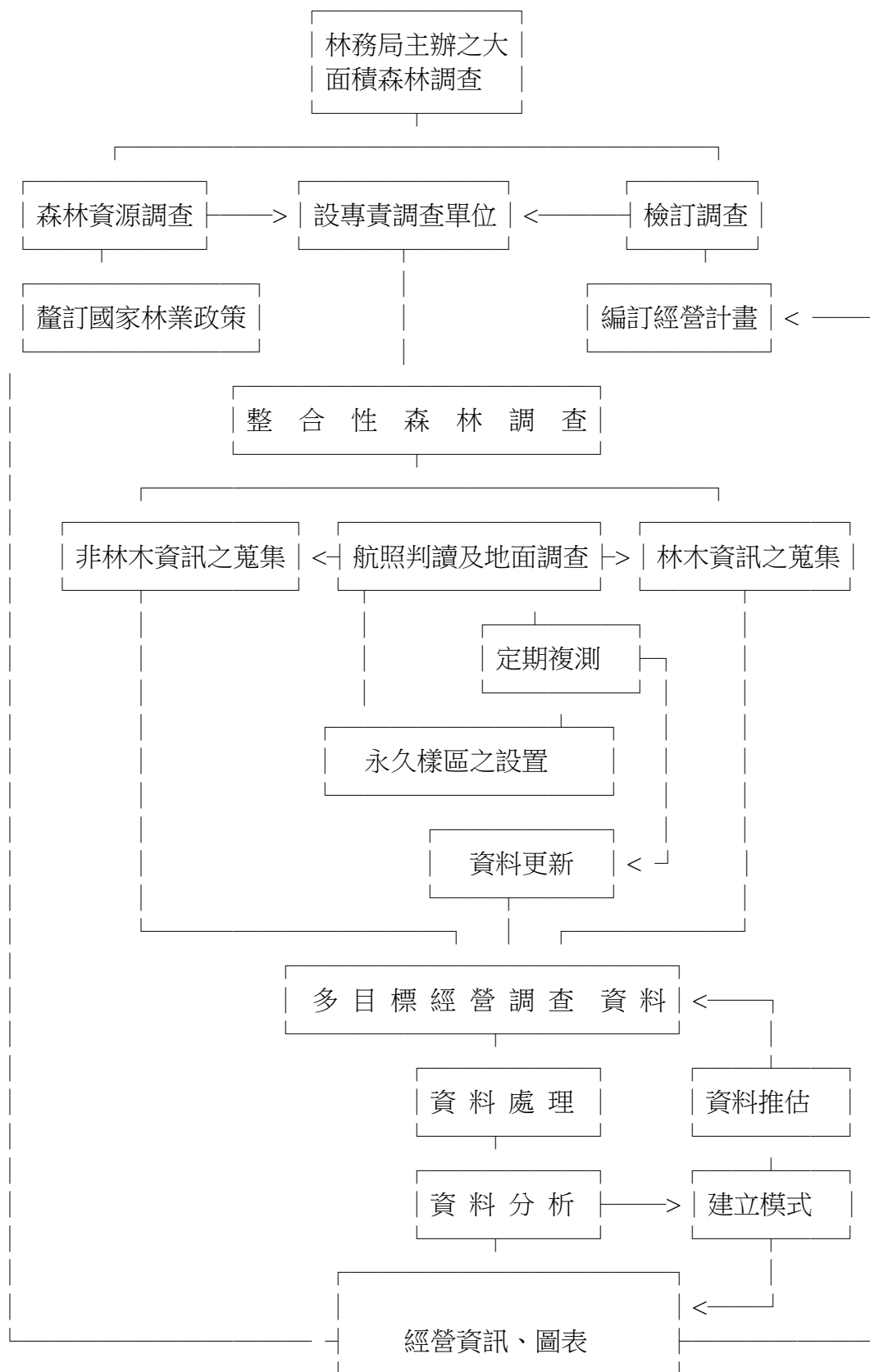


圖3-1：整合性森林調查流程圖

由圖3-1可知森林調查整合之構想與流程，而整合後所產生的資訊與圖表，可同時滿足編訂經營計畫及釐訂國家林業政策的雙重目的，且由資料分析所建立產出之模式，除可供資料推估，亦可直接提供經營所需；至於整合之觀點略抒如下：

(一)設立常態性森林調查單位

於林務局設立一永久且強大之森林調查單位，專司森林調查業務，將森林資源調查與經營計畫(包括保安林之經營)檢訂調查融與一爐，使其森林調查程序標準化，調查人員專業化，以減少非取樣誤差之發生；並將調查資料表格加以修正，以符合制定林業政策及經營計畫之需求，並確實採用連續森林調查法(Continuous forest inventory, CFI)，定期求出森林生產力及其它森林性態值，達到資料更新，以提高資料精確性及可用度。

(二)調查底圖比例尺之整合

目前實施之第三次森林資源調查，其調查底圖係採用1/5000 像片基本圖，取代以往第一、二次調查之五萬或二萬五千分一地形圖，此與檢訂調查所採用之1/5000 林區像片基本圖比例已相吻合，故整合上已邁進一步。

未來森林調查應以林區或事業區為調查單位，蒐集林班及小班之重要編案資料，彙集之即為全省森林資源統計資料，且使用大比例像片基本圖，更可為林地分類之依據。

以目前之像片基本圖及其高精度地理座標，從事森林之材積調查時，依林型或樹種等為分層基礎的面積計算及照片樣點逢機抽選與定位，均合乎統計分析必須具備的完全逢機性，且面積資訊正確又無取樣誤差，再配合造林地圖及保安林分布圖的運用來確立調查對象，更具作業之實用性；利用像片基本圖為底圖，尚可根據調查所得資料測製各項林業經營專業主題圖；且利用像片基本圖及航空照片在分層及面積計算、取樣設計等，均可迅速而正確地於內業進行，與現場調查作最佳之配合，可減少大半調查時間及費用。

(三)導入航測技術從事森林調查及測量

傳統之經營計畫檢訂調查須耗費龐大人力、物力，自航測技術引進使用於森林資源調查後，證實可減輕地面調查而節省泰半經費，故整合性調查應充分運用此技術，地面調查因航照及遙測等資料之取得而達節省之效，且使森林測量不需經由耗時之地面測量，而直接利用已甚完備的三角點成果，以航測製圖儀器製作成高精度之各種施業圖面；並依據生統原理與應用求得翔實編案資料。

(四)調查項目及記錄之整合

由第三次森林資源調查之地面樣區調查記錄表與檢訂調查記錄表，得知此兩種調查之調查項目不外乎林況、地況及立木資料等項；整合後之調查項目應符合森林經營計畫之編訂要求，且須適應各不同林區或事業區之經營特性，其調查記錄表應力求標準化，如此，在資料處理上便於經電腦做系統性之分析。

(五)整合性調查應加強非林木導向資訊之蒐集

森林因提供遊樂、集水區經營、野生動物棲息或移作其他土地使用等非林木導向之用途日增，使原限於林木推估之森林調查定義及範疇更為廣

泛，近年來，森林調查中有關獲取林木資訊的方法雖已廣被研究、應用，惟對非林木資源之調查及量化，仍遠不及使用於林木調查上之精確度；更因森林資源功能日趨多樣化，調查已不僅限於林木及林地，其他相關性資源，亦即涵括非林木資訊者均在調查之列；故整合森林調查亟需加強此項資訊之獲得，以適應國民需求態度及決策者任務的轉變；因此整合性調查非僅要蒐集資料，亦在發掘問題，尋求並設計能在資料蒐集、分析及整理上具備解決問題能力的調查方式，如此，整合性調查方具意義。

(六)應用連續森林調查定期更新資訊

為掌握連續的森林資源最新動態資訊，整合後之調查及取樣必須能對森林各種狀況做定期性的檢查，目前大多數國家皆採用連續取樣(Sampling successive occasions)設計，每隔 5~10年定期做森林調查，以更新其所掌握之資訊；本省在整合之森林調查中應採行設置地面永久樣區 (Permanent plot)，確實施行連續森林調查，以期在任一時點進行複測，獲取有效且可靠之森林生長量的推算值，除可提供基礎之調查資訊，對生長量組成分子之推算精密度亦必提高；故實施連續森林調查法，在整合性森林調查絕對有其必要。

(七)實施先驅性調查

整合森林調查有必要施行先驅性調查，始可供擬訂作業調查手冊，核算並編列調查需用時間、人力及儀器等配備之參考，針對編訂經營計畫及林業政策之調查目標而求取適合各不同林區或事業區之特性及調查精度所需採用之最適樣區大小、樣本數及取樣設計等，以節省調查經費之浪費。

八、結論

欲有合理的森林經營，必先預擬翔實可行的森林經營計畫，而實施整合性森林調查，藉以獲取可信賴的經營資訊來編訂經營計畫，將是未來森林調查的走向，亦為實現多目標經營的不二法門。

藉永久樣區之設立，進行連續森林調查，定期複測而獲得森林變化的資料，然後進行統計、分析與應用，它包涵了不同時間、空間之連續性資料，是為取樣、森林測計、資料處理等技術之綜合運用；故整合性森林調查除在人力、財力上可達節省，在資料更新上亦可見宏效；而在行政上各環節之配合亦必須協調，成立一專責調查單位，統一事權，整合性森林調查方為可行，也才具整合之意義。

第四章 森林資源調查中四種取樣調查法之比較 Comparisons of Four Sampling Techniques in Forest Inventory

[摘要]

歷年來本省有過三次全國性土地森林資源調查，而每次森林資源調查所使用的方法皆不相同，第一次是採用圓形樣區調查法，第二次是採用水平樣線調查法，第三次是採用長方形樣區調查法。調查後所得之結果，在推算各林型、樹種之株數、胸高斷面積與材積，亦有很大的差異。不同取樣方法在推估林分性態值上今有取樣的差異，那種取樣方法最精密皆是值得吾人關切之問題。所以吾人利用林務局於八仙山事業區（德基水庫附近）所進行調查設計的資料，針對圓形樣區調查法、長方形樣區調查法、水平樣線調查法與樣點調查法等四種方法，所推估之全林區總株數與總材積分別與每木調查之株數、胸高斷面積與材積加以比較。研究結果顯示：以圓形樣區取樣調查方法，無論在株數、胸高斷面積或材積推估方面為精確度最優的取樣調查方法，其次是水平樣點取樣調查方法與長方形樣區取樣調查方法，而水平樣線取樣調查方法較差。但就精密度而言，則以長方形樣區取樣調查方法最優，其餘次之。

一、前言

由於森林資源的調查，常是面積大、範圍廣、複雜性大的取樣工作，在實施上常需要較長的時間，所耗費的人力及物力較多，因此利用取樣技術是必要且有效的方法。而圓形樣區調查法與長方形樣區調查法，是傳統使用的取樣方法，利用固定面積樣區分佈在森林中，以調查森林的性態值（characteristics），又稱固定樣區取樣。而水平樣線法簡稱樣線法（line sampling），是從樣點法擴展而得，樣點法基本的原理及方法，則可在樣線法上應用，又稱變動樣區取樣法，其樣區面積大小隨林木胸高直徑而變動。以往有許多試驗論文，只對固定樣區的圓形樣區法與變動樣區的樣點取樣法做比較。

本研究針對四種方法分成兩部分分析：

(1).由樣區推算全林區的值與每木調查全林區的值直接做比較，以瞭解何種方法最接近族群真值，其差異與優劣。

(2).A:由樣本間變異係數百分比，而求得不同方法中取樣精密度，何者為優。

B:由樣本理論值與族群真值，以兩族群均數比較的擬說測驗，來分別比較每木調查與四種方法兩者間差異之顯著與否，來評定何種方法最接近真值，而求得不同方法中精確度何者為優。

由於第一部分是人以估測值與真值之間的差異，對何種方法最接近真值，亦認為是最優的方法，這是主觀的判斷。所以吾以第二部分之擬說測驗分析對四種方法與每木調查之間，兩兩的推估值與真值差異是否顯著。以得知由樣本推估族群，何種方法較具代表性，樣本間與族群間均數之變異最小，差異極不顯著，方可評定四種方法何者最優。

二、前人研究

(一)楊榮啟與汪大雄(1979)所做的研究，是就有繪製林木位置圖的永久樣區試做各種取樣，而對四個林齡之人工林林分在不同樣區面積(樣區法)與不同斷面積係數(水平樣點法)下，比較其株數、斷面積及材積的變異數與變異係數，樣本之變異係數(coefficient of variation)以表出取樣之精密度，故常作為研究取樣效果之指標。其結果顯示：不同林齡中株數、斷面積及材積三個因子變異數的變化，都是隨樣區面積增大而減小。推算各種不同林齡林分的斷面積及材積時，水平樣點法都優於樣區法，因為水平樣點法的取樣機率與取樣個體的大小成比例。

(二)楊榮啟(1986)曾對水平樣點法與樣區法，在森林資源調查應用上做比較，其認為變異係數值表示個體間變異的過程，能夠顯示出各種取樣的精密度。研究結果顯示：大體言之，水平樣點取樣法因其具有取樣率與林木胸高斷面積成比率的優點，所以當用做推算單位面積上，林木胸高斷面積及材積時常得到較高的精密度。但是推算單位面積上林木株數時就應該採用樣區法，因為樣區法從某一直徑級所抽取的樣木株數，皆能期望與該級的林木株數成比例。

(三)林子玉、伍木林、林銘輝(1987)曾探討水平樣線取樣法、樣點法，以及樣區法三者之差異。試驗方法：於各樣區中心同時實施圓形樣區法、水平樣線取樣法及水平樣點取樣法，調查胸徑、株數、坡度及斷面積指數(BAF)等影響因子，茲分述試驗方法如下：

(1).圓形樣區法之樣區面積定為0.05公頃(半徑12.62公尺)。

(2).水平樣點取樣法，測者位於樣區中心，以Relaskop及稜鏡檢視周圍立木胸高。

(3).水平樣線取樣法以樣區中心為始點，沿抽樣線以Relaskop及稜鏡向兩側垂直方向檢視林木，本試驗抽樣線長度定為20公尺。

$$\text{當 } B A F = 1 \quad m^2/ha, \quad B A = 0.0392699 \times \sum_{D=i}^N D_i$$

$$2 \quad m^2/ha, \quad B A = 0.0555358 \times \sum_{D=i}^N D_i$$

N

$$3.0625 \text{ m}^2/\text{ha} , \quad B A = 0.0687223 \times \sum_{D=i}^N D_i$$

$$4 \quad \text{ m}^2/\text{ha} , \quad B A = 0.0785348 \times \sum_{D=i}^N D_i$$

$$10 \quad \text{ ft}^2/\text{acre} , \quad B A = 0.0595202 \times \sum_{D=i}^N D_i$$

$$20 \quad \text{ ft}^2/\text{acre} , \quad B A = 0.0842033 \times \sum_{D=i}^N D_i$$

(4).各方法所得之資料，分別以t測驗、併駢對測驗、多元迴歸等進行分析與討論。

結果顯示：

- 1.三種方法所調查之胸高斷面積差異不顯著，三種方法均可取代，唯水平樣線取樣法調查結果較大。
- 2.由效率與經濟觀點,以採水平樣線取樣法。

(四) 陳明義、蔡進來(1980)利用畢特立希法、逢機配對法、最近個體法、四象限法及方區法等五種不同取樣方法，分別調查中興大學惠蓀林場的天然林與人工林各2大區的喬木層植被，以無樣區法求得的平均距離、平均面積、密度、每ha胸高斷面積和等數據，各與方區法以非駢對法的t值測驗檢定相比較。結果顯示：以畢特立希法調查的結果，顯示林木胸高直徑的平均值在30—40cm間者，取用K=7.5 其求得的每公頃胸高斷面積和與方區法者近似。

三、研究材料與方法

(一) 試區概述

本試區位於八仙山事業區84林班第9及14小班內(德基水庫附近,如圖4-1)。為一水源涵養保安林,其坡度為30—40度間,是一針闊葉混淆天然林,針葉樹主要為香杉、梢楠、松類、威氏帝杉;闊葉樹則為楠木類、槠櫟類、木荷等及其他雜木。

(二) 使用工具

- (1).直徑尺、牛方測高儀、畢特立希氏胸高斷面積測定儀、皮尺
- (2).羅盤儀等地面測量工具
- (3).電腦軟體：Lotus123、DBASE III、PE2。

(三) 研究方法

- (1). 試地選定及量測：至預定調查區域選一塊試地，並量測境界以計算其面積，經測定結果其形狀為450 m x200 m（如圖4-2），面積共計8.91公頃。
- (2). 每木調查：全面積實施每木調查（如表4-1）
- (3). 系統取樣：樣區設定則採用系統取樣法（systematic sampling）抽取10個樣點，其中4-1樣區因多為灌木區並無大徑木，故加以寧卻僅餘9個樣區。
- (4). 取樣調查：工作人員分成三組於各樣區中心同時實施圓形樣區取樣法、長方形樣區取樣法、樣線取樣法、樣點取樣法等四種方法，並實測株數、胸高直徑及樹高。

茲將四種取樣方法分述如下：

1. 圓形樣區取樣法：取樣面積為 0.1公頃，半徑 17.84 m，以直徑尺量測樣區內胸徑10cm以上之林木。
2. 長方形樣區取樣法：取樣面積為 0.1公頃，長40m、寬25m，林木量測同上。

表4-1：四種調查方法每組所估測之株數、胸高斷面積、材積（每公頃）一覽表

取樣調查法 每公頃	方法	圓形取樣調查法 樣點取樣調查法			長方形取樣法			樣線	
		株數	胸高斷面積	材積	株數	胸高斷面積	材積	株數	胸高斷面積
370.908	1199	600 76	36.517 565.2	280.270	810	51.753	407.460	831	50.030
449.367	885	640 64	42.670 522.0	361.131	880	49.203	308.054	825	54.723
350.121	989	470 64	36.381 550.0	317.880	840	34.338	293.152	737	47.222
379.927	773	590 64	39.924 538.2	306.000	630	25.559	191.439	569	43.688

1 - 2 444.610 697	580 60	32.019 462.6	236.478	750	47.459	348.459	846	57.687
592.140 572	510 44	30.823 379.8	239.474	670	32.885	284.294	649	57.330
811.246 1140	550 140	90.138 1125.6	959.580	550	48.815	508.656	834	77.460
2 - 1 846.152 529	500 76	93.970 781.8	998.618	510	44.726	452.601	562	80.448
1066.678 516	440 80	96.799 961.8	1200.418	540	75.263	887.476	584	82.102
761.554 220	430 44	46.600 471.6	446.664	460	55.582	547.420	534	63.927
2 - 2 707.883 552	360 40	48.136 492.6	425.631	380	45.555	471.620	367	53.878
875.144 562	290 48	37.030 602.4	421.243	480	53.224	547.770	494	68.479
1133.876 528	610 76	68.528 1060.8	642.671	520	55.448	545.970	467	74.966
3 - 1 1424.239 413	390 68	49.722 1115.0	524.976	460	55.411	589.640	396	78.269
1347.532 427	370 72	45.092 1115.4	485.670	420	54.094	565.520	374	24.513

531.022	1719	720 64	47.476 618.6	461.893	710	42.861	398.602	954	54.220	
3-2	565.572	1193	650 64	47.430 696.0	499.113	630	42.703	471.907	596	51.169
564.112	1096	540 64	48.572 675.0	530.615	610	46.677	438.101	692	53.041	

表4-1(續)：四種調查方法每組所估測之株數、胸高斷面積、材積（每公頃）一覽表

取樣調查法 每公頃		方法	圓形取樣調查法 樣點取樣調查法			長方形取樣法			樣線	
阡 面積	推算值 材積	類 積	類 積	摺祁_面積 摺祁_面積	積 積	類 積	摺祁_面積 積	類 積	摺祁 積	
608.040	2216	810 84	66.080 819.0	496.049	770	46.208	292.838	997	65.785	
4-2	832.684	787	760 64	90.053 711.6	805.611	670	51.136	435.104	888	67.297
789.173	295	750 52	66.171 567.0	673.573	770	54.891	480.967	879	67.305	
600.735	351	560 72	60.826 655.2	522.758	630	66.071	534.194	751	72.394	
5-1	1023.742	564	610 80	82.018 919.8	973.881	570	73.670	820.496	749	92.206

953.318 305	530 60	71.190 664.2	785.585	600	78.142	849.090 626	84.627
747.166 483	440 64	43.388 708.0	416.609	490	45.508	443.266 528	67.269
5 - 2 803.237 790	450 64	46.013 684.6	455.578	430	64.114	663.486 431	64.096
648.237 420	330 52	44.514 511.2	412.650	490	60.771	576.680 422	58.151
660.492 959	590 72.000	55.497 729.133	503.662	619	48.645	429.983 717	63.304
平均 788.610 712	549 64.444	59.115 714.000	586.780	578	52.664	506.815 628	66.414
798.491 576	470 59.556	52.952 669.644	562.945	602	54.476	547.007 606	66.974
C 公頃 平均 749.201 749	536 65.333	55.855 702.277	551.134	603	51.928	494.602 651	65.565
C 木 調査 609.877 423	423 52.017	52.017 609.877	609.877	423	52.017	609.877 423	52.017

圖4-1 試驗地位置示意圖（八仙山事業區）

圖4-2 試驗地實測圖

3.水平樣線取樣法：於中心點上它設定一條水平距離為40公尺之抽樣線（與等高線方向約略垂直），沿抽樣線以畢特立希氏胸高斷面積測定儀，向兩側垂直方向檢視林木胸徑。

4.水平樣點取樣法：測者位於樣區中心，以畢特立希氏測定儀向周圍360°檢視立木胸徑位置，並量測其胸徑。

註：上述之樣線及樣點法所使用之儀器為畢特立希氏胸高斷面積測定儀（Sepigel Relaskop）斷面積指數（BAF）為4 m²/ha 測計之。

(5).資料處理：

A：將各個樣區中四種方法之株數與胸徑代入下述BA公式中，以求得不同方法之每公頃立木胸高斷面積總和與材積總和，進而推算全林區株數總和、胸高斷面積總和與材積總和。

各方法每公頃胸高斷面積之推算公式：

BA：每公頃立木胸高斷面積，m²/ha

Di：各樣木之胸高直徑，cm

Dt：各樣木之胸高斷面積，m²

N：樣木總株數

K：為0.0399974

L：抽樣線長為40公尺

BAF：為4 m²/ha

圓形樣區法

$$BA = \sum_{i=1}^N \left(\frac{Di^2}{100} \right) \times 4 \times \pi \times 10 \dots\dots\dots \text{(公式1)}$$

長方形樣區法

$$BA = \sum_{i=1}^N \left(\frac{Di^2}{100} \right) \times 4 \times \pi \dots\dots\dots \text{(公式2)}$$

水平樣點取樣法

$$B A = B A F \times N \dots\dots\dots (公式 3)$$

$$株數 = \sum_{i=1}^N D_i \quad 1 / (D_t / B A F)$$

水平樣線取樣法

$$B A = 12.5 \pi \times K \div L \times \sum_{i=1}^N D_i \dots\dots (公式 4)$$

B：求出每木調查之全林區實際株數總和、胸高斷面積總和與材積總和。

(6).資料分析：

分析時不考慮三組人之人為因子所造成之誤差，僅考慮三組人對樣區之重複性。

A：主觀分析：由樣區推算全林區的值與每木調查全林區的值直接做比較，以瞭解何種方法最接近真值，其差異與優劣。

B：客觀分析：以兩族群均數比較的擬說測驗，來分別比較每木調查與四種方法兩者間差異之顯著與否，來評定何種方法最接近真值，其差異與優劣。

- | | | | |
|--------|--------------|----|---------|
| 1.每木調查 | —— 圓形樣區取樣調查 | —— | 兩兩以擬說測驗 |
| 2.每木調查 | —— 長方形樣區取樣調查 | —— | 針對株數與材積 |
| 3.每木調查 | —— 水平樣線取樣調查 | —— | 做檢定。 |
| 4.每木調查 | —— 水平樣點取樣調查 | —— | |

$$\text{變異數 } s^2 = \frac{1}{N} \sum_{I=1}^N (Y_I - \bar{u})^2$$

最常用的變異係數 (coefficient of variation) 是修正標準差對均數的

百分比：

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \%$$

如果虛無擬說(null hypothesis)是 $\mu_1 = \mu_2$ 時公式為：

$$t = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

如果算出 t 值的絕對值大於表上 t 值時，擬說就被棄卻，算出 t 值的絕對值小於表上 t 值時，擬說就被採納。(t 值查 t 分佈機率表得知)

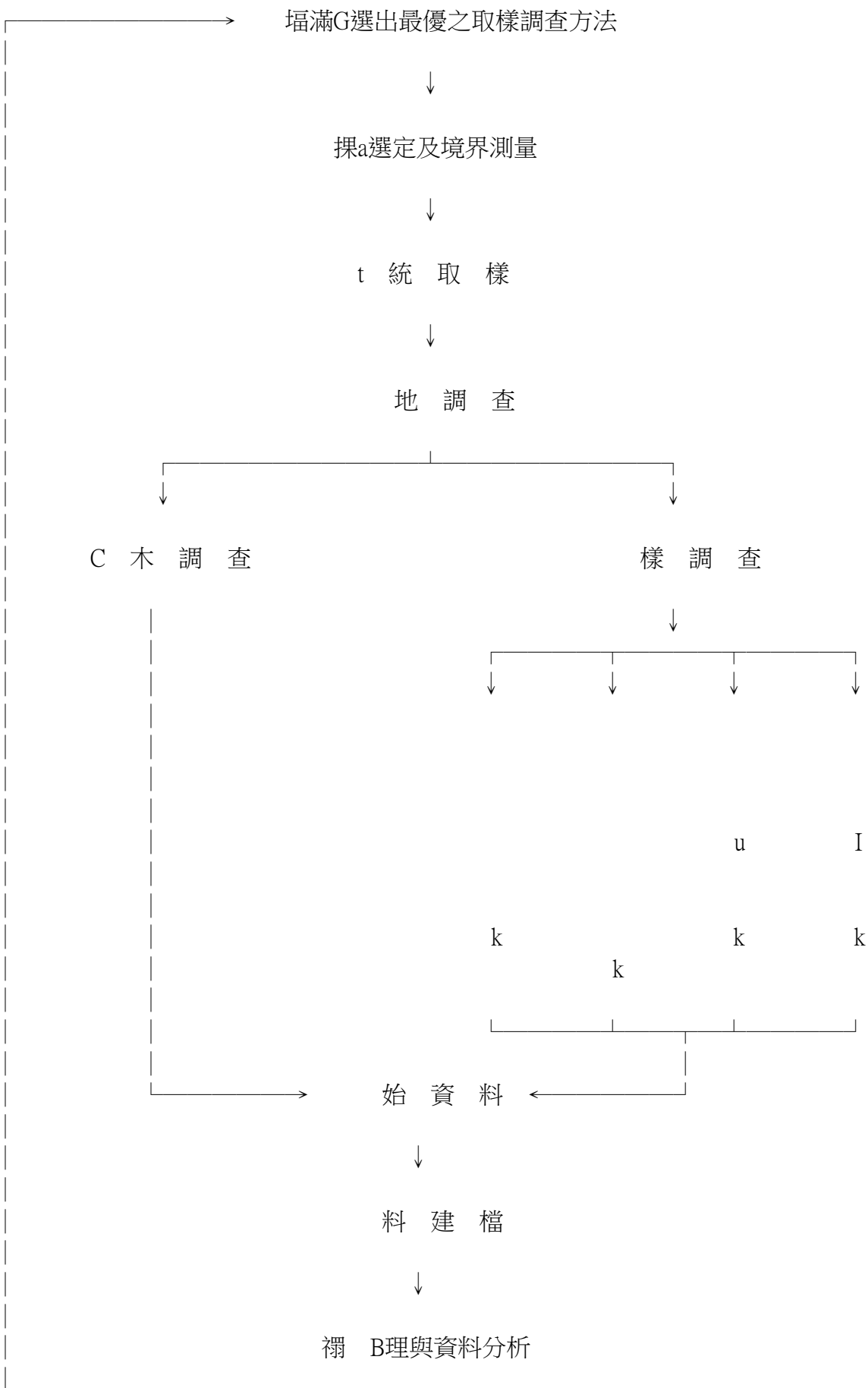




圖4-3 研究方法之流程圖

四、結果與討論

(一)結果

固定樣區每ha株數與胸高斷面積和，是利用樣區中所測得之株數與胸高斷面積和為0.1 公頃，將其乘10後累計則為每公頃總和，而材積則需乘上樹高加以累計之（代入公式 1 ， 2 ）。無邊樣區每ha株數由平均面積可求得單位面積內的林木株數。將林木的的單株平均胸高斷面積乘以密度，亦得每ha胸高斷面積總和（代入公式 3 ， 4 ）。

。

(1).主觀分析:

表4-2：主觀分析一覽表

材積 結果	項目	株數			胸高斷面積			
		C木調查	阮奘擎滌	+ - 差值	C木調查	阮奘擎滌	+ - 差值	C木調查
k 林區的值	阮奘擎滌	+ - 差值	林區的值		林區的值			
	圓形	3770	4776	+ 1006	463.57	493.21	- 29.64	5434.02
	4910.60	- 532.42						
	長方形	3770	5372	+ 1602	463.47	462.69	- 0.78	5434.02
4406.90	- 1027.12							
樣線	3770	5800	+ 2030	463.47	584.18	- 120.71	5434.02	
6675.35	+ 1241.33							
樣點	3770	6674	+ 2904	463.47	582.12	- 118.65	5434.02	
6261.74	+ 827.72							

由表4-2得知，如果以實際的樣區推估值來比較何種方法最接近真值，則以圓形樣區法無論在材積推估或株數推估方面較優，材積推估方面則以樣點法次之，株數推估方面則以長方形之次之，而在胸高斷面積推估方面以長方形與圓形較優，其餘較差。大體而言，以圓形推估值最接近真值。

(2).客觀分析: (A:言其精密度,B:言其精確度)

A:由樣本間變異係數百分比,而求得不同方法中取樣精密度,何者為優,如表4-3所示。

表4-3：客觀分析變異係數百分比一覽表

項目 結 方 果 法	變 異 係 數 (%)		
	株 數	胸 高 斷 面 積	材 積
圓 形	24.76	35.13	44.72
長方形	22.43	23.29	33.66
樣 線	28.29	22.16	36.65
樣 點	59.58	28.06	30.25

由表4-3得知，就樣本間取樣精密度而言，在株數方面，以長方形與圓形的精密度較高。在胸高斷面積方面，以樣線與長方形的精密度較高。在材積方面，以樣點與長方形的精密度較高。大體而言，以長方形的精密度較佳。

B:由樣本理論值與族群真值，以兩族群均數比較的擬說測驗，來分別比較每木調查與四種方法兩者間差異之顯著與否，來評定何種方法最接近真值，而求得不同方法中精確度何者為優，如表4-4所示。

表4-4：客觀分析虛無擬說 t 值分析一覽表

材	項目	株	數	胸	高	斷	面	積
結	果	積						
k	t 值	<=>	()=2.576	t 異	<=>	()=2.576	t 異	<=>
()=2.576	t	異						
圓形	4.424	>	2.576	汀差	1.016	<	2.576	顯著
2.576	奶?差							1.239 <
長方形	6.915	>	2.576	汀差	0.425	<	2.576	奶?差
2.576	顯著							3.598 >
樣線	6.432	>	2.576	汀差	4.734	>	2.576	顯著
2.576	著							2.637 >
樣點	3.796	>	2.576	汀差	3.775	>	2.576	著
2.576	顯著							2.271 <

註：t 值之自由度為無限大時，查 t 分佈機率表：得 $t_{0.01(\infty)}=2.576$

由表4-4得知，就株數而言四種方法皆被擬說測驗所棄卻，結論差異皆為極顯著。就胸高斷面積而言，以圓形與長方形被擬說測驗所採納，差異無極顯著，表示此兩種方法所推估的值在精確度方面較優。就材積而言，以圓形與樣點被擬說測驗所採納，差異無極顯，表示此兩種方法所推估的值在精確度方面較優。其與者皆被擬說測驗所棄卻，顯示差異極顯著。大體而言，以圓形的精確度較佳，其次是長方形與樣點。

(二)討論

1、

- (1)由表4-1得知各樣區推估的值差異甚大，吾認為是因此地為天然林且林木分佈非均質性，由4-1樣區無喬木皆為灌木而被棄卻，可証明吾上述之結果，在表4-3中株數的擬說測驗差異極顯著。
- (2)在表4-4的擬說測驗中固定樣區的圓形樣區法與長方形樣區法，有很大之差異，吾推測原因在於，前者在非均質性樣本中較能取得機率性樣本，而得較優之族群樣本代表性。
- (3)由表4-3與表4-4得知，樣本間取樣的精密度高，並不能代表其精確度一定高，原因於上述一點非常吻合。
- (4)無樣區法中水平樣線與樣點在擬說測驗 t 值檢定的計算過程中 s^2 需將材積以平方和累計，而無樣區法的胸高斷面積是隨 B A F 的大小而改變，且影響入選株數的多寡，而造成較大的變異範圍。
- (5)在樣區取樣設計採用系統取樣，對一林木個體分佈非均質性的地區，可能造成取樣的誤差甚顯著，亦造成天然林與人工林推估時產生不同的差異。
- (6)在樣線取樣法與樣點取樣法材積推估時的每公頃平均材積值有偏高的現象，尤其是樣線取樣法最明顯，可由表4-1、表4-2、表4-3、表4-4得知。且此次的結果與第二次森林資源調查結果偏高的現象非常吻合。

2、變徑取樣與固定面積取樣法比較

Bitterlich 1947引進變徑取樣 (variable radius) 或樣點 (point sampling)，由於不需量樹的直徑，僅以稜鏡 (prism) 或角距儀 (angle gauge) 計數即可 (Grosenbaugh, 1952)。比較變徑取樣與固定面積 (fixed-area sampling) 於連續資源調查 (successive or continuous forest inventories) 的應用，發現變徑取樣於推估現有林木大小屬性 (current attribute) 每公頃的斷面積時相當有效，但此優勢於推估屬性改變上 (即生長變化上) 則消失。

圓形取樣法於過去連續資源調查上常使用 (Ware and Cunia, 1962)

樣點法之問題

邊際木 (borderline trees) 一直是使用樣點法所關切，Ecide and Troxell (1979) 與 Wiant et al (1984) 認為失算林木數 (missing trees) 隨樣點與樹間距離增面積，所以建議使用大的 BAF 以減少邊際的失算數。Grosenbaugh, 1952) 和 Soloman (1975) 亦發現使用小的 BAF 會低估 Beers (1962)、Roesch et al (1989) 使用樣點法去推算改變的組成的提出。

新增林木並非皆是晉級生長 (ingrowth)，有的是 nongrowth 樹。

林木株數（擴展因子**expansion factor**）會隨著存留林木而改變。
兩次調查的組成改變的總和量不等。

(一)**nongrowth (or ongrowth)**

所謂**nongrowth**樹即林木在第一次調查時已超過商用材，但沒有被稜鏡或角距儀選進，第二次調查時則被選進之林木株數。

Van Deusen et al (1986) 利用直徑生長模式來區別**nongrowth**和真實晉級生長，林木包括存留木生長目前的材積。

Roesch et al (1989) 則於推估生長中特將**ongrowth**納入。

(二)選擇擴展因素 (expansion factor) 應用於存留木

Myers and Beers (1968) 建議用先前使用之擴展因子

Van Deusen et al (1986) 則建議以新的擴展因子來推估目前林分屬性，以以前的擴展因子來推估以前的林分屬性，再相減以獲得生長量。此法對存留木可能獲得負的生長推估，但卻包括所有nongrowth tree的目前材積量，而不僅僅是生長而已。Roesch et al (1989) 只使用目前的擴展因子來推估存留木與non-growth木之過去與現在屬性。

一、比較取樣設計的方法 (Methods of comparing sample designs)

比較取樣設計的良窳以(一)相對精確度 (relative precision)，不考慮成本 (二)相對效率 (relative efficiency)。

其實許多研究得知，特殊的取樣設計的相對精確度與野外狀況有密切關係，(Grosenbaugh & Stover 1957, Solomon 19785)，且證實樣點法可獲精密的推估結果 (accurate results)，但則少提供那個取樣法則最有效率 (cost-effective)。

相對效率可由 固定成本的變異比例 (ratio of variances)

固定精確度的成本比例 (ratio of costs)

相對效率則應用成本函數，許多研究皆直接由特定取樣設計的調查成本做比較 (Avery and Newton 1965, arrett and Carter 1968)，Stage (1958) 則提供固定樣區面積大小 (plot size) 和不同BAF間的圖，Banyard (1976) 選擇以固定成本選擇固定樣區和樣點大小，所以樣本林木數是相等。

許多研究是使用成本函數 (cost function) 去描述野外調查狀況 (Nyyssonen and Kilkki 1965, Nichols 1980, Scott 1981a Scott et al 1983) 當成本函數與樣區變異 (精確度 plot variability, precision) 有關時，即可獲得適當的樣區設計，亦可定出在某個精確水準下成本最少或固定成本下變異最少。

(一)成本函數 (cost functions)

單一成本函數通常包括所有成本 (overhead costs) 和每個樣本成本乘以樣本數，其他研究包括樣區間移動的成本，為族群內樣本密度的函數(Jessen 1942, Humphreys 1979)。

在集團取樣 (cluster sampling) 裡，Hansen et al 1953首先提出簡單的成本函數，在林業研究中則Anagnostopoulos (1966) 和Scott (1981a) 在集團取樣當中提供較為詳盡的成本函數。

Scott (1981a) 則以集團的實際調查成本與變異 (variation) 為集團取樣設計變數的函數建立模式，而這些集團取樣設計變數為 每集團的樣本數 (m) 樣本間的平均距離 (d) 每個樣本的大小 (Z)。

(二)精確度模式 (precision models)

或許Smith (1938) 是首先建立取樣設計性態值的變異 (variability) 模式，此種模式型態廣泛應用於森林(Freese 1961, Ziede 1980, Wiant and Yandle 1980, Nyyssonen et al (1971) 和Scott (1981a) 則擴展應用Smith's模式型態另加其他集團取樣設計因子。

(三)最適化 (optimization)

許多研究者使用最適化技術 (optimization techniques) 來確定成本效率 (cost-effective) 取樣設計。

理論方法 (theoretical methods)

O'Regan and Arvanitis (1966) 以精確度為限制條件之最小化成本, Sukwong et al (1971), Matern (1972), Oderwald (1975, 1979, 1981), Ranney (1980) 和 Martin (1983) 使用類似的數學技術但成本固定。但其引進族群的性態值, 如空間分布 (spatial distribution) 於精密度模式來做結果一般化的應用。

Gambill et al (1985) 提供不同族群大小、變異係數 (coefficient of variance) 和影響時間, 當成本和精密度模式變得更複雜時, 則引用LP為最適化技術 (Hazard & Promnitz 1974, Hazard 1976, Marshall and Nantiyal 1980, Morris 1981), 其他尚有使用 Monte Carlo Simulation techniques, 另外亦有提供不需野外調查 (外業) 而以真實或模擬樹幹圖 (Stem map) 來進行測試許多取樣設計。(如 Kulow 1966, Arvanitis & O'Regan 1967, 1972, Kaltenberg 1978)

二、比較目前推估值

現有林況性態值推估時之比較

Joshin and Tomar (1976) 發現即使需要許多以 1m³/ha BAF 的樣點法取樣也比 0.05~0.125ha 的固定樣區取樣法更有成本效率。

Banyard (1976) 在熱帶雨林斷面積推估的研究上, 發現樣點法是固定樣區取樣法效率的 2.78 倍, 他亦發現除了最小直徑級以外, 其他所有在林分表的資料皆以樣點法推估較為理想, 究其原因, 係由於較大樹有較多被取樣的機會。

Kulow (1966) 建議以斷面積推估時, 以 10 BAF 樣點法比固定樣區來得好。

Barrett and Carter (1968) 發現在材積推估上以 20 BAF 樣點法較 1/10 acre 的固定樣區法來得較有效率, 約為高出 67~98% 的效率。

Avery and Carter (1968) 發現 1/10 acre 的樣區法與 10 BAF 樣點法在 Georgia 谷地闊葉樹研究上有相同的效果, 但於天然松類林分則以 1/10~1/20 acre 樣區法較有效率。

Payandeck (1974) 於北方安大略 (northern Ontario) 研究中發現:

大部分的針葉樹林皆是團聚狀 (highly clustered)。

大部分的闊葉樹林呈逢機分布 (randomly distributed)。

天然林分均勻分布 (uniformly distributed) 者相當稀少。

Martin (1983) 若所興趣的屬性與斷面積無關或負相關則固定樣區一般是較精確 (precise) (如 Oderwald 1975, 1979, 1981), 其研究提供在逢機 (random) 或團聚 (clustered) 空間分布的 critical coefficient of correlation 的式子, 與斷面積愈相關則 critical value 愈大, 亦即樣點取樣法愈有效率。Oderwald (1981) 在群聚 (clumped) 和逢機 (random) 空間分布型態 (spatial patterns) 樣點法較樣區法精確, 但在方格型態 (square lattice pattern) 則樣區法較精確 (precise)。

依 Payandeck 的觀察結果, 吾人可提出樣點取樣法在天然林分應用上較精確, 人工林分則以樣區取樣法較精確, 但 Avery and Newtown (1965) 並不支持此論點。

性態值改變程度推估之比較

Martin (1983) 於生長推估量 (growth estimators) 的相對精確度, 其結果應用於目前性態值狀況的推估亦有相同的效果。固定樣區與樣點法的相對精確

度是依其空間分布和所探討性態值與斷面積（BA）的關係程度而定。

Arvanitis and O'Regan（1967）使用模擬技巧來比較固定樣區法和樣點法在現有林木株數的推估，晉級生長的林木株數、現有斷面積和斷面積粗生長（gross）（即晉級生長加存留木生長 accretion）。

倘若吾人設定樣點法與樣區法的量測成本相同，則固定樣區法在除斷面積以外的屬性（性態值）推估上皆較為有效。

Arvanitis and O'Regan（1967，P149）發現以樣點取樣法推估粗斷面積生長時，林木株數比斷面積更有關係。

Scott and Alegria（1983）發現固定樣區在晉級樹木的斷面積推估上較有效，但斷面積生長（basal-area accretion）推估上則以樣點法來得有效。

Ranneby（1980）繼續Matern's（1972）在推估斷面積上的研究，則發現樣點法在斷面積生長上的推估較斷面積現況推估來得無效。這種效率減少趨勢在設伐採之林地是確切的。在推估移出（removal）量上，如樣點法推估斷面積現況的效率一樣。

Scott and Alegria的實證研究記分與Ranneby的描述一致。

Scott and Alegria發現移出量的推估以樣點法較有效，但斷面積生長的相對效率則沒有斷面積現況推估來得好。

結論

在連續資源調查的永久樣區 (permanent plots) 設立上，樣點取樣法的實際應用問題，可由選擇適當和有效的生長推估值來解決。

許多固定樣區與變徑取樣法的比較往往忽視成本，亦有許多研究只有針對斷面積現況的推估。我想吾人更需努力於利用數學或數量最適化技術 (mathematical and numerical optimization techniques)，來找尋成本/效率 (cost-effective) 的最佳設計。當然必須考慮以各種不同直徑大小、不同林分屬性在不同的空間分布 (spatial distribution) 下之現況或改變量為對象。

			現況 (總量)
不同空間分布—不同直徑大小—不同林分性態值			
	分布		改變量 (生長量)
random		Nt/ha	
cluster	(μ, Γ)	BA/ha	
clump		V/ha	
uniform			

一般而言，固定樣區在林木株數現況的推估上較有效。

樣點法在斷面積和材積之現況推估上較為有效，樣點法的有效優點在斷面積、材積的生長量推估上減低林木株數的改變，斷面積、材積的晉級生長量上，固定樣區法較為有效。

所以採用何種取樣方法，則應以所希望推估屬性的種類—株數、斷面積材積之現況值或改變量值的相對重要性而定。

Sukwong et al (1971)，Matern (1972) 認為在相同精密度下固定面積取樣法所量測的林木數總數樣點法來得多。

Oderwald (1981) 亦認為在直徑範圍廣的情況下樣點法最佳。

John (1964) 認為樣點法在推估覆蓋型 (cover type) 較佳。

Lindsey (1956) 認為樣點法在密度推估上不佳。

Lindsey et al (1956) 認為樣點法在密度與斷面積上不佳。

0.1ha~0.125ha之固定樣區最有效

O'Regan and Arvanitis (1966) 固定面積之取樣法在株數推算較佳，樣點法則在B斷面積推算上較好。

三、改變組成的推估 (components of change estimation)

連續調查時改變的組成 (components of change) —晉級生長 (ingrowth)、生長 (surviving growth accretion)、枯死量 (mortality) 和移除 (removals)，只可能由可判定每株林木位置的永久樣區求得 (Beer, 1962)，此組成可由應用於不同屬性，如株數、斷面積、每公頃材積。

固定/變動面積取樣法比較

(一) 林木年齡及其平均株數均能影響株數因子之取樣方法。

(二) 各林齡之變動樣區取樣法皆優於固定樣區取樣法，主要因為變動樣區取樣法之取樣率與其取樣對象之大小成比例，亦即一般森林調查上所稱之 P.P.S. 取樣 (Sampling with probability proportional to size, P.P.S.)

，其取樣基礎最為穩固。

(三) 固定樣區取樣法三種調查因子取樣結果所得之變異係數，林齡相同之時，皆隨樣區面積之增大而減少，蓋因較大樣區所包括之林木株數較多，致使樣區間之變異減低。又當樣區面積相同時，各因子之變異係數皆隨林齡而

增大。柳杉人工林但從49年生到64年生者之增大率降低，甚至亦有減小者，主要因為柳杉在台灣之生長，達到35年生以後即趨向緩慢，林木間之變異較小。

- (四)就林木株數而言，固定樣區取樣法優於變動樣區取樣法，但就林木胸高斷面積及材積而言，則變動樣區取樣法優於固定樣區取樣法。
研究結果顯示，調查林木斷面積或材積時宜採用變動樣區取樣法，而調查林木株數時則應採用固定樣區取樣法。然而若同時調查株數、斷面積及材積，尚無一種取樣方法可以同時滿足此三項調查因子之要求。Wensel氏認為此時應該考慮目標之優先順序，以優先順序高之目標為主，以決定所應採用之取樣方法。例如由本研究之結果得知，當偏重林木材積時，應採用變動樣區取樣法，若偏重林木株數時，則以採用固定樣區取樣法為宜。
- (五)林分年齡愈老時，使用固定樣區取樣時應該採用較大之樣區，而使用變動樣區取樣時應該採用較大之斷面積係數。
- (六)兩種取樣方法三種調查因子在各年齡之擴張途徑，皆為一由左下至右上走向之曲線，顯示若欲得到較大之精密度（亦即較小之W值），則樣區面積或斷面積係數之倒數需要增大及樣區或樣點之個數亦要增多，同時其最小調查費用亦隨之增高。

五、結論與建議

- (一)總括上述比較之結果以圓形樣區取樣調查方法，無論在株數、胸高斷面積或材積推估方面為精確度最優的取樣調查方法，其次是水平樣點取樣調查方法與長方形樣區取樣調查方法，而水平樣線取樣調查方法較差。但就精密度而言，則以長方形樣區取樣調查方法最優，其餘次之。
- (二)當森林的林分性態質分佈呈均勻隨機分佈時，則取樣的結果可達較高的精密度。
- (三)由於九個樣區所估的株數、胸高斷面積、材積差異均甚大，所以九個樣點之間為不均質。而四種取樣方法所估的株數、胸高斷面積、材積差異亦甚大，所以吾建議利用地理因子之不同，對取樣地點產生取樣推估值變化之變數，來改良取樣調查後之株數與材推估值，以提高精確度。
- (四)就樣點取樣法與樣線取樣法而言，在取樣的設置、株數、方法較為簡捷，調查時省時省力為其優點。但各組調查的結果彼此的差異較為懸殊，所以宜多設測點調查，以提高精密度與精確度。

附錄 水平樣線法與水平樣點法

- 一、水平樣線取樣法與水平樣點取樣法的差異為取樣時各樣木入選之機率，水平樣線取樣法與樣木胸徑呈正比例，水平樣點取樣法則與樣木胸徑之平方呈正比例。水平樣線取樣法估算胸高斷面積時需量測其樣木之胸徑，而水平樣點取樣法只須計數入選之樣木株數即可。
- 二、水平樣線取樣法之基本觀念與應用公式之推演：
本段之導算公式以公制(metric system)單位為準。
 - 1.角距常數(gauge constant) (K)：
某一林木胸高處之中心點(P)至取樣點(C)之水平距離 (R；(m)) 與該林木胸徑 (DBH；(cm)) 之比例值為一常數，稱為角距常數(K)，即

$$\text{設 } K = \text{DBH}(\text{cm}) / R(\text{m}) = \text{DBH} / 100R$$

如自C向圓P引二切線，此二切線之夾角為 θ (如附圖4-1)，則依三角函數及切線之關係知：

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{\text{DBH}/2 (\text{cm})}{R(\text{m})} = \frac{\text{DBH}}{200R}$$

附圖4-1 角距常數及臨界木

$$\therefore K = \frac{2 \sin \theta}{2}$$

當臨界被定角 θ 檢視時，倘恰與 θ 角之兩邊相切時，稱此樣木為臨界木 (borderline tree)。臨界木之觀念為可變樣區取樣法各項推演之基礎。

2. 胸高斷面積指數 (basal area factor) (BAF) :

單位面積內樣木所代表之樣區面積與其胸高斷面積之比例值，稱為胸高斷面積指數 (BAF)。

令單位面積為 1ha，

$$\begin{aligned} \text{即 BAF} &= 1 \text{ha} * \frac{\pi (\text{DBH}/200)^2 (\text{m}^2)}{\pi R^2 (\text{m}^2)} \\ &= 10000 \text{m}^2 * \frac{\text{DBH}^2}{4 * (100R)^2} = 2500 * \left(\frac{\text{DBH}}{100R} \right)^2 \\ &= 2500 K^2 \\ &= 10000 \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (\text{m}^2/\text{ha}) \end{aligned}$$

令 BAFSQF 表為 BAF 之平方根絕對值，

即 BAFSQF = 50K

$$= 100 \sin \theta / 2$$

3. 水平樣線取樣法每一胸徑階林木所代表之樣區面積 (A)

某一胸徑階林木所代表之樣區面積為主線 (sampling line) 長度與樣區寬度之乘積；以 L 表示主線長度 (line length)，以 W 表樣區寬度，而依臨界木觀念，得知 $W = 2R$ 。因此如附圖 4-2：

$$\begin{aligned} A &= L(\text{m}) * W(\text{m}) \\ &= 2 * L * R (\text{m}^2) \end{aligned}$$

附圖4-2 臨界木及其所代表之樣區

4. 林木係數(tree factor) (ft) :

單位面積內某一胸徑樣木應有之總株樹比例值，稱為林木係數(ft)，或稱為林木擴大係數(tree expansion factor)、林木換算係數(conversion factor)；令單位面積為1ha，即每一樣木所代表之每公頃林木株數(ft)

$$\text{即ft} = 10000(\text{m}^2) / A(\text{m}^2) = 10000 / 2 * L * R$$

因為 $K = \text{DBH} / 100R$ ，則 $1 / 2 * R = 50K / \text{DBH}$ ，代入上式得：

$$\begin{aligned} \text{ft} &= 500000K / L * \text{DBH} \\ &= 10000 \text{BAFSQF} / L * \text{DBH} \end{aligned}$$

5.單位面積林分之胸高斷面積總值(basal area) (BA) (m²)

設1ha單位面積林分中有n個胸徑階，每一胸徑階之林木有f_i株，則1ha林分之胸高斷面積估值為：

$$BA=f_1 * \pi /4 *(DBH_1/100)^2+f_2 * \pi /4 *(DBH_2/100)^2+.....+f_n * \pi /4 *(DBH_n/100)^2$$

$$= \frac{\pi}{4} * \sum_{j=1}^n f_j *(DBH_j/100)^2$$

若某一胸徑階林木在水平樣線取樣法中被角距常數K測計之樣木株數為Z_i，則

$$f_i=Z_i * f_t$$

$$\text{則} BA= \frac{\pi}{4} * \sum_{i=1}^n f_i * f_t *(DBH_i/100)^2= \frac{\pi}{4} * \sum_{j=1}^n f_j * \frac{500000K}{L} * DBH_j *(DBH_j/100)^2$$

$$= \frac{\pi}{4} * \frac{500K}{L} * \sum_{i=1}^n f_i * DBH_i$$

$$= \frac{\pi}{4} * \frac{BAFSQF}{L} * \sum_{i=1}^n f_i * DBH_i$$

6.單位面積林分之胸徑總值(diameter sum) (DS) (cm)

同上述5.之假設，則1ha林分之胸徑總值為

$$DS=f_1 * DBH_1+f_2 * DBH_2+.....+f_n * DBH_n= \sum_{i=1}^n f_i * DBH_i$$

$$= \frac{500000K}{L} * \sum_{i=1}^n f_i$$

$$= \frac{10000BAFSQF}{L} * \sum_{i=1}^n f_i$$

7.單位面積林分內之立木材積總值(volume) (V) (m³)

同上述5.之假設，則1ha林分之立木材積估值為

$$V = f_1 * V_1 + f_2 * V_2 + \dots + f_n * V_n = \sum_{i=1}^n f_i * V_i$$

$$= \sum_{i=1}^n Z_i * f_i * V_i$$

(1)用胸高形數(F)來推算立木材積，即 $V_i = F_i * \frac{\pi}{4} * (DBH_i / 100)^2 * H_i$ ，則

$$V = \frac{\pi}{4} * \frac{50K}{L} * F * \sum_{i=1}^n i * D_i * H_i$$

$$= \frac{\pi}{4} * \frac{BAFSQF}{L} * F * \sum_{i=1}^n i * D_i * H_i$$

(2)用材積—胸高斷面積比率(volume-basal area ratio) (V-BAR)來推算立木材積，即 $V_i = BA_i * (V-BAR)$ ，則

$$V = (V-BAR) * \frac{\pi}{4} * \frac{50K}{L} * \sum_{i=1}^n i * DBH_i$$

$$= (V-BAR) * \frac{\pi}{4} * \frac{BAFSQF}{L} * \sum_{i=1}^n i * DBH_i$$

8.疑木 (questionable trees)、被遮木 (hidden trees)、近臨界木 (near-borderline trees) 之判定

判定疑木、被遮木、近臨界木是否為樣木時，宜量測其胸徑、該林木至主線之最短水平距離(以HD表示)，再依該胸徑換算所得之虛圓半徑與該最短水平距離比較而確定。

依角距常數之定義，可換算某胸徑之虛圓半徑如下：

$$K = DBH / 100R \quad \therefore R(m) = DBH(cm) / 100K$$

$$\text{或 } R(m) = DBH(cm) / 2BAFSQF$$

附圖4-3 林木入選為樣木之判定

- 若(1) $HD < R$ ，則該林木被計數為1株樣木(如附圖4-3)
(2) $HD = R$ ，則該林木被計數為0.5株樣木
(3) $HD > R$ ，則該林木不為入選之樣木

(REFERENC.CWI)

參 考 文 獻

- 1、吳英陵 1982 薩爾茲堡林班地林木材積調查先驅研究及其在台灣應用之可能性探討 航空測量及遙感探測第六期pp.10~53.
- 2、吳萬益 1977 台灣全省森林資源調查之評價 台灣大學森林學研究所碩士論文 p.61~66.
- 3、吳萬益 1977 臺灣全省森林資源調查之評價 臺灣大學森林研究所碩士論文 116pp
- 4、吳萬益 1977 臺灣全省森林資源調查之評價 臺灣大學森林學研究所碩士論文 116PP.
- 5、林子玉、伍木林、林銘輝 1987 可變樣區調查法與圓形樣區調查法之比較研究 國立中興大學農學院實驗研究報告第二號印行 p.130-149
- 6、林子玉 1991 國有林事業區經營計畫綱要解說 行政院農委會印p.1~8.
- 7、林子玉、馮豐隆、林婷慧 1993 利用航測調查及地面調查之雙重取樣資料改進材積的推估研究 國立中興大學森林系及林務局森林企劃組印行 p.1-57
- 8、林子玉 1993 森林資源調查 中華民國臺灣森林志 中華林學會編印 p.103-135
- 9、林務局 1974 臺灣森林及土地利用航測調查工作手冊 臺灣森林及土地利用航測調查隊編印 p.1-84
- 10、林務局 1978 臺灣之森林資源及土地利用 林務局編印 p.1-91
- 11、林務局 1978 林務局森林調查手冊
- 12、林務局 1981 第三次全省森林資源及土地利用調查工作手冊 林務局森林企劃組編印 p.1-135
- 13、林務局 森林經營計劃檢訂調查綱要 森林經理組調查課編
- 14、林務局 1982 臺灣森林資源之連續調查報告 p.1-56
- 15、陳英彥 1991 臺灣全省三次森林資源之探討 p.1-13
- 16、陳英彥 1992 整合森林資源調查與檢定調查可行性之探討 p.1-14
- 17、陳繁首 1981 臺灣林業經營管理 林務局編印 p.1-21 .
- 18、陳正義 1983 台灣森林資源調查方法論 台灣林業9(2):18~20.
- 19、陳明義、蔡進來 1980 無樣區取樣法調查喬木層植被之比較 中華林學季刊 13(2) p.29-39
- 20、游星輝 1983 森林資源經營實務 金銘圖書有限公司 p.166~216.
- 21、曾清涼 1990 全球定位系統衛星導航及定位測量 遙感探測第12期 pp.37-71 .

- 22、焦國模 1990 遙測技術在森林資源調查上之應用 航空測量及遙感探測第18期 pp.1-30. 第十號 51PP .
- 23、葉楷勳 1993 當前重要林業問題之探討 林務局森林企劃組 p.1-6
- 24、馮豐隆 1993 森林測計學講義 中興大學教務處印 chap11-12
- 25、葛錦昭 1975 台灣森林資源調查及經營 台灣林業1(11):1~2.
- 26、楊榮啟、汪大雄 1979 固定及變動樣區取樣模擬在台灣大學實驗林森林取樣上之應用 中華林學季刊12(9) p.39-68
- 27、楊榮啟 1979a 森林經營上之綜合資源調查 台灣林業5(6):1~3.
- 28、楊榮啟 1979b 當代森林調查方法之探討 台灣林業5(2):5~12.
- 29、楊榮啟 1980 森林測計學 黎明文化事業公司 p.439~459.
- 30、楊榮啟 1980 森林測計學 國立編譯館主編 p.167-316
- 31、楊榮啟、魯先智 1980 根據水平樣線取樣法所設永久樣區測計林木生長量之研究 台灣林業6(11) p.3-9
- 32、楊榮啟、魯先智、王兆恆 1983 水平樣線取樣法在森林資源調查上的應用 台灣林業9(10) p.23-27
- 33、楊榮啟 1984 談森林資源調查 臺灣林業10(9): 13-20
- 34、楊榮啟、趙士琳 1984 使用永久變動樣區推算林木生長量方法的研究 台灣林業 10(4) p.4-10
- 35、楊榮啟 1984 談森林資源調查 臺灣林業10(9) : 13-20 .
- 36、楊榮啟 1986 台灣森林資源調查及測計技術發展史 台灣林業 12(7):21~27.
- 37、楊榮啟 1986 水平樣點法與樣在森林資源調查應用上的比較 中華林學季刊9(4) p.1-10
- 38、楊榮啟、焦國模 1987 森林資源調查方法之回顧及展望 台灣林業13(8): 1~14.
- 39、楊榮啟 1987 森林生物統計學 國立編譯館主編 p.117-392
- 40、楊榮啟 1988 森林資源調查的理論與實際 86pp .
- 41、楊榮啟 1988 森林資源調查訓練手冊 林務局六龜訓練所
- 42、楊榮啟、林文亮 1991 森林多元化資源調查及多目標經營計畫 森林資源與經濟論文集 pp.32~44.
- 43、楊寶霖 1988 固定半徑之圓形樣區取樣法與簡單逢機取樣法之比較 台灣林業 14(10) p.23-28
- 44、楊寶霖、林永煥 1961 空中照片判釋用林分材積表(一) 農林航空測量隊叢刊第四號 39PP .
- 45、楊寶霖、石子材 1963 空中照片判釋用林分材積表(二) 農林航空測量隊叢刊
- 46、楊寶霖 1983 森林調查學 台灣商務印書館印行 p.6~9.
- 47、楊寶霖 1983 森林調查學 臺灣商務印書館印行 p.1-199 .

- 48、管立豪 1991 第三次全省森林資源及土地利用調查工作介紹 臺灣林業
17(10)：23-28 .
- 49、廖州源 1985 日本之森林經營計畫檢訂調查及編案 臺灣林業11(1):14
~21.
- 50、廖閱郎 1974 森林資源調查上線形樣區在台灣之應用 45PP.
- 51、劉慎孝 1976 森林經理學 國立中興大學農學院森林經理學研究室
p.508~678.
- 52、鄭祈全、周朝富 1991 森林資源調查多層取樣設計之研究 遙感探測第14期
pp.18-40.
- 53、戴廣耀 1963 畢特立希氏胸高斷面積測定儀之原理與應用 台灣大學實
驗林研究報告第27號 13PP.
- 54、羅紹麟、馮豐隆 1986 臺灣第一次林相變更造林木生長情形及生長量調
查 農委會計劃報告 p.1-89
- 55、羅紹麟 馮豐隆 1986 樟樹林資源調查及其經營之研究 國立中興大學
森林系印行 p.1-39
- 56、蕭仕榮 1982 林木調查方法 臺灣林業8(4):22~28.
- 57、蕭仕榮 1985 談森林經營計畫 臺灣林業11(2):25~30.
- 58、Beer, T.W. and C. I. Miller, 1967. Polyareal Plot Sampling:
Terminology, Symbolism and Formulism. Purdue Univ. Agric.
Exp. Sta. Res. Bull. 838. 5pp.
- 59、Grosenbaugh, L. R., 1958. Point-sampling and Line-sampling:
Probability Theory, eometric Implications, Synthesis.
U.S.F.S. Southern For. Exp. Sta. Occ. Paper No. 160. 33pp.
- 60、R.W.Behan 1990 Multiresource forest management : A paradigmatic
challenge to professional forest Journal of forestry
88(4)：12-24 .
- 61、Yang , Y.C. 1981 Forest resource inventory method in Taiwan.
Proceedings , XVII IUFRO world congress , Kyoto , Japan ,
pp. 291-297.
- 62、——— 1976 Line Sampling for Forest Inventory. Purdue Univ.
Agric. Exp. Sta. Res. Bull. 934. 34pp.

臺灣森林資源調查體系之探討(一)

Studies on the System of Forest Resource Inventory in Taiwan

[摘要]

資源調查與資料分析為提供森林生態系經營、森林多目標經營所需資訊的必要途徑。其資訊的建構調查設計與分析系統更是當急之務。建立此系統大體可由三方面進行。(一)檢討過去在台灣實施過的大面積資源調查(二)在當前和未來森林經營理念下需具有那些資訊，才能進行合理的經營。(三)建立資料收集、處理、分析、應用的過程、格式與理論，並建立資訊提供中心。本研究則針對第一部分加以探討，內容分為四個單元：(一)台灣地區森林資源調查之比較探討(二)台灣全省三次森林資源調查之探討(三)整合森林資源調查與檢定調查可行性。(四)四種取樣調查方法之比較。第一單元則針對台灣曾進行過的大面積(全省性)的資源調查，如三次土地利用資源調查、檢訂調查、林相變更生長量調查、樟樹資源經營調查、連續調查，加以比較其目的、方法、結果。第二單元則僅就三次土地利用資源調查深入探討比較，更而說明未來資源調查應如何實施。第三單元則在經費、目的、調查內容上考慮森林資源調查與擬定、經營計畫之檢訂調查間整合的可行性。第四單元則單就變徑、固定面積取樣法進行比較、試驗，原則以八仙山事業區先前調查資料加以分析探討。

[Abstract]

Forest inventory and analysis are presented the essential way of forest ecosystem management and multiple use of forest. Developing system of information, sampling design and analysis procedure are the main objectives, we try to develop the system in the following steps: 1. To review the Taiwan island - wide forest inventories occurred. 2. To get to know which information are needed in reasonable forest ecosystem management. 3. To develop a data collection, data processing and analysis, procedure and build a forest information application center for presenting the schedules, format and theory of them.

In the study, we deal the first part in details into 4 units.

1. Studies on Comparisons of Forest Inventory in Taiwan Area.
2. Review of Taiwan's Three Times Forest Inventory.
3. Studies on Integrating Forest Inventory and Planning Check Survey.
4. Comparisons of Four Sampling Techniques in Forest Inventory.

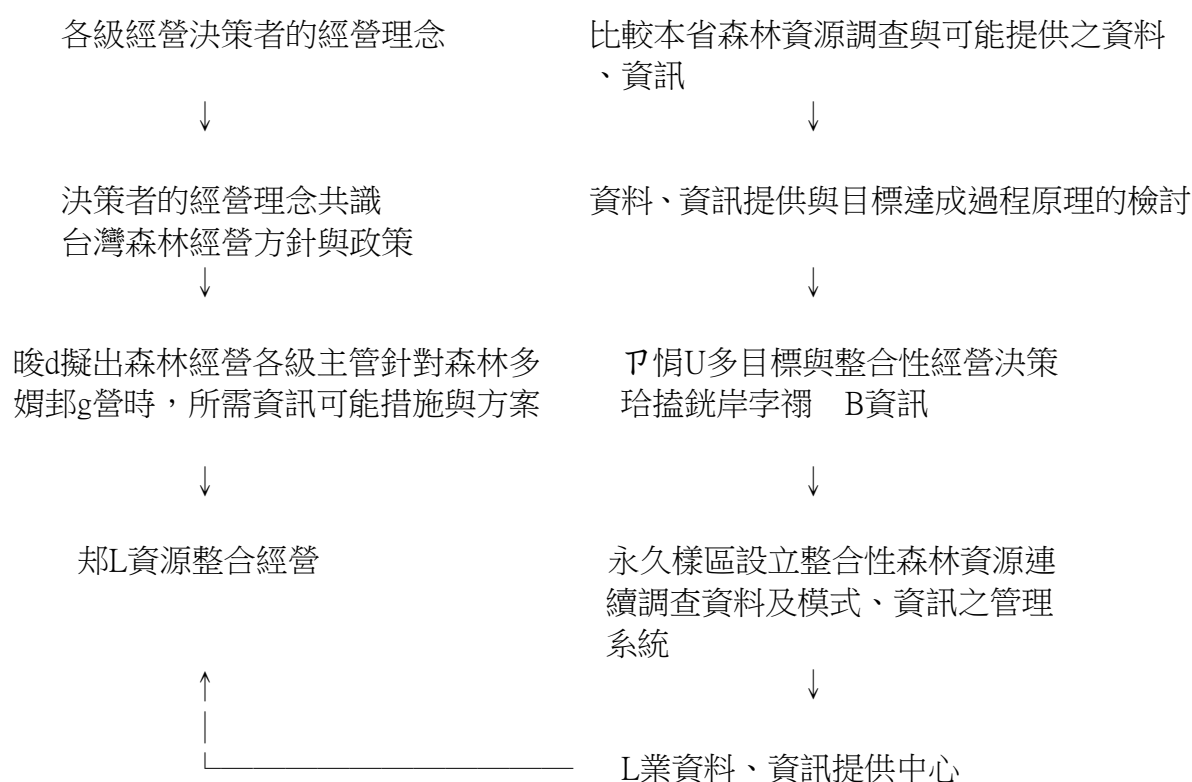
In the first units, the island-wide forest inventory, such as Land-use Survey, Planning Check Survey, Stand Conservation Growth Curusion and Canper Survey are compared and discussed in objectives method and results. In the second unit, the 3 times Land-use Survey are discussed in details and present a reasonable way of land-use survey. The third unit are about integrating the land-use survey and planning-check survey in considering objectives and survey contents, etc. The Four unit is focused on comparing the fixed area sampling techniques and variable area sampling techniques with field survey data of natural forest in Pahsienshan working circle.

一、前言：

沒有充分的資訊，如何做合理的經營決策？充分確實的資訊是現代化經營不

可或缺”。所以資訊為訂定林業政策、擬定各級經營方案、經營計畫提出與解決問題所必須的。而森林資源調查與資料分析為獲取隨時間變化或過去沒收集到資訊的必要措施。森林資源調查一般耗資甚鉅，耗時甚長，且森林生態系經營管理規劃需考慮長期性、整合性，所以亦需有長期且整合性的資料來加以分析。鑒於以往本省各種森林資源調查及生長量調查之經驗，配合森林多目標經營管理理念的演變，研擬森林多目標經營，所需的調查資料與分析過程，藉以建立整合性森林資源經營資訊提供之體系。本研究擬分三部分進行，第一部分即探討比較本省曾進行過之森林資源調查之歷史背景、目的、資料內容、分析方法、結果、展示與應用，尤其對第三次資源調查加以探討，檢討整合資源調查與檢訂的可行性；尤其藉以規劃永久樣區網。第二部分擬探討農委會、農林廳、林務局、林管處、工作站等各級經營決策者下決策與解決問題時所需資訊與調查資料，並對實施過程--取樣設計、調查項目、調查方法、建檔格式與資料分析原理方法、資訊儲存使用等問題詳加說明，建立整合性資源調查手冊規範。第三部分擬討論如何建立具有更新分析、管理森林資料與提供、發布林業資訊功能的森林資源經營管理資訊中心，以便有效地提供林業政策擬定、森林經營管理決策與問題解決之用。整個過程如圖一所示。

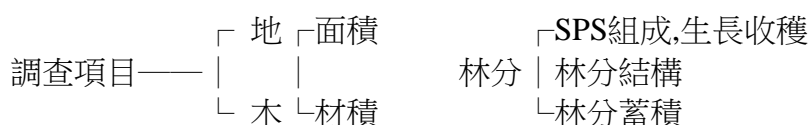
本研究思想架構為主體：



圖一. 本問題思考流程

而今年度計畫目標係比較檢討以往本省森林資源調查，藉以規劃永久樣區網完成資源調查系統或森林監測系統。

- (1)以“台灣地區森林資源調查之比較探討”文，進行收集、整理、比較以往本省森林資源調查--三次全省性土地資源調查、連續調查、檢訂調查、林相變更生長量調查、樟樹調查之歷史背景、目的、結果、展示與應用。
- (2)更對台灣省第三次資源調查加以探討資源調查之定義、歷史、調查的目的、取樣設計、調查項目、調查方法、輸入格式、資料分析方法。
- (3)探討整合資源調查與檢訂調查之可行性以及檢定調查與資源調查之整合考量。



- (4)森林大面積調查裏，取樣為最主要的考量，所以乃以四種取樣方法探討固定面積取樣法與變動樣區取樣法，於天然林中進行調查及討論變徑與固定樣區比較。
- (5)資源調查、分析與森林健康偵測系統之比較。

二、材料與方法步驟

(一)材料

- 1.全省三次資源調查，林地需186萬公頃。
- 2.八仙山事業區84林班，十個以樣線、樣點、圓形、長方形等天然林樣區，不同取樣調查之比較。
- 3.惠蓀林場、松風山五個樣區。

(二)方法

- 1.大面積森林資源調查比較，如一、二、三章其
 - (1)文獻整理—將本省森林資源調查——三次資源調查、連續調查、檢訂調查、生長量調查等調查加以探討比較。
 - (2)收集資料—第三次森林資源調查的資料。
 - (3)資料處理—將文字檔轉入DBASE III和 LOTUS 及一般文書檔以方便整理。
 - (4)資料分析—將地面樣區調查之單株林木資料進行林分結構與林分蓄積分析、並將結果累彙送至林分資料檔。
 - (5)模式比較—以第二次資源調查各林型面積林木分析方法、分析處理第三次森林資源調查之地面樣區之林分資料檔，比較分析第二次、第三次資源調查面積、材積分析方法與模式。
 - (6)結果比較說明—比較相同資料下，以不同模式、不同方法分析之結果
 - (7)考慮規劃永久樣區網
- 2.第四章之變徑、固定樣區取樣設計比較
- 3.以樣點(point sampling)、樣線(line sampling)的變徑取樣法與圓形、長方形等固定面積取樣法

本研究即針對(1)資源調查的檢討(2)固定樣區與變動取樣比較

(1)檢討以往本省森林資源調查，策勵未來並建立樣區資料查詢系統。

A.台灣地區森林資源調查比較之探討

B.臺灣全省三次森林資源調查之探討

C.整合森林資源調查與檢訂調查可行性之探討

(2)固定樣區與變動樣區四種取樣調查法之比較

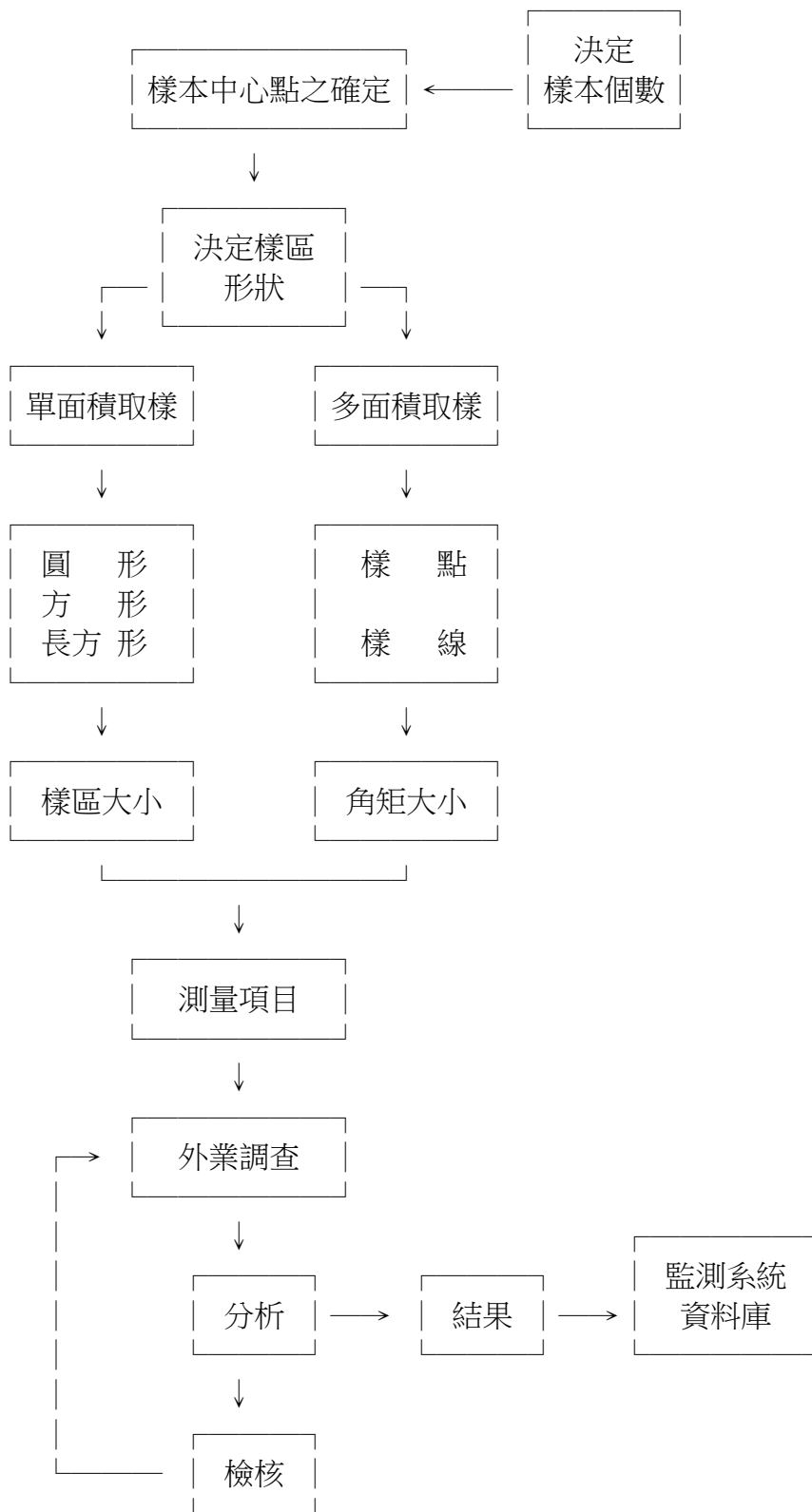
利用第三次資源調查系統取樣的地面樣區結果，進行林型分層，有效規劃建立經營永久樣區並調查分析其現況。

(3)台灣森林資源調查與監測系統建立之研究

(4)由第三次資源調查分析結果，探討林型分層在資源調查取樣設計上之應用第三次資源調整資料以一、二次資源調查方法計算之林型之面積、材積。

(5)FIA & FHMS

(6)闊葉樹研討會結果



圖三：永久樣區設立流程圖

(一)

1、取樣設計

檢討以往本省森林資源調查，策勵未來並建立樣區資料查詢系統。

(1)取樣大小(林木、林區)

(2)選點--

A.分層、雙重取樣、多階段取樣之比較

B.系統、逢機取樣

A.調查目的、範圍之比較

B.取樣調查方法之成本與精密度之比較

(a)取樣單位

(b)樣本大小 --

(c)選點--

分層、系統、逢機取樣、雙重取樣、多階段取樣之比較

(d)樣區形狀--

固定面積--圓形、長方形

變動面積--樣點、樣線

(e)樣區範圍大小 --

固定面積--面積大小

變動面積--角距(gauge)大小、距離、BAF

(2)調查項目、方法、工具儀器之比較

(a)調查表設計

(b)工具儀器選擇、使用

(c)方法技巧

(3)記載資料項目之量測尺度、尺度區劃、有效位數之比較

(4)資料建檔、處理

(a)流程

(b)工具選擇、使用

(5)調查資料分析、模式種類之應用

(a)模式建構方式

(b)模式種類—屬性、空間模式

(6)調查結果展示比較

(7)調查結果應用於經營決策與計畫擬訂之分析比較

2、利用第三次資源調查系統取樣的地面樣區結果，進行重要因子萃取與分層設計，有效地規劃建立經營永久樣區。

A.由IUFRO 4.0之"世界森林資源監測系統之研究"

B.美國森林資源調查與分析系統 (Forest inventory and analysis, FIA)

與森林資源健康監測系統(Forest Health Monitoring System, FHMS)

C.台灣森林資源調查、分析與監測系統之研究

(二)資源調查過程裡，可能發生誤差之探討

(三)各級森林資源經營管理單位決策與計畫擬訂時對資源調查之需求

(四)資源調查結果如何應用於經營決策與計畫擬訂

(五)資源調查、檢訂調查與以往大面積政策性、學術性調查之整合

1.整合森林資源調查與檢訂調查可行性之探討

2.整合資料查詢系統

(六)台灣森林資源監測系統之研究 (1992.12.6林學會)

(七)整合性森林資源(FOREST-SE)調查制度、體系之建立

1.永久樣區設立方法之研究與手冊編訂

2.三重調查資料(地面調查、航空照片、衛星遙測)整合使用與雙重取樣之探討

3.整合性資源調查設計

4.各種森林資源調查取樣設計與資料分析方法之研究與手冊編訂

5.GPS於林道、造林台帳、伐木台帳、樣區、樣木定位之應用

註:

四、八十五年計畫

(一)題目：臺灣森林資源調查體系之探討(二)

擬定生態系經營之經營決策支援系統下資源調查體系的建立並建立各有關實施執行手冊。

(二)內容：

(1)探討各級林業經營決策者的經營理念

(2)擬定台灣林業經營政策共識

(3)擷取整理林業各級主管決策時所需資訊

(4)研擬以生態保育、社會經濟為軸心之森林資源經營支援決策系統，應具備那些資訊，擬定生態系經營為目的的資源調查。

(5)彙整森林整合性資源調查之手冊規範。詳列取樣設計、調查項目、工具、儀器與方法與資料處理分析過程。

(四)預算：80萬元

(3)擬以第三次資源調查的資料，利用第二次資源調查資料分析的方法探討比較各林型之樹種組成、林分結構面積與蓄積量之分布。

(4)利用第三次資源調查系統取樣的樣區資料，進行重要因子萃取與分層，以便有效地規劃，建立及經營永久樣區。

三 · Three Classic Data Models 三個較優的資料模式

三個較優的資料模式分別是階級模式(hierarchical)、網路模式(network)及相關模式(relational)。

1.the hierarchical data model

這個資料模式的組織是一個樹狀結構，每一分枝結構的上半部稱為範圍名稱(field name)，下半部稱為資料記錄(data record)。範圍之一稱為關鍵範圍(key filed)，常為階級結構的重要組織。階級結構的頂端稱為根源(root)，再由根源分出一至多個範圍。在此階級模式中，常為多對一或一對一。資訊的取得，必須橫跨樹狀結構。每個主體只能有單一起源(parent)，不能重覆。資料模式的優點為容易標準化及更新，取得大資料庫較為迅速。缺點為相關資料難以修正及詢問；對於類似環境影響評估及地理資訊分析等，無法事先預知；無法承認多重起源。

2.the network data model

這個資料模式具有多重起源，並且不須要根源，資料記錄能夠直接查詢，不用旋轉整個體系。若網路模式無法允許多對多關係，中間關係將間接操作，稱為交點記錄(intersection record)。對於複雜的資料檔，網路模式能儲存多方面的連結資訊，並且能夠更新。當複雜的資料結構顯現時，網路模式適應複雜性的能力較階級模式好，但通融性不如相關模式。

3.the relational data model

在此模式中，沒有資料範圍的等級，每一data field皆可成為關鍵，資料儲存在一集合容量中，稱為tuples。tuples聚集在兩個次元的表格，每一表格儲存分離的檔案，並且能夠顯現包含的原因，稱之為相關(relation)。相關屬性的搜尋能夠儲存在不同表格中，而且能相互連結，這種手續稱為接合(join)。相關模式的優點為較其它模式通融性大；比較有數學原理的根據；模式的組織容易瞭解；資料庫較無不必要的重覆。主要的缺點為較困難去執行；執行能力較低；pointers及linkages深藏在資料計錄中，使模式較複雜，降低操作速度。

★query languages for the three classic data models 三個較優資料模式之疑問語

階級和網路模式都有疑問語的形式，目的是提供使用者搜尋資料之方便性。使用者必須知道等級的語言稱為程序疑問語言(procedural query languages)。不同於階級和網路模式，相關模式並沒有對疑問語的範圍作限制而且不須知道資料的結構，稱為非程序語言(non-procedural language)。非程序語言易學易進入狀況，較有利於網路系統。

四 · The Nature of Geographic Data 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)、時間(time)等。

- 1.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：經度緯度、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。
- 2.屬性—地理資料的第二個特徵為屬性。以林分為例，樹種組成、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。

- 3.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。
- 4.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。

五· Spatial Data Models 空間資料模式

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。

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；向量模式較適合圖籍且接近手繪地圖。

缺點：比網格資料結構還複雜；疊圖操作較難；高層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：the spaghetti datamodel 和 topological model 。

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，高層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：run-length encoding 及quadrees使網格屬性資料容量加大。

GIS ANALYSIS FUNCTION GIS分析功能

一· Introduction 介紹

GIS 和其它型式資料的區別是在於空間分析的功能，在GIS 資料庫中，使用空間及非空間資料的功能將有助於解決問題。

GIS 資料庫是真實世界的模型。模型通常執行分析測試不同的事件反應，並且解答問題。藉由模型分析的功能，GIS 提供執行的可能性。GIS 重要的應用是預測計劃活動的結果，它能提供價值的判斷標準並且容許交換條件，為了發現最合適的答案，我們必須尋找正確的問題。藉由GIS 的提供可將答案列為三個型態：1.現在資料的描述。2.現在資料的模型。3.不同時地資料之預測。回答問題的形式也可分為三類：1.什麼是資料。2.什麼是資料的模型。3.資料能作什麼。這些功能能做到：1.儲存及修正功能。2.限制疑問功能。3.模擬功能。問題、功能、答案這三類並不會互相排擠，每類都有一定的方向。使用GIS 的藝術和科學是為了知道如何在特殊系統中結合有利的分析功能去使用資料。

二 · Organizing Geographic Data For Analysis 分析組織的地理資料

組織 GIS能使地理資訊做最有效及便利的運用。組織形式的選擇對於資料的使用型態有影響。在地圖上，地理資訊通常組織一個主題，諸如道路、河川等，形成地圖層，每一層可分開也可套裝一起，大區域範圍常須要多張地圖。地圖本身具有儲存地理資訊的功能，能由合適的資料中選擇不同的地勢元。在 GIS中有些操作較為困難，資料 儲存及輸出是分開的。大面積細分為小單元較有利於儲存，每一小單元儲存在分離的資料檔。GIS 能提供複雜的功能確保鄰接的小單元能正確相配。

data layers 資料層

資料層包括地理特徵及其屬性。在單一資料層裏，成群的特徵能便利使用者選擇。成群的組織原則類似特徵形態。例如，道路及鐵路能結合成單一運輸資料層。資料層的組織將視 GIS軟體的限制而定。它必須更便利去儲存點、線、面的特徵。

partitioning the coverage area 分割適用面積

當GIS 操作大量的空間資料時，面積必須區分成小單位，單位的大小及形狀依賴軟體的限制。一般而言，資料庫的範圍必須界定，並且加強系統的使用及執行。範圍的界定通常使用經緯度或UTM 座標。自動管理集合是一個資料庫的操作，能夠供給類似地圖圖書館的服務。為了管理分割及再組合之資料層，地圖圖書館的功能必須包括檢查資料的一貫性、取得和更新的控制以及使用地圖輸出格式的儲存。

八、地理資料分析系統 --分析模式庫建立與應用

地理資料分析功能是地理資訊系統中最重要的一項

- A、空間資料處理(Spatial Manipulation)
- B、空間資料分析(Spatial Analysis)
- C、數值地形分析(Digital Terrain Analysis)
- D、網路分析(Network Analysis)

(一) 空間資料分析方法(NATURE AND ANALYSIS METHODS OF SPATIAL DATA)

1. IDENTIFICATION OF GEOGRAPHIC PATTERN
2. SEARCH FOR THE RELATIONSHIP BETWEEN VARIOUS FEATURES
3. EDGE DETECTION
4. DATA SIMPLIFICATION
5. FUZZY PATTERN ANALYSIS
6. SPATIAL VIDEO ANALYSIS

- A、空間資料處理(Spatial Manipulation)
 - a. 向量及方格資料轉換(Vector / cell conversion)
 - b. 座標轉換(Transformation)
 - c. 座標資料過濾(Coordination)
 - d. 近鄰分析(Proximal Analysis)
 - e. 面積/週邊計算(Area/Perimeter Calculation)

- B、空間資料分析(Spatial Analysis)
 - a.多邊形相疊(Polygon overlay)
 - b.多邊形取消(Polygon dissolve)
 - c.點在多邊形內(point in polygon)
 - d.環框/通廊之形成(Buffering/Corridoring)
 - e.視窗(windowing)

- C、數值地形分析(Digital Terrain Analysins)
 - a.等值線繪製(Contouring)
 - b.坡度/坡向計算(Slope/Aspect)
 - c.集水區分析(Watershed Analysis)
 - d.體積計算(Volume Calculation)
 - e.剖面圖製作(Cross Section)
 - f.三度空間立體圖製作(3-D Viewing)

- D、網路分析(Network Analysis)
 - a.最佳路線選擇(Optimal path Selection).....Route
 - b.流量模擬(Flow Simulation).....Allocate
 - c.時間/距離分區(Time/Distance Districion.....District

(二)空間資料統計(STATISTICS FOR SPATIAL DATA)

- 1.地理統計資料(GEOSTATISTICS DATA)
- 2.方格資料(LATTICE DATA)
- 3.點型(POINT PATTERN)

資料處理

- 邏輯分析
- 數學分析
- 幾何分析
- 網路分析
- 地形分析

九.坡度、坡向分析

利用 3 X 3 移動視窗網格(如圖8-1)，進行各網格之坡度、坡向分析，其原理如下所述：

在 3 X 3 網格中，中間網格的座標為 X，Y 其高程值為 e。而 a,b,c,d,f,g,h,i則為 3 X 3 網格中圍繞其周圍之高程。

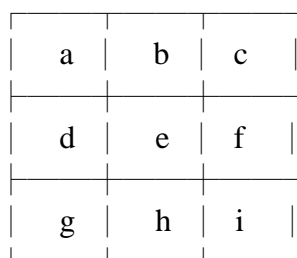


圖8-1：3 X 3 移動視窗網格

首先計算在 X 及 Y 方向平均高程的變化，其計算方法為：

$$\begin{aligned} \Delta X1 &= c-a & \Delta Y1 &= a-g \\ \Delta X2 &= f-d & \Delta Y2 &= b-h \\ \Delta X3 &= i-g & \Delta Y3 &= c-i \\ \Delta X &= (\Delta X1 + \Delta X2 + \Delta X3) / 3 & \Delta Y &= (\Delta Y1 + \Delta Y2 + \Delta Y3) / 3 \end{aligned}$$

(1) 坡度分析

在網格 X,Y 中高程的平均變化為 Δe ，其計算方法為：

$$\Delta e = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$$

坡度為通過某特定距離之地形高低起伏變化，故距離因素也併入加以考慮，設 S 為網格的大小距離，則坡度百分率的表示方法為：

$$\text{如果 } \Delta e \leq 2S \text{ 則坡度百分率為} = \frac{\Delta e}{2S} \times 100$$

$$\Delta e > 2S \text{ 則坡度百分率為} = 100 + \left(1 - \frac{2\Delta e}{S}\right) \times 100$$

$$\text{則坡度可由等級表示} = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta e}{2S}\right) \times 180 / \pi$$

(2) 坡向分析

上述 3 X 3 移動視窗網格中，假如 $\Delta X=0$ 且 $\Delta Y=0$ 則為無坡向，即視為平坦地。其它坡向 θ 則可由下式表示

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Y}{\Delta X}\right)$$

坡向 θ 可分為八方位：

$$\frac{-\pi}{8} < \theta < \frac{\pi}{8} \text{ 坡向對應方位為東(E), } \frac{\pi}{8} \leq \theta < \frac{3\pi}{8} \text{ 坡向對應方位為東北(NE),}$$

$$\frac{3\pi}{8} \leq \theta < \frac{5\pi}{8} \text{ 坡向對應方位為北(N), } \frac{5\pi}{8} \leq \theta < \frac{7\pi}{8} \text{ 坡向對應方位為西北(NW),}$$

$$\frac{7\pi}{8} < \theta < \frac{9\pi}{8} \text{ 坡向對應方位為西(W), } \frac{9\pi}{8} \leq \theta < \frac{11\pi}{8} \text{ 坡向對應方位為西南(SW),}$$

$-\frac{\pi}{8} \leq \theta \leq \pi$ 或 $-\pi < \theta \leq -\frac{\pi}{8}$ 向對應方位為西(W)，

$-\frac{7\pi}{8} < \theta \leq -\frac{5\pi}{8}$ 坡向對應方位為西南(SW)，

$-\frac{5\pi}{8} < \theta \leq -\frac{3\pi}{8}$ 坡向對應方位為南(S)， $-\frac{3\pi}{8} < \theta \leq -\frac{\pi}{8}$ 坡向對應方位為東南(SE)。

(二)空間模式(SPATIAL MODEL)

1.向量式空間分析功能

GENAMAP 在空間分析上提供許多功能，例如區域的自動生產(ZONE GENERATION)、一定距離內的搜索、封閉區域的疊合(POLYGON OVERLAY)、集水區的分析、向量轉換至影像和斜率的分析等，在這方面，GENAMAP提供了一致性和精確的分析及繪製地圖能力。

- (1)定距離搜索分析
- (2)點、線、面的疊合分析
- (3)鄰近特定區域分析
- (4)網路分析，例如網路追蹤、最短路徑等分析

2.GENACELL的功能

在GENACELL中，使用者可以指定格點的大小、形狀及顏色，格點的形狀可以是正方形或長方形。所有GENAMAP的顯示功能都能在GENACELL上作用，由於它們採用共同的大地座標系統，所以您可以將向量式和影像式的資料重疊顯示在同一個螢幕上。

GENACELL也具有某些分析的功能，使用者可以對一張圖或數張圖作進一步的分析。這些分析的功能大致上可以分成四組：

- (1)重新分類(reclassify)：意指重新設定格點值
- (2)疊合(overlay)分析：意指對兩張以上地圖同時作AND或OR.XOR的分析
- (3)距離(distance)分析：測量及計算距離
- (4)近鄰(neighborhood)分析：基於對近鄰值的計算而得到一些新值