

農委會林業特刊第五號

臺灣林木資源航測調查模式之研究

**Study on Optimum Design of Aerial
Survey for Timber Resources Inventory
in Taiwan**

行政院農業委員會印行

七十四年十一月

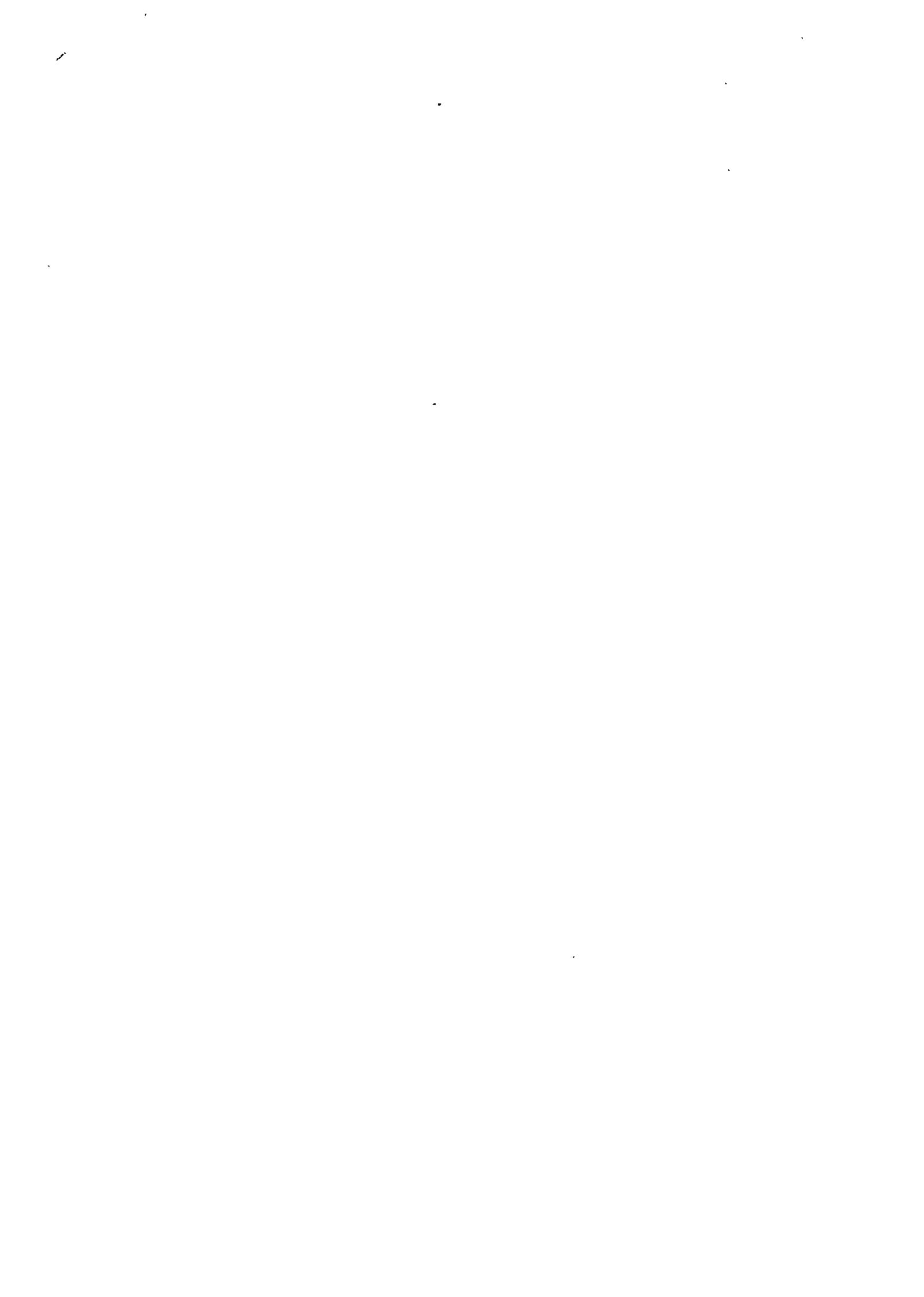


臺灣林木資源航測調查模式之研究

**Study on Optimum Design of Aerial
Survey for Timber Resources Inventory
in Taiwan**

行政院農業委員會印行

七十四年十一月



序 言

公元 1858 年攝影家 G. F. Tournachon 氏首次在巴黎上空利用氣球拍攝世界第一張航空照片後，航空測量 (Aerial Survey) 即引起各國軍事及科學家們莫大興趣，競相研究發展。初期之航空測量不過是利用氣球、風箏以至飛機在空中拍攝照片，獲取地面上各種資料。二次大戰期間，飛機及攝影技術均有驚人之進步，空載相機拍攝敵陣軍事設施及軍情之攝影技術相繼發展，更使航空測量廣受重視，其用途更趨廣泛，除軍事偵測及測量製圖外，進而應用於資源探勘調查、土木、交通、探礦等工程調查設計之用，致使航空測量形成一門重要之科學，近二十年來雖遙測 (Remote Sensing) 發展迅速，但航測之應用在較精細 (detail) 之資源調查上仍有其重要地位。

航空測量應用於森林調查已有半世紀之歷史，遠在公元 1933 年 G. S. Andrews 及 L. G. Trorey 二氏即在「Forest Chronicle」上發表「The Use of Aerial Photographs in Forest Surveying」，公元 1940 年加拿大森林調查專家 J. D. Braithwaite 氏曾將是項技術在緬甸森林調查之應用著書立說，其後美國及加拿大林業機關學校相繼研究發展，在公元四十年代後期，航空測量在林業上之應用已被公認，且為其他各國競相引進作森林資源探勘、調查之用矣。

我國於民國四十三年間由中國農村復興聯合委員會邀請美國林務署森林航測專家五人來台，成立全省森林資源及土地利用調查計畫，由林務署 George E. Doverspike 氏領導配合我國各大學林業機構技術人員二十餘人，利用航測技術配合統計取樣及地面調查等工作，將台灣本島之森林林型、生長、蓄積以及土地利用作一有系統之調查，該計畫涵蓋地區包括三百餘萬公頃之林地及非林地，工作份量相當驚人，如以早期傳統性之調查當需十年以上時間方能完成且將耗費大量人力、金錢而資料亦難正確，而該次施用航測技術僅於一年即已完

成。其後航測技術藉該計畫之完成即順利轉移我國，今日之台灣省林務局農林航空測量所可謂當初該計畫所設調查隊之延續。民國六十一年間，中國農村復興聯合委員會及台灣省林務局共同支援實施第二次森林資源航測調查，並曾邀請美國林務署美籍專家 J. David Born 氏等三人指導調查計畫之設計與系統分析、資料電腦程式設計、空照領航及空中攝影等，費時五年完成。兩次調查所用之取樣航空照片相隔約二十年，在調查設計和方法應用上已有很多改進。

本書著者吳英陵君早年就讀於國立中興大學森林系，畢業後即赴美國艾達荷大學專攻森林資源經營，獲碩士學位後即返國，先後服務于經濟部、中國農村復興聯合委員會、行政院農業發展委員會、經濟部農業局及行政院農業委員會主辦森林資源調查及保育工作。民國六十九年吳君由行政院農業發展委員會選派赴荷蘭國際航測研究院接受為期一年之森林航測訓練，訓練期間成績優異，本人曾數次經其教授 D.A. Stellingwerf 面告吳君努力向學實況。民國七十年吳君再以在職進修方式前赴台灣大學森林研究所進修博士學位，繼續航測在森林資源調查上之應用研究，有關文獻收集、方法設計、航照判讀、地面調查及資料處理分析等工作歷時四年始行完成。

本書原為吳君修讀博士學位之論文，但細觀其內容，試驗設計嚴謹，作業亦具合乎成本效益的實用性，並將像片基本圖及造林地圖等加入運用，使航測技術與取樣技術得相互為用。時值各國競相發展航測技術於資源調查以求節省時間、人力及經費，而臺灣林地以受地形地勢限制森林調查困難久為林業人員所困擾。本書理論與實務並重，可供嗣後國內森林資源調查之參考，故特由本會編印林業特刊。今以付梓在即，以個人粗具之航測理論學養及實務經驗暨與吳君十數年同事，樂為之序。

行政院農業委員會 戴 廣 耀 謹識

中華民國七十四年十一月

摘 要

針對國內第二次全省森林資源及土地利用航測調查規劃設計未盡理想疑義作為問題研究重點，尋求適用於台灣林地特殊環境及配合經營需要情況下之最適林木材積航測調查之模式乃為本篇研究的直接目的。

研究地區為國立台灣大學農學院實驗林和社營林區轄區，第 30, 32, 33, 34 林班主要地區均在本研究範圍之內，面積計 4,091 公頃，海拔高自 778.4 公尺到 3461.8 公尺不等，且其交通狀況、坡度、林型及樹種組成，及調查區各種土地利用型面積百分率等尚具全省國有林事業區的代表性。研究材料為涵蓋彼等地區的航空照片、正射像片基本圖、造林地圖以及配合室內判釋、描繪、面積測計及外業實地調查測計所需的儀器、裝備。

研究方法方面，面積計算、照片樣點逢機抽選及取樣設計均在正射像片基本圖上作業；取樣設計採用不分林型的簡單逢機取樣設計及依林型分層的分層逢機取樣設計二種；照片樣點刺點即為地面樣區的中心點，抽選較多的照片樣點備為地面調查之用；在外業實地調查方面，共有 140 個地面樣區，依林型經濟價值設定不同的容許取樣誤差憑以分配各林型的樣本數，人工針闊葉混淆林 32 個，人工針葉樹林型 48 個，天然針葉樹林型 40 個，天然闊葉樹 20 個；每一個地面樣區均各有五種地面測計方法，分別為固定面積圓形樣區的 0.0125 公頃、0.0250 公頃、0.0500 公頃三種以及水平樣點取樣法畢特立希氏角度係數值為 2 及 4 的二種測計方法，其據以測計之中心點均相同；為簡化測定作業，同一株樣木的胸高直徑僅作一次測定，樹高僅測

定 0.0125 公頃樣區內全部樣木，其餘未測樣木之樹高按地號、樹種（群）別依 $H = 1.3 + aD^b$ 樹高曲線式推算；為配合調查時間（費用）分析，所有調查期間有關內、外業工作過程的需用時間均詳予分類並作紀錄。

試驗結果得下列重要結論：

1. 樣本數固定時，人工林林木材積調查精度隨其樣區（點）平均株數之增多而提高，與使用固定面積樣區調查或水平樣點取樣法無關。
2. 樣本數固定時，天然林林木材積調查採用水平樣點取樣法所得精度遠高於固定面積樣區調查法，且固定面積樣區調查法精度亦未必因樣區面積擴大為 0.05 公頃而提高。
3. 純就林木材積調查精度而言，林分為桿材林分或疏林分情況之一者，應使用係數值為 2 或較小的畢特立希氏角度係數值；使用係數值為 2 較諸係數值為 4 者，95 % 機率水準取樣誤差 10 — 20 % 時，可以減少之樣點個數在 30 % 左右。
4. 就調查區各林型族群特性及調查設定各林型材積取樣誤差而言，樣本數固定為 140 個時，各林型配置的樣區個數，尚稱理想，且較最適分配及比例分配法分配者更符合調查設定各林型材積調查精度。
5. 關於全林林木材積調查之簡單逢機取樣設計，以天然林採用畢特立希氏角度係數值為 2 之水平樣點取樣法及人工林採用 0.05 公頃之固定面積圓形樣區調查法之組合方式所得精度最佳。
6. 調查區全林林木材積調查精度而言，依設定林型材積取樣誤差決定各林型樣本數時，依四林型分層之分層逢機取樣設計，除可提供林型別材積有關資訊外，其調查精度在各種地面測計方

法皆比簡單逢機取樣設計者為佳。

7. 樣本數固定為 140 個時，依分層逢機取樣設計的最適分配與比例分配所得林型材積資訊未盡合宜，又其未能滿足林型別不同取樣誤差的調查設定，就本調查調查目的而言，並無其實用性。
8. 調查區全林林木材積精度而言，簡單逢機取樣設計以及依林型分層層數不同的三種分層逢機取樣設計，水平樣點取樣法的二種測計方法均優於固定面積樣區調查法的三種測計方法，精度以畢特立希氏角度係數值為 2 之水平樣點取樣法最佳，係數值為 4 之水平樣點取樣法次之，0.05 公頃之固定面積圓形樣區調查所得精度最差；在水平樣點取樣法方面，三種分層逢機取樣設計的水平樣點取樣法所得全林林木材積調查精度均優於簡單逢機取樣設計相同測計方法。
9. 調查地區面積固定時，林木材積調查精度需求愈高，地面測計方法樣區（點）平均測定時間對調查需用時間及費用多寡的影響程度愈大；隨著精度需求的降低，樣區（點）平均測定時間的影響力漸為地面測計方法林木材積調查精度所取代。
10. 特定林型族群特性不變，且設定之林木材積調查精度相同時，調查地區面積愈大，地面測計方法林木材積調查精度對調查需用時間及費用多寡影響力愈大，地面測計方法樣區（點）平均測定時間的影響力則相對愈小。
11. 特定林型族群特性不變時，調查地區面積愈大或調查精度需求愈低，調查需用時間及費用的多寡與地面測計方法調查精度高低順序吻合程度愈趨一致。

上述研究所得結論，經與前人研究資料驗證、比較及探討結果顯示，在本調查區域所得初步結論及趨勢尚屬合理，其在國內的實用性仍有待後人在不同地區再作測試並作必要的補充及加強，方克有成。



目 次

序言

摘要

一、前言

1. 研究動機 1
2. 可能解決方法 4

二、林木資源調查規劃設計之概述 9

1. 林木資源調查目的及其規劃 9
 - 1-1 林木資源調查與森林調查 9
 - 1-2 林木資源調查目的 9
 - 1-3 林木資源調查規劃 14
2. 林木資源調查規劃設計之考量 16
 - 2-1 必要資訊之決定 16
 - 2-2 工作時間及經費 18
 - 2-3 標準化的可能性 20
 - 2-4 森林分類(層)系統 20
 - 2-5 調查取樣設計 26
 - 2-6 航空照片之使用 60
 - 2-7 人員、訓練及後勤支援 68
 - 2-8 調查手冊的編製 72
 - 2-9 外業調查工作的施行 72
3. 像片基本圖之測製、判讀及其應用 73
 - 3-1 像片基本圖的定義及其精度 73
 - 3-2 像片基本圖上森林之判讀 74
 - 3-3 像片基本圖在林業上之應用 74

三、研究材料及方法	76
1. 研究地區概述	76
1-1 位置	76
1-2 地質及土壤	77
1-3 地勢及氣候	77
1-4 交通狀況	77
1-5 行政管理	78
1-6 森林地區及林型	78
2. 研究目的	81
3. 研究材料	81
4. 研究步驟	82
4-1 照片及像片基本圖整理	82
4-2 地面實況了解	83
4-3 影像描繪及轉繪	83
4-4 面積計算	84
4-5 照片樣點之選擇及定位	84
4-6 外業工作	85
5. 方法設計	86
5-1 調查對象	86
5-2 胸徑之測定	88
5-3 樹高之測定及樹高推估	89
5-4 材積方程式之決定及材積推算	92
5-5 坡度之校正	94
5-6 以林型爲族群分類之依據	94
5-7 面積取樣誤差之考量及判釋誤差校正之考量	96

5-8 照片樣點之配置以逢機方式爲之	97
5-9 三種樣區大小及二種水平樣點角度係數值的五種地面測計方法	98
5-10 調查表設計	99
5-11 作業時間及費用之分析設計	103
5-12 外業人員編組及任務分派	113
5-13 林型別地面樣區數之決定	114
5-14 分析採用之統計方法	116
四、資料處理及分析	123
1. 資料處理	123
1-1 面積資料	123
1-2 胸徑資料	124
1-3 樹高資料	126
1-4 坡度資料	127
1-5 株數資料	128
1-6 材積資料	139
1-7 時間資料	153
1-8 費用資料	165
2. 資料分析	177
2-1 面積資料	177
2-2 胸徑資料	178
2-3 樹高資料	178
2-4 坡度資料	184
2-5 株數資料	187
2-6 材積資料	191

2-7 時間資料	199
2-8 費用資料	204
2-9 樣本大小對標準機誤影響的資料	205
2-10 可靠最低估值	206
五、研究結果	207
1. 調查區各土地利用型面積結果	207
2. 林型別胸徑估值結果	207
3. 三種樹高測定方式對樣區(點)測定時間的影響	207
4. 坡度未校正對單位面積株數及每公頃材積的影響	208
5. 調查區內樣區(點)單位面積之株數分析的結果	208
6. 林木材積調查有關精度研究結果	210
7. 林木材積調查有關時間及費用研究結果	216
8. 調查區面積調整時有關時間及費用研究結果	228
9. 樣本大小對標準機差的影響	236
10. 可靠最低估值	237
六、結論及討論	238
1. 結論及其分析、解釋	238
2. 本次研究之重要貢獻	268
2-1 對現有林木材積調查理論或技術方法上之貢獻	268
2-2 應用本研究結果的實用價值	274
3. 本次研究結果的限制條件及適用範圍	277
4. 本次研究結果與其他已有報告之比較	283
5. 臺灣林木資源航測調查模式之初擬	288
七、參考文獻	291
八、英文摘要	295

附錄一：名詞釋義	300
附錄二：附表部份	305
附錄三：附圖部份	328

書 次

	頁次
1.調查區林班別各土地利用型別之面積·····	80
2.判釋及轉繪所需時間·····	104
3.面積計算·····	105
4.照片樣點之選擇及定位·····	106
5.林型別不同地面測計方法的樣區(點)平均測定時間·····	108
6.每木胸徑及樹高測定時間·····	110
7.現場校對前後之面積資料比較·····	123
8.調查區及林型別樣木胸徑之統計量·····	125
9.調查區及林型別樣區坡度之統計量·····	129
10. 0.0125 公頃圓形樣區樣木株數之統計量·····	129
11. 0.0250 公頃圓形樣區樣木株數之統計量·····	130
12. 0.0500 公頃圓形樣區樣木株數之統計量·····	130
13.畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點樣木株數之統計量·····	131
14.畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點樣木株數之統計量·····	131
15. 0.0125 公頃圓形樣區樣木株數之統計量比較·····	132
16. 0.0250 公頃圓形樣區樣木株數之統計量比較·····	132
17. 0.0500 公頃圓形樣區樣木株數之統計量比較·····	133
18.畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點樣木株數之統計量比較··	133
19.畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點樣木株數之統計量比較····	134
20.人工針闊葉混淆林樣區(點)樣木株數統計量·····	134
21.人工針葉樹林型樣區(點)樣木株數統計量·····	135
22.天然針葉樹林型樣區(點)樣木株數統計量·····	135

23.天然潤葉樹林型樣區(點)樣木株數統計量	136
24.調查區全林樣區(點)樣木株數統計量	136
25.調查區全林樣區(點)樣木株數之統計量比較	137
26.C H P 林型樣區(點)樣木株數之統計量比較	138
27.0.0125 公頃圓形樣區材積之統計量	139
28.0.0250 公頃圓形樣區材積之統計量	140
29.0.0500 公頃圓形樣區材積之統計量	140
30.畢特立希氏角度係數為4之水平樣點材積之統計量	141
31.畢特立希氏角度係數為2之水平樣點材積之統計量	141
32.0.0125 公頃圓形樣區材積之統計量比較	142
33.0.0250 公頃圓形樣區材積之統計量比較	142
34.0.0500 公頃圓形樣區材積之統計量比較	143
35.畢特立希氏角度係數為4之水平樣點材積之統計量比較	143
36.畢特立希氏角度係數為2之水平樣點材積之統計量比較	144
37.人工針潤葉混淆林樣區(點)材積統計量	144
38.人工針葉樹林型樣區(點)材積統計量	145
39.天然針葉樹林型樣區(點)材積統計量	145
40.天然潤葉樹林型樣區(點)材積統計量	146
41.調查區全林樣區(點)材積統計量	146
42.調查區全林樣區(點)材積之統計量比較	147
43.C H P 林型樣區(點)材積之統計量比較	148
44.天然林樣區(點)材積之統計量	149
45.人工林樣區(點)材積之統計量	149
46.針葉樹林型樣區(點)材積統計量	150
47.依四林型分層設計調查區全林樣區(點)材積之統計量	151

48.依二林型分層設計調查區全林樣區(點)材積之統計量.....	152
49.依三林型分層設計調查區全林樣區(點)材積之統計量.....	152
50.不同取樣設計內業時間記錄.....	153
51.取樣誤差 10 %不同取樣設計樣區(點)測定時間.....	155
52.取樣誤差 15 %不同取樣設計樣區(點)測定時間.....	156
53.取樣誤差 20 %不同取樣設計樣區(點)測定時間.....	157
54.取樣誤差 10 %不同取樣設計樣區(點)間步行/車行需用時間.....	159
55.取樣誤差 15 %不同取樣設計樣區(點)間步行/車行需用時間.....	160
56.取樣誤差 20 %不同取樣設計樣區(點)間步行/車行需用時間.....	161
57.取樣誤差 10 %不同取樣設計內外業時間合計值.....	162
58.取樣誤差 15 %不同取樣設計內外業時間合計值.....	163
59.取樣誤差 20 %不同取樣設計內外業時間合計值.....	164
60.取樣誤差 10 %不同取樣設計費用值.....	165
61.取樣誤差 15 %不同取樣設計費用值.....	166
62.取樣誤差 20 %不同取樣設計費用值.....	167
63.取樣誤差 10 %不同取樣設計費用推算(面積一萬公頃).....	168
64.取樣誤差 10 %不同取樣設計費用推算(面積五萬公頃).....	169
65.取樣誤差 10 %不同取樣設計費用推算(面積十萬公頃).....	170
66.取樣誤差 15 %不同取樣設計費用推算(面積一萬公頃).....	171
67.取樣誤差 15 %不同取樣設計費用推算(面積五萬公頃).....	172
68.取樣誤差 15 %不同取樣設計費用推算(面積十萬公頃).....	173
69.取樣誤差 20 %不同取樣設計費用推算(面積一萬公頃).....	174

70.取樣誤差 20 %不同取樣設計費用推算 (面積五萬公頃)	175
71.取樣誤差 20 %不同取樣設計費用推算 (面積十萬公頃)	176
72.樹高不測定林型別不同地面測計方法平均測定時間	179
73.樹高部分測定者林型別不同地面測定方法之平均測定時間	179
74.天然針葉樹林型三種樹高測定方式不同地面測計方法樣區 (點)測定時間	180
75.變異數分析表	182
76.調查區全林及各林型與國有林事業區坡度級面積分佈百分比之比 較	184
77.不同取樣設計 R 2 測計方法的調查時間與費用比較 (面積 4,091 公頃)	228
78.不同取樣設計 R 2 測計方法的調查時間與費用比較 (面積一萬 公頃)	233
79.不同取樣設計 R 2 測計方法的調查時間與費用比較 (面積五萬 公頃)	234
80.不同取樣設計 R 2 測計方法的調查時間與費用比較 (面積十萬 公頃)	235

附錄二(附表目次)

	頁次
2-1 不同性質森林調查族群介量及其優先重要性.....	305
2-2 不同樣區大小在不同坡度時樣區半徑調整表(沿坡面傾斜 距離).....	306
2-3 台灣各天然林型之主要優勢樹種在垂直航空照片上之像特 徵.....	307
3-1 實驗林各營林區面積.....	308
3-2 無邊樣區境界木檢定表.....	309
3-3 樣木調查記錄表.....	310
4-1 樹種(群)別 $\log(H-1.3) = \log a + b \log D$ 有關 之統計量.....	310
4-2 柳杉不同地號別 $\log(H-1.3) = \log a + b \log D$ 有關 之統計量.....	311
4-3 杉木不同地號別 $\log(H-1.3) = \log a + b \log D$ 有關 之統計量.....	312
4-4 不同地號別/樹種(群) $\log(H-1.3) = \log a +$ $b \log D$ 有關之統計量.....	313
4-5 調查區各林型樣區之坡度觀測值表.....	314
4-6 調查區林型別不同地面測計方法樣木株數一覽表(各樣區均 依其坡度調整所得之實際樣木株數).....	315
4-7 調查區林型別不同地面測計方法樣木株數一覽表(各樣區坡 度假設為零度之模擬數字).....	316
4-8 人工針潤葉混淆林五種地面測計方法樣區(點)別材積(

	m^3 / ha)	317
4-9	人工針葉樹林型五種地面測計方法樣區(點)別材積(m^3 / ha)	317
4-10	天然針葉樹林型五種地面測計方法樣區(點)別材積(m^3 / ha)	318
4-11	天然闊葉樹林型五種地面測計方法樣區(點)別材積(m^3 / ha)	318
4-12	人工針闊葉混淆林五種地面測計方法未經坡度校正樣區(點)別材積(m^3 / ha)	319
4-13	人工針葉樹林型五種地面測計方法未經坡度校正樣區(點) 別材積(m^3 / ha)	319
4-14	天然針葉樹林型五種地面測計方法未經坡度校正樣區(點) 別材積(m^3 / ha)	320
4-15	天然闊葉樹林型五種地面測計方法未經坡度校正樣區(點) 別材積(m^3 / ha)	320
4-16	人工針闊葉混淆林 95 %機率水準不同樣本大小標準機差 統計量表.....	321
4-17	人工針葉樹林型 95 %機率水準不同樣本大小標準機差統 計量表.....	322
4-18	天然針葉樹林型 95 %機率水準不同樣本大小標準機差統 計量表.....	323
4-19	天然闊葉樹林型 95 %機率水準不同樣本大小標準機差統 計量表.....	324
4-20	試區不分林型 95 %機率水準不同樣本大小標準機差統計 量表.....	325

4-21	林型別 95 %機率水準五種地面測計方法每公頃材積之可靠最低估值.....	326
4-22	不同取樣設計 95 %機率水準五種地面測計方法每公頃材積之可靠最低估值.....	327

附錄三(圖目次)

	頁次
3-1 台灣大學實驗林營林區及林班區劃圖.....	328
3-2 台灣大學實驗林位置暨對外交通路線圖.....	329
3-3 試驗地區地況圖.....	330
3-4 試驗地區林相圖.....	331
3-5 試驗地區照片樣點及地面樣區配置圖.....	332
3-6 造林圖與現場實況不符位置標示圖.....	333
4-1 調查區全林樣木胸徑分布直方圖.....	334
4-2 調查區人工針闊葉混淆林樣木胸徑分布直方圖.....	335
4-3 調查區人工針葉樹林型樣木胸徑分布直方圖.....	335
4-4 調查區天然針葉樹林型樣木胸徑分布直方圖.....	336
4-5 調查區天然闊葉樹林型樣木胸徑分布直方圖.....	337
4-6 調查區全林樣區坡度分布直方圖(之一).....	338
4-7 調查區全林樣區坡度分布直方圖(之二).....	338
4-8 人工針闊葉混淆林樣區坡度分布直方圖(之一).....	339
4-9 人工針闊葉混淆林樣區坡度分布直方圖(之二).....	339
4-10 人工針葉樹林型樣區坡度分布直方圖(之一).....	340
4-11 人工針葉樹林型樣區坡度分布直方圖(之二).....	340
4-12 天然針葉樹林型樣區坡度分布直方圖(之一).....	341
4-13 天然針葉樹林型樣區坡度分布直方圖(之二).....	341
4-14 天然闊葉樹林型樣區坡度分布直方圖(之一).....	342
4-15 天然闊葉樹林型樣區坡度分布直方圖(之二).....	342

一、前言

1-1 研究動機

森林為可再生的天然資源 (renewable resources)，經營得法可以生生不息，資源也不斷增加；經營不當則導致資源衰竭，最後演變成童山濯濯。欲有合理的森林經營，必須預擬翔實可行的森林經營計畫，就林木資源一項而言，森林面積、材積及生長量的連續變化就是森林經營計畫不可或缺的資訊，林木資源調查乃為首先必須要做的工作，更因林地面積廣大，實行全區域的地面調查，費時費錢，常用的每木調查和小區調查僅能適用於局部性的林地，是以現代林木資源調查莫不應用航空測量技術以減少地面調查費用，我國林業部門過去三十年來舉辦的兩次全省性森林資源調查也都充分應用到航測技術是相當先進的，而且也調查平地、山坡地土地利用現況，故國人均以「台灣森林資源及土地利用航測調查」（簡稱森林資源航測調查）名之。

我國第一次森林資源航測調查始於民國四十三年，由農復會（行政院農業委員會前身）支援全部經費，並邀集美國林務署及其所轄各林業試驗場的專家五人來臺，配合我國林業人員二十餘人，僅以一年時間完成調查及技術轉移 (technology transfe)。嗣後，即以所有設備及部份參與人員在省府設農林航空測量隊（林務局農林航空測量所前身），航測技術因而在國內生根。第二次森林資源航測調查開始於民國六十一年，由農復會及台灣省林務局共同支援實施，並曾邀請美國農部林務署美籍專家三人，Mr. J. David Born 協助調查計劃之設計與系統分析，Mr. Gary W. Clendenen 指導資料電腦處理程式設計，Mr. John E. Kuilowski 訓練空照領航及空中攝影，費時五年完成。

兩次調查所用之取樣航空照片相隔約二十年，在調查設計和方法應用上有很多改進；資料處理則係就美國林務署所用森林資源調查資料處理系統（FINSYS-Forest Inventory Data Processing System）加以修正，使用 CDC Cyber 74 電子計算機處理所得數量龐大的資料；又地面測計方法採用不等機率取樣之水平樣線取樣法（horizontal line sampling）取樣機率與林木胸徑大小成比例，調查過程設置的永久樣區（permanent plot）復經於民國六十八年間抽選 545 個，進行調查俾用以推測全島林木蓄積、生長量及枯死量，並於民國七十一年六月全部完成，因之森林經營計畫釐訂所需之森林面積、材積及生長量連續變化的資訊可謂相當完整。

假設每隔十年為期舉辦一次全省林木資源航測調查有其政策考量上的必要性，以民國六十六年十月完成第二次全省森林資源航測調查來看，再一次全省林木資源航測調查之舉辦似已為期不遠；依此假設，基於「檢討過去，掌握現在，策劃未來」想法，針對第二次森林資源調查之設計及實施方法有關事項，不揣冒昧，就個人淺見所及進行先驅性的研究，期藉拋磚引玉之效，林學先進多所匡正，或使嗣後之全省林木資源航測調查之規劃設計及實施能較第二次航測調查者有更進一步的突破。

地面測計方法方面，吾人探討水平樣線取樣法（horizontal line sampling）與圓形樣區調查法（circular plot enumeration method）的可行性研究之設計（廖閱郎，1974），對下述各點不甚明瞭，其一試驗調查地區均為天然檜木林，經查天然檜木林全省面積為 74,600 公頃，僅佔全省生產林地（竹林除外）面積 1,653,000 公頃的 4.51%，比例甚小，其結果是否適用於面積 803,000 公頃佔 48.58% 的天然闊葉林及面積 437,200 公頃佔 26.44% 的人工林，乃

爲疑義之一；其二試驗地區面積過小，竹東觀霧地區（八仙山事業區 185 林班）面積 14.25 公頃，大雪山 230 支線地區（八仙山事業區 111 林班）面積 15.12 公頃，二處合計僅 30 公頃，加上都是天然檜木林，對全省林木資源航測調查而言，特定林型 30 公頃的結果適用性是疑義之二；觀霧地區水平樣線取樣法變異係數 41.03 %，固較圓形樣區之 53.19 % 爲低，惟大雪山之 44.92 % 却略高於圓形樣區 44.64 %，從而判定水平樣線取樣法精度較佳之基準爲何是疑義之三；二處水平樣線取樣法所得每公頃平均材積均低於圓形樣區者，其理由及是否所有林型都是如此爲疑義之四；比較地面測計方法僅作精度比較，未作調查需用時間（費用）之比較分析爲疑義之五。

在全省森林資源航測調查之設計方面，吾人亦有若干疑義；其一天然潤葉樹林型面積 803,300 公頃佔全省生產林地（竹林除外）面積 1,653,000 公頃的 48.58 %，但其經濟價值却遠低於天然檜木林型，其面積 74,600 公頃僅佔 4.51 %，就其每 900 公頃選取一個地面樣點之原則看來，2,491 個樣點的分佈大致必依林型面積而有多寡之別，就全島或林區全林材積估算而言並無瑕疵，惟林型別每公頃材積資訊未依林型經濟價值高低而有不同精度設定，似未盡理想，宜採用其他方法俾期在取樣技術上有所改進，既能合乎全林材積估算精度需求又可兼顧林型別經濟價值（權數）的不同精度需求者；系統取樣設計方式固然也是現代森林調查方法之一，將其改爲完全逢機取樣設計之簡單逢機取樣法或分層逢機取樣法作業方式及最適分配與比例分配可否補足前述不能兼顧林型別經濟價值（權數）的不同精度需求的缺失等等爲存疑之二；其因依照片樣點估測用以作爲有關面積之取樣誤差等自所難免，惟觀其全省生產林地面積精度爲一個標準誤尺度取樣誤差 $\pm 3\%$ ，則 68.26 % 的機率水準似宜提高爲 95 % 機誤水準，取樣誤差

仍然可維持±3%，此為疑義之三；保安林面積 408,556 公頃佔全省生產林地面積 1,653,500 公頃之 24.71%，基於保安林施業規定與一般生產林截然不同，未將之與生產林分開，在決策層次的資訊需求上或有誤導之虞，似宜檢討改進，此為疑義之四；至於稚木（seedling）、小桿材林木（sapling）資訊在嗣後之全省林木資源航測調查在已有 545 個永久樣區定期調查前提下，似宜對十年生以下的生產林僅計算其林地面積，而依連續森林調查所得稚木、小桿材生長量及枯死量推算之；此為疑義之五；竹林，林地內草地（grassland）等於判讀描繪、面積計算時，似宜暫時視同非林地，將之與生產林地分開，藉此對林木材積調查之精度、時間、費用有所幫助；此為疑義之六。使用林木材積方程式，胸徑、樹高均需測定，有否工作簡化之可能，俾減少疲勞度造成的人為錯誤，此為疑義之七。

1-2 可能解決方法

針對欲研究之問題，擬就可能解決途徑之研究方式：

1-2-1 進行先驅調查地區之交通狀況、海拔高、坡度、林型及樹種組成，以及地區各種土地利用型面積百分率等應有全省國有林事業區的代表性，又地區之大小應有相當面積。

1-2-2 國內新近測製完成的像片基本圖，為道地的正射像片基本圖（orthophoto basemap），平面及高程精度均佳，無航空照片難以避免的投影誤差（relief displacement）、傾斜誤差（tilt displacement）及比例尺不均一等缺點，等高線及重要地形、地貌均經註記（傅安明，1980），適合用以作為面積計算根據之底圖，如將航空照片將土地利用型判釋、描繪結果在立體鏡下轉繪於像片基本圖上，因全區描繪既免除利用照片樣點估測林型別面積而產生之取

樣誤差 (sampling error)，用面積儀 (planimeter) 測定之精度在游標尺讀數的小數點一位且測定三次平均值作準，極具正確性 (Sicco Smit, 1976)；照片樣點 (photo point) 在圖上逢機抽選、定位並無困難，並在立體鏡下轉刺於航空照片上相應位置上，此照片樣點即為嗣後地面固定面積樣區之中心點及水平樣點取樣法 (horizontal point sampling) 之樣點，其地面樣區配置之完全逢機性得以維繫 (吳英陵，〔 1982，1983 〕) 而外，不同地面測計方法 (field enumeration method) 之比較，因中心點及樣點均為同一點，亦合乎統計上相同基準比較 (to be compared on the same basis) 之條件 (楊榮啓，1980)。

1-2-3 Stellingwerf 氏 (1979) 所做不同地面測計的研究，用五種固定面積圓形樣區 (fixed-area circular plot) 分別為 0.0125 公頃，0.0250 公頃，0.0375 公頃，0.0500 公頃，0.0625 公頃，經參考選擇其中三種作為固定面積樣區研究之用，分別為 0.0125 公頃，0.0250 公頃及 0.0500 公頃；水平樣點取樣法與水平樣線取樣法 (horizontal line sampling) 相近，皆為依照水平定角選取樣木，前者樣木選取機率與樣木胸徑大小自乘成比例，後者樣木選取機率與樣木胸徑大小成比例，統計學立場自以後者推算林分因子效果較佳，(楊榮啓，1980)，惟因個人對水平樣點取樣法較為熟悉，且其作業人力較省，故採水平樣點取樣法用為代替水平樣線取樣法，並用以作為與上述三種固定面積樣區比較之用。

至於水平樣點取樣法畢特立希氏角度係數值大小之決定，係數值為 4 適合於大面積林木材積調查 (Austrian National Forest Inventory [1961，1971]，R. Braun [1969])，又係數值為 2 較係數值為 4 者，可以減少樣點個數 40 % 左右 (楊榮啓，1980)，

似值一併採用。故選擇上述五種地面測計方法應有其作為研究分析比較之代表性。

1-2-4 不同地面測計方法的優劣比較，擬參考 Stellingwerf 氏 (1979) 調查精度、時間、費用分析方式，因其同時考慮不同地面測計方法之變異係數、樣區 (點) 平均測定時間、材積、調查精度、樣區 (點) 間交通時間及調查地區面積等因子，至於考慮測計方法變異係數及時間 (費用) 的樣區相對效率公式 (B. Husch, 1971) 以及林木徑級範圍廣泛林分水平樣點取樣法較固定面積樣區，在同樣精度標準會減少測定之株數 (楊榮啓， 1980) 則留俟與結果分析討論之基礎。

1-2-5 照片樣點及地面樣區 (點) 樣本數之多寡，因為系統取樣、簡單逢機取樣及分層逢機取樣之最適分配、比例分配都有依林型面積大小樣本數比例增減之傾向 (W.G. Cochran, 1979) ，為顧及全省生產林地林型面積與其經濟價值成反比的實情，擬依就經濟價值高低設定不同精度標準憑以決定林型照片樣點及地面樣區 (點) 樣本數，至於因為逢機樣本數未依面積多寡比例分配所引起的精度損失 (loss in precision) 或偏差 (bias) 等 (W.G. Cochran, 1977) ，留俟「結論與討論」章併予說明。(6-1-8)

1-2-6 針對「獲得森林資訊所支出之費用不宜過多，至多亦不宜超過由資訊所產生之效益」森林調查目的，第二次全省森林資源航測調查經費不免昂貴之檢討商榷 (楊榮啓， 1980) ，擬就下述可能之解決途徑：

1-2-6-1 Husch 氏 (1971) 敘及針對調查目的的林地 (forest land) 應有不同之定義界定，生產林地內草生地、崩壞地等無蓄積林分 (nonstocked stand) 自可併同生產林地內之宅地、農地等視

爲非林地 (non-forest land)，以減少零材積樣區發生降低調查精度或增加特定精度所需最少樣本數的不理想情況之發生機率。

1-2-6-2 爲減少資訊誤導之虞及減少調查時間 (費用)，佔地 408,556 公頃的保安林，雖應納入林地面積計算，林木材積調查保安林應不予調查 (D.A. Stellingwerf, 1983) 或依需要另案爲之。

1-2-6-3 稚木 (seedling) 及竹林之調查方法與林木材積調查方式不同，所得資訊用途亦異；又第二次全省森林資源航測調查已有詳細資料，輔以 545 個永久樣區的定期連續調查項目包括稚木在內，稚木應可不予調查或依需要另案爲之；竹林之面積似僅描繪其面積供爲專供另案辦理的竹林資源調查之用即可。

1-2-6-4 小桿材 (sapling) 在第二次全省森林資源航測調查已有詳細資料，輔以 545 個永久樣區的定期連續調查項目亦包括小桿材在內，嗣後之全省林木資源調查似不必再予調查或依需要另案爲之，而十年生以上生產林多爲桿材 (poletimber) 或製材 (sawtimber)，故以集中調查十年生以上生產林方式，較合乎成本效益 (cost-effectiveness)。

1-2-7 綜 1-2-5,6 所述各節，森林分類 (層) 系統 (forest classification scheme) 以依非林地 (non-forest land, NF)、保安林地 (protection forest, P)，10 年生以下生產林 (young forest, Y)，10 年生以上生產林等分類較宜；10 年生以上生產林再依其林型區分人工針闊葉混淆林 (conifer-hardwood mixed plantation, CHP)、人工針葉樹林型 (conifer plantation, CP)、天然針葉樹林型 (natural conifer forest, C)、天然闊葉樹林型 (natural hardwood forest, H)，集中人力調查上述四林型內連皮胸徑 9.5 公分以上之生立木。

1-2-8 胸徑及樹高測定工作之簡化，胸徑之測定至 0.1 公分，但測定員 (caliper man) 依四捨五入方式 (D.A. Stellingwerf, 1979) 僅唸整公分計之讀值，由紀錄員 (tally man) 紀錄，以方便紀錄並減少小數點紀錄的人為錯誤；樹高之測定僅測定 0.0125 公頃樣木樹高，並依 $H = 1.3 + aD^b$ 之樹高曲線方程式推估未測樣木之樹高 (楊榮啓, 1980)，以有效減少樣區測定時間及作業人員的疲勞度所引起的目測 (eyeball measurement) 或誤測 (inaccurate measurement) 等無法校正的測定錯誤。

1-2-9 為方便嗣後之調查費用 (時間) 分析，內、外業各項作業過程所用時間均詳予紀錄，又考慮到受限於研究時間、人力、經費，調查面積不能過大，調查區所得結果，在林分族群特性不變的假設下，依調查區面積模擬比例擴大，俾便深入探討大面積林木材積調查精度、時間、費用在不同取樣設計各種地面測計方法之比較。

二、林木資源調查規劃設計之概述

2-1 林木資源調查目的及其規劃

2-1-1 林木資源調查與森林調查

早期的森林調查就是林木資源調查，不過近十數年來森林供作遊樂、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方面的用途日增，使得原限於林木推估的森林調查定義隨之範疇較為廣泛；即使上述非林木導向資訊需求日殷，森林組成以及地形資訊却仍是評估森林遊樂可能性甚或集水區效益的基本數據，同樣林地的立地品質對林地轉作其他土地使用也是決策的參考資料。

為免於林木資源調查不與包括非林木導向資訊的森林調查混為一談，本研究報告將因研究重點關係，均採用林木資源調查（timber resources inventory）以取代以往前人習用的森林調查（forest inventory）。

2-1-2 林木資源調查目的

2-1-2-1 引言

清楚定義林木資源調查主要、次要目的是很重要的，不同目的的相對重要性是要多方考量才能針對問題規劃設計及執行作業，才不致於所得資訊不盡適用甚或全無用處，當然調查經費、時間及人力素質配備常是要納入考慮的限制因子。

一個完整的林木資源調查必須包括林地及其權屬的敘述，生立木材積（或重量等其他參數）的推估，以及生長量、伐木量的推估等幾個重要項目，以幫助我們有效評估林地生產力進而有效經營以恆續生產林木，不過林木資源調查視調查目的的不同，可概分為國家或大區

域性的調查、事業計畫調查 (working plan surveys)、探勘性調查 (reconnaissance surveys)、伐木計畫調查 (logging plan surveys) 及爲林產工業之發展或查定立木價格 (stumpage appraisal) 所進行的基本資料蒐集等幾種，舉例來說伐木計畫調查強調在地形、河川型以及交通系統的資訊獲取以便設計採伐暨運搬之用，但却可不需要事業計畫調查必須獲取的生長量及伐木量，同樣貴重樹種地區的集約性調查必須獲取的細部資料，如樹種別材積、胸徑級、精準林分位置及道路系統，實非國家或大區域性調查所得大區域性全區森林面積及材積的一般評價資料所可比擬或彼此套用的，爲了方便說明之用，提出經過簡化的由Husch氏 (1971) 提出森林調查元素相對比重表，如表 2-1；雖然Husch氏 (1971) 一再強調表 2-1 所列不同調查元素的優先次序級並不足爲憑，不過也因而確定了林木資源調查應有明確目的的概念，必須針對要解決的問題澈底研究是不是值得進行調查，調查會不會找到答案；說不定現有資料加以整理再比較調查過的相似林分以及前人研究成果是花最少錢就能獲取合乎精度要求的有效作業，總之，調查目的可以也必須有主要、次要之別，對不同經濟價值林木的調查精度設定也該大有不同，有關調查元素隨著調查目的清楚定義自亦有首重之別 (B. Husch, 1971)

2-1-2-2 重要規格及其與經費需求的關係

原則上每公頃的可用調查費用必須就調查可能提供效益以及效益獲取時間長短等因素決定之；效益習以經由林業發展或經營改進獲得目前或未來的收益表示之，不過像保安林本身有其存置之必要，要談到上述的林木方面的收益或將其公益效益以金額表示都不是一件容易的事。

林木資源調查目的有關的重要規格在在都與調查費用多寡有關

，繫其要者爲所需資訊類別及本質、成果正確度、調查地區範圍大小以及單位面積（unit areas）最小範圍暨要求細節情況等類。

1. 所需資訊本質及類別

所需資訊可以是地圖、鑲嵌圖、圖表等形式的，可以是林型敘述等情況的敘述性的（descriptive）當然更有很多是數量化的資訊，在第一種情況時一些像比例尺、精度及解析力之類的特性需予定義，如地圖上顯示林型的最小地面面積大小需予界定一樣；在數量化資訊方面則宜考慮下列問題：

——資訊是靜態還是動態的評價，如你是調查一次的結果則是靜態的，如是生長量等森林演化資訊則爲動態的評價。

——單位面積（unit area）代表的是「單株林木或林分或每公頃或全林？」，要予界定。

——最後的結果是株數、材積、重量、價格，必須決定。

在所需資訊類別來說重要林型的面積由於可自航空照片或（及）正射像片圖測計而得，較不花錢，單一時間大地區的航空照片訂購費用較低，照片判讀以及利用航空照片製作森林圖的費用也不致太貴，現場同仁的地面森林情況校對工作除了探勘性調查可免外，任何其他性質的林木材積調查都是一定要做的。

當森林所有權別以及生立木的數量等更細部資料是必要的資訊獲取時，調查費用就開始遽增；作林木數量推估，地面情況的廣泛取樣是必要的工作，專業人員必須督導樣區（點）的選擇、樹種及林木品質的辨認以及生立木測計的得法，現代取樣技術及統計方法的發展使得此類資訊的獲取在適度的費用範圍內。

生長量及枯死量方面的資訊常是林木資源調查最困難也是最花錢的一項工作，要在合理費用支出精度又夠的情況下獲取這方面的資訊

，必須聘用一流的專才不足以爲功。

2. 成果正確度之決定

在林木資源調查之前，最重要介量的成果的精度必須先行決定，即使有些介量不容易確定其精度，但也必須決定其最大誤差範圍，在精度方面，至少有以下三種考慮：

——取樣估值的全部誤差有二種成分

其一爲來自取樣單位測計值計算而得，相關著統計上的精度，是狹義的誤差，亦稱取樣誤差；其二爲偏估（bias），常由於取樣偏估的分析或測計的誤差。後者誤差常被忽略，其值有時却會大於前者；一般而言，估值的精度必須是全部誤差而非僅有取樣誤差，林木材積調查之設計必須確保此全部誤差在允許誤差範圍內。

——在所有取樣設計中所需精度必須訂出一定機率水準，機率水準的意義及其選定雖不常被調查結果的使用者理解，實際上却對調查工作的集約度有相當程度的影響，在規劃設計之前，機率水準常必須在必要時機多方澄清說明求得共識，再予訂定。

——所需精度必須參考其相對之已知族群訂完，此已知族群或爲調查範圍全區，或爲其依行政單位、植生型、林班、集水區或伐木區的分區，必須先行決定，而此種分區或全區之範圍大小同樣對調查工作的集約度大有影響，每一數據都能有其對應的取樣誤差是最理想的；至於次要結果爲了節省資料分析費用，有時會免掉不計；由於某些介量的高度變異性，其相關數據之精度自受影響而甚低，對於預期低精度之數據必須指出或將其省略而與其他類似性質合併，如某樹種甚稀少時其材積可合併於其他類似樹種以期合併使數據精度合理（B. Husch, 1971）

成果的正確度訂定之高低關係著調查費用的多寡，通常精度提高

一倍，調查費用增加二倍是正常的情況，因此對林木材積調查各個不同元素正確度之訂定仍以多加考慮才下決定為宜。(D.A. Stellingwerf, 1979)

3. 調查地區範圍大小

如配備有近期地形及土地利用圖亦或有當地區之遙測影像將可加速此一部分之工作；通常情況幾萬公頃或更大面積航空攝影作業的單位面積單價必較幾千公頃調查範圍的單位面積單價要便宜的多，這是其一；採用攝影測量、判讀及統計方法的現代調查技術在在需要專才，在國外來說，外聘專才提供技術服務的費用也是面積越大單價越便宜。森林情況的變異度以及林業問題各異，再加上地區間調查目的亦有差異等諸多事實，會使得現成的調查設計很困難亦或不可能異地照用；總之，付出可能較便宜費用獲取有用資訊，林木資源調查的規劃設計妥善是最重要的關鍵。

4. 單位面積 (unit areas) 最小範圍及森林分類

調查集約度取決於要達到特定精度單位面積的範圍大小；大範圍調查的估值對區域性或全國性規劃目的是相當完備的，而小範圍調查者則為森林集約經營所要求者；一個一萬公頃的林木材積調查，其每公頃調查費用，必比同樣精度一百公頃為單元者要少的多，其總調查費用亦自要比 100 個各有一百公頃獨立估值所用經費要少的多。

森林分類，並不像統計上的分層一定要使上述的單元成果隨著分層後層內變異少，層間的變異大而精度提高，却是我們結果上需要它們的各個獨立估值，它們可以依下項情況予以分開為各個單元：

- 依生物氣候關係分類，如土地可用程度分類。
- 依土地使用及植生現況分類。
- 依森林經營有關因素分類，如所有權別、行政區域、地形和

可及性、小集水區或集水區或伐採區或併同予以分類。

2-1-3 林木資源調查規劃

進行林木資源調查由於結果的用途關係，其理由儘管不同，彼等規劃及執行則大致雷同，就像林業及林產工業整體規劃發展等國家性林木資源調查資訊需求有關細節程度自與為小地區工作事業調查的細部資訊需求截然不同，惟均為提供林木資源有關知識，在明智使用及經營林木資源的前題下有關林地位置，林木的數量、品質以及有多少可用，生長量及伐採量又如何等等資訊知識都必須具備，而有效收集資料並以有用的形式呈現資訊則並非易事，準備能以高效率方式提供必要資訊的事業計畫是多花心思並妥為規劃的。

2-1-3-1 規劃上考量之項目

在林木資源調查規劃上要將所有有關項目逐一考量，並不是任何前人用過的項目都必須納入甚而置為首要重點，如果並不適用就去掉它，如果不是那麼重要但是項目還是有用則列入次要項目，Husch氏（1971）提過一些摘要性的查對表並曾在其森林調查規劃一書中作了非常完整介紹，在以下的各節將予討論，分別是必要資訊的決定，工作時間及經費，標準化的可能性，森林分類，調查取樣設計，航空照片使用，地圖使用，林木調查量化關係，人員及訓練，後勤支援，地面測計程序，資料計算分析及報告編寫等。

進行以上項目進一步考量之前，規劃第一階段工作是調查地區有關文獻及資料的蒐集研判及彙整，當然也包括該地區的航空照片及地圖等在內，如有可能探勘性的現場了解更有助於了解林型，對照片判讀亟有助益，同時對林木特性，大概的單位面積材積及其變異情形也會有所了解，其他諸如鐵路、道路、河流以及小徑等交通系統方面情況的了解也有助於實際作業，其對交通工具及現場工作方法等影響很

大。

2-1-3-2 區域性或全國性調查規劃上的特別考量

功能及權責的明確分配以及有關機構的充分瞭解及實踐是規劃之始以迄完成作業報告止確保調查工作順利的重要關鍵，決策問題的考量及解決乃為中央政府林業高級主管應行處理事項；技術機構則有義務找出效率高花費小獲取必要資訊的作業方法並負責執行作業及工作督導；行政、財務部門則需對有關行政、財務支援以配合調查工作的順利推動負其全責。

誠所周知，決策人員、技術部門、行政及財務部門的密切連繫及充分溝通是規劃之始就急迫必要完成的重要工作，才不會使決策人員指定要調查一些作不到的事情或是沒有成本效益概念的樣樣資料都要，個個都要一流的高精度却只有不成比例的人力、財務支援等等作了不如不作的不理想情況發生。依Husch氏（1971）的看法，下面事項初步決定權責乃係政府決策人員所應為者，然後由政府提撥經費交付技術機關進行細部規劃者：

- 1.決定林木資源調查係依獨立計畫方式進行亦或為所有天然資源評估整合計畫的一部分；

- 2.決定進行調查之主要目的有那些，私有林的調查是否在內，調查對象僅及於目前有市場價值之林木；

- 3.如果調查工作涵盡全國，計畫期間勢非單個年期即可完成，整個計畫期間所需之總經費必須全部都有著落，分年預算應妥先安排。

- 4.如私有林亦在調查範圍內，則地面測計人員進入私有林內調查的合法性必須顧及，而保障私有林地所有權人或經營人不使有關其部分調查結果公布免其擔心受稽徵單位查報漏（逃）稅之弊這

件事能作到是更理想的。

5. 執行作業究以現存技術機關或民間公司承包負責？有無必要成立任務編組？

6. 技術顧問是否需要？獲取適切技術諮詢服務的方法及其管道又如何保持暢通？

2-2 林木資源調查規劃設計之考量

2-2-1 必要資訊的決定

此為規劃的第一步驟，至為重要，所有有關人員包括將來使用人必須紮紮實實腦力激盪式的達成協議，林分介量的敘述，測計的單位，估值的正確度界限，容許誤差及機率水準都須針對各種資訊分別訂定，以配合嗣後資訊的應用，超過必要精度的高精度設定導致不必要的浪費鈔票是必然的。吾人通常規劃設計時一般作法是先決定樣本單位的個數及分布，即按步就班進行測計，收集了大批資料後，才開始思慮如何擷取其中有用者並嘗試以理想形式表現調查結果，自免不了使用者抱怨表格設計不理想，內容“過份”翔實或失漏，這都是因為設計規劃時疏忽了本步驟的關係。在此時就該決定的項目如次：

1. 調查涵蓋地區

調查地區的範圍必須劃定，儘可能使用道路、河流、地形特徵等天然界址，以便於航空照片及地面的確認；面積資料的正確跟林木或樣區的測計正確是同等的重要，並將整個區域適度分區，各分區的大小要適當，可依行政界限、地形特徵或人為地物劃分，其主要目的乃在方便顯示現存分區或必要分區的調查資訊，同時也便於調查工作的監管及執行。

2. 森林分類標準系統便於森林分級或分層，當然根據樹種組成及森林經營利用的分級以及林地、非林地等定義必也在內，有

關林木資源調查上的分類概說，另節討論。

3.表示林木數量之介量

究以材積、重量或株數表示林木數量必須決定，每一介量的特性需予選擇，用材積表示林木數量的規格必須說明為帶皮或去皮，毛材積或淨材積即為一例。

4.測計單位

表示數量的測計單位必須擇定，如林木材積必須選擇立方公尺、板呎、立方呎，hoppus 呎之一為測計單位，公制單位漸有通行之勢，如用英制再補註公制是一種較好的作法。

5.大小級及界限

凡諸胸徑、樹高、形數、材積、坡度、單位面積株數最好都能決定其大小級及界限，以便利嗣後的合計及整理。

6.可利用界限

係指林分或林木可利用的商業價值，最小胸徑，原木長度等規格須予設定，未具商業價值部分的林分或林木是不予調查等還是調查再分別列出等等都需此時決定。

7.依允許取樣誤差及機率表示介量估值的誤差界限

在決定允許取樣誤差及機率之同時，須顧及調查地區的林木經濟價值及依地形及交通系統表示的林地可及性（accessibility），當然計畫經費允裕程度以及調查根據的經營決策亦須納入考慮。

8.最後報告表格形式

儘管上述項目的規格都已決定，仍可準備表格概要，指導原則是表格在各方面都必須完整，以使資料簡明易讀，並表現出各資料間的相互關係，甚至方便使用人可以從表格中找到研究的結論，看出數字變化的趨勢。

表格之編製自須包括標題、表頭欄、分級界限，測計單位以及其他用以表示調查結果的資料欄，表面上看來此項編製表格工作可延至資料全到後再作，而且實際上科學論文中表格的編製也是相當累人的，但在時序上仍須先行作業，以後的調查工作方可依循。

李學勇氏（1979）建議科學論文中表格編製之原則可供參考，謹摘要如次：

(1)應能自成一個獨立單元，要能自我說明自成系統。

(2)內容簡明清晰，一個研究列為一表，表內資料應限於互有密切關係的項目和數字。

(3)應指出討論的問題及研究處理的方式，論文的精髓，有結果、答案，把問題列出，數字資料才能表現功能；研究的處理方法列出，才能比較研究結果的意義，表格是骨架，說明的文字只是補助的解釋及推論而已。

(4)表格中的數字要儘量正確，因為表格是論文精髓，而數字則是事實的根據。

9.準備調所用地圖型式及比例尺必須加以選擇，基本地形圖、平面圖、森林分類圖、土壤圖或土地利用圖都是地圖，準備及複製地圖的方法亦需選定。

10. 生長量及枯死量

生長量及枯死量估值能包括於調查範圍的理想情況必須加以考量；要考慮這種可能性，吾人必須切記，由於森林不是靜態無生命力的倉庫，却是一個有生命力時時變化的有機體，有生長量及砍伐量的估值有助於森林的合理經營及明智利用；如果決定此種估值為吾人需要的資訊，進行之工作程序必須確定。

2-2-2 工作時間及經費

工作時間及可用經費的充裕性是重要不過的事，更常成爲調查規劃設計的決定主體；林木資源調查經費預算一旦數額確定，則整個調查工作程序均須依此限額調適；如爲彈性作業預算，調查作業的費用必須估出，再進一步瞭解現成經費是不是已足夠或將被批准支用。

不管定額或彈性作業預算，規劃設計程序之一是估出所有調查層面的費用；因爲人員配備及素質，使用儀器，利用現有航空照片或重新拍攝，樣本數及其分布等等均有費用因素在內，尤可見其重要性於一斑。

在工作時間方面，有時短期間獲取低精度的結果比花長時間得高精度結果要有用的多，多少時間可用亦須牢記於心。

在調查地區範圍及各種必要獲取資訊決定之後，即應進行費用預估，在各種可能設計中，慎重選出在總經費額度範圍內所有必要資訊均能在容許誤差範圍內費用又較低廉的一種，與經費支出有關的項目分別是：

—— 不同層面的人力需求

專業人員、技術人員、工人的月薪或年薪估計，人事費之分配亦可依室內作業（照片判讀、描繪及野外準備工作等）、現場作業及室內分析編寫報告等階段需用時間安排。

—— 車輛或他項交通工具需要量及有關採購費用

—— 車輛等交通工具用油及保養費

—— 辦公處所租金或購置費

—— 儀器設備

—— 航空照片購置或航空攝影

—— 野營裝備

—— 資料處理

—— 野外調查差旅費等費用

—— 最後報告的準備

當然各種備選設計都能針對上述十項預估總經費而外，要是都能換算為每公頃調查費用，更方便比較及選擇。

2-2-3 標準化的可能性

林木資源調查的標準化，係指不同調查所得資訊間的可比較性（comparability）及可合併性（combinability），在此處提的不是所謂標準化的方法論或是規劃設計，却是林木資源調查必要資訊的種類及其表格編製等；標準化並不意謂著不同林況、地況、經濟情況及交通情況地區使用世界通行的標準規劃設計，或是反對就不同情況有獨到、創新的規劃設計，却是在同時維持可比較性及可合併性的好處下又能進行不同層面資訊獲取精度亦各異的不同林木資源調查的作業。（B. Husch, 1971）

標準化推演過程很慢，必須大家經過充分討論瞭解其需要性及價值，才可能訂出大家同意的規格。吾人在名詞定義，符號，測計單位，森林分類系統，取樣誤差及機率水準，桿製材大小級及可利用界限，分級標準的規劃設計上應多參考國內外文獻。（B. Husch, 1971）

2-2-4 森林分類（層）系統

森林分類的首要問題是構成森林要素的定義，看似容易，要決定何者算不算是林地（forested area）却在很多情況下相當困難，像被濫墾改種果樹之濫墾地或是森林火災後尚未及造林之土地或是尚未造林的砍伐跡地（cut-over areas）或是森林區域內的造林不成功地、草生地等算不算是林地就需要一個清晰的定義以區別林地與非林地（non-forest area），林木資源調查區域內非林地之細部分類系

統亦須予以設計 (B. Husch , 1971) , 惟因非為本研究之主題 , 本處不予討論。

應用航空照片作森林分類 (層) , 已為世界各國所採用 (F. Loetsch, F. Zöhner, K.E. Haller, 1973) ; 森林分類的細節程度主要由當地情況及視林木資源調查需要性而定, 航空攝影的本質、品質以及航照判釋人員的能力, 綜合決定了判讀的成功度 (S.H. Spurr, 1960) ; 超過需要的細分, 只會使調查費用增高及分類錯誤的可能性增加 (R.C. Aldrich [1953], K.E. Moessner [1957], J.M. Remeijn [1978]) ; 集約調查時的大比例尺航空照片、軟片的選擇以及較多的地面校對工作都是細密分類體系不可或缺的, 當然費用的增加也無從避免 (F. Loetsch, F. Zöhner, K.E. Haller, 1973) 分類愈寬, 判讀精度愈高 (J.M. Remeijn, 1978) 。

前人研究方面, 牛津世界經濟圖集依森林組成分為六大型, 其各個溫度、雨量、生長期、分佈地區及林木品種亦異, 分別為北區針葉林 (coniferous forest of the boreal region) , 溫帶區針闊葉混淆林 (mixed conifer-broadleaved forest of the temperate zone) , 亞熱帶針闊葉混淆林 (mixed conifer-broadleaved of the subtropical regions) , 熱帶雨林 (tropical rainforest) , 熱帶濕潤葉樹林 (moist deciduous forests of the tropics) , 乾燥森林 (dry forest) 等六種 (J.M. Remeijn, 1978) 。聯合國世界糧農組織在 1967 年針對林木資源調查曾研提森林分類體系, 廣為世界各國採用, 其分類依土地使用現況, 先將河流、湖泊、池塘等水體 (water body) 與陸地分開, 陸地中的非林地 (non-forest area) , 其他有林木地區 (other wooded area) 再與林地 (

forest area) 分開；其他有林木地區分爲四類；林地分爲天然林及人工林；天然林再分爲七類，所有各類均有清楚的定義 (FAO, 1973)，堪稱理想，尤適用於熱帶地區 (T.E. Avery, 1977)。熱帶地區之森林分類多依植生型或甚而包括森林破壞程度而行 (E.C. Francis and G.H.S. Wood [1953], F.G. Browne [1958], P. R. Wheeler [1959], B. Rollet [1960])；如泰國北部地區照片比例尺五萬分一者可分出五種林型 (F. Loetsch, 1957)；如蘇利蘭地區照片比例尺四萬分一者可分出二十八類 (F.J. van Dillewijn, 1957)；如錫蘭 Sinharadja 森林地區照片比例尺一萬六千分一者，可分出原生林 (primary forest) 八類，次生林 (secondary growth) 二類及非林地四類 (R.A. DE Rosayro, 1959)；如南蘇門答臘 Semangus 森林地區照片比例尺四萬分一者，僅能分出二類 (F. Loetsch, 1960)。美國及加拿大的森林分類體系則多採二種以上系統併用之分類檔號系統，依分類細節程度粗分爲三種；較粗放者先依植生型 (vegetation types) 分成三類，如針葉樹林型、闊葉樹林型、針闊葉混淆林，每類再依其林分立木大小分爲製材林分 (saw-timber stands)、桿材林分 (pole timber stands) 及幼齡林林分 (young regeneration) 三類，共分九類；第二種方式爲先依樹種 (群) 分類，次依立木大小分類，再依立木度分類，依此可分出三十到六十類，依 Spurr 氏 (1952) 說法，這種分類方式爲美國最常用到者；第三種體系分類程度細到幾百到千餘類之多，依樹種、混淆度、立木大小級及樹冠密度級進行分類，此種分類必須有高品質、大比例尺甚或黑白 (彩色) 紅外線軟片之航空攝影配合才成 (F. Loetsch, F. Zöhner, K.E. Haller, 1973)。在前人研究方面，有加拿大 Petawawa 森林地區的 12 種地位 - 林型 (site-types) 類別 (S.

T.B. Losee, 1942) ; 有加拿大 British Columbia 省森林地區的三千種林型組合分類，為大面積的集約性調查 (B.C.F.S. Forest Survey Note No. 1 , 1957) ; 有美國加州 Bucks Lake 試區依立木度、植生/地勢型 (vegetation / terrain types)、坡向 (aspect)、坡度、海拔高的分類 (J.M. Remijn, 1978) 也是一種：有依林型、樹高、樹冠鬱閉度三因子分類而成的二十七類 (F. Loetsch, F. Zöhrer, K.E. Haller, 1973) ; 有美國西北林木資源地區採用依樹種、林型、立木大小級、立木度的分類體系 (Manual of Remote Sensing, 1975) 又是一套，茲再就前人研究有關森林分類系統的根據及森林分類特性作簡要綜合概述。

2-2-4-1 森林分類系統的根據

森林分類系統應包括林地與非林地、可作業林與不可作業林 (nonoperable forest) 及為森林經營需要依據樹種組成及利用的其他型式分級；考慮分級可根據環境因子分類；諸如氣候、地形、土壤及天然植生覆蓋等，此種分類系統並不一定要表示出實際的土地使用現況或植生覆蓋種類，也可以用可能的土地可利用程度 (potential land capability) 方式予以分類；亦可根據調查當時的實際森林或其他植生覆蓋或土地利用現況予以分類，這種分類是林木資源調查之通用分類。(B. Husch, 1971)

森林分類系統為林木材積估測而言是必須的，可針對森林的異質化情況細分成小面積容易分辨又同質化的級 (或稱層)，不僅便於更有效率的取樣作業，亦可藉而製作不同林況及土地利用現況的地圖供森林經營作業參考之用。(P.R. Lawrence [1957], H.K. Trobitz [1950], E. Ohtomo [1959], G. Wolff [1960])

選擇森林分類系統時，首先必須考量所分之類必須儘可能接近原

本定義之分類，當然能夠照公認標準化分類的基本要素來作分類則更為理想。其次，所分之類必須是能夠表示其相對的同質性，不僅其分類規範能在航空照片上判讀辨認，地面作業也要能容易的指認才行。在分類系統的設計上，可辨認的 (recognizable) 最小面積大小，必須先予界定，當然航空照片比例尺的大小勢必影響所謂最小面積大小的界定。(B. Husch [1971], F. Loetsch, F. Zöhrer, K. E. Haller [1973])

一般而言，能使用航空判讀結果據以分類是最理想的，不僅是它的作業快速，較諸地面分類也多半精準，最重要的先期分層作業得以行之，取樣設計亦可憑以進行，各類的面積亦可逕而在室內即可進行測計。輔以地面校對 (field checking) 修正航照分類結果更是提高分類精度的不二法門。

2-2-4-2 森林分類特性

森林乃係由許多具相同特性的林分 (forest stands) 組合而成，其分類系統亦靠彼等特性之辨認得以建立，下述林木及林分特性在有系統陳說分類系統上，是極為有用也有實用價值的：

1. 組成 (composition)

林型 (forest types) 是通常使用最廣據以在林木資源調查分類的根據，林型在本質上並非靜止不變的，它是隨時間而有其變化的，任何足以破壞原有森林或植生的因素都驅使著森林演替的過程，像森林火災、砍伐、造林、病蟲害感染以及天候的攪動都會使森林組成變化，先驅性林型會由過渡性林型所替代，而彼二種林型在樹種組成、生長量及經濟價值都和原先存置森林大有不同；由於許多情況會有次生林型出現較經濟樹種的生長，因而 Husch 氏 (1971) 認為對火災跡地、砍伐跡地、新造林地、病蟲害蔓延區及風害區加以辨認及描

繪是理想的作法。

2.大小 (size)

林地可依林木或林分的大小予以分級，分級系統可根據林木的平均大小或單位面積林木之平均密度及數量。(B. Husch, 1971)

較粗放的林木資源調查，以採用樹高級分類最為理想，這是因為航空測計樹高精度尚可之故；純地面調查工作時則以依胸徑級分類為佳(作業容易也省錢)。

密度(density)是測定森林立木度(stocking)的尺度，在應用航空照片時，是最常用到測定林分密度的方法，林分密度之測計多依所謂樹冠覆蓋(crown cover)或樹冠鬱閉(crown closure)的疏密情形而定；純地面調查時，則依胸高斷面積測定(basal area)測定；當然單位面積的林木株數也被用作為林分密度之測計，祇是其株數的多寡依林齡之不同而有其不同意義是其缺點，但若能其他的林木大小特性併用則沒有問題。此外依材積大小分級也是一種分類。(G. Avery and M.P. Meyer [1959], C.A. Bickford [1953])

3.地位 (site)

林地可依其地位級分類，地位級之測計嘗試將地位的所有環境因子的效應予以適度表示，地位特性對林型或可能營造林型及彼等林型之生長有相當影響。評估地位級可依與林木生長密切相關又能在航照及地面辨認的一種或多種單項地位因子的測計而得，像地質及土壤特性、坡度、坡向、海拔高都是可測計的地位因子；也可依吾人了解足資表示地位的一些林木特性的測計來作評估地位級的優劣，像單位面積可生產木材多寡，林木的大小特性及當地區原生植物的品種都是可資評估地位級的林木特性。

依上述地位級之測計，自可依測計結果細分林地為不同地位級的分類。(B. Husch [1971]，FAO [1973])

4.可作業性 (operability)

可作業性是經營林地或伐採林木的相對經濟可行性，是綜合可及性，營運成本與營運收益之比較；如果可作業森林範圍能先予界定而進行較細部的密集調查，對目前較不可作業的林地則僅作大略性調查，這種作法可節省一部分調查經費因而降低林木資源調查的總經費支出。(B. Husch, 1971)

5.經營現況 (management status)

對地區性或全國性林業政策的修正或研擬，林業經營現況資訊是非常有用的參考資料，依施行經營現況的種類及集約度 (如未經營、粗放經營及集約經營三類) 來分類是一種方法，用伐木運作或育林撫育系統分類也有人用過。(J.M. Remeijn, 1978)

6.所有權 (ownership)

依所有權別的分類系統多按照國有林、州 (省) 有林、縣 (市) 有林、私有林予以分類。(B. Husch [1971]，J.M. Remeijn [1978])

2-2-5 調查取樣設計

林木材積是估計木材數量的理想介量，材積估計可按照單木材積或林分材積測計推估，自地面測計或航空測計得之；單木材積估測的常用程序是測計胸徑、樹高、形數三者特性的一部分或全部，自以往建立之材積方程式，而得知每一株木的材積，近年來依樹莖不同位置的直徑測計再按固體體積的通式直接計算單木材積的作法也有相當的實用性。單木材積的合計值即為林地內林木之總材積。

林地內林木材積估計，亦可自能代表全部林分的部分地區的地面

測計值得之，林分特性如斷面積及平均樹高均可被測計，且均可用為表示林分材積之用。

雖然直接自航空照片判讀測計材積不是作不到，不過比起地面測計值而言，所得資訊自較粗放，細節性也稍差；航空測計必須根據在航空照片上看得到的林木及林分特性才成，像樹冠徑（crown diameter）、樹高、株數及樹冠鬱閉度等都是。

一個佔地十來公頃林地的全林每木調查精度必高，總調查時間及費用也不會高（雖然每公頃的調查單價偏高），歐洲一些集約經營的事業計畫調查即依上述方法為之，以往前人工作經驗顯示，5個人一組一個工作天可調查十到十五公頃，換言之每人一日之工作量為2到3公頃，當然森林下屬植生荊棘密布則每組人數必須多加以負責清除障礙及開道等工作，則每人一日之工作量必大打其折扣；全林每木調查對象如為高經濟價值樹種或僅調查有市場價值林木，則相當理想。（B. Husch, 1971）。

大面積的林木資源調查，舉例而言十萬公頃的調查如依上述理想化的全林每木調查每人一日2—3公頃推估，則需三萬三千個人一日到五萬個人一日不足為功，即可知工作量壓力甚大調查時間自必拉長，費用也必驚人；換個角度來看，如此大面積林地內自有一些粗放經營或不予經營的地區，其所得每木細部資料的無多大用處。取樣技術的使用於大面積林木資源調查因上述原因乃應運而生。

如樣區為取樣單位（sampling unit），所有的樣區合而為樣本（sample），全林為母體或稱族群（population），要使樣本推估值能適用於全林，勢須樣本能自每一樣區得出無偏估的平均材積，且瞭解清楚樣區間的變異（variability）才成；也由於整個樣本的各個樣區均難以代表全林特性，根據樣本的調查必有其取樣誤差，此取樣

誤差源由於選擇不同樣區或樣本的機會而來，其代表意義為樣本估值與族群真值可能會有的差異（ difference ）也因此談到取樣誤差必須談到機率水準（ FAO, 1973 ）；在樣區面積變大或／及樣區數增加時，取樣誤差有遞減之趨勢。

和取樣誤差一樣主要的是偏差，在樣本的選擇、測計、記錄，工作程序等的錯誤都會造成偏差，偏差與取樣誤差的總計才可決定整個調查的正確度，即使取樣設計正確，取樣誤差亦經正確計算，要是偏差因未予注意減少，所得取樣誤差真值的有偏估值，所得樣本均數亦為族群均數的有偏估值，可見其重要性，因之應注意並作業小心務使偏差產生機會減至最小，取樣誤差才有其積極的意義。

均數標準誤（ standard error of the mean ）可依均數的百分比表示之，用以表示取樣誤差的估值；均數加減均數標準誤與特定機率的 t 值的乘積決定了所謂均數的信賴區間（ confidence limits ）。

均數及其信賴區間是表示林木數量估值的一種方法；另有 RME（ reliable minimum estimate ）法亦常用到，其可表示出特定機率下的林木材積最少數量（多為單尾），在經營決策上常有如某區林木材積不足某數量則伐採利不及費，RME 所得資訊可提供參考。

取樣設計程序是非常重要的，不良的設計樣本有時比無用還糟（導致經營決策錯誤導引）；反言之適當的取樣設計所得資訊，不僅時間及經費支出要比全林每木調查要少的多，但精度却與全林每木調查精度相差無幾（因為至少測計誤差的機會大為減少，偏差自然小的多）。

不同取樣技術的數學論證詳見於 Cochran 氏（ 1977 ）“取樣技術”一書，至於用作林木資源調查使用的不同取樣系統的大致特性以指出可期望獲取資訊的種類，楊榮啓氏（ 1979 ）在有關“當代森林調

查方法之探討”一文中有清楚說明，不另贅述；惟準備取樣設計需要考慮的項目則於以下各節作些討論分析，這些項目包括分層系統（stratification system）、固定或變動樣區取樣，固定樣區的大小及形狀，簡單逢機取樣法等五種取樣方法，取樣技術的選擇，取樣密度，生長量與枯死量推算，森林面積之測計，取樣程序等。

2-2-5-1 分層系統（stratification system）

特定精度估值所需取樣單位多寡，概視族群內測計特性的變異量（即變異數）之大小而定，如變異數大，則取樣密度必隨之增大，調查費用因而提高，反之，取樣密度遞減所需取樣單位減少，調查費用因而減少；大族群藉著分層系統將不同變異特性細分為各層（或次族群），將可使各層內的變異數減少將有助於在減少取樣單位數量而獲致同樣的精度，如取樣密度維持不變，則如此分層系統將較不予分層者精度為高。此外分層可使易於搜集或觀測資料，且可同時獲得各層之統計資料（如均數及標準誤等）。

在森林分類特性（2—2—4—2）級及之林型、大小、地位、可作業性、經營現況及所有權別等均可用為分層之依據，每一分類都有其與另外類別不同的異質性，同屬一類的則同質性較佳，其層（級）內之變異數將比全林變異數為小；是以取樣之前即可進行森林分類，同樣對各類（層）亦可分別進行取樣，這種作業的好處為針對各類之價值或各類的變異數大小機動調整各類的取樣密度，不僅如此，各類的取樣方法亦可視需要而有不同，不過取樣之前先進行森林分類只有在航空照片或森林專業地圖或正射像片圖可用才行。（B. Husch, 1971）

調查取樣單位的配置有逢機及系統二種，系統取樣之發展較早，用以在不需統計精密度條件下獲致均數及總估值，由於統計理論的進步

發展出逢機取樣設計，不僅均數及總估值一樣可求取，而且估值均得以機率水準之取樣誤差表示其統計精度。

2—2—5—2 固定或變動樣區取樣

現行調查技術允許設計者考慮選擇固定樣區或變動樣區，使用固定樣區者則需決定樣區大小及形狀，在樣區內的林木均予測計。變動樣區系統是統計上 PPS (probability proportional to size) 取樣的實際應用，並不設置固定面積之樣區，僅設置中心點 (樣點)，在中心點上對四周每一林木進行核對，依林木胸徑大小及其與中心點之距離決定其是否為樣木，故又稱樣點取樣法 (point sampling)，又因其無固定界限，又稱為無邊樣區取樣 (plotless sampling)，自中心點看到的每株林木被選作樣木除了是彼等林木與中心點距離而外，其入選機會受林木胸徑大小決定，胸徑越大者，入選為樣木機會越大，是以乃為 PPS 取樣之實際應用，亦被稱為 PPS 取樣；儘管在變動樣區查對林木是否為需測計的樣木可使用的儀器甚多，其原理均相同，即沒有可看到林木之臨界角，並依角度決定其是否為樣木，同時均有一個有關係數值乘上入選樣木個數即得每公頃或全林之胸高斷面積。變動樣區較諸固定樣區取樣的二項優點是(1)不需測計及設置樣區之範圍(2)林分內較大及有價值的林木取為樣木的機會及密度較諸胸徑小及低價值林木要大，簡言之，即依林木胸高面積大小比例予以取樣。(B. Husch, 1971)

森林測計上的標準地或樣區取樣法均為固定面積者，固定樣區取樣法的好處是樣區內林木均為樣木，選擇要測計的林木相當方便，此外由於固定樣區內林木因均為樣木，其是否為樣木概與其胸徑大小無關，故為等機率取樣，故每一固定樣區而言，可獲得較具代表性的樹種分佈及林木徑級分佈資料，連同其樣木的選擇容易，都是固定樣區取

樣的優點 (FAO , 1973) ; 惟就材積估測而言 , 大多數的森林 , 小徑木比大徑木多 (尤以異齡林分更呈反 J 型分布) , 但大徑木的材積却比小徑木材積要大的多 , 固定樣區的等機率取樣特質造成小徑木之取樣常比大徑木者有較多成爲樣木的機會的結果 , 殊不理想 , 此爲固定樣區的先天限制 (B. Husch et al [1972] , 楊榮啓 [1980]) 。

在變動樣區方面 , 有 Bitterlich (1947) 及 Grosenbaugh (1955) 二氏從水平定角儀而發揚光大的水平樣點取樣法 (horizontal point sampling , 本研究簡稱水平樣點) , 凡在樣點之樣木 , 其所形成之樣區皆爲圓形 , 而且樣區面積 (或半徑自乘) 與樣木直徑自乘呈直線的函數關係 (B. Husch et al [1972] , 楊榮啓 [1980]) ; 此種變動樣區近 30 年來在林業上應用日廣 , 首先由美國應用水平定角儀 (horizontal angle guage) 或稜鏡 (prism) 爲之 , 之後在歐洲地區採用 Spiegel relascop 爲之 , 其在溫帶森林應用的費用精度研究 , 顯示其較固定樣區者效率爲高 , 熱帶森林則由於灌木太多遮蓋林木胸高位置之處等實際林況限制未見其優越性 , 此外樣點樣木的選擇不易及樣點樣木的樹種分佈及林木徑級分布更爲其不等機率取樣特質的缺點 , 就熱帶森林而言 , 或僅適用於較同質化的森林如松樹林分或人工林 (FAO , 1973) 。惟就林木胸徑範圍廣泛之林而言 , 因測定工作集中於材積及品質權數較大的大樹 , 達到同樣精度測定之株數亦將較固定樣區者爲少 (B. Husch et al [1972] , 楊榮啓 [1980]) ; 就畢特立希氏角度係數之大小決定而言 , 一般言之 , 大徑木者宜大 , 小徑木者宜小 , 而過密林分者應大 , 老齡過熟之疏林分者應小 , 又使用畢特立希氏角度係數值爲 2 及 1 時 , 樣點個數較係數值爲 4 者可以減少 40% 及 60% 左右。 (楊榮啓

， 1980)

此外尚有 Strand 氏 (1957) 設計之水平樣線取樣法 (horizontal line sampling)，其樣線上樣木所形成之樣區皆為長方形，而且樣區面積 (或寬度) 與樣木直徑呈直線的函數關係，其優缺點與前述之水平樣點相同，惟一不同者為其樣木選取機率與其直徑成比例，而水平樣點之樣木取樣機率與其直徑自乘成比例，故在統計立場言之，其推算林分因子之效果較佳 (楊榮啓， 1980)。此種變動樣區為國內第二次森林資源及土地利用調查所採用，導因於其調查精度優於圓形之固定樣區 (廖開郎， 1974)。惟因其較現場調查較水平樣點需較多人力及時間，受限於研究時間及經費之匱乏，故最後決定採用同屬 PPS 取樣原理之水平樣點。此外尚有平田種男氏使用垂直定角儀在垂直樣點取樣法 (vertical point sampling) 中推算樹高乘方及 Strand 氏的垂直樣線取樣法 (vertical line sampling) 等亦為變動樣區，惟因未在本研究使用，不作有關前人研究之敘述。

2-2-5-3 固定樣區的大小及形狀

林木資源調查固定樣區可為大小至 1 公頃不等的樣區或樣帶，樣區形狀可為方形、長方形或圓形均可，樣帶則為長方形樣區之一種，長度為寬度的很多倍；自任何形狀或大小均可得到林木材積的無偏估值；在設計規劃時宜了解樣區大小及形狀不同時相對效率，效率之測試端視取樣誤差及所需費用的多寡而定，不同林況的最適大小及形狀自會有所不同 (B. Husch [1971]，楊榮啓 [1980])

英國全國性調查樣區面積為 0.04 公頃；瑞典為 0.0138 公頃；芬蘭為 0.1 公頃；日本的林木資源調查樣區面積為 0.05—0.20 公頃，加拿大為 0.08—0.10 公頃；西德為 0.01—0.05 公頃；美國則依

製材、桿材、小桿材調查對象之不同，其樣區面積分別為 0.08 公頃，0.04 公頃及 0.004 公頃 (Chako [1962]，B. Husch et al [1972]，楊榮啓 [1980])。Stellingwerf 氏 (1979) 於奧地利薩爾茲堡地區調查雲杉 ≥ 9.5 公分林木材積之研究，則採 0.0125 公頃、0.025 公頃、0.0375 公頃、0.0500 公頃及 0.0625 公頃，結論為就該調查區而言，0.0625 公頃樣區 (樣本數亦為 125) 所得之變異數 (37%) 並未較 0.0500 公頃者 (36%) 為低。Spurr 氏 (1952) 認為合適之樣區大小至少應有 20 株樣木可供測計，Loetsch 氏等 (1973) 認為 14—16 株為固定樣區最少測計株數，鬱閉之小徑木樣區宜小，疏開的大徑木樣區宜大。國內第一次森林資源及土地利用調查則採用 3 個同心圓樣區，在 0.005 公頃樣區內測計所有連皮胸高直徑 5.0—9.9 公分之立木；在 0.02 公頃樣區內，測計所有連皮胸高直徑 10.0—29.9 公分之立木；在 0.1 公頃樣區內，測計所有連皮胸高直徑在 30 公分以上之立木；其目的乃為減少小徑木所占樣區面積及增加大徑木所占樣區面積，以使所測定之不同大小林木株數概略相等 (楊榮啓，1980)。Heinsdijk 氏 (1965) 舉常呈異質 (heterogeneous) 之熱帶森林，樣區過小時常會發生許多樣區無可測定林木之現象，致使應用常態分佈理論有欠妥適，故 Husch 氏 (1971) 結語森林之變異程度 (variability) 亦能影響樣區大小。又調查天然更新之稚苗數目， $1M$ 即為適當大小；人工林調查可以選用 0.01 公頃之樣區；株數稀少及林木較大之老齡林，必須增大樣區之面積 (楊榮啓，1980)。Husch 氏 (1972) 結論最適樣區之大小必須依據精密度及所需費用之考量決定之，即以相對效率 (relative efficiency 簡稱 E) 決定適當的樣區大小及形狀。樣區形狀方面，雖然 Johnson 及 Hixon 二氏 (1952) 及 Kulow 氏 (1966) 認為矩形樣區有其長處，不過

由於圓形樣區有定出原點即能固定樣區範圍之優點，所以圓形樣區廣被使用(B.Husch et al,1972)。因之本研究採用三種不同大小的圓形樣區作為與二種畢特立希氏角度係數值的水平樣點的比較。限於調查時間的限制，並未設計 0.1 公頃圓形樣區之大小，僅 0.0125 公頃、0.0250 公頃及 0.050 公頃三種大小。不同坡度在不同圓形樣區大小的半徑修正值如表 2—2。(F. Loetsch et al, 1964)

2—2—5—4 簡單逢機取樣法 (Simple random sampling)

簡單逢機取樣法的抽選程序及計算方法較其他逢機取樣法簡單(劉宣誠, 1976)，為最基本之取樣方法(楊榮啓, 1980)，且為其他逢機取樣法之基礎，在取樣調查中極為重要(劉宣誠, 1980)。

簡單逢機取樣方法要求從族群中抽出 n 個取樣單位的所有可能組合，皆有同等的被選取機會(W.G.Cochran [1977], 楊榮啓 [1980])，此點與族群所有取樣單位有相同被選取機會的意義並不全然相同，後者在許多限制逢機取樣方法甚而一些系統取樣法已能滿足其要件(F.Freese, 1962)，換言之，簡單逢機取樣法要求任一取樣單位的抽選必須逢機不受任何其他取樣單位被抽選與否影響，也就是具有完全獨立性(F.Freese [1962], 楊榮啓 [1980])。

簡單逢機取樣法的基本假設為樣本大小相同時，所有可能得到樣本均數估值的分佈是常態分佈，當樣本數 $n \geq 30$ 時，可視其為常態分佈，從而得以作均數標準誤 (standard error of the mean) 及特定機率水準下的取樣誤差 (sampling error) 或信賴區間 (confidence limits) 等之演算 (F.Freese [1962], FAO [1973])。在測計誤差及計算錯誤都能有效去除的情況下，簡單逢機取樣法所得估值為無偏估值 (F.Freese [1962], B.Husch [1971])，故可得到有關族群均數之無偏估值及算出取樣誤差均是簡單逢機取樣法優於

系統取樣法之處 (B. Husch [1971], 楊榮啓 [1980])。簡單逢機取樣法可有歸還取樣 (sampling with replacement) 及不歸還取樣 (sampling without replacement) 二種形式 (F. Freese [1962], W. G. Cochran [1977], 楊榮啓 [1980]) 前者同一取樣單位有被再度抽取之可能，並且族群視為無限族群 (infinite population)，計算方式亦較後者簡單 (W. G. Cochran [1977], 楊榮啓 [1980])；後者任一取樣單位在樣本中僅有出現一次的機會，為大多數的森林取樣調查所採用，計算均數標準誤時須使用有限族群更正係數 (finite population correction, fpc)，即 $(1 - \frac{n}{N})$ ，在取樣率 $(\frac{n}{N})$ 小於 0.05 時，視同無限族群，此 fpc 值可略而不計。 (F. Freese [1962], B. Husch et al [1972], FAO [1973], W. G. Cochran [1977], 劉宜誠 [1976], 楊榮啓 [1980], 楊寶霖 [1983])。

簡單逢機取樣法的樣本在族群各層間的分佈與各層面積呈大致比例關係時，其樣本均數變異數估值 $\hat{V}_{ran} = \frac{(N-n)}{N} \cdot \frac{s^2}{n}$ (W. G. Cochran, 1977)；在分層逢機樣本分佈未依各層面積大小比例時，所得樣本則與簡單逢機樣本者或有差距，所得樣本變異數估值可能會是個不理想的估值 (W. G. Cochran, 1977)，惟其無偏估值仍可依分層樣本計算結果得知 (J. N. K. Rao, 1962)，其公式為：

$$V_{ran} = \frac{N-n}{n(N-1)} \left[\frac{1}{N} \sum_k \frac{N_k^2}{n_k} \sum_j \bar{y}_{kj}^2 - \bar{y}_{st}^2 + v(\bar{y}_{st}) \right]$$

簡單逢機取樣法有二項統計上優點如前述，其在林木資源調查上的缺點，依 Husch 氏等 (1972) 及 楊榮啓 氏 (1980) 的說法，計有下述四點：

1. 需要設計一種能夠逢機抽選樣區或樣點之方法。
2. 尋找及到達樣區點困難。

3. 調查時，步行 / 車行到樣區的時間花費很多。

4. 族群取樣單位分佈不均齊時，可能造成樣本之取樣單位分布亦不均齊。

前述第一項缺點，因國內已有像片基本圖的問世，使用方格板 (dot grid) 放於像片基本圖上，配合座標系統，用膠帶固定其位置，每次抽選一對號碼 (分別代表 X 座標及 Y 座標)，即在方格板上定其位置，並用照片刺針刺點，小心轉繪於像片基本圖上相應位置，並予編號之作業可以克服之。將像片基本圖上照片樣點在立體鏡下轉繪於航空照片上，祇要航空照片比例尺適當且為近期攝製者，對訓練有素的判釋人員而言，第二項缺點也可以大部份克服 (D.A. Stellingwerf, 1983a)；至於第三、四項缺點乃簡單逢機取樣無從避免的先天限制。本研究乃係依分層逢機取樣法所得逢機樣本依一般簡單逢機取樣法公式計算樣本均數等各項估值，作為與分層逢機取樣法結果比較之基礎，並為確定所得估值為無偏估值，於結論及討論章依前述無偏估值計算公式 (J.N.K. Rao, 1962) 所得結果與一般公式結果作一比較性說明。(6-1-8)

2-2-5-5 分層逢機取樣法

前述之簡單逢機取樣法亦稱非限制性的逢機取樣法 (nonrestricted random sampling)，而分層逢機取樣法 (stratified random sampling) 為限制性逢機取樣法 (restricted random sampling) 的一種型式 (F. Loetsch, F. Zöhrer and K.E. Haller [1973], D.A. Stellingwerf [1979])；分層逢機取樣法為將族群劃分成若干個次級族群 (subpopulation)，或是稱作層 (strata)，再就各層分別實施簡單逢機取樣法 (F. Freese [1962], FAO [1973], 楊榮啓 [1980])，通常之分層逢機

取樣法分層之作法，係依據特性類似者分爲一層（F. Freese, 1962）；層分的好，可以減少次級族群之變異，並藉而增加族群推算之精密度（W.G. Cochran〔1977〕, 楊榮啓〔1980〕），是利用族群某種已知資訊增加族群推算精密度或樣本有效性（usefulness）的一種取樣方法（F. Freese, 1962）；計有一般配置法（general allocation）、比例配置法（proportional allocation）及最適配置法（optimum allocation）三種用法，以最適配置法所得族群推算精密度最佳或同樣精密度時調查費用最少（W.G. Cochran〔1977〕, 楊榮啓〔1980〕）；惟其較複雜且花費時間，在最大標準機差與最小標準機差比值大於2時才有使用價值（P.J.D. Versteegh, 1976）；當各層面積比例相差甚大或各層的平均調查費用相差甚多時最適配置法優於比例配置法（W.G. Cochran, 1977）。在各層的平均調查費用雷同，樣本大小固定且各層面積佔族群比值（ P_h ）均在0.1—0.9間時，最適配置法較比例配置法精密度增加的有限，此時毋寧採取比例配置法爲宜，因其本身已有自我加權（self-weighting）之特質且其較最適配置法作業簡單，各層的標準誤估值亦不必預知；又比例配置法在各層面積比例相差甚大時，其較簡單逢機取樣法增加工作量有限但其精密度優於簡單逢機取樣法甚多（P.J.D. Versteegh〔1976〕, W.G. Cochran〔1977〕）。至於一般配置法各層樣本數之配置偏離最適分配者過多時，所得變異數估值會增大，其未依最適分配法分配各層樣本數的精度損失，可以計算得之（W.G. Cochran, 1977），其公式如下：

$$\frac{V_{c\bar{y}_{st}} - V_{opt\bar{c}\bar{y}_{st}}}{V_{opt\bar{c}\bar{y}_{st}}} = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^L \frac{(\hat{n}_h - n'_h)^2}{\hat{n}_h}$$

(式中， \hat{n}_h 為最適分配法各層樣本數， n_h 為一般分配法各層樣本數)。

森林族群可供分層之基礎，有地形、林型、林分密度、林分材積、樹高、林齡及地位等 (B.Husch [1971][1972], FAO [1973], F. Loetsch, F. Zöhrer and K.E. Haller [1973], D.A. Stellingwerf [1979], 楊榮啓 [1980]) ; 分層基礎最好能與所欲推算之特性值相同或類似 (W.G. Cochran [1977], 楊榮啓 [1980])，在本章 2-2-4 所述之森林分類 (層) 系統，均可作為分層之基礎。

林木資源調查之取樣，可依主要林型 (major forest types) 分層，其優點為除可得各個林型的樣本估值外，並藉組合各林型資料推算族群之估值，如林型內取樣單位間變異小於不同林型間取樣單位間的變異，則分層逢機取樣法將比族群不分層的簡單逢機取樣得到較佳的族群推算估值 (F. Freese, 1962)，利用航空照片判釋結果配合造林地圖的使用做林型分層是很理想的作法 (B.Husch [1971][1972], FAO [1973], D.A. Stellingwerf [1979], 楊榮啓 [1980])。

Stellingwerf 氏 (1979) 敘及使用之航空照片比例尺適度及軟片種類選擇要適切，以確保分層判讀描繪的正確度；且建議層數不宜過多以免既增加室內判讀描繪時間又因判讀誤差分錯層反而有降低分層效果之虞；Cochran 氏 (1977) 亦敘及分層層數多寡仍以不超過六層為宜；避免判讀描繪錯誤，除了上述航空照片比例尺適度，軟片種類選擇適切，層數不宜過多而外，航空照片年齡不宜超過 2-3 年，分層基礎簡單可行，層與層間分界明顯，以方便各層分別進行簡單逢機取樣也是非常重要的 (FAO, 1973)

分層逢機取樣法的好處有二，一為可以分別求出各個次級族群的樣

本均數及變異數的估值，其次為在一定取樣密度 (sampling density) 或樣本數固定時，所得族群介量估值的精密度較簡單逢機取樣法為佳 (F.Freese [1962], B.Husch et al [1971][1972], 楊榮啓 [1980])，惟第二項優點之實現，端賴三項要件的具備 (W.G.Cochran, 1977)，分別為：

1. 各個次級族群 (層) 的面積有相當大的差距。
2. 測計的主要變數與次級族群的大小密切相關。
3. 各個次級族群 (層) 面積的測計要正確，要有可資測計的良好方法可用。

至於分層逢機取樣法亦有若干缺點，如必須知道各層的大小或至少各層的大小比例估值，以及分別由各層抽出取樣單位 (B.Husch et al [1972], 楊榮啓 [1980]) 暨任一取樣單位祇能歸屬於某一次級族群 (F.Freese, 1962)。使用最適分配法時，各層的標準偏差估值甚或各層每一取樣單位的費用資料都必須已知 (F.Freese [1962], W.G.Cochran [1977]) 也是其應用上的限制。

配置不同次級族群樣本數的最好方式 (一般分配法、比例分配法或最適配置法) 端視林木資源調查的主要、次要目的為何及吾人對族群特性了解程度而定，如各個次級族群的估值為調查的主要目的，而族群的估值推算為次要目的，對高經濟價值的次級族群所期望的精密度必較高，其取樣密度自較其他次級族群為集約，如此吾人捨比例分配及最適分配法而不用，各層樣本數配置則依各層精密度的需求而定其多寡 (F.Freese [1962], B.Husch [1971])。

本研究所用分層逢機取樣法係依林型為分層基礎，並以林型材積資訊為調查主要目的，故依林型經濟價值高低設定相對的容許取樣誤差 (allowable sampling error)，依固定的總樣本數憑以分配各

層的樣本數 (F. Freese, 1962)，並用一般配置法的公式作各種估值推算，並與簡單逢機取樣法比較，其因達成主要目的而犧牲族群介量估值之精密度則依 Cochran 氏 (1977) 前述公式於結論及討論章作比較性說明 (6—1—9)。

限於設計及研究經費、時間的先天限制，本研究在取樣設計上僅採用簡單逢機取樣法及分層逢機取樣法二種在五種地面測計方法 (三種樣區大小及二種畢特立希氏角度係數值的水平樣點) 調查精度、時間、費用的比較。

有關樣區 (點) 調查費用 (時間) 的計算，依 Stellingwerf 氏 (1983a) 所用之公式，此公式對林分族群特性、測計方法精度、調查精度需求、調查面積、樣區 (點) 平均測定時間、樣區 (點) 測定時間、樣區 (點) 間交通時間等各因子均能顧及，雖則樣區 (點) 間彼此距離及總距離之演算稍顯概化 (generalized) 或有未儘合乎特定地區實況之虞，但較 Husch 氏等 (1972) 僅根據所需精密度及其需用調查費用作最適地面樣區大小抉擇之實用性比較，似值吾人根據 Stellingwerf 氏 (1983a) 公式所得結果在結論及討論章作比較性說明 (6—2—1—1, 6—2—1—4)

至於二段取樣法 (two—stage sampling)、系統取樣法 (systematic sampling)，本研究雖未採用，惟為林木資源調查常所採用，允宜作一敘述；二相取樣法 (two—phase sampling) 更涉及航空照片判釋及地面測計之組合方式，前人不同看法更值吾人作綜合性之敘述，茲依二相取樣法、二段取樣法及系統取樣法分段敘述之。

2—2—5—6 雙重取樣法 (double sampling)

雙重取樣法 (double sampling), 又稱二相取樣法 (two-phase sampling), 其推算族群方式很多, 舉其要者計有使用分層的雙重取樣法 (double sampling for stratification), 使用迴歸或比值的雙重取樣法 (double sampling for regression or ratio estimation), 相同族群的重複取樣 (repeated sampling of the same population) 等三種方式 (W.G.Cochran, 1977) 其在林木資源調查上應用相當廣泛 (FAO [1973], F.Loetsch, F.Zöhrer and K.E.Haller [1973]); 其中又以使用迴歸估值的雙重取樣法最爲林業人士樂道 (B.Husch et al, [1972], D.P.Paine [1981], 楊榮啓 [1980]), 甚而認爲雙重取樣法就是使用輔助變數由迴歸式推算主要變數的一種取樣方法的林業學者專家也大有人在 (F.Freese, 1962); 特別強調使用分層的雙重取樣法在林木資源調查應用的林業學者專家也不在少數 (FAO [1973], W.E.Frayer [1979], 楊寶霖 [1983]); 此外 Loetsch 氏等 (1973) 在其所著《森林調查學》一書敘及林木資源調查取樣的四種基本方法的單獨或綜合應用時, 並未將雙重取樣或多相取樣 (multi-phase sampling) 視爲一種取樣方法, 却強調多相取樣的每一相 (phase) 可就簡單逢機、限制逢機、集團及系統方式配置取樣單位的四種取樣方法擇一使用, 並對雙重取樣相與相間獨立 (independent) 或相關 (dependent) 的原理及應用作極爲詳盡的實例及沿用公式的敘述; 更值得一提的是 Cochran 氏 [1977] 敘及也是雙重取樣法的相同族群的重複取樣 (repeated sampling of the same population) 也是林業上爲取得生長量與枯死量 (growth and mortality) 的連續森林調查 (continuous forest inventory), 除 Loetsch 氏等 (1973) 將其歸屬於雙重取樣或多相取樣 (multi-phase sa-

mping) 而外，國內外林業研究文獻少見提及或認同連續森林調查是雙重取樣法的一種應用方式 (Bickford, et al [1961], F. Fr— eese [1962], B. Husch [1971] B. Husch, et al [1972], FAO [1973], W. E. Frayer [1979], D. P. Paine [1981], 劉宣誠 [1976], 楊榮啓 [1980], 楊寶霖 [1983])。

使用分層的雙重取樣法 (double sampling for stratification)，亦稱爲雙重分層逢機取樣法 (double stratified random sampling)，與分層逢機取樣法相類似，只是對各層的大小在分層逢機取樣法爲已知數，本法僅有各層大小的估值 (W. E. Frayer, 1979)；本法爲美人 Neyman 氏 (1938) 所創，先將森林族群依森林分類系統分成 L 個次級族群，就各層內選出第一相的取樣單位，其樣本數 n' ，復自各層 n'_h 取樣單位中逢機抽選第二相的取樣單位，其樣本數爲 n ，各層樣本數爲 n_h ， n_h 爲 n'_h 的逢機次級樣本 (W. G. Cochran [1977], W. E. Frayer [1979], 楊寶霖 [1983])，第一相樣本用爲估計各層大小權數 (strata weights, W_h 或 P_j)，第二相樣本用爲估計各層均數 (strata means, \bar{Y}_h) 之用 (W. G. Cochran, 1977)，其在應用航空照片與地面測計組合的林木資源調查上，乃係藉助航空照片判釋結果依森林分類系統 (2—2—4) 分成若干個均質化的次級族群，並在各個次級族群分別逢機抽選逢機取樣單位，俾冀以提高森林族群參數較精確的估值 (FAO [1973], W. E. Frayer [1979])；至於相與相間是否必須爲從屬關係 (dependent relations) 依 Cochran 氏 (1977) 前述定義則似非必要條件，並經 Loetsch 氏等 (1973)，FAO (1973) 等將“相”與“相”間彼此獨立之情況亦納爲雙重逢機取樣法之列；再依前述 Loetsch 氏等 (1973) 所強調的多相取樣的每一相 (phase) 可就簡單逢機、限制

逢機、集團及系統方式配置取樣單位的四種取樣方法擇一使用的觀點來看，國內第一次全省森林資源及土地利用調查依美人 Bickford 氏 (1953a, 1953b) 方法者，固為雙重分層取樣法的一種型式 (AFAST, 1961); 國內第二次全省森林資源及土地利用調查 (林務局, 1978) 未嘗不是雙重分層取樣法的另一種形式; 再者或謂係事後分層 (poststratification or stratification after sampling) 不是一般習用的事前分層 (stratification prior to sampling) 有所未宜，實則二種方式都是可行作法，前者取樣係對族群一次取樣再予分層而非各層分別取樣是二種方式作法上的相異之處 (FAO, 1973)，在各層樣本數 ≥ 20 及各層大小權數 (strata weights, W_h 或 P_j) 誤差不予考慮情況下所得結果精密度與分層逢機取樣法按比例分配結果精密雷同，如各層大小權數為已知數，此種事前分層作法尚可應用於已依其他因子分層的樣本上 (W.G. Cochran, 1977)

應用航空照片與地面測計的組合方式作林木資源調查，依雙重分層取樣法有二種情況 (FAO, 1973)，一為各層面積已知，故本研究依林型分類利用航空照片判釋結果在立體鏡下轉繪至像片基本圖上並以面積儀測計各層面積，各層單位面積材積則由各層照片樣點選擇作為地面樣區在地面測計而得之方式為此種情況；一為各層面積經由照片取樣 (photo-sampling) 判釋結果或其他取樣方式作估測，各層單位面積材積則自地面測計得之，國內第二次森林資源及土地利用調查 (林務局, 1978) 為此種情況。

使用迴歸估值的雙重取樣法 (double sampling for regression) 時機為輔助變數的族群均數為未知數，因之在第一相中自族群逢機抽選較多 (照片) 取樣單位，憑以估測輔助變數的族群均數，

復自第一相抽選的逢機(照片)取樣單位中逢機抽選少量作為第二相的次級樣本，同時測計輔助變數及主要變數，憑以估測主要變數與輔助變數的迴歸關係，藉助第二相建立的迴歸關係及第一相輔助變數的族群介量估值，憑以估測主要變數的族群之介量，由於用在航空照片測計輔助變數的費用低廉，故此法可節省外業調查的費用(F. Freese [1962], B. Husch et al [1972], F. Loetsch et al [1973], W.G. Cochran [1977], D.A. Stellingwerf [1979], 楊榮啓 [1980])，惟若輔助變數與主要變數的相關程度不高或主要變數與輔助變數的測計費用相差微小，則無採用本法之必要，毋寧以使用簡單逢機取樣法為宜(FAO [1973], 楊榮啓 [1980])，此外由於主要變數的樣本數減少所造成的精密度損失，能被由於主要變數與輔助變數的高相關迴歸關係增加的精密度所彌補，此法採行才為有利(W.G. Cochran, 1977)；又Cochran氏(1977)認為上述說法亦適用雙重分層取樣法。此外航空照片測計林分特性的測值如照片材積(photo volume)、樹冠鬱閉度(crown closure)、林分平均樹高(average stand height)等亦可藉此種雙重取樣法，俾以改正照片判讀判讀錯誤(misinterpretation)或照片比例尺的變異(scale variation)等實際可能發生情況(FAO [1973], F. Loetsch, F. Zöhrer and K.E. Haller [1973])。比值為條件迴歸(B. Husch et al [1972], W.G. Cochran [1977])不另敘述。

相同族群的重複取樣(repeated sampling of the same population)方面，依Cochran氏(1977)之定義，將林業上為取得生長量與枯死量(growth and mortality)的連續森林調查(continuous forest inventory)歸屬於雙重取樣法的一種型式(F. Loetsch, F. Zöhrer and K.E. Haller, 1973)是正確的

；有關生長量與枯死量的推算另於 2-2-5-11 節作簡要敘述。鑑及實驗林之林木生長量試驗地之分佈遍及各營林區，其設定最早者已五十餘年（國立臺灣大學農學院實驗林，1974），且因其作業所需時間、經費、人力均非本研究力所能及，故未作生長量及枯死量之調查。

雙重取樣法與下節之二段取樣法，基本上的不同點為不同相（phase）之取樣單位大小（size of the sampling units）都一樣，而後者不同段的取樣單位均為其前段取樣單位之再分割（partitioning）為更小的取樣單位（W.E.Frayer, 1979），再者，二段取樣法各段取樣單位大小不同的排列乃為其取樣方法的結果使然，而雙重取樣法的各個相本身都是個族群樣本的代表，每一相提供部分所需資訊（a part to the wanted information）惟二者均為林木資源調查的有效工具（FAO [1973], F.Loetsch, F.Zöhrer and K.E.Haller [1973], W.E.Frayer [1979]）。特別一提的是，使用前述迴歸或比值的雙重取樣法應用航空照片測計林分特性的方式不適用於熱帶地區混淆林的林木資源調查（FAO, 1973）；但對二段取樣法却反而適用，其理由於 2-2-5-7 二段取樣法節適當處予以敘明。

2-2-5-7 二段取樣法（two stage sampling）

二段取樣法（two stage sampling）亦稱副次取樣法（sub-sampling），其作法為先將族群分成 M 個較大的取樣單位，稱作初級取樣單位（primary units, PU），並從中逢機抽選 m 個（ $m \geq 2$ ），此為調查地區的選定，每一 PU 內分成 N 個較小的取樣單位，稱作次級取樣單位（secondary units, SU），並從 m 個 PU 內逢機抽選 n 個 SU，彼等 SU 為調查地區的取樣單位，此乃所謂標準的

二段取樣法；另有集團取樣法 (cluster sampling) 爲二段取樣法的另一種型式，與後者的不同點爲第二段的 SU 係以系統配置方式爲之，在此情況下 SU 因係系統取樣，不能測定 PU 內的變異，彼等 PU 內之 SU 爲紀錄單位 (recording unit) 不能作爲取樣單位 (sampling unit) 或統計單位 (statistical unit) ；此外 PPS 被選取的機率，依面積大小而有不同，利用不同的面積變數，面積越大，被選取機會越大，PPS 取樣法需先知 PU 的面積，其目的乃在管制因爲 PU 間大小不一 (各 PU 內 SU 數目不等) 變異數增大的影響 (D. A. Stellingwerf [1979 , 1983a])，上述分類方式爲 Stellingwerf 氏其個人看法，與劉宣誠氏 (1976)，楊榮啓氏 (1980)，楊寶霖氏 (1983)，Husch 氏等 (1972)，FAO (1973)，Loetsch 氏等 (1973)，Cochran 氏 (1977)，Frayer 氏 (1979) 等分類方式未盡相同，其各家分法及名詞釋義亦未盡一致，不得已乃採用 Stellingwerf 氏之分類方式及其名詞釋義，以方便說明二段取樣法的優缺點，特此敘明。

二段取樣法爲分層逢機取樣法的擴張 (楊榮啓，1980)，二者在 PU 內 SU 的逢機抽選方式相同，其不同處爲後者 PU 全部拿來抽選 SU 之用，亦即 $m = M$ ，代表的意義是沒有 PU 間的取樣誤差，故其精密度自較二段取樣法爲佳，此爲其一；又後者分層的目的在使層內變異減少，故層內愈均質化 (homogeneous) 精密度愈佳，而前者均數變異數估值公式：
$$V_{\bar{y}} = \frac{S_j^2}{m n_j} \left[\frac{n_j r}{(1-r)} + 1 \right]$$
，由此公式看出 PU 內 SU 間相關係數愈高，均數變異數愈形增加，要均數變異數小，則 PU 內 SU 間越異質化 (heterogeneous)，效果愈好，故 PU 面積越大異質化的機會也大，精密度相對提高，此其二；交通便利程度越不

理想，後者花費在樣區間往返時間費用越大，相形之下，二段取樣法由於 PU 內的 SU 距離較近，紮營、拔營的工作與往返於 PU 內 SU 間的時間都減少了許多，反而更顯其作業之有效性 (D.A.Stell-
ingwerf [1979, 1983a])。

茲依 Desabie 氏 (1966) 簡易符號表示法列舉有關二段取樣法均數變異數估值計算的二種公式，調查費用計算式及求知 PU 內 SU 之最適樣本數公式，共四式如下，俾便說明：

$$V = \frac{A}{m} + \frac{B}{m\bar{n}} \quad \text{—————(1)}$$

$$V = \frac{B}{m\bar{n}} \left[\frac{\bar{n}r}{(1-r)} + 1 \right] \quad \text{—————(2)}$$

$$C = m C_1 + m\bar{n} C_2 \quad \text{—————(3)}$$

$$\hat{n}_{opt} = \sqrt{\left(\frac{C_1}{C_2} \right) \left(\frac{B}{A} \right)} \quad \text{—————(4)}$$

式中之 V：無限族群均數變異數估值 (簡稱精密度)

A：樣本 PU 間之變異數估值

m：PU 之樣本數

B：樣本 PU 內 SU 樣區間之變異數估值

\bar{n} ：PU 內 SU 的平均樣本數

r：PU 內 SU 樣本間的相關係數 (= $\frac{A}{A+B}$)

C：總調查費用

C_1 ：樣本每一 PU 之平均費用

C_2 ：樣本每一 SU 之平均費用，包括 PU 內往返 SU 樣區間費用及 SU 樣區的平均測計費用

\hat{n}_{opt} ：PU 內 SU 的最適樣本數

1. 由公式(1)知樣本數 ($m\bar{n}$) 固定時，二段取樣法精密度 (V) 較單段取樣法 (mono-stage sampling) 者為低 (FAO [1973], D. A. Stellingwerf [1979, 1983a])。

2. 由公式(1)得知，樣本數 ($m\bar{n}$) 固定時，PU 間之變異數估值 (A) 及 PU 樣本數 (m) 為取決二段取樣法精密度 (V) 的二個主要因子 (FAO, 1973)；增加 PU 樣本數 (m)，常較增加 SU 樣本數 (\bar{n}) 可提高精密度 (D. A. Stellingwerf [1979, 1983a], 楊榮啓 [1980])；二段取樣法以樣本 PU 間變異數估值 (A) 越小越佳 (F. Loetsch, F. Zöhrer et al [1973])，如樣本 PU 內各個 SU 變異情況雷同時，可適度減少 SU 樣本數 (\bar{n}) 以提高精密度 (F. Freese [1962], W. G. Cochran [1977])。

3. 各個 PU 間變異程度差距愈大，樣本 PU 間變異數估值 (A) 愈大，精密度 (V) 愈形降低 (FAO, 1973)；族群均齊 PU 間變異數估值 (A) 為零時，其精密度 (V) 與分層逢機取樣法者相同 (D. A. Stellingwerf, 1979)。

4. PU 樣本數 (m) 與其族群 (M) 相同時，二段取樣法為分層逢機取樣的比例配置法；SU 樣本數 (\bar{n}) 與其族群 (N) 相同時，二段取樣法則為一般之簡單逢機取樣法 (W. G. Cochran, 1977)。

5. PU 樣本數 (m) 不宜過小，否則特定機率水準下的 t 值會增大；有限族群之有限族群糾正值 (finite population correction, fpc) 相對增大，二種情況都使精密度 (V) 降低 (D. A. Stellingwerf, 1979)。

6. 根據公式(1)，可計算得知既定精密度 (V) 下調查費用 (C) 最少的 PU 樣本數 (\hat{m}_{opt})，並經 Freese 氏 (1962), Loetsch 氏等 (1973), Stellingwerf 氏 (1979) 加以援用。

7. 根據公式(2)，樣本 PU 內 SU 樣區間的相關程度 (r) 愈高，二段取樣法精密度 (V) 愈低；要提高精密度，必須降低相關程度 (r)，增大 PU 面積是一種作法，因為 PU 內 SU 樣區間異質化的機會增加 (D.A. Stellingwerf [1979, 1983a])。

8. 由公式(2)得知增大 PU 面積可能會有提高精密度 (V) 的效果，且減少描繪等內業工作，但因 PU 面積增大，由公式(3)知必增加了 PU 內往返 SU 樣區間的步行 / 車行時間及費用 (C_2)；減少 PU 面積，雖然減少了樣本每一 SU 的平均費用 (C_2)，不過描繪等內業工作會增加，且由公式(2)得知，精密度會降低 (D.A. Stellingwerf, 1979)。

9. 由公式(3)知樣本數 ($\bar{n}m$) 固定時，二段取樣法調查費用 (C) 會較單段取樣法者為節省 (F. Freese [1962], B. Husch et al [1972], FAO [1973], D.A. Stellingwerf [1979, 1983a], 楊榮啓 [1980])，這是因為前者 PU 內 SU 樣區間距離較短，步行 / 車行時間費用 (C_2) 相對減少；同理，Freese 氏 (1962) 提及樣本數 ($m\bar{n}$) 固定時，調整增加 SU 樣本數 (\bar{n}) 及減少 PU 樣本數 (m)，會減少調查費用，但精密度 (V) 相對降低。

10. 林木資源調查面積範圍越遼濶，交通越不便利，可及性越差及取樣率 ($\frac{\bar{n}\bar{m}}{MN}$) 越低時，樣區間步行 / 車行時間及費用 (C_2) 佔總費用 (C) 的比重越大；二段取樣法由於 PU 內 SU 樣區間的位置較為集中，總調查費用 (C) 大為減少，加上其所具備的實用性及作業性，使得二段取樣法在熱帶原始林 (primary forest)、開發中國家叢林地區 (jungled areas) 及溫帶森林地區的林木資源調查上大行其道 (F. Freese [1962], B. Husch et al [1972]; FAO [1973], F. Loetsch et al [1973], W.G. Cochran [1977], W.E.

Frayer〔1979〕, 楊榮啓〔1980〕)。

11. 由公式(3)看出使用單段集團取樣法 (mono-stage cluster sampling) 時, 調查費用節省的效果平平, 不若二段取樣法之顯著 (FAO, 1973)。

12. 由公式(3)可計算得知既定費用下, 得到最佳精度 PU 的最適樣本數 (\hat{m}_{opt}), 並經 Stellingwerf 氏 (1979, 1983a) 援用。

13. 由公式(4)知, 如樣本 PU 間之變異數估值(A), 樣本 PU 內 SU 樣區間之變異數估值 (B), 樣本每一 PU 之平均費用 (C_1) 及樣本每一 SU 之平均費用 (C_2) 等資料能經由先驅調查或其他方式獲有大致可靠估值時, 可計算最適的 SU 樣本數 (\hat{n}_{opt}), 經 Freese 氏 (1962), Husch 氏等 (1972), FAO (1973), Loetsch 氏等 (1973), Stellingwerf 氏 (1979, 1983a), 楊榮啓氏 (1980) 加以援用。

14. 樣本 PU 內 SU 的最適樣本數 (\hat{n}_{opt}) 之多寡, 視特定族群樣本 PU 間之變異數估值 (A) 及樣本 PU 內 SU 樣區間之變異數估值 (B) 之特性暨樣本每一 PU 之平均費用 (C_1) 及樣本每一 SU 平均費用 (C_2) 之關係而有不同 (F. Freese, 1962); 樣本 PU 內 SU 樣區間變異數估值 (B) 越大於樣本 PU 間變異數估值 (A) 或每一 PU 之平均費用 (C_1) 越大於每一 SU 之平均費用時, 樣本 PU 內 SU 最適樣本數 (\hat{n}_{opt}) 越大 (楊榮啓, 1980) 二段取樣法節省調查費用的效果愈佳 (F. Loetsch et al, 1973)。

除了上述二段取樣法的費用節省優越性及精密度較低之限制性外, 二段取樣法較單段取樣法具作業彈性 (W. G. Cochran, 1977); 因測定工作集中於所選出 PU 位置附近, 後勤補給容易, 紮營拔營次數因而減少, 對外業工作的組織調配大有裨益, 也方便測計工作進度及

精度之監管 (F.Loetsch et al , 1973) ; 因測定工作集中，能減少非取樣誤差 (non-sampling error) ，提高調查結果的正確性 (B.Husch et al [1972] ，楊榮啓，[1980]) 。

使用 PPS取樣法常有其實際上的需要，不過事前需清楚各個 PU 面積的大小，且需同時滿足變數能容易測計或取得，且此變數必須與欲獲取資訊參數間有高度相關關係二個條件才能使用 PPS取樣法 (Hansen and Hurwitz [1953] ， F.Loetsch et al [1973] ， Snedecor and W.G.Cochran [1976] ， W.G.Cochran [1977] ， D.A.Stellingwerf [1979 ， 1983a]) ，在應用航空照片時，面積變數在調查前即可藉面積儀在像片圖上測計而得，且面積大小與材積多少亦有高度相關關係。

集團取樣法 (cluster sampling) 由於樣本 SU 之配置依系統方式為之，其集團 (PU) 內之變異雖仍可由二段取樣法公式計算得知，惟非為有效估值 (valid estimates) ，僅能作概略之指針參考 (F.Freese [1962] ， B.Husch et al [1972] ， D.A.Stellingwerf [1979 ， 1983a] ，楊榮啓 [1980]) 。而且樣本 PU 內一些地區由於上述系統取樣方式，被選取機會完全被排除，自有產生 (bias) 之可能 (F.Freese [1962]) ，有關係統取樣不理想情況於下節再敘。

自統計觀點，二段取樣法誠不如單段取樣法理想，但對交通不便、可及性差、取樣率低且地區遼濶大面積林木資源調查的費用節省收效宏大，其具作業彈性，外業工作的組織調配及測計工作的監管暨非取樣誤差減少等優點都是前面提到的優點。簡言之，二段取樣法之採行與否端視精度與費用的適度平衡，如 SU 間樣區距離，SU 樣本數 (\bar{n}) ，每一 PU 的平均費用 (C_1) ，樣本 PU 間變異數估值 (A) ，

樣本 PU 內 SU 樣區間變異數估值 (B) 都是決定二段取樣法值得採行與否的考量，此外樣區間步行 / 車行時間及樣區測計時間之合理關係亦需確立，總之二段取樣法使用的有效性仍視族群特性及其精密度需求而定，如林木資源調查常須獲取不同族群介量估值，對某一介量理想的二段取樣設計，未必就表示對其他族群介量也是同樣理想；對取樣率高及取樣單位密佈的集約性調查，二段取樣法節省調查費用的優點相當有限 (F.Loetsch et al , 1973) 。

吾人本研究目的在探就不同林型精密度需求不同的分層逢機取樣法與簡單逢機取樣法在五種地面測計方法 (enumeration method) 的相關研究，並未採用二段取樣法之設計。

2-2-5-8 系統取樣法 (systematic sampling)

系統取樣法為林木資源調查習用之方法，係用以代替簡單逢機取樣的方法，二者唯一相異之點，簡單逢機取樣法取樣單位之被選取符合逢機，彼此獨立及相同被選取機會之原則，系統取樣法以一定的間隔 (fixed intervals) 或其他系統形式 (systematic pattern) 自族群中抽選取樣單位為之 (F.Freese [1962], B.Husch et al [1972], FAO [1973], F.Loetsch et al [1973], W.G.Co — chran [1977], W.E.Frayer [1979], D.A.Stellingwerf [1979], 劉宣誠 [1976], 楊榮啓 [1980], 楊寶霖 [1983])。如國內第二次全省森林資源及土地利用調查之取樣設計，其第一相照片樣本係用方格板 (dot grid)，有系統地分佈於全面積，由落於每張照片有效區域 (effective area) 內之照片樣點構成，第二相之地面樣本，則係以「世界橫麥卡脫方格」 (transverse Mercat — or grid) 之地圖方格交點為準，於最靠近此方格點之照片上，以逢機取樣法抽選照片樣點一點為地面樣區位置等，就是系統取樣法

的一種方式（林務局，1978）。

較諸簡單逢機取樣法，系統取樣法在林木資源調查上有以下之優點：

1. 取樣單位的抽選相當方便，作業迅速，也因為取樣單位抽選的簡化，非取樣誤差得以減少。（F. Freese [1962]，B. Husch et al [1972]，W. G. Cochran W. E. Frayer [1979]，D. A. Stellingwerf [1979]，劉宣誠 [1976]，楊榮啓 [1980]，楊寶霖 [1983]）。

2. 在林區內容易認定，可沿固定位角及距離尋找樣區，因而現場尋找樣區的費用（access cost）得以減少（FAO [1973]，F. Loetsch et al [1973]，D. A. Stellingwerf [1979]，楊榮啓 [1980]，楊寶霖 [1983]）。

3. 樣本均勻分布於族群，更能代表族群，故可求得族群均數及總和之較佳估值（B. Husch et al [1972]，FAO [1973]，D. A. Stellingwerf [1979]，楊榮啓 [1980]）；也有人認為系統取樣法有較佳的代表性是直覺上的看法，當然其可能性及機率都比簡單逢機取樣法為大（F. Freese, 1962）；由於樣本均勻分佈的事實，有時尚可得到比分層取樣法更佳的精密度（W. G. Cochran, 1977）；尤適於從未作過調查的地區（FAO, 1973）。林木資源調查取樣率相同時，系統取樣法精密度較高（F. Loetsch et al [1973]）；經驗顯示雖有少數調查所得估值誤導（misleading），絕大多數所得估值精密度均與簡單逢機取樣法相同或稍佳（F. Freese, 1962）。

4. 取樣單位有系統的分布族群中，故可應用在固定樣區或樣帶法，亦可在PPS取樣之變動樣區的樣點法或樣線法應用（B. Husch et al [1972]，楊榮啓 [1980]）。

5. 樣本取樣單位的抽選，較具客觀性 (FAO, 1973)

6. 森林調查雖然無法預先知道族群大小，本法亦可採用 (B. Husch et al [1980]，楊榮啓 [1980])。

7. 由於樣本有規則地縱橫在森林中，故可同時完成繪製林型圖工作 (B. Husch et al [1972]，F. Loetsch et al [1973]，楊榮啓 [1980])。

8. 根據實際經驗顯示，林木資源調查所包括之面積愈廣及變異越大時，系統樣本愈能得到較佳之均數推算值，森林族群愈呈均質時，由系統樣本與由逢機樣本所得之結果愈趨一致 (B. Husch et al [1972]，楊榮啓 [1983])；系統樣本內變異數大於族群變異數時，系統取樣法精密度較簡單逢機取樣法者為佳，系統樣本內取樣單位間越異質化，結果愈正確 (W.G. Cochran, 1977)。

9. 其依逢機公式所得變異數估值為最大值而非平均值，故就實用觀言而言，因其所得結果相當保守，有其實用性 (D.A. Stellingwerf, 1979)。

系統取樣法縱有如上優點，但仍有其如下之缺點：

1. 由於其不能符合逢機，彼此獨立及被選取機會相同之原則，純就統計觀點，自不能視為無偏差 (unbiased)，且不能得到取樣誤差的有效估值 (FAO [1973]，B. Husch et al [1972]，F. Loetsch et al [1973]，D.A. Stellingwerf [1979]，楊榮啓 [1980])。

2. 系統取樣法樣本取樣單位的間隔與森林族群週期性變化相同時，所得樣本均數估值會有偏差，且觀測值間的變異將不具逢機性 (B. Husch et al [1972]，F. Loetsch et al [1973]，楊榮啓 [1980])。在此情況下樣本均數估值可能高估或低估 (F. Loetsch et al, 1973)。

3.越同質化的森林，系統取樣法所得樣本估值產生偏差的機會相對愈小，異質化森林族群經由系統取樣法所得變異數估值會有偏高情形（F. Loetsch et al, 1973）。

4.用逢機公式計算之變異數估值，雖屬保守性估計，其差異之機率（probability of discrepancy）不詳，故而此估值不能符合一般樣本估值所必要具備的充份性（F. Loetsch et al, 1973）。

系統取樣法不能產生有效取樣誤差估值的基本原因，在於變異之計算至少要有兩個逢機取樣準位（B. Husch et al [1972]，楊榮啓，[1980]）；在一定機率下為避免有過大的 t 值及維持較小之信賴區間，至少要有 5 個逢機起點（薛承建，1960）；將逢機要素導入系統樣本俾有效計算取樣誤差的方法將有可能趨於實用（F. Freese [1962]，P.J.D. Versteegh [1976]，B. Husch [1971]，楊榮啓 [1890]）。

2-2-5-9 取樣技術的選擇

調查資料全需自地面測計獲取時，森林分類（層）為較同質性的級用為取樣根據殊少可能，故通常採用系統取樣，全林系統導線（systematic traverse）所費不貲，惟可保證調查人員可審視全林，自費用及完整性而言對集約性調查特別適用，用在粗放調查時，調查線間隔及樣區／點間隔自會距離很大，全林太多地區會無從審視，同時地面工作人員在全林範圍內的樣區到樣區交通時間也可能要花的多。為了上述原因，大地區的林木資源調查都使用航空照片經過判讀分類為數個同質性的層，在各層分別取樣，決定各層取樣單位位置，在地面再予測計（B. Husch, 1971）。

在航空及地面測計技術併用的林木資源調查時，雖然系統取樣或逢機取樣都照樣可用，不過由於照片上取樣單位的逢機定位非常方便

使得逢機取樣法廣為應用；先分層再依各層取樣的事先分層或先逢機取樣再分層的事後分層都是可行的；照片上的照片樣點再在地面上作為地面樣區之中心點或變動樣區的樣點進行林木資訊的測計。

其他像多段取樣法 (multi-stage sampling)、多相取樣法 (multi-phase sampling) 以及集團取樣法 (cluster sampling) 的基本架構允宜再作簡要討論。

在多段取樣法時，族群分成為許多較大的初級取樣單位 (primary sampling unit, PU)，自其中逢機選擇部份作為第一段的樣本，將此樣本再分成為許多較小的次級的取樣單位 (secondary sampling unit, SU)，自其中逢機選擇部分作為第二段的樣本，依此過程取樣可至若干段。(段內的變異越大越好，是與分層逢機取樣法共同之處。)

集團取樣法是多段取樣法的一種形式，只是其第二段的取樣單位係在群狀或集團範圍內座落，集團本身為初級取樣單位 (B. Husch, 1971)，此定義與 Stellingwerf 氏 (1979, 1983₂) 不同 (2-2-5-7)；此種集團取樣法依 Husch 氏 (1971) 的說法，在交通困難遙遠地區的熱帶森林使用結果相當成功，主要是大量節省樣區至樣區的時間 (指集團內)，集團的位置選擇可以是逢機式或系統式，系統式配置喪失了有效計算取樣誤差的可能性，如集團內的次級取樣單位也是系統定位，同樣也喪失了有效計算集團內 (within-in) 取樣誤差的可能性。

在多相取樣法 (2-2-5-6) 時，同樣的取樣單位有可能在不同相時被選用到，多相取樣法在大面積調查又有航空照片可用時是常用的一種設計，像照片樣點的立體判釋為林地或非林地為第一相，一部份照片樣點可用作為照片樣區中心點進行照片判釋為第二相，照片樣區

的一部分用作爲第三相的地面樣區進行林木之測計 (B. Husch, 1971) 。

2-2-5-10 取樣密度 (intensity of sampling)

林木資源調查上地面取樣單位個數的多寡可依二種方式爲之，一爲依設定之機率水準及取樣誤差憑以計算之，一爲在地面測計工作前先選定一固定之取樣密度或決定地面取樣單位數目，後者乃係依可用時間及金錢決定，故在規劃設計階段並不特別強調期望精度。

通言之，當取樣密度或百分比先予決定時，多採用取樣單位系統配置，多半情況下全林或各類林地面積資訊厥如，自然在調查完竣前也就無法先知道全林或各類林地取樣單位個數了，前述之帶狀或直線樣區就是配置的取樣單位。

如因經費所限，每樣區調查費用也是常數，自然樣區個數即被決定，至其取樣單位配置系統逢機均可。如全林取樣單位總數已知，不同類 (層) 之樣區 (點) 之分配可依比例分配法 (proportional allocation) 或最適分配法 (optimum allocation) 爲之，比例分配法係依各類 (層) 之面積或單位面積材積比例分配各該類之取樣單位數。最適分配法 (optimum allocation) 則依各類的變異數大小差異，越大者取樣密度亦大，雖然不管各類間之變異數差異大不大，都可援用比例分配法爲之，不過 Versteegh 氏 (1976) 敘及當最大標準誤與最小標準誤比值大於 2 時，使用最適配置法所得結果較佳 (2-2-5-5) 。

當然能接受的取樣誤差大小，機率水準都須決定，族群的變異性可根據對該林況的經驗或知識可知其梗概，如全然不知則可藉計算初步獲取樣本的標準誤得知 (B. Husch, 1971) 。

雖然估計取樣密度的公式理論上僅適用於逢機取樣法，但由於用

此公式計算系統取樣法的取樣誤差為最大取樣誤差，其族群未知之取樣誤差通常會小於計算所得取樣誤差；也由於系統取樣法所得均數及總估值通常會比逢機取樣法為佳，使用逢機取樣統計公式計算取樣密度值超過可接受取樣誤差的機會相當小。（2-2-5-8）

所需精度之決定需考慮資訊預定用途，什麼樣精度即可符合需要，經營或投資決策錯誤的風險暨其後遺症等因子亦需考慮，同時吾人亦需切記超過需要的高精度祇代表著無意義的時間及費用浪費。（B. Husch，1971）

2-2-5-11 生長量與枯死量推算

楊榮啓氏（1984）認為森林面積、材積及生長量的連續變化是決定適當年伐量不可缺少的重要資訊，不過由於颱風、病蟲害、火災等因素會減低生長量暨市場需求、經濟狀態、伐採系統等改變亦會影響木材需要量，實際伐採量可能會有不等於連年生長量的情況發生。也因為如此，生長量及枯死量調查對有關經營計畫或國家性的林木資源調查都是必要的調查項目，生長量及枯死量調查包括的調查內容至少應有增大生長（accretion）、管級生長（ingrowth）、枯死量（mortality）、伐採量（drain or removals）等，變動樣區時要增加進位林木（ongrowth tree）測計以求取正確的生長量及枯死量推算。

Husch氏（1971）紋及生長量調查可用控制法（control method）、連續森林調查（continuous forest inventory）或部份置換重複取樣法（method of repeated sampling with partial replacement）等方法為之，並指出每次調查都能於一年內完成，並使再次調查之時間間隔保存固定較為理想，不過均須俟重測完畢始知其梗概也是事實；如台大實驗林主要造林樹種生長記錄（1974）紋

及該處林木生長量試驗地之分佈遍及各營林區，其設定最早者已六十餘年。簡易的方法藉測定年輪的生長以推算未來的直徑增大率，不過僅適用溫帶地區及桿材年輪明顯的熱帶地區。(B. Husch, 1971)

2-2-5-12 森林面積之測計

森林面積之測計通常可用取樣程序自航空照片判讀推算而得，也可以自不同林型均經轉繪的地圖上直接測計得之。航空照片為中心投影，自不免受傾斜位移、投影誤差之影響，加上不管用何種取樣程序，自都會有取樣誤差乃所定論，而標準的地圖，平面精度自高，將航空照片判讀結果轉繪其上，又經過地面校正程序的話，用面積測定板 (dot grid)、面積儀 (planimeter) 或座標數化儀 (coordinate digitizer) 所得結果精度必高，且所有林型之森林面積均經測計，亦無取樣誤差，有關利用航空照片或地圖測計森林面積之方法，Husch 氏 (1971)，Loetsch 氏等 (1973)，Husch 氏等 (1972) 均有詳細說明，此處不作贅述。

2-2-5-13 取樣程序

劉宣誠氏 (1976) 概分取樣程序為五個步驟：

1 決定抽取樣本之方法

就取樣之目的及族群之性質，決定抽取樣本之方法。

2 介量值之估算

根據決定採用之取樣方法列出所需估算公式，如估算族群均數、族群總數、族群比率等公式。然後就所抽取之樣本觀測值計算各估算值有關本研究採用統計用語之定義詳見附錄一名詞釋義。

3 計算估算值之標準誤

如族群均數估值、族群總數或族群比率估值之標準誤等，標準誤係用來表示估算值之精密度。

4 列出信賴區間

估算值及其標準誤算出後，即可列出各估算值之信賴區間。

5 決定抽取樣本之大小

依照所要求之精密度決定應抽取多少單位個體來組成樣本。決定抽取樣本之大小，雖在程序列為最後一個步驟，實際上在首先決定取樣方法時，即應決定取樣之大小，方可進行抽取樣本。

至於各種取樣方法統計公式的誘導及其使用，Cochran氏（1977），楊寶霖氏（1983），楊榮啓氏（1980），劉宣誠氏（1976）及各式統計書籍均有，不予敘述。

2-2-6 航空照片的使用

2-2-6-1 航空照片種類及其比例尺

航空照片有傾斜照片及垂直照片二類，前者又分為高傾斜與低傾斜二種，高傾斜照片涵蓋面積最大，地面、地平線及天空均顯示在照片上，低傾斜照片涵蓋面積次之，且地平線未顯示在照片上，二者均呈不等邊四邊形或梯形地區，比例尺亦自前景向後景方向漸減，視地面高低差及攝影軸傾斜度不同而有不同比例尺，傾斜照片的優點為涵蓋面積較垂直照片為廣且某些地物特徵突出，方便判釋。真正垂直照片偏斜角為零，其像主點、像底點、等角點為同一點，只要偏斜角小於4度均視同為垂直照片，同一水平面比例尺近似相等，其比例尺可視為焦距與平均航高之比，垂直照片優點為易於製圖，常視為地圖的代用品。

比例尺是決定垂直航空照片價值的最重要因子，比例尺越大航空照片能區別細節資料越多，比例尺越小則調查範圍所需之照片張數越少，空中攝影及地圖測製費用因而會較省，也因此適當的比例尺乃在權衡細節資料辨認程度及費用二者而得之，一般而言，只要照片判讀

許可，比例尺是愈小愈划算，當然全區用小比例尺照片，局部用大比例尺照片也是一種權宜作法，Molinier 氏（1951）曾就一塊 2 公里寬 800 公尺長森林作過研究，發覺在比例尺 1 / 2,000 時，森林是 1 公尺 40 公分寬，可顯示所有細節，連不是重要樹種座落之正確位置都能顯見，比例尺 1 / 5,000 時森林大小為 40 × 16 公分辨認細節程度略遜於上，比例尺 1 / 20,000 時森林大小為 10 × 4 公分，主要樹種及植生特徵還看得到，比例尺 1 / 50,000 時僅看的出二主要樹種間的大致界限，比例尺 1 / 200,000 時森林大小為 10 × 4 毫米，大致界限也看得模糊，僅得植生的概貌；英國林務署表示森林區位置之比例尺為 1 / 625,000，普查及林道規劃比例尺為 1 / 50,000，一般規劃或林區全景展示比例尺為 1 / 25,000，一般經營用途比例尺 1 / 10,000，至於林地取得或利用比例尺為 1 / 2,500。

2-2-6-2 垂直航空照片與地圖之分別

垂直航空照片為各地形點在像片地面上中心投影（central projection），而地圖則為地面上各地形點在基準面上之垂直投影（orthogonal projection），假設地面完全平坦，垂直航空照片與地圖二者在幾何關係上之差別僅在比例尺，若地面各地形點有高低差則照片會有地形起伏之移位誤差或稱投影誤差（relief displacement），如攝影軸小有偏斜（即使小於 4 度）照片上會有偏斜移位誤差（tilt displacement）。（G.H. Ligterink, 1968）

2-2-6-3 軟片及濾鏡

照相軟片含有一穩定軟片基及一或多層乳劑，乳劑層各對不同電磁譜波長感應，重要波段為紫外線，可見光及近紅外光；空中攝影用濾鏡主要用以吸收薄霧明亮度而透射其他形成影像之光線，多數薄霧光為短波長如紫外線及藍光，所以濾光鏡之選擇主在吸收紫外線而透

射其他所有波段的光線，另有反暈濾鏡 (anti-vignetting filter) 則係保證照片上角落部份保持適當的明亮度，與照片中央部分差不多。

按光波敏感情況及其影像呈現方式 (灰調或色彩) ，軟片計有黑白全色片、黑白紅外光片、彩色負片及彩色紅外光片四種；黑白全色片譜感應範圍為 350 — 680 nm ，與肉眼感應範圍一致，攝影時多使用黃色濾光鏡濾掉紫外線及藍光；黑白紅外線片光譜感應範圍為 360 — 900 nm ，涵及可見光及近紅外光，曝光時採用黃色濾光鏡者，在近紅外線之反差為綠及紅光修正，稱為修正紅外線攝影，使用紅色濾光鏡，因所有可見光均被濾鏡除去，稱為一般紅外線攝影；彩色軟片表現原景的真實顏色，一為負片形式如 Kodak Aerocolor Film

2445，為較常使用的軟片，一為反轉片如 Kodak Ektachrome MS Aerographic film 2448，二型均具三乳劑層分別感應藍、綠、紅光，攝影時不能使用黃色濾鏡僅能用去除紫外線部分薄霧之濾鏡，亦有黃色染料製於藍光及綠光及綠光乳劑之間俾有效防止散射藍光抵於綠光及紅光感應乳劑，光譜感應範圍為 360 — 720 nm ；彩色紅外線軟片為感應於可見光及近紅外光的軟片 (360 — 900 nm) ，亦稱假彩色軟片 (false-colour film) ，因其形成測圖陽片的顏色與原景真實顏色不同故以名之，也必須如此才能將人類看不到的紅外光變成肉眼可見的顏色，使用之濾鏡同黑白紅外線片。(J.M. Remeijn, 1978)

2-2-6-4 航空照片用途及規格

Remeijn 氏 (1978) 歸結航空照片在林業上用途有六，分別為植生及林分圖繪製，材積調查及經營計劃，林道設計及伐木規劃，洪水管制及水土保持，災害監管 (森林火災、風災、蟲害、病害) ，野生動物經營管理及遊樂發展；航空照片為省錢、省時的工具，能提供

森林的全貌、地形、通路及林分，甚而在大比例尺時還能檢定單株林木的品種、樹高及材積。Sicco Smit氏（1976）認為林型的調繪及林木材積推算二項工作應用航空照片作業快速，所得資料也精確，照片上看不見的資料（如桿材、製材）可藉照片上看見的資料（如樹冠直徑、樹冠鬱閉度、單位面積株數、樹高、樹種等）予以推測，例如已可商業採伐可藉樹高測量推知，材積可藉樹冠鬱閉度及樹木高度二者應用空中材積表或配合地面調查方式求出，並結語照片測量技術適用於溫帶地區森林及熱帶地區人工林，至於熱帶雨林由於樹種繁雜、樹徑大小迥異以及多層植生關係，照片測量技術須參考雨林不同情況而有些變更才行。謝仁馨氏（1983）認為航空照片在林業上之應用有樹種判讀，樹冠直徑量測，立木度估測以及樹冠疏密度估測四項；楊寶霖氏（1983）對照片判釋技術在森林調查上之應用敘述詳盡，可供繪製各種平面圖、區分林型及土地類型以及控制選樣調查必需之操作並歸結主要項目有十一項之多。有現成可用的航空照片當然最省錢、省時，不然航空攝影新攝照片乃是必經施業，航空攝影施業前，常先有純地面調查與航照配合地面調查的比較研究，考慮因子有交通便利程度、調查目的、取樣密度、製圖精度、航空攝影費用，判讀人員訓練費用、地面調查勞力費用及判讀所需儀器費用等；航空攝影成本分析應包括飛行費用、航空攝影及暗室沖洗；飛行成本包括等航照天氣的等候時間、機場及攝影地區距離及攝影地區航線數及其長度，同時飛行高度也很重要，超過3,000公尺時需用氧氣設備，超過7,500公尺時需有壓力艙設備。多數照片上獲取之資料均可藉地面調查取得，不過花費人力、物力及時間較多，同樣航照調查永不能完全取代地面調查，相反的，判讀前的地面實況了解以及判讀後的地面實況校對更是必須作業的一環，以確保判讀的精度。（J.M. Remijn, 1978）

決定航空攝影時，選定的季節、照片比例尺、重疊度、焦距、照相軟片、沖印成品均須考慮周全，航空照片規格部分（Manual of Remote Sensing, 1975）要者為：

1. 攝影地區須同時在飛行計畫及地圖上顯示，每一航線二端，加拍二張以上照片以確保立體覆蓋。

2. 照片比例尺依地面海拔高不同而設定，最大容許偏差在±5%以內。

3. 相機鏡頭焦距及照片尺寸須予確定以控制照片地形位移。

4. 軟片曝光時像移動不應超過照片比例尺 20microns

5. 前後重疊。

通常在 55%—65% 間，少於 53% 的前後重疊不敷立體檢視需要，地形陡峻時重疊應加 5%—10%；左右疊通常在 20%—30%，最大容許誤差±10%，地形陡峻左右疊加 10%；特殊用途前後疊有 80%—90%，左右疊至 40% 者。

6. 平均偏斜須小於 1°，任何曝光時之偏斜不得大於 3°。

7. 照片 X 方向不得偏離航線 5° 以上，航線儘可能保持直線，不得偏離預定航線 3° 以上。

8. 攝影季節的決定及攝影時間的掌握。

9. 軟片（黑白片或彩色片；全色片或紅外片；負片或反轉片）及配合軟片使用之濾鏡要訂清楚。

10. 攝影日期、時間及曝光時大氣情況之飛行記錄及有關飛行資料以及軟片沖洗處理說明均應齊全。

2-2-6-5 照片判釋

照片判釋的定義係為辨認物體及判斷其重要性前提下檢查照片的行爲，是整體航照調查的一部份，確保照片判釋成功的決定因素為：

1.判釋人員的能力

他必須認識樹種、地位級及植物習性，同時具有立體檢視能力並熟悉航空攝影、攝影測量、製圖等基本知識，對製圖儀器及其他測量儀器也有基本了解。

2.航空照片品質，規格的訂定及照規格實施攝影很重要（如比例尺、季節、軟片等）。

3.用於判釋的材料、儀器之良窳，如視差桿、判讀索引表及透明紙等。

航空照片雖涵蓋大量資料，不過我們必須了解判釋的限制；許多特徵能被辨認及直接測量，其他有些物體則僅能間接辨認或測量，像林木樹幹中空或其他生長缺陷無法藉航空照片判釋，又林木胸高直徑、林齡及可利用林木的高度等是無法直接測計的，僅能藉樹冠直徑、樹冠密度及樹高等測計資料推知，此外現場了解森林地區的品質數量的特性是可靠判釋不可缺的作業之一。

1.判釋照片要點

受影物體反射輻射能量的強度及組成經由傳能媒體如大氣，濾鏡及像機，傳導至軟片，軟片不同，光譜特性亦異，嗣後沖洗，影像特性視攝影規格而定，照片比例尺、軟片、濾鏡及季節等不同，影像品質自亦不同，惟基本上仍應按彩色及色階調，大小及形狀、蔭影、組織及排列模式、位置和相關等影像元素依發現、認識、描繪、測量、推論及比較、辨認、分類、編號一系列的影像分析步驟條理進行。

2.判釋人員

Remeijn 氏（1978）綜述判釋人員應具備條件為：

1.必須能夠工作精確及清楚，其在影像描繪及辨認的決定才能靠得住。

2. 有機會到現場了解地面情況、樹種及林分特性等；細部照片分析前能有妥善安排的現場了解與判讀後的現場校對工作都是很重要的

3. 視覺敏銳

判讀人員雙眼視力必須相同，且無色盲；正常肉眼能區分近 200 種不同灰調，對彩色則能區分近 20,000 種不同色彩。

4. 立體視敏銳

認知視差角 (angle of parallax) 之能力須有 20" 。

3. 照片判釋用具及判釋材料

為野外使用，小立體鏡最為實用，缺點為立體視時照片往需要折疊或弄彎，透鏡間之距離可隨意調整以適應不同判釋人員的眼基線，透鏡焦距不小於 80 公分，以便能註記於航空照片上，放大倍數為 2 倍到 4 倍；反光立體鏡所觀察之像對其兩相應像點之距離為 24 公分，適用於一般 23 × 23 公分照片判讀，透鏡焦距約為 30 公分，放大倍數 0.8 倍，在此鏡頭上有望遠鏡裝備，放大倍數 4 到 8 倍。

為照片描繪、照片測量及鑲嵌、立體照片對的製作，所需的判釋材料多以透明膠片、表、圖或判讀索引表方式方便使用。透明膠片有面積測定板、視差楔、樹冠密度測定規及樣區大小測定規，多數此類透明膠片均對應相對照片比例尺。表、圖多為照片測量因子的轉換為較有用的資料，如空中材積表即為一例，材積可由照片測量資料如林分高度、樹冠鬱閉度或樹冠直徑讀出。(J.M. Remeijn, 1978)

4. 判釋前照片準備

判釋前照片準備程序為：

(1) 照片整理

將所有需用照片依航線號碼、任務號碼、曝光號碼依序排列，以確定全區覆蓋。

(2)製作照片索引圖

將照片主點位置轉繪於地形圖相應位置上，並記此照片號碼，連接各點間之連線，記以航線號碼，此連線即為攝影時之飛行線，即為照片索引圖。

(3)每條航線平均比例尺及整個航區之平均比例尺計算後註記於索引圖上，其他資料一併註記。

(4)主點定位及照片對標定

主點為連接照片上相對兩邊框標的交叉點，係照片之幾何中心，也就是攝影時像機鏡頭之中心點。同一航線前後二張照片，均約有60%以上之前後疊，故每張照片之主點亦可在前後兩張鄰接照片之邊緣處出現，稱為轉刺點，在反射立體鏡下觀察前後二張照片之立體影像，轉刺主點於鄰接照片上，連接二主點及轉刺點使相同二點間距離等於儀器基線長，照片經標定後，在立體鏡下檢視，即可看出立體模型

(5)有效區域描繪

照片有效區域為照片中心部分，具最小像位移區域，亦可稱為照片上影像離該張照片主點距離較離鄰接照片主點距離為短的照片上一部份地區，Remeijn氏(1978)結語每張照片描繪有效區域或隔張描繪端視像位移量允許誤差而定，像位移影響判讀時之面積測定精度

2-2-6-6 地面實況了解及影像辨認後的現場校對

經由地面實況了解，判釋人員更了解調查計畫目的及調查地區的地理、歷史、氣候、地質、土壤情況、河川系統、樹種組成、地位級、森林經營、交通便利程度及交通工具、勞力僱用情況，而重要地物特徵如林道、水系、所有權界限、林分特徵於現場了解時均註記於航空照片上，初步檢視航空照片後必須設計一林型分類，此分類須考慮何者為調查所需，何者照片上可以看出，同時訂出檔號制度，判釋區域

才好編號，包括樹冠直徑、林分高度及林型面積之下限大小，視物體本質及調查目的定出最小物體大小，以林型而言集約經營森林小於 0.25 cm^2 的林分不予描繪，併於最似鄰近型內，沿河或林道的長型植生帶寬度在2公厘以上者始予描繪。

用取樣方式作現場校對，可了解工作的品質，經現場資料分析，可指出判釋所需調整幅度，俾以消除判釋錯誤。

2-2-6-7 台灣主要林型之主要優勢樹種在垂直航空照片上之像特徵

1. 天然林型

天然針葉林主要有冷杉林型、雲杉林型、鐵杉林型、扁柏及紅檜林型、松林型，天然闊葉林則包括溫帶闊葉樹林、暖帶闊葉樹林型以及熱帶闊葉樹林型，彼等林型之主要優勢樹種在垂直航空照片上（黑白全色片及黑白紅外線片）之像特徵如表 2-3。（楊寶霖，1983）

2. 人工造林地之林型

柳杉人工林在黑白全色片上呈深灰色，在黑白紅外線片上則灰色稍較淡，壯齡林分其樹冠似密密排列之豆粒，幼齡林分則可見栽植之條壟；杉木人工林在黑白全色片呈現較柳杉為淡之深灰色，在黑白紅外線片上呈淺黑灰色，結構較柳杉要粗糙；松類人工林成林後與天然松林近似但株行距則較均勻；紅檜造林地成林後在黑白紅外線片上色調呈均勻之淺灰色，黑白全色片呈深灰色；柚木人工林在黑白全色片上呈淡灰至灰色，在黑白紅外線片上呈灰至深灰色；其他分布面積較小或為零星分布之人工林，在照片上不易逐一認出，需靠造林之記載，參考辨認之。（楊寶霖，1983）

2-2-7 人員、訓練及後勤支援

執行林木資源調查計畫的內業、外業工作人員常必須在偏遠地區

諸多不便情況下作業，有關任務編組必須妥予規劃，由於牽涉的工作性質從複雜統計概念的應用到耗費體力的翻山越嶺之後的地面樣區測計工作，如同軍事作戰的參謀作業，吾人應對任務編組及人員甄選寄予重視。

在林木資源調查的執行過程中不同儀器的需求，人員及儀器的運搬、現場膳宿安排以及通訊聯絡系統的建立都很重要，彼等需求歸類為資源調查工作的後勤支援。

2-2-7-1 任務編組及人員甄選

國內第二次台灣森林及土地利用調查計畫除有明確指定的主辦機關及合作機關而外，並由主辦機關向合作機關甄調工作人員，成立專業調查隊，計有隊長一人，為計畫執行人，副隊長二人，其一負責計畫內技術業務之工作計畫及進度，另一負責調查隊與有關機關之協調連繫及一般行政管理事務，並分以下各組：

1. 調查組

負責照片判釋，現場及空中校對，地面樣區調查及複查，土地利用調查等工作。

2. 空中照相組

負責空照計劃及空中攝影、照片及地圖之整理及保管。

3. 資料處理組

負責資料整理，統計及分析工作。

4. 行政組

辦理總務、會計、人事等一般行政業務。

以上各組均經指定負責人推動工作，並規定除行政人員外，所有技術人員均得應各組工作需要機動調配，以有效利用人力。（林務局，1978）

在甄選人員之先，每個職位應具備條件及在職期間應履行義務的職位說明書必須具體而清楚，俾甄選之工作人員有所遵循，現場調查資料的正確關係調查工作的成敗至鉅，任何一位參與工作人員對本身工作執行的懈怠都會對整體工作造成不可彌補的負面影響，因此工作品質的維持是全體工作人員應有的共識。（B. Husch, 1971）

2-2-7-2 訓練

訓練計畫的擬定及執行絕不能疏漏的一環，訓練計畫的密集性端視工作人員的程度及以往工作經驗而定，所有訓練教材必須打印且內容表格詳細具體方便各人日後隨時參考。通常訓練應至少包括照片判釋及現場調查二項。

照片判釋方面，對攝影測量及照片判釋的基本理論基礎及實務訓練都是必須的一部分，熟悉使用立體鏡等判釋設備，視差桿測定物體高度，樹種及林型判釋，最重要的是要有實際到現場勘驗室內判讀成果精度的足夠時間與機會，讓判釋人員同時也熟悉自己判釋區域的樹種、林型、地形、地貌、交通情況，是確保照片判釋成功不可缺的重要因素。

外業調查講習及訓練方面，有關人員及儀器運搬方法是一項重點，測計儀器的使用、維護及必要調整也是併同有關儀器理論基礎及實務演練不可或缺的，務使現場測計工作都依標準化程序執行，以減少突發性或系統性誤差，其他像樣區位置確定、樣區界限決定以及林木測計等抽選取樣單位的方法及技術的工作手冊更是必須人手一冊，有關現場膳宿等生活規範亦須涵蓋在內。

Husch 氏（1971）認為外業調查講習訓練的重要性常為吾人所忽略，充份的訓練，使不同人員對同一取樣單位之測計有相同結果，現場調查工作的標準化使得工作進行既有高度正確性，作業效率也更

高。

2-2-7-3 健康及安全

外業調查工作常有遭遇危險之可能，故在工作或行走時應注意自己及伙伴之健康與安全，國內第二次森林及土地利用調查，即訂有各工作人員應留意及應遵守之安全手則（林務局，1974），此外各調查區域左近可就醫之醫生醫療設備及座落位置應事先調查，並就傷患送醫處理預作演練，當然能有緊急呼叫的無線電裝置是更理想的。

適當保健措施、合理的每日工作時數及工作量、膳宿的妥善安排都有助於減少可避免的意外發生及罹病機會。紮營位置要和煮飯、睡覺、方便三者的距離適當；紮營拆營應有專人負責；食器、炊具、衣服等清洗及人員飲用及沐浴等給水問題，飲用水的衛生問題，垃圾堆置的事先挖坑，儀器的清潔維護在在都要有一套大家必須遵守不渝的規範才能確保平安無事又可工作順心。

2-2-7-4 後勤支援（logistical support）

林木資源調查計畫有關可用的交通資源及其需要性在規劃時即應納入，因為它關係着計畫費用也影響擬予實施的取樣設計，統計上理想的取樣架構也可能會由於實務上需要過多的費用或人力提供大幅度的交通支援而變得不夠實用。車輛的申請使用、安全檢修及可行駛地面情況及爬坡的上限，耗油的登記均應規定。

儀器之取用應向專人申請，儀器要有備份携往，所有調查計畫所用儀器（內、外業）、計算機、露營裝備、車輛及無線電設備宜事先列表備妥，使用後之清潔維護為使用人之責，並宜有人查驗是否依規則規定作業，總之，儀器的破損，遺失只會減緩工作的進度及增加調查經費。

紮營視停留日期長短架設所費時間及人力有所不同，露營各項裝

備都需齊備；有關糧食、罐頭等食物配備要充裕，營養夠又衛生，工作人員士氣容易維持，體力情況好才會有高品質的調查成果。紮營地點離水源不宜過遠，離欲測計樣區的來往回程不宜超過二小時。（B. Hu- sch, 1971）

2-2-8 調查手冊的編製

為使調查工作順利進行，應將整個工作程序編定成冊，內容包括主要調查目標的摘要，調查族群的描述，所要蒐集的資料，測計資料的技術以及外業內業有關表格的設計，所用名詞均應附定義說明以臻明確，外業調查講習及訓練或實地測試發現有修訂必要者，應予修訂。（楊榮啓，1984）

2-2-9 外業調查工作的施行

外業調查測計方法應照規定方式實施，經常性的監督及檢核，可以維持工作品質，並使不同外業調查組所用的方法保持一致性。外業調查工作人員每天工作完畢後應核對當日外業資料，俾早期更正重大錯誤或次日補查遺漏資料。（楊榮啓，1984）

2-2-10 資料的處理及報告編寫

大面積的林木資源調查多使用電算機作資料分析，故電腦程式人員應依決定之分析目標，估算資料數量，建議經營者使用電腦型式，並編寫程式，進行必要之偵錯及測試，一有外業資料即可進行資料建檔及處理。

資料處理之同時，報告之編寫亦宜及早籌劃，報告通常都最好包括照相判釋，內、外業工作方法，使用公式及必要名詞的釋義作為附錄，例如國內第二次台灣之森林資源及土地利用報告就有工作人員名單、調查方法（包括取樣設計、照片判釋、野外調查程序、資料處理）、用語釋義等三項附錄（林務局，1978）

報告內容應有一系列的表、圖或數據資料，最好要有針對結果的研判及評價以及討論、建議等。（B. Husch, 1971）

2-3 像片基本圖之測製、判讀及其應用

台灣地區大比例尺正射像片基本圖（簡稱像片基本圖）之測製工作已於七十一年六月全部完成；平地、坡地部分（比例尺五千分一）3209 幅，中央山脈高山林地部分（比例尺一萬分一）564 幅圖，合計 3773 幅圖。

在像片圖上除可劃定林地界限、林班界限、計算面積外，所得高精度的距離、方位坡度資料更可用於林道路線之勘查及設計，更可進而將林業經營資料加繪於像片基本圖上製成各種專業所需之主題圖（亦稱專門地圖或專業圖），如蓄積圖、林道圖、遊樂圖、立地圖等。其所儲存分析資料，除供經營政策研擬參考外，尚可供日常作業之用。（吳英陵，1983）

2-3-1 像片基本圖的定義及其精度

吾人習見之地圖，多用線條及各種符號繪製而成，稱之為線畫式地圖（line map），像片基本圖是以像片為主，在像片上加繪等高線及加註必要之地物說明，成為像片圖，因以像片圖作為供各單位作一般用途或加繪其他資料之用的基本圖，稱之為像片基本圖（photo base map）。

像片基本圖之精度標準為：

1. 圖上地物平面位置誤差應小於圖上 0.5 公厘（五千分一圖實地為 2.5 公尺，一萬分一圖實地為 5 公尺）。

2. 圖上等高線誤差在地面坡度小於 15° 時，應小於等高線間隔三分之一（五千分一圖上等高線間隔為 5 公尺，三分之一應約為 1.7 公

尺，一萬分一圖上等高線間隔為 10 公尺，三分之一應約為 3.3 公尺；地面坡度大於 15° 時，應小於等高線間隔二分之一（五千分一圖為 2.5 公尺，一萬分一圖為 5 公尺）。

3. 一幅圖內至少有 90 % 以上明顯地物合乎上述標準。

2-3-2 像片基本圖上森林之判讀

像片基本圖上之主要地物均已在圖上註記說明，一看即知，惟圖上地物太多，不能全部註記，讀圖者須有像片判讀之常識，以幫助像片基本圖之讀圖，像片上森林之判讀為：

1. 森林在像片上多呈暗黑色，但強光部份較白，其蔭影呈黑色，每樹本身多呈黑色之斑點，密集樹林則成大塊黑影。（謝仁馨，1981）

2. 潤葉樹樹種間特徵差異小頗難識別，樹冠多為不規則形狀，參差不齊，無顯著之尖頂，枝葉變異亦多，色調較淡。（謝仁馨，1981）

3. 冬季潤葉樹凋落，顏色淡而形疏，與不落葉之針葉樹有別。人工森林行列整齊，一目瞭然。（謝仁馨，1981）

2-3-3 像片基本圖在林業上的應用

像片基本圖不但保有像片紀錄的真實性，並且有地理位置的準確性，據林達雄氏（1977）看法，至少有以下數種用途：

1. 在調查地區內位置的尋找
2. 林班及小班界限的劃定
3. 供林地立地特性調查用
4. 林業經營有關資料的獲得
5. 作為幫助記憶及抄錄資料的來源
6. 作為森林情況和區域歷史的檔案

7.面積計算

8.製作林業經營各項專業所需主題圖之底圖

吾人認為就林木資源調查而言，像片基本圖可藉立體像對觀察之助區分林型並直接在圖上計算各林型面積，可祛除面積計算取樣誤差，並因而可以提高林木材積調查的精度，此為利用航空照片計算面積所不能達到之功效；另外像片基本圖也是取樣設計的最佳底圖，分層逢機取樣也好，簡單逢機取樣，集團取樣或是其他取樣技術，都可以在像片基本圖上作業，在圖上設定之照片樣區亦可轉繪於航空照片上，並可賴於控制設定照片樣區，材積之推算可依照片樣區中心點在地面實際位置為圓形樣區中心點或水平樣點取樣調查法之樣點，在地面實測求得。

有像片基本圖及航空照片，分層及面積計算及取樣設計等工作迅速而且正確完成，彼等工作均可於內業中進行，與實地調查配合之最佳作業組合，對大面積林木資源調查時間及調查費用之減少當有正面助益。（吳英陵，1982）

三、研究材料及方法

3-1 研究地區概述

3-1-1 位置

本研究地區為台灣大學農學院實驗林（以下簡稱實驗林）和社營林區轄區，第 30，32，33 及第 34 林班主要地區均在本研究之範圍內，面積 4,091 公頃。本研究地區（以下稱調查區）座落於實驗林的位置如圖 3-1。

實驗林位於台灣中部，中央山脈以西，介於北緯 24 度與北回歸線之間，東經 121 度之西，踞本省中心，跨南投縣信義、水里、鹿谷三鄉，成狹長形；南北長約 37 公里，東西寬自 6 至 14 公里不等。南起自玉山，東經北山，八通關而下陳有蘭溪，西越西山、前山等山嶺，以迄自忠山，再由自忠山向北延伸，沿阿里山之東側越祝山、大塔山諸峯而迄嶺頭山，復迤向東北而達北勢溪，以溪為界。北境以濁水溪為界，溯溪而上，過桂子頭南行至陳有蘭溪與濁水溪匯和龍神橋，西以陳有蘭溪為界，其位置圖如圖 3-2。

3-1-2 地質與土壤

本研究地區地質構造方面，30，32 林班多為沙岩、頁岩、火山碎石岩，及砂岩、細沙岩及頁岩間含礫岩等二類；33 林班則為砂岩、細沙岩及頁岩間含礫岩，及石英岩、板岩等二類；34 林班均為石英岩及板岩之地質構造。

土壤類型方面，第 30 林班分別為楠仔腳萬石礫土及崎頂細沙質壤土二類，第 32 林班為崎頂細沙質壤土，第 33 林班分別為崎頂細沙質壤土及鹿林山粘質壤土，第 34 林班為鹿林山粘質壤土。

3-1-3 地勢及氣候

調查區 30 林班最低處海拔 778.4 公尺，位於陳有蘭溪及和社溪之交界，最高處海拔 2,518.2 公尺； 32 林班最低 1,210.0 公尺，最高 2,688.1 公尺； 33 林班最低 1,340.0 公尺，最高 2,853.1 公尺； 34 林班最低 1,590 公尺，最高處為調查區最南端西山附近之標高點海拔 3,461.8 公尺，綜觀整個試區海拔高低差達 2,683.4 公尺，層巒起伏，形勢巍峨宏壯，全區因山勢大部份陡急，故僅於山麓地帶有少許之緩斜地。

氣候方面，以 1、2 月份氣溫為最低，7、8 月份為最高，海拔 1,000 公尺以下地區甚少降至冰點以下，2,000 公尺以上地帶，則降霜頻繁，且多結冰。雨量尚稱豐沛，全年可依乾燥及降雨之情形，劃分乾燥期與雨期，自 10 月以至次年 4 月末為乾燥期，自 5 月以至 9 月末為雨期。雨期中之降雨量約佔全年降雨量 77%，降雨日數約佔該期 60%。

3-1-4 交通狀況

由台北至本研究地區較便捷之路徑，為搭乘汽車至水里，需時 4.1 小時，再由該處轉搭客運車轉赴和社，約需 50 分鐘，和社營林區辦公處即在和社街上，對外交通尚稱便利；和社營林區有卡車運輸路自營林區所在地而達林產物集散之市鎮，各林班間亦皆闢有林道或步道以維持交通，闢建中之新中橫公路完成後將有助於和社營林區的內外交通。

調查區之交通言，道路經過本區的東西二側，在東側為沙里仙林道，沿陳有蘭溪穿越 32 林班東側到 33 林班的北角計爬升 600 公尺；本區的西側有新中橫水里、玉山公路到達 33 林班的南側以及 34 林班的西南角，計爬升 1,800 公尺。見圖 3-3。

3-1-5 行政管理

實驗林前身爲日據時期之「東京帝國大學農學部附屬台灣演習林」，創立於民國紀元前 8 年。台灣光復後，初由台灣省行政長官公署接收，屬林務局，民國 35 年 7 月改組爲第一模範林場，爲時兩年，即歸併於嘉義山林管理所，繼又改併入台中山林管理所，組織與管轄經營，屢經更易，至民國 38 年秋，始撥歸台灣大學，設爲「國立台灣大學農學院實驗林管理處」（以下簡稱管理處）

實驗林之成立，以教學實習、試驗研究及示範經營爲宗旨，一切經營均以此宗旨爲重心。爲使實驗林之經營及管理趨於合理化、科學化，日據時代曾先後編訂四次經營計畫。台大實驗林接管後又於民國 49 年編訂第五次經營計畫，其有效期間自民國 49 年起至 73 年止，共 25 年，以每 5 年爲一施業期，共分五個施業期，爲使經營能配合實際與需要，達成實驗林發展之目標，因此民國 66 年 7 月間重新編訂實驗林經營計劃，其有效期間自民國 67 年 7 月至 77 年 6 月，並於 71 年 10 月依據前開計畫實施中間檢訂必須之野外調查，並完成經營計畫修訂案，以爲未來施業之張本。

實驗林之總面積爲 33,522 公頃，劃分爲 42 個林班，分屬溪頭、清水溝、水里、內茅埔、和社及對高岳六營林區，其中對高岳營林區所屬之 28、29 及 31 三個林班，面積 5,902 公頃，目前仍由林務局暫管經營。各營林區之面積如表 3-1。

3-1-6 森林地區及林型

本研究地區面積共 4,091 公頃，其中 30 林班 2,468.4 公頃，32 林班 536.8 公頃，33 林班 600.9 公頃，34 林班 484.9 公頃，以 30 林班面積爲最大，32、33、34 林班編列爲保安林，面積爲 1,622.6 公頃。迄 72 年 10 月底止，全區造林地面積依造林台帳及造

林地圖利用航空照片判讀轉繪在像片基本圖上計算之面積為 1,010.51 公頃，其中未及 10 年生之造林地面積計 503.80 公頃，10 年生以上之針葉樹人工林面積計 366.30 公頃，針闊葉樹人工林面積計 140.41 公頃。（闊葉樹人工林併入針闊葉林計算）

在樹種組成方面，針葉樹人工林之純林，多以杉木、柳杉、紅檜、台灣杉為主，混淆林則多為杉木與柳杉，柳杉、台灣杉二種；針闊葉樹人工林則多為杉木（或柳杉）與泡桐（或油桐或赤楊），柳杉、杉木與泡桐（或油桐或赤楊）二種；闊葉樹純林為泡桐及相思樹二者，其面積合計不及 1 公頃，為 10 年生以上林分，併於針闊葉人工林一類，混淆林為柚木，油桐混交林一處，面積 8.07 公頃為未及 10 年生林分。天然針葉樹林型，集中於 33 及 34 林班，分別有 78.2 公頃及 360.1 公頃之多，係以鐵杉、雲杉及紅檜為主，鐵杉為實驗林現有天然生針葉樹中蓄積量最豐富之樹種，分布於調查區亦即沙里仙溪上游以至玉山分水嶺 2,000 至 3,000 公尺之高山。上述座落於 33 及 34 林班之天然針葉林為本區「天然針葉樹林型」之次族群；天然闊葉樹林型之次族群則為 30 林班 894.7 公頃之天然闊葉林，計有楠木類、樟類、櫟類及其他闊葉樹為主，楓香、相思樹次之，烏心石、木荷、牛樟很少。30 林班 10 年生以上人工針闊葉樹林型 140.41 公頃為「人工針闊葉混淆林」之次族群；「人工針葉樹林型」之次族群面積 366.3 公頃，由 10 年生以上林分 30 林班 289.1 公頃，32 林班 63.9 公頃，33 林班 4.3 公頃及 34 林班 9.0 公頃所組成。宅地、農地、草地、崩壞地及竹林為本研究計畫需要均予併為「非林地」一類（竹林仍予判釋），其在本區各林班之面積為 30 林班 797.79 公頃，32 林班 55.6 公頃，33 林班 84.7 公頃，34 林班 25.0 公頃，合計 963.09 公頃。又因 33，34 林班天然針葉林面積 438.3 公頃已列為

「天然針葉林」之次族群；「保安林」一類之次族群僅餘 32 林班 383.5 公頃，33 林班 325.0 公頃及 34 林班 75.9 公頃，均為天然闊葉林，合計面積 784.4 公頃。

上述面積數字均係管理處提供造林台帳及造林地圖等資料，利用航照判釋轉繪像片基本圖，用面積儀在像片基本圖上計算而得，如表 1。

表 1 調查區林班別各土地利用型別之面積

土地利用別 \ 林班別	30 林班	32 林班	33 林班	34 林班	合計	備註
保安林	—	383.50	325.00	75.90	784.40	33, 34 林班天然針葉林不在內
非林地	797.79	55.60	84.70	25.00	963.09	宅地、農地、草生地 崩壞地及竹林等
未及 10 年生之生產林	346.40	33.80	108.70	14.90	503.80	
天然闊葉樹林型	894.70	—	—	—	894.70	
天然針葉樹林型	—	—	78.20	360.10	438.30	
人工針葉樹林型	289.10	63.90	4.30	9.00	366.30	10 年生以上林分
人工針闊葉混淆林	140.41	—	—	—	140.41	10 年生以上林分
合計	2,468.40	536.80	600.90	484.90	4,091.00	

3-2 研究目的

- 3-2-1 探討不同林型樣區效率最高的地面測計方法。
- 3-2-2 探討依林型經濟價值高低分配樣本數之合理性。
- 3-2-3 探討依林型分層的分層逢機取樣設計與簡單逢機取樣設計在資訊參考價值及調查精度、時間、費用的優劣性。
- 3-2-4 探討利用像片基本圖作面積計算及照片（地面）樣區（點）逢機抽選配置基礎之優越性。
- 3-2-5 探討將非林地、保安林、10 年生以下生產林與 10 年生以上生產林分開，並不予調查或依需要另案辦理之合理性及實用性。
- 3-2-6 尋求適用於台灣林地特殊環境及配合經營需要情況下大面積林木資源航測調查之方法，並提供嗣後之全省林木資源調查規劃設計作業之參考。

3-3 研究材料

3-3-1 造林台帳及造林地圖

承管理處提供和社營林區 30、32、33 及 34 林班人工林、天然林樹種面積一覽表一份，各造林地之地號、樹種、林齡及面積均經詳細註記，並提供 30 及 32 林班之造林地圖連同和社營林區全圖共四幅

3-3-2 像片基本圖

本調查區內共需像片基本圖六幅，比例尺一萬分一，蒙業師提供，圖名分別為和社、東埔、同富山、沙里仙、鹿林山及玉山等六幅為面積計算及取樣設計的底圖。（圖號分別為 9520-II-18，19，23，24 及 9519-I-03，04 等六幅）

3-3-3 航空照片

本調查區內航空照片較近期者為 72 年 5 月間因他項計畫目的拍攝比例尺一萬七千分一 23 × 23 公分之黑白照片，共 52 張，蒙業師申購提供，在像片基本圖上選取之照片樣點經刺點編號後均經轉刺於航空照片上俾供現場尋找地面樣區中心點之用，又造林台帳及造林地圖上記載資料均經航照判釋並轉繪於像片基本圖。

3-3-4 反光立體鏡等

室內航照判釋採用反光立體鏡，間或使用小立體鏡，現場之航照判釋則均使用小立體鏡，因其易攜帶及視角大。

3-3-5 其他內外業儀器

內業判釋所需儀器等材料計有面積儀、計算機、透光桌、照片刺點針、方格板、透明膠片、字規、圓規、製圖筆、描繪用臘筆、分度器、30 公分計算尺、製圖三角板、曲線板等項。

調查儀器裝備計有 Spiegel relascop、羅盤儀、卷尺、刻樹刀、測高器（附水準儀）、輪尺（caliper）、分度器、紀錄表、像片基本圖、航空照片、紀錄表夾、計算機、傾斜儀、鉛筆及描繪臘筆、30 公分計算尺等項。其他個人裝備有安全帽、禦寒衣、工作手套、登山鞋、工作袋、工具腰帶、水壺、手電筒、火柴、蛇咬急救箱、臘燭、雨衣、綁腿、毛襪、登山袋、照片袋、柴刀、急救藥、針線包、電晶體收音機等。本次調查因有林務局東埔山莊及和社營林區提供住宿故有關露營裝備，均未攜帶。

3-4 研究步驟

3-4-1 照片及像片基本圖準備

將所有需用照片依航線號碼、任務號碼、曝光號碼依序排列，以確定全區覆蓋。每奇數張像主點定位（marking of the principal

point) 及照片對標定 (orientation of the photo pair) , 並進行有效區域描繪 (delineation of effective areas) 。

將照片主點在立體鏡下轉繪於像片基本圖上, 以「·」點定其位置, 並記此照片號碼, 連接各點間連線, 記以航線號碼, 此連線即為攝影時之航線, 調查地區共 4 條航線, 完成照片索引圖 (photo index map) , 並將每條航線平均比例尺計算後註記於索引圖上。

3-4-2 地面實況了解

經由地面實況了解, 判讀者更體會出調查計畫目的及調查地區概況。實況了解包括了調查區域文獻的過目, 造林地圖及像片基本圖的研究及現場的訪問了解。其中現場的訪問了解工作曾於 73 年 1、2 月間進行照片判釋作業前赴竹山管理處 1 次及和社營林區調查地區 2 次。對有關本區的資料, 如樹種組成、交通便利程度及交通工具的洽借、勞力僱用狀況、住宿問題、氣候、林道、水系、所有權界限以及林分特徵均儘予了解, 並將重要地物特徵註記於航空照片上。

3-4-3 影像描繪及轉繪

本試驗對航空照片上小於 0.25 cm^2 的林分不予描繪, 併入鄰近最似林分內; 沿林道的長型植生帶寬在 2 公厘以上時, 方予描繪; 此 0.25 cm^2 在照片比例尺一萬七千分一時面積為 0.43 公頃, 在 2 公厘時地面寬度為 34 公尺。

實際照片判釋工作始於全區界限之判讀描繪, 其後之判釋之順序依次為林地與非林地之區分, 生產林與保安林之區分, 人工林與天然林之區分, 人工林部份未及 10 年生及 10 年生以上林分之區分, 10 年生以上人工針葉樹林型及人工針闊葉混淆林之區分, 天然林部份天然針葉樹林型以及天然闊葉樹林型之區分。以上區分均係參考管理處提供之造林地圖及全區人工林、天然林之樹種及其面積一覽表及林班

別照片判釋結果予以描繪。並將航空照片上判釋描繪結果於立體鏡下轉繪至像片基本圖上。非林地以NF表示之（其中竹林以B表示），保安林以P表示之，未及10年生之林分以Y表示之，人工針葉樹林型以CP表示之，人工針闊葉混淆林以CHP表示之，天然針葉樹林型以C表示之，天然闊葉樹林型以H表示之。調查區之判釋結果如圖3-4。

3-4-4 面積計算

以面積儀在像片基本圖上計算各NF，P，Y，CHP，CP，C及H之面積，並予累計，得NF為963.09公頃，P為784.40公頃，Y為503.80公頃，CHP為140.41公頃，CP為366.30公頃，C為438.30公頃，H為894.70公頃，合計4,091.00公頃。共在全區各土地利用別之面積如表1。

3-4-5 照片樣點之選擇及定位

照片樣點之選擇採逢機方法分別抽選CHP，CP，C及H各層照片樣點，亦即將方格板（dot grid）放於像片基本圖上，配合座標系統，用膠帶固定其位置。各層級每次抽選一對號碼（分別代表X座標及Y座標），即在方格上定其位置，並用照片刺針刺點，小心轉刺於像片基本圖上相應位置，並予編號。並將像片基本圖上各層照片樣點在立體鏡下轉刺於航空照片上。其在CHP，CP，C及H各層之照片樣點數分別為50，50，54及42，合計196個照片樣點。此照片樣點，即為嗣後地面調查圓形樣區之中心點及變動樣區之樣點，據以進行三種不同面積大小之圓形樣區以及二種畢特立希氏角度係數（basal area factor，簡稱BAF）之變動樣區取樣調查。

上述照片樣點之選擇因係CHP，CP，C及H各層分別逢機抽選，為分層逢機取樣設計，假設不分層之簡單逢機取樣分4次抽選，每

次分別抽選 50，50，54 及 42 個照片樣點，則分層逢機取樣所得之 196 點，亦同樣可供為簡單逢機取樣之用。照片樣點在調查區之配置如圖 3 - 5。

3-4-6 外業工作

3-4-6-1 地面實況了解、作業方法演練及判釋結果有疑問地區的現場校對。

參與執行外業工作的林務局及農林航空測量所同仁，雖均有十數年的林木資源調查經驗，且均係國內第二次全省森林資源及土地利用調查計畫及事業區檢訂的工作人員，對樹種認定及有關胸徑、樹高、坡度之測計均甚熟練正確，攝影測量及照片判釋基本理論基礎及實務經驗俱備，惟並無使用 Spiegel. relascop 進行樹高測計及變動樣區水平樣點取樣調查之經驗，而且外業測計工作的標準化，如樣區中心點位置的確定，輪尺測定胸徑注意事項等亦須現場實地演練，使不同人員對同一取樣單位之測計有相同的結果方進行實際外業工作。

調查區 30 林班有九處造林地（面積共 28.4 公頃）在造林圖記載之資料與判釋結果不符，彼等疑問地區均經現場校對，並將原記載之錯誤資料予以更正，原記載資料錯誤地區之圖示如圖 3-6。

3-4-6-2 地面樣區／樣點的選定

由於照片樣點已分別註記於航空照片及像片基本圖上，藉助參考點（reference point）位置及其與照片樣點之方位，距離，用小立體鏡、羅盤儀、卷尺等，即可找到照片樣點相應於林地之實際位置，其誤差不能超過 1 公尺，並在地面上打樁，作為圓形樣區調查法的中心點及變動樣區水平樣點取樣調查法的樣點。

3-4-6-3 樣區／樣點材積之測計／推算

依圓形樣區調查法 (circular plot enumeration method) 及水平樣點取樣調查法 (horizontal point sampling enumeration method)，分別測計樣區或推算樣點材積。圓形樣區調查法 (以下簡稱圓形樣區) 及水平樣點取樣調查法 (以下簡稱水平樣點) 之方法設計於“方法設計”節再敘。

3-4-7 資料處理及分析

資料處理項目計有胸徑、樹高、坡度、株數、材積、調查時間及調查費用等，並進一步進行資料分析。

3-4-8 撰寫報告

有關本研究外業、內業及時間、費用計算等各項基本資料、筆記與記錄，限於篇幅，不作贅述。

3-5 方法設計

3-5-1 調查對象

調查對象設定為10年生以上生產林內連皮胸徑9.5公分以上生立木未及10年生之生產林、保安林地之林木不論胸徑大小均不調查，其林地面積亦予計算，但不作任何調查計算全林總材積時均不將其面積放入計算。宅地、農地、草生地、崩壞地及竹林等統歸為非林地 (NF) 一類，均不予列為林地面積。其理由為：

1. 未及10年生之生產林立木胸徑較小，亦或間有大於9.5公分之立木，唯其合於條件之株數必少，致使其每公頃材積偏低，除為經營計畫需要單獨考慮外，徒增調查人力、時間及費用，併同10年生以上林分計算之取樣誤差必因此而增大，但10年生為界，則係個人主觀認定，不同樹種不同生育地情況自宜有相對應的彈性設定。

2. 森林對水源涵養、土砂扞止等國土保安有重大功效之林地，才有

依森林法編劃為保安林之必要；雖云生產林與保安林同具保安之效用，亦皆屬集水區經營之範圍，惟有關保安林內林木之伐採，必須查明林相不整或遭破壞之事實個案，並依保安林施業規定專案辦理始得為之，故其內材積之多寡與生產林之伐採量訂有小於生長量的容許年伐量間幾乎扯不上關係，二者性質截然不同，自不宜混為一談，徒增混淆，並藉此舉節省 19.17%的工作量(調查區保安林佔全區面積之百分比)。

3. 森林面積、材積及生長量的連續變化是決定適當年伐採量不可或缺的重要參考資訊，林木生長量與枯死量調查未列入本研究之二項主要原因，其一為實驗林早經設定 26 處生長量試驗地，設定最早者已六十餘年，已有極為完整的數據可供參考，加之實驗林經營計畫內已有各營林區人工林各齡級之定期平均生長量及現實生長量即為重要資訊，如和社營林區之現實生長量為 5,061 立方公尺即為一例。其二生長量與枯死量調查須定期為之，所需時間、經費、人力及困難度均非本研究力所能及。

4 桿材林木 (poletimber) 係指連皮胸徑在 10.0—19.9 公分之林木、製材林木 (sawtimber) 指連皮胸徑超過 20.0 公分之林木，輪尺之測定精密度雖可及 0.1 公分，惟為讀數及記錄方便，均以整公分計算，故採直徑階中央值實行四捨五入法，即 9.5—10.4 公分者記錄為 10 公分，以下皆同，此舉雖有因使用歸整數所造成之誤差 (rounding error)，因有簡化外業工作的好處，仍多為森林測計所採用，且楊榮啓氏 (1980) 認為林木測計株數增多時，正負誤差有相互抵銷之可能。

5. 宅地、農地、草地、崩壞地及竹林等土地，雖因其處於林地範圍內，其面積習慣上都併入林地面積範圍內，惟就林木資源現況調查

而言，並無任何材積可言，內業判釋未予描繪除外的話，併為鄰近最似林型並無不可，可能有的結果是樣區若落於彼等區域時，材積為 0 m^3 ，本調查區彼等區域面積有 963.09 公頃，佔全區面積 23.54%，依逢機抽選之理論定義，現有 196 個照片樣區則有可能有 46 個照片樣區是零材積，徒增取樣誤差，要提高精密程度勢必抽選較多的樣區，耗費較鉅，本研究在內業判釋描繪 963.09 公頃之彼等區域依林班別歸類為 NF 之時間為 271 人一分（30.林班 192 人一分，32.林班 34 人一分，33.林班 37 人一分，34.林班 8 人一分），二者相權，即可窺知梗概。依上述定義，改種果樹的濫墾地或是森林火災後未及造林之土地或是尚未造林的砍伐跡地（cut-over area）或是造林不成功地均屬本研究 NF 之內，設有針對應行造林而未造林的調查目的言，則此 NF 則有再予細分為若干小類之必要，為探討可能的土地可利用程度（potential land capability）的調查時，此 NF 分類是否合宜亦有討論之餘地，惟上述二種情形均非本研究之調查目的，就此打住。

3-5-2 胸徑之測定

用輪尺（caliper）測定生產林內連皮胸徑在 9.5 公分（ ≥ 9.5 公分）以上之生立木，測定至 0.1 公分，讀數則採直徑階中央值實行四捨五入法，記錄為 10 公分連皮胸徑之林木，其可能變域為 9.5 — 10.4 公分連皮胸徑，於 3-5-1 之 4 已敘及設計之緣由。

胸徑測定步驟規定為：

1. 測定林木胸高部位（1.3 公尺）之連皮直徑。
2. 如林木位於山坡，則測手必須站立於上坡方向。
3. 超齡樹如其樹根露於地面上，測定胸徑時，不要把樹根列入計算，林木胸高直徑應測定樹根以上幹莖 1.3 公尺處直徑。

4. 傾斜林木之直徑，應測定沿莖 1.3 公尺長的部位。

5. 以輪尺測定直徑時，遊動腳與固定腳保持平行，尺度須與幹軸成直角，以及輪尺與樹幹相切方予讀測定值。

6. 記錄員應隨時注意測手測定林木之大小，俾及時發現測手誤讀，同時注意測手測定部位是否正確，俾免誤測。

7. 測定記錄後之林木，其面向樣區中心點的胸高部位，應用白粉筆劃一線，俾免漏測或重測。

8. 記錄員對測手測計之讀數應予複誦，俾免聽錯及記錯。

9. 胸高直徑點不規則時，應測定不規則處的上方之幹莖正常處，幹莖非圓形時則分別測計最大及最小值，記錄其平均值（超齡樹常多見此種情況）。

10. 林木於胸高直徑處，或稍上方分叉時，應測分叉處下方樹幹無膨大處。

11. 林木在胸高直徑之位置下方分叉時，每一支分叉木當一獨立林木加以測定，但直徑點應離分叉處上方 100 公分。

胸高處有枝條、樹瘤等不正常情形時，直徑點應在此等情形消失之上方處。

胸高處有瓶頸或膨大情形時，直徑點應在此情形消失之上方處。

3-5-3 樹高之測定及樹高推估

3-5-3-1 樹高之測定

測定之樹高之全高（total height），即為地面到樹梢頂點之垂直距離。為我國森林調查所慣用之立木高度，鬱閉林分內之立木及平頂形濶葉樹之樹梢，常不易測定是其先天性的限制，前者測定為針葉樹時需搖動樹幹俾測手見到樹梢可克服部分困難。

為方便樹高之測定原擬以 12 公尺測桿直接測定較為精確，惟測試結

果人工林15年生以上之林木常超過此高度，仍需目測其超過測桿之高度，且因其有相當長度及少許重量在樣區測定暨移動至下一樣區均感不便，此法只得放棄。為減少外業攜帶之儀器，最後決定使用 Spiegel relascop 應用三角學原理測定樹高。

Spiegel relascop 備有三種不同之正切刻度，供從測點到立木之水平距離等於20、25、30公尺處，假如從水平距離為10公尺處測定樹高較容易時，可將由20公尺正切刻度帶上所讀出之樹高值折半計算，15公尺測定樹高，則由30公尺正切刻度帶上讀出之樹高值折半計算。於測點透視樹梢及根部，二讀數同號則樹高為相減值，異號則樹高為相加值，因可視地形調整水平距離，且直接讀出樹高，經工作同仁演練熟悉後均感測定方便。

因樹高測定較諸直徑測定要花時間，實行困難，稍有不慎結果自不會正確，工作人員的目測 (eyeball measurement) 樹高經與 Spiegel relascop 測定值相較，精度甚高，惟為求設計慎密，均使用 Spiegel relascop 測定。圓形樣區0.0125公頃內 ≥ 9.5 公分之生木作為樣木；樹高單位為公尺，不及1公尺者採樹高階中央值實行四捨五入法，如15.5公尺讀為16公尺，15.4公尺讀為15公尺，以下皆同。

樹高測定步驟為：

1. 測手選定之測點以能同時清楚看見立木梢端及樹根為度，測點至樹根之水平距離可為10、15、20、25、30公尺，以能見度最佳者為最適距離。除非特殊情況，不考慮10公尺，以免將側生枝葉誤認為樹梢。
2. 測手不能確定樹梢實際位置應請在樹根部持皮尺者搖動幹莖至能清楚看見為止。

3. 如因坡度過陡無法看到樹根時，以樹幹上某一點為基準測定，再加算基準點以下高度。

4. 傾斜立木之樹高，從三個方向測定，以其平均值為記錄之樹高。

5. 測點與立木距離，必須為水平距離，必須正確測定。

3 - 5 - 3 - 2 樹高推估

鑑及樹高測定費時且較胸徑測定困難，僅測定0.0125公頃內 ≥ 9.5 公分之生立木作為樣木，以減低外業調查人員的作業疲勞，威信工作之簡化有助於提高測定的正確性。

根據胸高直徑及樹高測定值求樹高曲線之方法，手描曲線法雖簡單易行，有個人主觀之缺點，不擬採用；平均法之繁簡度及適當度介於手描曲線法及樹高曲線式法之間，為求結果客觀、正確，決定採用樹高曲線式法，並選定楊榮啓氏（1980）就實驗林柳杉樣木587株（樹齡10-60年生）求出之適當樹高曲線式 $H = 1.3 + aD^b$ （ H 為樹高， D 為胸徑）。

上式當 $D = 0$ 時， $H = 1.3$ ，合乎邏輯故予採用，是否為調查區所有樹種之最適實驗式並未進行研究。

天然林部份，原則上每一樹種作一樹高曲線式，某樹種如樣本不足時則與具相同材積方程式者之樹種胸徑、樹高資料合併計算，如冷杉與雲杉、「香杉、紅豆杉、鐵杉、扁柏、紅檜、肖楠、台灣杉」，「槲櫟類、樟樹、楠木、檫樹」等在「」之內樹種群在樣本不足時，應可互補，其理由為彼等樹種群材積方程式 $V = a D^b H^c$ 之 a 、 b 、 c 值均相同，顯見胸徑（ D ）與樹高（ H ）之關係必相同，在樣本不足時，自可相互套用。

人工林部份，為求精確，以地號別每一樹種作一樹高曲線式，理由為相同地號生育地條件相似性較高，撫育方法雷同，樹幹形狀亦能相

似。樣本數不足時，則以相鄰地區之地號資料互補；某一地號附近無同樹種資料互補時，則依「柳杉、杉木」及上述D與H關係相同者互補。

據實況了解時獲知天然闊葉林有少數之相思樹、木荷、樟樹、烏心石及楓香，經查證決定相思樹之樹高比照一般闊葉樹；木荷、樟樹、烏心石及楓香比照楠木。

3-5-4 材積方程式之決定及材積推算

3-5-4-1 材積方程式之決定

本調查所用樹種（群）之材積式及其來源如下：

1. 扁柏、紅檜、肖楠、台灣杉

$$V = 0.0000944 \times D^{1.9947405} \times H^{0.6596961}$$

民國六十二年林務局葉楷勳編製，累積偏差 = -0.0016%，平均偏差 = 13.29%。

2. 香杉、紅豆杉、鐵杉

$$V = 0.0000728 \times D^{1.944924} \times H^{0.8002212}$$

民國六十二年林務局葉楷勳編製，累積偏差 = -0.19%，平均偏差 = 11.04%

3. 冷杉、雲杉

$$V = 0.0001136 \times D^{1.7101804} \times H^{0.9711995}$$

民國六十二年林務局葉楷勳編製，累積偏差 = 0.57%，平均偏差 = 9.32%

4. 琉球松

$$V = 0.0000502 \times D^{1.66283} \times H^{1.45112}$$

民國五十九年中興大學劉慎孝與林子玉共編，標準偏差 = 0.03616
複相關係數 = 0.9971118。

5. 杉木、柳杉

$$V = 0.0000844 \times D^{1.6790} \times H^{1.0655}$$

民國五十三年中興大學劉慎孝等三人共同編製。

6. 松類、威氏帝杉、其他針葉樹

$$V = 0.0000625 \times D^{1.77924} \times H^{1.05866}$$

民國五十九年林試所黃崑崗編製。

7. 一般闊葉樹

$$V = 0.0000464 \times D^{1.53573} \times H^{1.50657}$$

民國五十七年中興大學劉慎孝、林子玉編製。

8. 長尾尖櫛、烏來櫛、櫛櫟類、樟樹、檫樹、楠木類

$$V = 0.00008626 \times D^{1.8742} \times H^{1.50657}$$

民國六十一年林試所陳松藩編製。

以上材積式所得材積為表示樹幹之全部連皮材積。且均為胸高直徑及樹高二因子材積表 (two-way volume table)，為國內第二次森林資源及土地利用調查採用之樹種(群)材積式，故可視為一般材積表 (general volume table)，且均屬 Schumacher 式 ($V = a D^b H^c$) 材積式。

3-5-4-2 材積推算

不論固定樣區或變動樣區，每木材積之計算，恒依上節材積式計算。固定樣區的樣木材積合計值均須換算為每公頃材積，為該樣區之材積。變動樣區之水平樣點之每公頃材積則係樣木材積與每公頃株數乘積的合計值。使用畢特立希氏角度係數相同之不同胸徑樣木，因單獨林木之斷面積 (individual tree basal area) 不同，其各個胸徑代表之每公頃株數 (number of trees per hectare) 亦異。使用不同畢特立希氏角度係數的相同胸徑林木所代表之每公頃株數值亦

不相同。本研究三種圓形面積及二種畢特立希氏角度係數之樣區 / 樣點材積推算方法，容俟“五種地面調查方法設計”再敘。

3-5-5 坡度之校正

坡度之測定使用 Suunto clinometer，Bryan 氏(1956)建議沿最陡坡坡向之上、下坡方向分別量測坡度，並以二者坡度的平均值作為樣區坡度，坡度值均以度數(或%)為單位。不同坡度在不同樣區面積大小的半徑修正值表(傾斜距離)附於紀錄表夾，供記錄員控制樣區半徑之用。至於水平樣點使用 Spiegel relascop 已有坡度自動修正裝置，故無坡度校正之問題。

雖則 Rock 氏(1960)依上述方法得到良好結果，Loestch 氏(1973)認為圓形樣區面積越大，由於坡度的不規則引起的偏估風險越大，吾人認為坡度未經校正對單位面積株數、材積以及全林材積推算上的偏估程度，應於本研究地區針對調查各林型及全林地面樣區坡度、株數、及材積資料為基礎，作必要之了解、比較、分析與研判。又調查區範圍之海拔高變域為 778.4 公尺~3,461.8 公尺，亦涵蓋天然針葉林、天然闊葉林、人工針葉林及人工針闊葉林等四種林型，胡宏淪氏(1970)敘及台灣山區之地勢陡峭，提到每 10 平方公里，相對地勢均有 500 公尺以上；本調查區面積有 40.91 平方公里，相對地勢達 2,683.40 公尺，即每 10 平方公里之相對地勢亦達 670.85 公尺，故本調查區坡度校正之研究結果，當有適用於省內之參考性。調查區地勢如圖 3-3。

3-5-6 以林型為族群分類之依據

調查對象既經 3-5-1 清楚界為 10 年生以上生產林內連皮胸徑 9.5 公分以上之生立木，則保安林 (protection forest)、未及 10 年生之生產林暨包括宅地、農地、草生地、崩壞地、森林火災後未及造

林之土地、尚未造林之砍伐跡地、造林不成功地及竹林等之非林地均非調查對象。

調查對象究以何種方式分類為宜，乃為本節設計之主體。林齡、林分密度、林木大小、林木高度、林分高度、立地品質（如地質、土壤、方位、坡度、海拔高等）均可用為本研究族群分類之用，都有使層內均質（homogeneous）化的效果，惟所獲取之資訊僅可得知調查區全林材積及各次族群（subpopulation）之全林材積有關的各個統計量，對樹種（群）別之各個材積則付之闕如；能得知樹種（群）材積之資訊固然最理想，惟鑒及調查區（台灣森林情況亦同）樹種龐雜，航照判讀亦不易精確，各樹種（群）之面積推算亦免不了有其取樣誤差（而面積資料的正確性跟單位面積材積代表性及正確性又是同等重要），加上推算各樹種（群）的面積亦因係取樣推算，自亦難以在像片基本圖正確描繪其實際位置，是以在北美可行的樹種（群）別分類方式實難適用於本調查區。

退而求其次依林型（forest type）分層，雖不若上述按樹種（群）分層來得理想，却有其實用性的一面，尤其天然林、人工林的分層也好，針葉林、闊葉林、針闊葉林的分層也好都是林業上公認的不同林型，相同林型多少會有其相對的均質性，更重要的是藉助實驗林提供的造林地圖等資料及像片基本圖，航照判讀天然針葉樹林型（C）、天然闊葉樹林型（H）、人工針葉樹林型（CP）、人工針闊葉混淆林（CHP）四種林型是容易辨認描繪的，在地面上的辨認上述林型更不是難事，加上一萬七千分一現成調查區航空照片比例尺是不夠理想的，要做到比上述四種林型分類再細的判讀也是有其實務上的困難。最小描繪面積訂為 0.25 cm^2 ，小於 0.25 cm^2 者併入鄰近最似林分，路邊、溪邊之長型植生帶寬在 2 公厘以上時方予描繪。換言之，此

0.25cm^2 在照片比例尺一萬七千分一時面積為0.43公頃，在2公厘時地面寬為34公尺。

依此族群分類之設計，將調查區分為CHP，CP，C，H，Y，P及NF等類；Y，P二者均列為林地，但不作任何取樣調查；NF則不列為林地面積，取樣調查集中力量在CHP，CP，C，H四種林型上，並進行四種林型分類為依據之取樣設計。

1. 分四種林型的分層逢機取樣設計。(CHP，CP，C，H)
2. 分天然林、人工林二種林型的分層逢機取樣設計。
3. 分針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型的分層逢機取樣設計。
4. 不分林型的簡單逢機取樣設計。

本研究之森林，林地，非林地(NF)，保安林(P)，未及10年生之生產林(Y)，人工針闊葉混淆林(CHP)，人工針葉樹林型(CP)，天然針葉樹林型(C)，天然闊葉樹林型(H)之定義如附錄一名詞釋義。

依NF，P，Y，CP，CHP，C及H之分類林相圖如圖3-4。其各個林型在各林班之面積如表1。

3-5-7 面積計算取樣誤差之考量及判釋誤差校正之考量

3-5-7-1 面積計算無取樣誤差

國內第二次全省森林資源及土地利用調查之面積資料因無像片基本圖可資應用，乃係依照片樣點估測可得，取樣誤差自所難免，其生產林地面積以一個標準誤尺度下取樣機誤低於±3%，亦即在68%之機率水準取樣誤差低於±3%。本研究地區判釋結果均經轉繪於像片基本圖，各個土地利用型均用面積儀在圖上測定，既經全區測定自無所謂取樣誤差之存在，惟為有效減低判讀、描繪及測定的偏估誤差，測

定時每塊土地利用型均測定三次並以其平均值為記錄之面積。判讀、描繪結果亦經不同判釋人員進行三次審定。

面積測定的順序與判釋順序相同，依次為調查區範圍、林班別非林地、保安林、人工林、未及10年生人工林、人工針闊葉林、天然針葉林之面積測定。

3-5-7-2 判釋誤差校正之考量

判釋結果認定與造林地圖等資料不符之處，列為疑問地區，必須經過現場校對 (field check) 予以驗正；彼等面積均經測定，故校正後歸入正確土地利用型並無問題。

調查區30林班有九處造林地，面積為28.4公頃，經現場校對發現造林地圖記載之資料與實況不符，並將原記載之錯誤資料予以更正，原記載資料錯誤地區之圖示如圖3-6。

3-5-8 照片樣點之配置以逢機方式為之

照片樣點之選擇採逢機方法分別抽選CHP，CP，C及H各層照片樣點，亦即將各方格板 (dot grid) 放於像片基本圖上，配合座標系統，用膠帶固定其位置。各層級每次抽選一對號碼 (分別代表X座標及Y座標)，即在方格上定其位置，並用照片刺針刺點，小心轉繪於像片基本圖上相應位置，並予編號。並將像片基本圖上各層照片樣點在立體鏡下轉繪於航空照片上。其在CHP，CP，C及H各層之照片樣點數分別為50、50、54及42，合計196個照片樣點，此照片樣點即為嗣後地面調查圓形樣區的中心點及水平樣點之樣點，據以進行三種不同面積大小之圓形樣區以及二種畢特立希氏角度係數之水平樣點調查，以求取單位面積材積。

上述CHP，CP，C及H各層照片樣點的逢機配置，即為下述之

取樣設計及供嗣後之比較分析研判：

1. 分四種林型的分層逢機取樣設計 (CHP, CP, C, H)。
2. 分天然林 (C+H)、人工林 (CHP+CP) 的分層逢機取樣設計。
3. 分針葉林 (C+CP)、針闊葉樹林 (CHP)、闊葉林 (H) 的分層逢機取樣設計。
4. 不分林型 (CHP+CP+C+H) 之簡單逢機取樣設計。

照片樣區在調查區的配置圖如圖 3-5。

3-5-9 三種樣區大小及二種水平樣點角度係數值的五種地面測計方法

本研究固定面積圓形樣區之大小，經參考選用 0.0125 公頃 (C1)、0.0250 公頃 (C2)、0.050 公頃三種；水平樣點取樣法係數值為 4 (R1) 者，適合於大面積林木材積調查，又係數值為 2 (R2) 較係數值為 4 者，可以減少樣點個數 40% 左右，故一併採用 (Chako [1962]、B.Husch et al [1972]、Austrian National Forest Inventory [1961, 1971]；R.Braun [1969]、D.A.Stellingwerf [1979]、楊榮啓 [1980])

為簡化現場的測計工作，同一株樣木之胸徑在五種測計方法僅測定一次，並為比較五種地面測計法在調查區適用情形，其據以測計之樣區中心點或樣點均相同；分別以 C1 (0.0125 公頃)、C2 (0.025 公頃)、C3 (0.05 公頃)、R1 (係數為 4)、R2 (係數為 2) 表示五種地面測計方法。樹高僅量測 C1 內全部樣木之樹高，其他 C2, C3, R1, R2, 未經量測之樹高，則按相同地號 (限於 CP 及 CHP) 之樹種 (群)，依樹高方程式推估得之。

至於以材積以外表示立木數量方式則有樣區（點）株數及胸徑直方圖等。在立木材積方面，各樣木之材積均依樹種（群）二因子材積方程式求得，C1樣區之材積為其樣木材積之合計值，乘以80，換算為C1之每公頃材積；C2乘以40為其每公頃材積；C3乘以20得其每公頃材積。境界木在樣區範圍內 $\frac{1}{2}$ 者記錄其胸徑，計算材積時僅計 $\frac{1}{2}$ ； $\frac{1}{3}$ 者計算材積時僅 $\frac{1}{3}$ 。水平樣點之境界木均作確實之檢核，依該林木之位置及立木到樣點的水平距離，查表（如附表3—2境界木檢定表）決定是否被算入（I），位於境界（B），不被算入（O），如水平距離與表內對應胸徑之距離二者相等時，則為真正之境界木，其材積僅計 $\frac{1}{2}$ ；小於表內對應距離者，即為樣木。使用 Spiegel relascop，測手應注意透視林木位置在1.3公尺處，目標林木看不清楚時，測手可稍離樣點，但測點至該林木之距離應與樣點至該林木之距離相同。R1, R2樣木材積同C1, C2, C3，惟計算每公頃材積時有所不同；R1, R2各個胸徑林木的胸高斷面積（BA）須先求得（ $\frac{\pi D^2}{4}$ ）；R1各個胸徑每公頃株數（ $\frac{40,000}{BA}$ ）與該株樣木材積乘積的合計值，即為R1之每公頃材積；R2方法同R1，惟其各個胸徑每公頃株數為（ $\frac{20,000}{BA}$ ）。R1及R2樣木各個胸徑之胸高斷面積及每公頃株數均經準備，俾資備用。

3—5—10. 調查表設計

用做樣區（點）樣木調查及記載之調查表亦經設計如表3—3，並作分節說明。

3—5—10—1 樣區（點）位置

1. 樣區號碼

依照片樣點編號作為地面樣區（點）號碼

2. 林班別

依其在實驗林和社營林區之林班別，分別記錄為30，32，33或34。

3. 圖名別

依其在像片基本圖之圖幅別，分別記錄為和社、同富山、鹿林山、東埔、沙里仙或玉山。

4. 類別

依其為何種林型，分別記錄其各個代號，如CHP，CP，C或H。

以上記錄均於住處填妥，供次日外業調查之用。

3-5-10-2 時間記錄

1. 調查日期

如三月二十日調查，則記為 $\frac{3}{20}$ ，即月份記於分子處，日期記於分母處，且均以阿拉伯數字表示。

2. 出發時間

離開住處開始出發之時間，記錄幾時幾分，如7時30分記為0730，此係指當日開始調查之第一個樣區而言；當日調查之第2個樣區及以後之樣區，此出發時間為完成第1個樣區（依次類推）作業，開始出發到第2個樣區（依次類推）的時間，如9時30分，則記錄為0930。

3. 抵達林緣時間

指抵達至樣區附近，必須安步當車進入林內尋找樣區之時間，如8時5分，記錄為0805。次一樣區的位置須在林內尋找時，本欄免予註記。

4. 找出樣區中心時間

係由林緣步行至樣區左近並找到樣區中心點之時間，如8時40分，記為0840，此乃指當日調查的第1個樣區；否則則為自前一樣區出發

到找出本樣區中心的時間。

5. 作業開始時間

指測手、記錄員及拉皮尺者各就各位；並可開始作業第一個 0.0125 公頃圓形樣區之時間，如 8 時 45 分，記為 0845。

6. 作業完成時間

指完成水平樣點 R₂ 調查之時間，如 9 時 30 分，記為 0930。

7. 抵達住處時間

指當日“最後一個樣區（點）”之所有測計工作均完成，回到住處之時間，如抵達住處時為 17 時 10 分，記為 1710。

8. 調查時間（組一分）

指五種地面樣區其各個樣區調查作業完成之時間，分述如次：

(1) C1: 記錄 0.0125 公頃圓形樣區測計工作完成之時間。

(2) C2: 記錄 0.025 公頃圓形樣區測計工作完成之時間。

(3) C3: 記錄 0.05 公頃圓形樣區測計工作完成之時間。

(4) R₁: 記錄畢特立希角度係數值為 4 之水平樣點測計工作完成之時間。

(5) R₂: 記錄畢特立希角度係數值為 2 之水平樣點測計工作完成之時間。此時間與作業完成時間代表相同意義，故此欄空白，時間則記錄於作業完成時間處。

3-5-10-3 樣區坡度及樣木資料

1. 坡度：使用 Suunto clinometer 自圓形樣區中心點沿上、下坡方向量測坡度，並記錄其平均值（度數）作為樣區坡度，俾供調整不同樣區半徑的傾斜距離。此為樣區（點）測定作業開始的第一項工作。

2. 樣木編號

共有# 1至# 47等號碼，依次為C1順時針方向之樣木，並於面向樣區中心林木胸徑位置處以白粉筆註其編號，以資識別，再次為C2, C3, R1及R2, 亦均採順時針方向編號。

3. 樹種

所有樹種均記樹種代號，所有 ≥ 9.5 公分健全生立木記以三位阿拉伯數字的樹種代號，代號照國內第二次森林資源及土地利用計畫之標準樹種代號，並經附於紀錄表俾供紀錄員參考記錄。並將調查區樹種別代號列如下述：

101 (扁柏) ; 102 (紅檜) ; 103 (肖楠) ; 104 (香杉) ; 105 (紅豆杉) ; 108 (琉球杉) ; 110 (臺灣二葉松) ; 111 (華山松) ; 112 (臺灣五葉松) ; 113 (鐵杉) ; 114 (冷杉) ; 115 (雲杉) ; 117 (杉木) ; 118 (柳杉) ; 119 (臺灣杉) ; 150 (其他針葉樹) ; 201 (烏心石) ; 202 (櫟) ; 203 (毛柿) ; 204 (牛樟) ; 350 (黃肉楠類、其他樟類、厚殼桂類、瓊楠、木薑子、山胡椒、楠類、新木薑子、賽楠、雅楠) ; 401 (長尾尖櫛) ; 402 (烏來櫛) ; 450 (櫟類、苦櫟、板栗、櫛、石櫟、蕨櫟、山毛櫟類) ; 502 (相思樹) ; 505 (江某，亦稱鴨脚木) ; 506 (楓樹) ; 507 (赤楊) ; 509 (山黃麻) ; 511 (木荷) ; 514 (泡桐) ; 515 (柚木) ; 600 (其他闊葉樹)。

3-5-10-4 林木測定

1. 胸高直徑 (簡稱胸徑)

每一林木之胸徑測手應測至0.1公分，惟將讀數告知記錄員時則採四捨五入法，由記錄員記至整公分，如林木胸徑15.4公分，則讀數及記錄均為15。

2. 樹高

圓形樣區 0.0125公頃內 ≥ 9.5 公分之生立木為樹高測定之樣木。測定之樹高為地面到樹梢頂點之垂直距離，亦即全高（total height），使用 Spiegel relascop 測定樹高之單位為公尺，不及1公尺者採樹高階中央值實行四捨五入法，如 15.5 公尺讀為16.公尺，15.4 公尺讀為15.公尺，記錄則記整公尺數，如上述則分別記為16.及15.。

3. 材積、樣區材積、每公頃材積、每公頃株數

圓形樣區之材積、樣區材積及每公頃材積等欄，於全部外業工作完竣後回台北再行運算，現場調查不作任何註記；水平樣點（無邊樣區）之材積、每公頃株數、每公頃材積亦然。

4. 代號

圓形樣區及水平樣點之代號均用為註記不同地面調查方法之用，每一種地面調查方法的第1株樣木及最後一株樣木均用代號註記，如C1, C2, C3, R1 或R2。

5. 備註

用為註記境界木之用；如圓形樣區境界木，記 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{3}$ ；如水平樣點樣木到樣點之實際水平距離與其對應胸徑之距離二者相等時之境界木，則在備註欄記 $\frac{1}{2}$ ；為免圓形樣區與水平樣點境界木混淆，數字之前均註C1, C2, C3, R1或R2以資識別。鼠害木及空洞材比率亦在此備註欄記錄。

6. 水平樣點之胸徑欄

如水平樣點之樣木胸徑已在圓形樣區調查時測定，則該欄須打「 \checkmark 」；如樣木在0.05公頃圓形樣區範圍外，則該樣木之胸徑應予測定、讀數，並記錄於本欄。

3-5-11. 作業時間及費用之分析設計

3-5-11-1 內業部分

1. 航照判釋及轉繪所需時間

按林班別，區分林地與非林地，生產林及保安林，人工林與天然林，10年生以上與未及10年生之生產林，人工針葉林與人工針闊葉林，天然針葉林與天然闊葉林，竹類等判讀及描繪時間均經記錄。(表2)

表2 判釋及轉繪所需時間(人一分)

區 別 \ 林 班	30	32	33	34	合 計
(I) 林地與非林地之區分	192	34	37	8	271
(II) 生產林與保安林之區分	—	25	28	29	82
(III) 人工林與天然林之區分	230	25	63	19	337
(IV) 人工林部份未及10年生及10年以上林分之區分	84	40	7	8	139
(V) 10年生以上人工針葉樹林型及人工針闊葉混淆林之區分	76	—	—	—	76
(VI) 天然林部份天然針葉樹林型及天然闊葉樹林型之區分	10	5	16	12	43
(VII) 竹類與其他非林地之區分	35	—	—	—	35
合 計	627	129	151	76	983

連同在像片基本圖上調查區範圍之描繪時間35分鐘在內，合計費時16時58分。

2. 面積計算

以面積儀在像片基本圖上計算各NF, P, Y, CHP, CP, C及H之面積，並予累計，得NF共963.09公頃，P為784.0公頃，Y為503.8公頃，CHP為140.41公頃，CP為366.30公頃，C為438.30公頃，H為894.70公頃，合計4,091.00公頃。人

工林部份，爲求樹高推算能儘可能以地號別／樹種別方式爲之，各地號別之面積及其花費時間亦予另表登記。

面積計算之順序依林班別之全區，非林地（含竹林），未及10生之生產林、天然闊葉樹林型，天然針葉樹林型，人工針葉樹林型，人工針葉混淆林等土地利用型分別測定，並記錄其時間，共用11時50分，如表3：

表3 面積計算（人一分）

土地利用別	林班	30	32	33	34	合計
試驗地區		49'05"	15'30"	16'42"	13'49"	95'06"
非林地（含竹林）		0'50"	9'02"	17'31"	7'40"	35'03"
保安林		—	0'40"	0'45"	4'57"	6'22"
未及10年之生產林		73'18"	21'20"	19'10"	4'03"	117'51"
天然闊葉樹林型		147'41"	—	—	—	147'41"
天然針葉樹林型		—	—	16'20"	0'30"	16'50"
人工針葉樹林型		173'21"	34'13"	2'17"	2'17"	212'08"
人工針闊葉混淆林		78'58"	—	—	—	78'58"
合計		523'13"	80'45"	72'45"	33'16"	709'59"

3. 照片樣點之選擇及定位

照片樣點之選擇採逢機方法分別抽選CHP，CP，C及H各層照片樣點，亦即將方格板（dot grid）放於像片基本圖上，配合座標系統，用膠帶固定其位置。各層級每次抽選一對號碼（分別代表X座標及Y座標），即在方格上定其位置，並用照片刺針刺點，小心轉刺於像片基本圖上相應位置，並予編號。並將像片基本圖上各層照片樣點在立體鏡下轉刺於航空照片上。其在CHP，CP，C及H各層

之照片樣點數分別為 50、52、54 及 42，合計 196 個照片樣點，其所需時間，共 21 小時 46 分。（如表 4）

表 4 照片樣點之選擇及定位（人一分）

時間 工作項目	林型	CHP (50點)	CP (50點)	C (54點)	H (42點)	合計
(I) 選點(抽選圈在方格板上)		120	45	90	80	335
(II) 刺點編號(刺在像片基本圖上及編號)		45	36	60	75	216
(III) 轉刺點(由像片基本圖上轉刺於航空照片上)		240	185	180	150	755
合計		405	266	330	305	1,306

3-5-11-2 外業部分

1. 每木胸徑測定時間

圓形樣區 0.0125 公頃之測定作業尚包括樹高測定時間，水平樣點 R 及 R2 之測定作業時間雖僅有胸徑測定，惟有部分樣木因在圓形樣區範圍內，故 C1, R1 及 R2 均不宜用為每木胸徑測定時間之推算。

因 C2 及 C3 僅測計胸徑，並未測定樹高，而胸徑測定僅需測手一人即可勝任，故將 C2 及 C3 之作業時間（組一分）視作人一分，合計每一林型 C2 及 C3 之作業時間除以每一林型 C2 及 C3 株數之合計值，即可得知每木平均之胸徑測定時間。

經計算得知，C 林型每木胸徑測定時間為 1.5234 分鐘，H 為 1.1967 分鐘，CP 為 0.5672 分鐘，CHP 為 0.8717 分鐘。

2. 每木樹高測定時間

圓形樣區 0.0125 公頃 (C1) 與 C2 或 C3 地面測定作業不同處，在於 C1 樹高亦需測定，C2 或 C3 則僅需測定胸徑。又因每個地面樣區之測定作業均由測手、記錄員及拉皮尺員三人合作為之，故每一林型 C1, C2 及 C3 之作業時間均需乘以 3，以換算為一人一分，然後根據下列公式以計算每一林型每木樹高測定時間。

公式：

$$\left\{ \left[\frac{\sum C1 \text{作業時間}}{\sum C1 \text{樣木株數}} \right] - \left[\frac{\sum C2 \text{作業時間} + \sum C3 \text{作業時間}}{\sum C2 \text{樣木株數} + \sum C3 \text{樣木株數}} \right] \right\} \times 3$$

每一林型經利用上式計算，得 C 林型每木樹高測定時間為 5.0350 分鐘，H 林型 6.1670 分鐘，CP 林型為 3.5588 分鐘，CHP 為 6.6283 分鐘。

3. 五種地面測計方法之測定時間

為簡化現場之測計工作，同一株樣木在五種測計方法中僅測定一次；又鑑及樹高測定費時且較胸徑測定困難，故現場僅測定圓形樣區 0.0125 公頃內 ≥ 9.5 公分之生立木作為樣木樹高，以減低外業調查之疲勞度；也因此調查表上記載之 C2, C3, R1 及 R2 之作業時間較正常作業時間為少，必須藉助上述計算所得各林型每木胸徑及樹高測定時間，方能調整為五種地面測計方法之“正常”測定時間。

(1) 圓形樣區 C1 測定時間

為唯一包括胸徑及樹高測計之正常作業，故其記錄之林型別作業時間合計值除以該林型之樣區數，即可得知。

(2) 圓形樣區 C2 測定時間

依下述公式求出各林型 C2 樣區之測定時間

$$\frac{3 \times [(\Sigma C1 \text{ 測計時間}) + (\Sigma C2 \text{ 測計時間})] + [(\Sigma C2 \text{ 樣區株數}) \times \text{每木樹高測定時間}]}{\text{該林型之樣區數}}$$

該林型之樣區數

(3) 圓形樣區 C3 測定時間

依下述公式求出各林型 C3 樣區之測定時間

$$(\text{圓形樣區 C2 測定時間}) + \frac{[3 \times (\Sigma C1 \text{ 測計時間})] + [(\Sigma C3 \text{ 樣區株數}) \times \text{每木樹高測定時間}]}{\text{該林型之樣區數}}$$

(4) 水平樣點 R1 測定時間

依下述公式求出各林型水平樣點 R1 之測定時間

$$\frac{[(\Sigma 0.05 \text{ 公頃內 R1 樣木株數}) \times \text{每木胸徑測定時間}] + [(\Sigma R1 \text{ 樣區株數}) \times \text{每木樹高測定時間}] + [3 \times (\Sigma R1 \text{ 測計時間})]}{\text{該林型之樣區數}}$$

(5) 水平樣點 R2 測定時間

依下述公式求出各林型水平樣點 R2 之測定時間

$$(\text{水平樣點 R1 時間}) + \frac{[(\Sigma 0.05 \text{ 公頃內 R2 樣木株數}) \times \text{每木胸徑測定時間}] + [(\Sigma R2 \text{ 樣點株數}) \times \text{每木樹高測定時間}] + [3 \times (\Sigma R2 \text{ 測計時間})]}{\text{該林型之樣區數}}$$

上述 C1, C2, C3, R1 及 R2 之樣區 (點) 測定時間均係按林型別求出, 如表 5。

表 5 林型別不同地面測計方法的樣區 (點) 平均測定時間 (人一分)

林型別 \ 測計方法	C1	C2	C3	R1	R2
CHP	51.6667	112.4001	141.7335	38.8333	74.4444
CP	65.5000	147.7966	289.0627	47.5395	93.4449
C	12.5250	37.7125	69.7056	64.5647	112.2237
H	52.6500	131.8106	258.5227	96.8337	183.4029

至於將CHP，CP，C及H四種林型視為同一族群（不分林型）之每木胸徑測定時間，每木樹高測定時間，不同地面測計方法之測定時間等計算公式之原理同前，不作贅述。

經計算所得，每木胸徑測定時間及每木樹高測定時間均經整理列表（單位為人一分）如表6。其各個地面測計方法之測定時間，圓形樣區部分，C1為45.1333人一分，C2為105.7315人一分，C3為190.0777人一分；水平樣點部分，R1為58.1457人一分，R2為61.9102人一分。

4. 樣區（點）間步行／車行時間

計算樣區（點）間步行／車行時間，必先有調查區面積、樣區數、住處往返樣區時間以及樣區至樣區時間之資料。

就不分林型之調查區而言面積為4091公頃，經調查的樣區（每一樣區均作五種地面測計方法之測定）計有140個，是以對此樣本大小（sample size），樣區間彼此距離（mutual distance）計算依Stellingwerf氏（1983）所用之公式為之，以d代表樣區間彼此距離，單位為公尺，其公式為：

$$d^2 = \frac{\text{調查區面積 (M}^2\text{)}}{\text{樣區數}}$$

依上式計算就本調查區140個樣區數而言，d值為540.5685公尺，

表 6：每木胸徑及樹高測定時間 (單位：人一分)

項目別測定 林型別	每木胸徑測定時間	每木樹高測定時間
調查區全林(不分林型)	0.7681	4.3480
人工針闊葉混淆林	0.8717	6.6283
人工針葉樹林型	0.5672	3.5588
天然針葉樹林型	1.5234	5.0350
天然闊葉樹林型	1.1967	6.1670
天然林林型	1.3135	5.7348
人工林林型	0.6270	4.1140
針葉樹林型	1.0800	3.7081

故其樣區間彼此距離之總值為 75,139.0200 公尺。

住處往返樣區時間，計包括住處至每天開始工作的第一個樣區的時間以及每日結束工作的最後一個樣區回到住處的時間二者的合計值；又完成某樣區後找到下一個樣區的“樣區至樣區”間時間。住處往返樣區以及樣區至樣區時間的累計，即為花在樣區(點)間步行/車行時間的合計值。就外業調查 44 天調查表記錄計算所得的平均值言，住處至每天工作的第一個樣區的時間為 104.7955 分鐘；每日結束工作的最後一個樣區回到住處的時間為 88.9090 分鐘；完成某樣區後找到下一個樣區的“樣區至樣區”時間為 26.9111 分鐘。惟因樣區之測計必須測手、記錄員及拉皮尺員三人，故前述之時間必須乘以 3，故調查區調查在樣區(點)間步行/車行時間為 547.25 人一時。

山區外業工作不若內業一天可有 8 小時的工作時間，就外業調查 44 天調查表從住處出發到回到住處的記錄時間(扣除中午用膳時間)之

計算，每工作天平均工作時間為 6.66705 小時；現場天氣非吾人所能控制，雨天就不能工作；辦公地點（台北）到住處（實驗林和社營林區及林務局東埔山莊）往返也要時間；連續工作五天也要稍事休息等實際情況均應考慮在內。本外業調查之出差天數（以組一天計）93天，而扣除上述情況後之外業工作天數僅為44天，換言之 2.11364 (93/44) 為吾人計算工天必須調整為實際情況的係數。

是以外業調查在樣區（點）間步行／車行時間（547.25 小時）換算為實際情況之人一日時，須考慮上述每工作天工作時數（6.66705 小時）及實際情況係數（2.11364）。經換算後，外業調查在樣區（點）間步行／車行時間應為 173.49327 人一日。（辦公室往返現場住處及不能工作天、星期例假等天數均考慮在內者）。

根據試區 4,091 公頃，樣區 140 個所得之樣區間彼此距離之總值為 75,139.0200 公尺，計費時 173.49327 人一日，得每人一日平均步行／車行速度為 433.0947 公尺。

達到特定精度的樣區數經算出後，隨調查面積（如分林型依林型別面積為準，擴大調查面積亦然）之變動，樣區（點）間之彼此距離（mutual distance between plots）d 值會有相對的變動，自然影響及樣區間彼此距離之總值（total distance between plots），惟在類似本調查區地況、林況、可及性之情況下，所得之樣區間彼此距離之總值均可依每人一日平均之步行／車行速度 433.0947 公尺，換算為在樣區（點）間步行／車行所需人力（manpower required for transportation）。

經調查之地面樣區 140 個樣區中，計調查 CHP 林型 32 個，CP 林型 48 個，C 林型 40 個及 H 林型 20 個。其各林型五種測計方法所得材積之均數估值及均數標準誤算出後，為達到特定取樣精度，C1，C2

，C3，R1及R2所需之樣本數自有不同，按調查區林型別面積及上述每人一日平均步行／車行速度433.0947公尺，自亦可求出在設定調查精度下，五種地面測計方法C1，C2，C3，R1或R2之樣區（點）間彼此距離，樣區間彼此距離之總值暨樣區（點）間步行／車行所需人力（manpower required for transportation）

5. 林型別暨不分林型五種地面測計方法（C1，C2，C3，R1及R2）之測定時間與設定調查精度下，五種地面測計方法樣區（點）間步行／車行所需人力的二者合計，即為外業調查採用五種地面測計方法（林型別或不分林型）在設定調查精度下，C1，C2，C3，R1及R2各自的人力需求。

6. 同樣地面測計方法之簡單逢機取樣與分層逢機取樣之比較，在設定調查精度下不同人力需求，除應考慮其所得材積均數標準誤不同影響及外業調查人力而外，有關航照判釋及轉繪、面積計算、照片樣片之選擇及定位等內業所需人力之不同，亦應一併納入，俾便比較分析。

3-5-11-3 調查時間與調查費用之關係

調查費用探討方面，設定外業工作一天是內業工作一天費用的2倍，這是根據外業工作在交通工具配備、燃料消耗、外業僱工、意外保險（本研究限於經費來源之限制，並未辦理）、膳宿費及天氣惡劣不能工作等方面額外事實需要所設定者，由73年上半年國內粗枯薦任級公職人員平均之月薪（二萬元）、政府規定之差旅費標準（膳費250元／日）、宿費480元／日）、油費（每公升單價26元）及用油標準（汽車20公升／日，機車5公升／日）、僱工工資（700／日）等情況看來，內業一人一日為一個費用單位，外業一人一日為2個費用單位，尚稱合理。

3-5-12 外業人員編組及任務分派

外業工作期間為73年3月8日至73年5月17日，為期方便外業工作之參與及監管，僅設計一個調查組之編制，分由紀錄員、測手及拉皮尺員三人組成。作業地區優先次序，慮及33及34林班必經之處神木溪在梅雨期間隨時有河床高漲交通中斷之虞，故先進行33及34林班之外業調查，進駐林務局東埔山莊至3月23日，均由工作人員自行炊飯；30及32林班之外業調查，則借宿實驗林和社營林區宿舍，並在該處搭伙，便當亦由其提供。

為期發揮工作成效，維持一定之調查精度，每一調查人員之工作負擔合理化及公平至為重要，在調查之各過程中，紀錄員、測手與拉皮尺員之任務，經設計如次：

3-5-12-1 紀錄與裝備之保管

紀錄員：照片、地圖、調查資料、調查表之保管。

測手：出發前之全部裝備檢查。

拉皮尺員：儀器之保養維護。

3-5-12-1 樣區位置之確認、設定及樣木之測定

紀錄員：利用航空照片研判前往樣區之最便捷路徑及確認樣區中心點位置；測定坡度並擔任樣區半徑測量之後測手以確定修正之樣區半徑值正確；複誦、鑑定及記錄測定之結果。

測定員：協助樣區位置之確認；設立樣區中心樁；測定樣木胸徑；報樹種及胸徑測定結果；估計腐朽率，已調查之林木做記號（編號）；使用Spiegel Relascop測定樹高兼水平距離測量之後測手。

拉皮尺員：擔任樣區半徑測量之前測手；確定樣區範圍及樣區內樣木俾便測手測定胸徑；協助僱工清除影響視界之地被植生；

圓形樣區（ $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{3}$ ）及水平樣點（ $\frac{1}{2}$ ）境界木之確定；樹高測定時水平距離測量之前測手。

3-5-12-3 樣區資料整理及檢查

紀錄員於每日作業完竣返回住處後，應就當日調查紀錄之資料加以檢查整理，並準備次日調查地區有關資料。

3-5-13. 依林型別經濟價值高低分配地面樣區數

國內第二次全省森林資源及土地利用航測調查所訂森林總蓄積之容許取樣誤差標準在一個標準誤尺度下，為 $< \pm 5\%$ ，林區森林蓄積為 $\pm 5\%$ 至 15% 之間，並未對各別林型或樹種設定特定機率水準下的容許取樣誤差值；又其地面樣區分佈密度約每900公頃或每隔3,000公尺，選擇一個地面樣區，但其地面樣區並不直接取自照片樣點，而依「世界橫麥卡脫方格」之地圖方格交點為準，於最靠近此方格點之照片上以逢機方式就該張照片系統配置的12個照片樣點中抽選一點作為地面樣區位置（林務局，1978）。

本研究之首要目的既為依林型經濟高低給予不同的容許取樣誤差，調查全林材積估值精度則為次要目的，自毋須考慮最適分配法或比例分配法，其各林型樣本數之分配，乃依高經濟價值林型給予較高的取樣密度，據以達成各林型所希望得到的精密度（F. Freese, 1962）。如此分配各林型地面樣區數，如偏離最適分配過多時，會造成全林材積推算估值精密度損失，並可依2-2-5-5所列公式計算其精密度損失（W.G. Cochran, 1977）；各林型地面樣區數之合計，允作簡單逢機樣本，並依一般簡單逢機取樣公式作全林估值之各種演算，並據以與分層逢機取樣法相比較；至於此種未依各林型面積大小配置地面樣區數的作法，其所得樣本估值或有與一般正常簡單逢機取樣者有所迥異，故在結論與討論6-1-8節再將依2-2-5-4節

公式由分層樣本計算簡單逢機取樣法無偏估值 (W.G.Cochran, 1977) 與前者相比較其可能之誤差。

鑑於經費、人力之限制，初步規劃設計最多可完成 130 個地面樣區，各林型之容許取樣誤差在 95% 機率水準下，人工針葉樹林型 (CP) 及天然針葉樹林型 (C) 等二林型經濟價值最高，故設定為 $\pm 10\%$ ，人工針闊葉混淆林 (CHP) 經濟價值次之，故設定為 $\pm 15\%$ ，天然闊葉樹林型 (H) 經濟價值最低，故設定為 $\pm 20\%$ 。在總樣本數固定為 140 之情況下，欲達成上述各林型容許取樣誤差之各林型樣本數分別為人工及天然針葉樹林型各配置 40 個地面樣區，人工針闊葉混淆林 30 個，天然闊葉樹林型 20 個，合計 130 個地面樣區；嗣因人工針葉樹林型散布範圍較廣，為減少變異再多增 8 個地面樣區，人工針闊葉混淆林分佈亦廣，且 30 個樣區中有 5 個零材積樣區，故再多增 2 個，天然林面積集中，故未調整，合計 140 個樣區。

與國內第二次全省森林資源及土地利用航測調查 (林務局，1978) 二者之比較如下：

1. 68% 機率水準 $\pm 5\%$ 取樣誤差之精度設定與人工及天然針葉樹林型 95% 機率 $\pm 10\%$ 之精密度，概略相同。(FAO, 1973)
2. 本研究地面樣區直接選自逢機抽選的照片樣點，且該照片樣點之刺點即為地面樣區之中心一點。
3. 本研究調查對象僅為 10 年生以上之生產林，且連皮胸徑 ≥ 9.5 公分之生立木始予測計，故未及 10 年生之生產林、保安林及非林地 (宅地、農地、草生地、崩壞地及竹林) 均經描繪扣除且不予配置任何地面樣區；故實際作抽樣之族群面積為 1839.71 公頃；國內第二次全省森林資源及土地利用航測調查則無是項作業，且調查對象涵蓋及連皮胸徑 5 公分以上至 9.4 公分之生立木。

4. 國內第二次全省森林資源及土地利用航測調查地面樣區分佈密度為每 900 公頃一樣點，本研究為 13.14 公頃；林型別而言，本研究人工針葉樹林型為 7.63 公頃，天然針葉樹林型 10.96 公頃，人工針闊葉混淆林 4.39 公頃，天然闊葉樹林型為 44.74 公頃，國內第二次全省森林資源及土地利用航測調查，手邊無此細部資料可資比較。

3-5-14. 分析採用之統計方法

3-5-14-1 坡度、胸徑、株數等資料

林型別及不分林型有關坡度、胸徑、株數等資料均列表並作直方圖。

3-5-14-2 簡單逢機取樣及分層逢機取樣之全林材積推算

1. 簡單逢機取樣（詳如 2-2-5-4）

樣本均數： $\bar{X} = \sum X_i / n$ (m^3/ha)

變異數估值： $S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} = \frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n - 1}$

樣本均數標準誤： $S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{s^2(1-f)}{n}}$ (m^3/ha)

於 f (取樣率) $< 5\%$ 時， fpc [$= (1-f)$]，有限族群改正數) 忽略不計

樣本均數取樣誤差： $E = t \times S_{\bar{x}} \quad (\text{m}^3/\text{ha})$

$$E(\%) = \frac{E \times 100}{\bar{x}} \quad (\%)$$

t 值取自 t 分佈表，雙尾機率為 5%，自由度 d.f. 為 $(n - 1)$ 。

族群均數估值之信賴界限： $C.I. = \bar{x} \pm E \quad (\text{m}^3/\text{ha})$

全林材積估值之信賴界限： $V = A(\bar{x} \pm E) \quad (\text{m}^3)$

設定取樣誤差 (Ea) 之樣本大小推算：

如 Ea 設定為均數 5%，則 $Ea = (5\%)(\bar{x}) \quad (\text{m}^3/\text{ha})$

合乎設定取樣誤差之最少樣區數 (n_{min}) 為：

$$n_{min} = \frac{t^2 s^2}{\frac{Ea^2}{2} + \frac{t^2 s^2}{N}}$$

於 f (取樣率) $< 5\%$ 時，則 $\frac{t^2 s^2}{N}$ 忽略不計，則

$$n_{min} = \frac{t^2 s^2}{Ea^2}$$

2. 分層逢機取樣 (採一般情況公式，說明見 2-2-5-5)

樣本均數： $\bar{x} = \sum P_j \bar{X}_j \quad (\text{m}^3/\text{ha})$

$$(P_j = \frac{A_j}{A})$$

$$\text{樣本均數標準誤： } S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum \left(1 - \frac{n_j}{N_j}\right) P_j^2 S_j^2}{n_j}} = \sqrt{\sum \left(1 - \frac{n_j}{N_j}\right) S_{\bar{x}j}^2}$$

於 f (取樣率) $< 5\%$ 時, 則為:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum P_j^2 S_j^2}{n_j}} = \sqrt{\sum P_j^2 S_{\bar{x}j}^2}$$

$$\text{樣本均數取樣誤差： } E = t \times S_{\bar{x}} \quad (\text{m}^3/\text{ha})$$

$$E (\%) = \frac{E \times 100}{\bar{x}} \quad (\%)$$

t 值取自 t 分佈表, 雙尾機率為 5% , 自由度 $d.f.$ 為 $(n-1)$

$$\text{族群均數估值之信賴界限：C.I.} = \bar{x} \pm E \quad (\text{m}^3/\text{ha})$$

$$\text{全林材積估值之信賴界限：} V = A (\bar{x} \pm E) \quad (\text{m}^3)$$

設定取樣誤差 (E_a) 之樣本大小推算:

$$\text{如 } E_a \text{ 設定為均數 } 5\%, \text{ 則 } E_a = (5\%) (\bar{x}) \quad (\text{m}^3/\text{ha})$$

合乎設定取樣之最少樣區數 (n_{min}) 為:

$$n_{min} = \frac{t^2 \sum \frac{P_j^2 S_j^2}{w_j}}{E_a^2 + \frac{t^2 \sum P_j S_j^2}{N}} \quad \left(w_j = \frac{n_j}{n} \right)$$

於 f (取樣率) $< 5\%$ 時, $\frac{t^2 \sum P_j S_j^2}{N}$ 忽略不計, 則

$$n_{min} = \frac{t^2 \sum \frac{P_j^2 S_j^2}{w_j}}{Ea^2}$$

3-5-14-3 不同處理均數間的比較, 採用鄧肯氏多變域比較法 (Duncan's multiple range test)

作法:

1. 計算處理組的均數標準誤, 為 $S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n_i}}$

上式中 S^2 為殘差變異數 (residual variance), n_i 為組內重複數 (number of replications in the group)

2. 查學生氏變域表 (studentized ranges table); 自由度 d.f. 為 $(N - g)$, N 為觀測值總數, g 為處理組數; 變域為 0.05 及 0.01 保護平準 (protection levels), 因其為防止找出錯誤的顯著差異 (significant difference), 表內之 P 為欲比較均數的個數。

3. 用均數標準誤及學生氏變域 (決定 P 值及選擇保護平準下的值) 的乘積, 表示最小顯著變域 (least significant ra-

nge, 簡稱 L.S.R.)

4. 將各均數按大小順序排列 (由最小值開始)
5. 檢定所有均數間的差異, 從最大減最小均數開始, 最大減第二個最小均數, 依序比較, 如差值大於 L.S.R., 則其差值視為顯著差異。

3-5-14-4 顯著性檢定

用 t 檢定法檢定均值, 均差標準誤 (standard error of the mean difference, S_{dm}) 之計算因下述情況會有不同

1. 二組觀測值的變數為配對者 (paired variables)

($X_{i1} - X_{i2}$) 之變異數 (variance) 估值為

$$S_d^2 = \frac{\sum \{ (X_{i1} - X_{i2}) - (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \}^2}{n-1} = \frac{\sum (X_{i1} - X_{i2})^2 - \frac{\{ \sum (X_{i1} - X_{i2}) \}^2}{n}}{n-1}$$

$$\text{均差標準誤: } S_{dm} = \sqrt{\frac{S_d^2}{n}}$$

2. 二組觀測值的變數並非配對, 但變異數估值經 F 檢定視為相等

- (1) 二組觀測值個數相等

勻和變異數 (pooled variance) 估值: $S_{(1+2)}^2 = \frac{\sum (X_{1i} - \bar{X}_1)^2 + \sum (X_{2i} - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}$

均差標準誤： $S_{dm} = S_{(1+2)} \sqrt{\frac{2}{n}}$ [具 $2(n-1)$ d.f.]

(2) 二組觀測值個數不等

勻和變異數估值 (pooled sample variance) :

$$S_{(1+2)}^2 = \frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2 + \sum (X_2 - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

均差標準誤： $S_{dm} = S_{(1+2)} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$ [具 $(n_1 + n_2 - 2)$ 個 d.f.]

3. 二組觀測值的變數並非配對，變異數估值也不相同

(1) 二組觀測值個數相等

$$\text{均差標準誤： } S_{dm} = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n}} \quad [\text{具 } (n-1) \text{ d.f.}]$$

(2) 二組觀測值個數不等

$$\text{均差標準誤： } S_{dm} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$

由於 $n_1 \neq n_2$ ，故均差標準誤之 t 表值在 t_1 及 t_2 間，其近似值可由加權平均 t_1 及 t_2 求得：

$$w_1 = \frac{S_1^2}{n_1}, \quad w_2 = \frac{S_2^2}{n_2}$$

$$t(\text{近似值}) = \frac{w_1 t_1 + w_2 t_2}{w_1 + w_2} \quad [t_1 \text{ 具 } (n_1 - 1) \text{ d.f.}; t_2 \text{ 具 } (n_2 - 1) \text{ d.f.}]$$

3-5-14-5 可靠最低估值 (Reliable Minimum Estimate , RME)

林木資源調查有關林木數量估值除依均數及信賴界限表示外，亦可用 RME 表示 (Dawkins , 1957) ; RME 表示在設定機率水準下可期望的最低數量，對伐採與否的經營決策亟具參考價值。其計算式為：

$$RME = \bar{x} - tS\bar{x}$$

此 RME 並非信賴界限之下限，因此 t 為單尾，一般使用之 t 表多為雙尾，故設定 95% 機率水準時，其 t 值應查雙尾 t 表 0.10 欄相對 d.f. 之值；餘 \bar{x} 及 $S\bar{x}$ 則同前述。

3-5-14-6 樣本大小 (sample size) 對標準機差的影響探討 依林型別及全林地面樣區材積 (m^3/ha) 分別計算之。

以天然針葉樹林型 (C) 40 個樣區材積資料 (每一樣區有 C1 , C2 , C3 , R1 及 R2 五種樣區材積資料，現僅以 C1 說明) 為例，樣本大小自 5 樣區至 39 樣區，採逢機分布，均重複 60 次，每一樣本大小有 60 個標準機差，從 60 次的標準機差求取平均標準機差 (mean standard error , S_s) 及變異係數，以探討調查區 C 林型族群之最適樣本大小。上述方法係參考 Stellingwerf 氏 (1983) 設計者。

四、資料處理及分析

4-1 資料處理

4-1-1 面積資料

照片判釋結果認定與造林地圖等資料不符之處，列為疑問地區，經現場校對發現造林地圖記載之資料與實況不符，並予更正。現場校對前後之面積資料比較如表 7

表 7： 現場校對前後之面積資料比較

		地面實況各土地利用型面積 (公頃)					照片判釋各土地利用型面積 (公頃) 及比例 (%)		正確判讀各土地利用型面積 (公頃) 及比例 (%)	
		NF	CHP	CP	C	H	面積	比例 (%)	面積	比例 (%)
照用 片型 判釋 各(公 地頃 利)	NF	954.53	0	0	0	0	954.53	34	954.53	100
	CHP	0	140.41	19.90	0	0	160.31	6	140.41	88
	CP	8.50	0	346.40	0	0	354.90	13	346.40	98
	C	0	0	0	438.30	0	438.30	15	438.30	100
	H	0	0	0	0	894.70	894.70	32	894.70	100
合計 (公頃)		963.03	140.41	366.30	438.30	894.70	2,802.74	100	2,774.34	99

依上表得知，8.5 公頃非林地（竹林），造林地圖記載為 CP；19.90 公頃 CP，造林地圖記載為 CHP。合計九筆造林地的面積為 28.4 公頃，於現場校對後予以更正。

4-1-2 胸徑資料

經測定胸徑之樣木計有 4742 株，胸徑均數估值 (\bar{x}) 爲 24.70097 公分；標準誤 (S) 爲 22.96459 公分；均數標準誤 ($S_{\bar{x}}$) 爲 0.33349 公分；變異係數 ($C.V.\%$) 爲 92.97；在 99% 機率水準之取樣誤差 (%) 爲 3.48；在 95% 機率水準之取樣誤差爲 2.65；其胸徑中央值間隔 5 公分之直方圖如圖 4-1，每一胸徑級之株數及百分比暨累加株數及百分比亦併入圖 4-1 以便對照。

就林型別而言，分述如次：

1. 人工針闊葉混淆林 (CHP)

經測定胸徑之樣木計有 688 株，胸徑均數估值 (\bar{X}) 爲 17.55233 公分；標準誤 (S) 爲 6.84664 公分；均數標準誤 ($S_{\bar{x}}$) 爲 0.26103 公分；變異係數 ($C.V.\%$) 爲 39.01；在 99% 機率水準之取樣誤差 (%) 爲 3.83 公分；在 95% 機率水準之取樣誤差 (%) 爲 2.91 公分；胸徑中央值間隔 5 公分之直方圖如圖 4-2；每一胸徑級之株數及其百分比暨累加株數及其百分比亦併入圖 4-2 以便對照。

2. 人工針葉樹林型 (CP)

經測定胸徑之樣木計有 2,791 株，胸徑均數估值 (\bar{X}) 爲 17.27947 公分；標準誤 (S) 爲 5.20098 公分；均數標準誤 ($S_{\bar{x}}$) 爲 0.09845 公分；變異係數 ($C.V.\%$) 爲 30.10；在 99% 機率水準之取樣誤差 (%) 爲 1.4 公分；在 95% 機率水準之取樣誤差 (%) 爲 1.12 公分；胸徑中央值間隔 5 公分之直方圖如圖 4-3；每一胸徑級之株數及其百分比暨累加株數及其百分比亦併入圖 4-3，以便對照。

3. 天然針葉樹林型 (C)

經測定胸徑之樣木計有 572 株，胸徑均數估值 (\bar{X}) 爲 61.70455 公分；標準誤 (S) 爲 42.52180 公分；均數標準誤 ($S_{\bar{x}}$) 爲 1.77793

公分；變異係數 (C.V.%) 為 68.91；在99%機率水準之取樣誤差 (%) 為 7.42；在95%機率水準下之取樣誤差 (%) 為 5.65；胸徑中央值間隔 5 公分之直方圖如圖 4-4；每一胸徑級之株數及其百分比暨累加株數及其百分比亦併入圖 4-4，以便對照。

4. 天然潤葉樹林型 (H)

經測定胸徑之樣木計有 691 株，胸徑均數估值 (\bar{X}) 為 31.16353 公分；標準誤 (S) 為 22.81649 公分；均數標準誤 ($S_{\bar{x}}$) 為 0.86798 公分；變異係數 (C.V.%) 為 73.22；在99%機率水準之取樣誤差 (%) 為 7.17；在95%機率水準之取樣誤差 (%) 為 5.46；胸徑中央值間隔 5 公分之直方圖如圖 4-5；每一胸徑級之株數及其百分比暨累加株數及其百分比亦併入圖 4-5，以便對照。

上述調查區及林型別樣木胸徑之統計量如表 8

表 8 調查區及林型別樣木胸徑之統計量

性質	樣木數	均數估值 (cm)	標準誤 (cm)	均數標準誤 (cm)	變異係數 (%)	取樣誤差 (%) 95% 機率水準	取樣誤差 (%) 99% 機率水準
調查所有樣木	4,742	24.70097	22.96459	0.33349	92.97	2.65	3.48
林型 CHP	688	17.55233	6.84664	0.26103	39.01	2.91	3.83
林型 CP	2,791	17.27947	5.20098	0.09845	30.10	1.12	1.47
林型 C	572	61.70455	42.52180	1.77793	68.91	5.65	7.42
林型 H	691	31.16353	22.81649	0.86798	73.22	5.46	7.17

4-1-3 樹高資料

採用之樹種(群)別樹高曲線式 $H = 1.3 + aD^b$ ，運算時先將其轉換成對數直線式為：

$$\log(H - 1.3) = \log a + b \log D$$

$$\text{設：} \log(H - 1.3) = Y, \log a = a_0, \log D = X$$

$$\text{則：} Y = a_0 + bX$$

經過迴歸變異數分析及 F 檢定，得知上述直線迴歸之迴歸關係顯著後，即認為方程式可以成立，據以推算未測樹高樣木之樹高。

上述對數直線式 $\log(H - 1.3) = \log a + b \log D$ ，樹種(群)別樣木數，相關係數，b 值，以及迴歸變異數分析計算之 F 值經整理如表 4-1。人工林部分依樹種之地號別分析之樣本數，相關係數，b 值，以及迴歸變異數分析計算之 F 值如表 4-2 (柳杉) 及表 4-3 (杉木)。不同地號別或樹種(群)之樣本數、相關係數，b 值，以及迴歸變異數分析計算之 F 值如表 4-4。

表 4-4 內之其他潤葉樹及桐類因直線迴歸不顯著，照表 4-1 相同樹種(群)計算其樹高；表 4-3 內三個地號直線迴歸不顯著，係因彼等位置之林木均係斷梢木故仍沿用計算，以免材積高估。表 4-1 冷杉及雲杉合併計算相關係數雖較冷杉單獨計算者為高，惟因該二樹種未聚生於相鄰位置，未予採用。

表 4-1 為調查區內樹種(群)別 $\log(H - 1.3) = \log a + b \log D$ 有關之統計量，天然針葉林樣區內未測定樹高之針葉樹均憑之推算樹高，人工林樣區柳杉樣木不足且無相鄰地號可併者，天然潤葉林樣區內未測定樹高之槲櫟類、相思樹亦然；天然針葉林及潤葉林之楠木類，天然潤葉林之其他潤葉樹暨人工林柳杉、杉木以外針潤葉樹等依表 4-4 運算。表 4-2 柳杉 56-6 地號 34.07 公頃故每一樣

區分別計算；表 4 - 3 杉木情況亦然。

4-1-4 坡度資料

全部樣區 140 個中有 5 樣區所在地已被移作非林地使用，無林木可測，故坡度亦未測定；計算 135 處坡度均數估值 (\bar{X}) 為 29.39 度；標準誤 (S) 為 12.51 度；均數標準誤 ($S\bar{x}$) 為 1.08 度；變異係數 (C.V.%) 為 42.56；在 99% 機率水準的取樣誤差 (%) 為 9.59；在 95% 機率水準的取樣誤差 (%) 為 7.25；135 個坡度觀測值在各林型的樣區讀數值，如表 4 - 5；坡度分布的直方圖採中央值間隔 5 度 (如圖 4 - 6) 及國內第二次森林資源調查採用之坡度級 (如圖 4 - 7) 二種，後者之分級 $0^{\circ} - 5^{\circ}$ 坡度級為平， $6^{\circ} - 22^{\circ}$ 坡度級為中， $23^{\circ} - 35^{\circ}$ 為緩， $36^{\circ} - 45^{\circ}$ 為急， $46^{\circ} - 55^{\circ}$ 為甚急， $\geq 56^{\circ}$ 者為險；每一坡度級的樣區數及其百分比暨累加樣區數及其百分比，分別附於圖 4 - 6 及圖 4 - 7，以便對照。(圖中每一 * 代表一個觀測值)

至於各林型樣區坡度分布情形，如下述：

1. 人工針闊葉混淆林 (CHP)

27 個觀測值之均數 (\bar{X}) 為 30.59 度；標準誤 (S) 為 11.38 度；均數標準誤 ($S\bar{x}$) 為 2.19 度；變異係數 (C.V.%) 為 37.20；在 99% 機率水準的取樣誤差 (%) 為 19.89；在 95% 機率水準的取樣誤差 (%) 為 14.72；坡度分布直方圖亦採二種，每一坡度級的樣區數及其百分比暨累加樣區數及其百分比分別附於圖 4 - 8 及圖 4 - 9，以便對照。(5 樣區移作非林業使用，未作坡度觀測)

2. 人工針葉樹林型 (CP)

48 個觀測值之均數 (\bar{X}) 為 22.58 度；標準誤 (S) 為 14.83 度；均數標準誤 ($S\bar{x}$) 為 2.14 度；變異係數 (C.V.%) 為 65.66；在 99% 機率水準的取樣誤差 (%) 為 25.48；在 95% 機率水準的取樣

誤差(%)爲19.09；坡度分布直方圖亦採二種，每一坡度級的樣區數及其百分比暨累加樣區數及其百分比分別附於圖4-10及圖4-11，以便對照。

3. 天然針葉樹林型(C)

40個觀測值之均數(\bar{X})爲33.50度；標準誤(S)爲8.34度；均數標準誤($S_{\bar{x}}$)爲1.32度；變異係數(C.V.%)爲24.88；在99%機率水準取樣誤差(%)爲10.66；在95%機率水準取樣誤差(%)爲7.96；坡度分布直方圖亦採二種，每一坡度級的樣區數及其百分比暨累加樣區數及其百分比分別附於圖4-12及圖4-13，以便對照。

4. 天然闊葉樹林型(H)

20個觀測值之均數(\bar{X})爲35.90度；標準誤(S)爲6.36；均數標準誤($S_{\bar{x}}$)爲1.42；變異係數(C.V.%)爲17.71；在99%機率水準取樣誤差(%)爲11.33；在95%機率水準取樣誤差(%)爲8.29；坡度分布直方圖亦採二種，每一坡度級的樣區數及其百分比暨累加樣區數及其百分比分別附於圖4-14及圖4-15，以便對照。

至調查區全林及林型別坡度觀測值之統計量，經整理如表9

4-1-5 株數資料

調查區林型別五種地面測計方法所得各樣區樣木株數經整理如表4-6；爲嗣後分析需要，林型別五種地面測計方法在坡度爲零度之樣區樣木株數亦經推算整理如表4-7。

4-1-5-1 地面測計方法別株數資料

1. 就表4-6五種地面測計方法在調查區全林及林型別樣區(點)之各項統計量分別列表如次：

(1) 0.0125 公頃圓形樣區(C1)者，如表10

表 9 調查區及林型別樣區坡度之統計量

統計量 林型別	樣本數	均數估值 (度)	標準誤 (度)	均數標準誤 (度)	變異係數 (%)	99% 標準差 機率水 下取樣誤 (%)	95% 標準差 機率水 下取樣誤 (%)
調查區全林	135	29.39	12.51	1.08	42.56	9.59	7.25
人工針闊 葉混淆林	27	30.59	11.38	2.19	37.20	19.89	14.72
人工針葉 樹林型	48	22.58	14.83	2.14	65.66	25.48	19.09
天然針葉 樹林型	40	33.50	8.34	1.32	24.88	10.66	7.96
天然闊葉 樹林型	20	35.90	6.36	1.42	17.71	11.33	8.29

表 10 : 0.0125 公頃圓形樣木株數之統計量

統計量 林型別	樣本數	均數估值 (株)	標準誤 (株)	均數標準誤 (株)	變異係數 (%)	99% 標準差 機率水 下取樣誤 (%)	95% 標準差 機率水 下取樣誤 (%)
調查區全林	140	8.60	7.65	0.65	88.93	19.67	14.88
林型 CHP	32	5.78	5.55	0.98	96.03	46.61	34.63
林型 CP	48	15.88	7.05	1.02	44.44	17.25	12.92
林型 C	40	2.85	2.89	0.46	101.31	43.39	32.41
林型 H	20	7.15	4.30	0.96	60.07	38.43	28.12

(2) 0.025 公頃圓形樣區 (C2) 者，如表11。

表 11 : 0.025 公頃圓形樣區樣木株數之統計量

統計量 林型別	樣本數	均數估值 (株)	標準誤 (株)	均數標準誤 (株)	變異係數 (%)	99% 準差 下取樣誤 率水 (%)	95% 準差 下取樣誤 率水 (%)
調查區全林	140	16.70	14.61	1.24	87.51	19.35	14.64
林型 CHP	32	11.06	9.94	1.76	89.84	43.60	32.40
林型 CP	48	30.63	14.13	2.04	46.13	17.90	13.41
林型 C	40	5.35	5.01	0.79	93.65	40.11	29.96
林型 H	20	15.00	6.20	1.39	41.32	26.44	19.34

(3) 0.05 公頃圓形樣區 (C3) 者，如表 12

表 12 : 0.05 公頃圓形樣區樣木株數之統計量

統計量 林型別	樣本數	均數估值 (株)	標準誤 (株)	均數標準誤 (株)	變異係數 (%)	99% 準差 下取樣誤 率水 (%)	95% 準差 下取樣誤 率水 (%)
調查區全林	140	31.63	27.59	2.33	87.22	19.29	14.60
林型 CHP	32	21.34	19.26	3.40	90.24	43.79	32.54
林型 CP	48	58.13	25.78	3.72	44.35	17.21	12.89
林型 C	40	8.73	7.80	1.23	89.42	38.30	28.60
林型 H	20	30.30	11.65	2.61	38.46	24.60	18.00

(4)畢特立希氏角度係數為 4 (R1) 之水平樣點者，如表13。

表 13 : 畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點樣木株數之統計量

統計量 林型別	樣本數	均數估值 (株)	標準誤 (株)	均數標準誤 (株)	變異係數 (%)	99% 準差 下取樣誤 率水 (%)	95% 準差 下取樣誤 率水 (%)
調查區全林	140	7.29	4.48	0.38	61.54	13.61	10.30
林型 CHP	32	3.22	3.16	0.56	98.16	47.64	35.40
林型 CP	48	8.42	4.41	0.64	52.38	20.33	15.23
林型 C	40	7.73	3.90	0.62	50.43	21.60	16.13
林型 H	20	10.20	3.33	0.75	32.69	20.91	7.31

(5)畢特立希氏角度係數為 2 (R2) 之水平樣點者，如表14

表 14 : 畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點樣木株數之統計量

統計量 林型別	樣本數	均數估值 (株)	標準誤 (株)	均數標準誤 (株)	變異係數 (%)	99% 準差 下取樣誤 率水 (%)	95% 準差 下取樣誤 率水 (%)
調查區全林	140	12.91	7.11	0.60	55.08	12.18	9.22
林型 CHP	32	6.13	5.40	0.95	88.14	42.78	31.78
林型 CP	48	15.48	6.52	0.94	42.10	16.34	12.24
林型 C	40	12.95	5.94	0.94	45.87	19.64	14.67
林型 H	20	17.55	5.32	1.19	30.29	19.38	14.18

2. 因林型 CHP 32 樣區中有 5 樣區土地已移作非林地使用，設若將其剔除，表 4—6 五種地面測計方法調查區全林及林型 CHP 樣區(點)之統計值與保留此 5 樣區之統計量比較，分別列表如次：

(1) 0.0125 公頃圓形樣區 (C1) 者，如表 15。

表 15 : 0.0125 公頃圓形樣區樣木株數之統計量比較

統計量 林型別	樣本數	均數 估值 (株)	標準 誤 (株)	均數 標準 誤 (株)	變異 係數 (%)	99% 標準 差 下 取 樣 誤 率 (%)	95% 標準 差 下 取 樣 誤 率 (%)
調查區 全林	140	8.60	7.65	0.65	88.93	19.67	14.88
調查區 全林	135	8.92	7.60	0.65	85.25	19.20	14.53
林型 CHP	32	5.78	5.55	0.98	96.03	46.61	34.63
林型 CHP	27	6.85	5.40	1.04	78.77	42.13	31.17

(2) 0.025 公頃圓形樣區 (C2) 者，如表 16

表 16 : 0.025 公頃圓形樣區樣木株數之統計量比較

統計量 林型別	樣本數	均數 估值 (株)	標準 誤 (株)	均數 標準 誤 (株)	變異 係數 (%)	99% 標準 差 下 取 樣 誤 率 (%)	95% 標準 差 下 取 樣 誤 率 (%)
調查區 全林	140	16.70	14.61	1.24	87.51	19.35	14.64
調查區 全林	135	17.32	14.52	1.25	83.82	18.88	14.28
林型 CHP	32	11.06	9.94	1.76	89.84	43.60	32.40
林型 CHP	27	13.11	9.48	1.82	72.31	38.67	28.61

(3) 0.05公頃圓形樣區 (C3) 者，如表17。

表17 : 0.05公頃圓形樣區樣木株數之統計量比較

統計量 林型別	樣本數	均數 估值 (株)	標準 誤 (株)	均數 標準 誤 (株)	變異 係數 (%)	99% 標準 差 下 取 樣 誤 率 (%)	95% 標準 差 下 取 樣 誤 率 (%)
調查區全林	140	31.63	27.59	2.33	87.22	19.29	14.60
調查區全林	135	32.80	27.40	2.36	83.54	18.82	14.24
林型 CHP	32	21.34	19.26	3.40	90.24	43.79	32.54
林型 CHP	27	25.30	18.40	3.54	72.73	38.90	28.78

(4) 畢特立希氏角度係數為 4 (R1) 之水平樣點者，如表 18

表 18 : 畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點樣木株數之統計量比較

統計量 林型別	樣本數	均數 估值 (株)	標準 誤 (株)	均數 標準 誤 (株)	變異 係數 (%)	99% 標準 差 下 取 樣 誤 率 (%)	95% 標準 差 下 取 樣 誤 率 (%)
調查區全林	140	7.29	4.48	0.38	61.54	13.61	10.30
調查區全林	135	7.55	4.34	0.37	57.39	12.93	9.78
林型 CHP	32	3.22	3.16	0.56	98.16	47.64	35.40
林型 CHP	27	3.81	3.09	0.59	80.97	43.30	32.04

(5)畢特立希氏角度係數為 2 (R2) 之水平樣點，如表 19。

表 19：畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點樣木株數之統計量比較

統計量 林型別	樣本數	均數估值 (株)	標準誤 (株)	均數標準誤 (株)	變異係數 (%)	99% 標準差 下取樣誤 率水	95% 標準差 下取樣誤 率水
調查區全林	140	12.91	7.11	0.60	55.08	12.18	9.22
調查區全林	135	13.39	6.78	0.58	50.66	11.41	8.63
林型 CHP	32	6.13	5.40	0.95	88.14	42.78	31.78
林型 CHP	27	7.26	5.12	0.99	70.51	37.71	27.90

4-1-5-2 林型別株數資料

1. 就林型別而言，五種地面測計方法所得樣木株數之統計量，經整理分別列表如次：

(1)人工針闊葉混淆林 (CHP) 者，如表 20。

表 20：人工針闊葉混淆林樣區 (點) 樣木株數統計量

統計量 地面測計法	樣本數	均數估值 (株)	標準誤 (株)	均數標準誤 (株)	變異係數 (%)	99% 標準差 下取樣誤 率水	95% 標準差 下取樣誤 率水
C1	32	5.78	5.55	0.98	96.03	46.61	34.63
C2	32	11.06	9.94	1.76	89.84	43.60	32.40
C3	32	21.34	19.26	3.40	90.24	43.79	32.54
R1	32	3.22	3.16	0.56	98.16	47.64	35.40
R2	32	6.13	5.40	0.95	88.14	42.78	31.78

(2)人工針葉樹林型(CP)者, 如表21。

表 21 : 人工針葉樹林型樣區(點) 樣木株數統計量

地面測計方法	統計量	樣本數	均數估值(株)	標準誤(株)	均數標準誤(株)	變異係數(%)	99%標準差下取樣誤(%)	95%標準差下取樣誤(%)
C1		48	15.88	7.05	1.02	44.44	17.25	12.92
C2		48	30.63	14.13	2.04	46.13	17.90	13.41
C3		48	58.13	25.78	3.72	44.35	17.21	12.89
R1		48	8.42	4.41	0.64	52.38	20.33	15.23
R2		48	15.48	6.52	0.94	42.10	16.34	12.24

(3)天然針葉樹林型(C)者, 如表22。

表 22 : 天然針葉樹林型樣區(點) 樣木株數統計量

地面測計方法	統計量	樣本數	均數估值(株)	標準誤(株)	均數標準誤(株)	變異係數(%)	99%標準差下取樣誤(%)	95%標準差下取樣誤(%)
C1		40	2.85	2.89	0.46	101.31	43.39	32.41
C2		40	5.35	5.01	0.79	93.65	40.11	29.96
C3		40	8.73	7.80	1.23	89.42	38.30	28.60
R1		40	7.73	3.90	0.62	50.43	21.60	16.13
R2		40	12.95	5.94	0.94	45.87	19.64	14.67

表 23 : 天然潤葉樹林型樣區 (點) 樣木株數統計量

(4)天然潤葉樹林型 (H) 者, 如表 23。

地面測 計方法	統 計 量	樣 本 數	均 數 估 值 (株)	標 準 誤 差 (株)	均 數 標 準 誤 差 (株)	變 異 係 數 (%)	99 準 差 下 取 樣 誤 差 水 準 (%)	95 準 差 下 取 樣 誤 差 水 準 (%)
C1		20	7.15	4.30	0.96	60.07	38.43	28.12
C2		20	15.00	6.20	1.39	41.32	26.44	19.34
C3		20	30.30	11.65	2.61	38.46	24.60	18.00
R1		20	10.20	3.33	0.75	32.69	20.91	15.30
R2		20	17.55	5.32	1.19	30.29	19.38	14.18

表 24 : 調查區全林樣區 (點) 樣本株數統計量

(5)調查區全林 (CHP + CP + C + H) 者, 如表 24。

地面測 計方法	統 計 量	樣 本 數	均 數 估 值 (株)	標 準 誤 差 (株)	均 數 標 準 誤 差 (株)	變 異 係 數 (%)	99 準 差 下 取 樣 誤 差 水 準 (%)	95 準 差 下 取 樣 誤 差 水 準 (%)
C1		140	8.60	7.65	0.65	88.93	19.67	14.88
C2		140	16.70	14.61	1.24	87.51	19.35	14.64
C3		140	31.63	27.59	2.33	87.22	19.29	14.60
R1		140	7.29	4.48	0.38	61.54	13.61	10.30
R2		140	12.91	7.11	0.60	55.08	12.18	9.22

2 調查區全林及 CHP 林型而言，剔除 5 個非林地樣區與保留二者之統計量比較，分別列表如表 25 及表 26。

表 25：調查區全林樣區（點）樣木株數之統計量比較

地面 測計方法	統計量	樣本數	均數 估值 (株)	標準 誤 (株)	均數 標準 誤 (株)	變異 係數 (%)	99 % 標準 差 下 取 樣 誤 率 (%)	95 % 標準 差 下 取 樣 誤 率 (%)
C 1		140	8.60	7.65	0.65	88.93	19.67	14.88
		135	8.92	7.60	0.65	85.25	19.20	14.53
C 2		140	16.70	14.61	1.24	87.51	19.35	14.64
		135	17.32	14.52	1.25	83.82	18.88	14.28
C 3		140	31.63	27.59	2.33	87.22	19.29	14.60
		135	32.80	27.40	2.36	83.54	18.82	14.24
R 1		140	7.29	4.48	0.38	61.54	13.61	10.30
		135	7.56	4.34	0.37	57.39	12.93	9.78
R 2		140	12.91	7.11	0.60	55.08	12.18	9.22
		135	13.39	6.78	0.58	50.66	11.41	8.63

表 2 6 : C H P 林型樣區 (點) 樣木株數之統計量比較

地面 測計方法	統計 量	樣 本 數	均 數 估 值 (株)	標 準 誤 差 (株)	均 數 標 準 誤 差 (株)	變 異 係 數 (%)	99 準 差 % 下 機 取 率 水 誤 (%)	95 準 差 % 下 機 取 率 水 誤 (%)
C 1		3 2	5.78	5.55	0.98	96.03	46.61	34.63
		2 7	6.85	5.40	1.04	78.77	42.13	31.17
C 2		3 2	11.06	9.94	1.76	89.84	43.60	32.40
		2 7	13.11	9.48	1.82	72.31	38.67	28.61
C 3		3 2	21.34	19.26	3.40	90.24	43.79	32.54
		2 7	25.30	18.40	3.54	72.73	38.90	28.78
R 1		3 2	3.22	3.16	0.56	98.16	47.64	35.40
		2 7	3.81	3.09	0.59	80.97	43.30	32.04
R 2		3 2	6.13	5.40	0.95	88.14	42.78	31.78
		2 7	7.26	5.12	0.99	70.51	37.71	27.90

4 - 1 - 6 材積資料

4 - 1 - 6 - 1 地面測計方法別調查區全林及林型別樣區 (點)

材積資料

1 未剔除 CHP 林型 5 樣區之材積資料

(1) 0.0125 公頃圓形樣區 (C1) 者, 如表 27。

表 27 : 0.0125 公頃圓形樣區材積之統計量 (單位: m^3/ha)

林 型 別	統 計 量	樣 本 數	均 數 估 值	均 數 標 準 誤	95 準 取 樣 機 率 水 差 (%)	取 樣 誤 差 最 少 樣 區 數	取 樣 誤 差 最 少 樣 區 數	取 樣 誤 差 最 少 樣 區 數
調查區全林		140	254.95	22.22	17.26	417	185	104
林型 CHP		32	72.97	12.57	35.13	395	176	99
林型 CP		48	226.54	17.10	15.20	110	49	27
林型 C		40	395.82	62.01	31.69	401	178	100
林型 H		20	332.58	45.41	28.58	163	73	41

(2) 0.025 公頃圓形樣區 (C 2) 者，如表 28

表 28: 0.025 公頃圓形樣區材積之統計量 (單位: m^3 /ha)

林型別 \ 統計量	樣本數	均數估值	均數標準誤	95% 準取樣誤差 (%) 機率水	取樣誤差 10% 最少樣區數	取樣誤差 15% 最少樣區數	取樣誤差 20% 最少樣區數
調查區全林	140	263.38	23.28	17.50	429	190	107
林型 CHP	32	77.16	12.14	32.09	330	147	82
林型 CP	48	220.06	14.00	12.81	79	35	20
林型 C	40	433.73	67.28	31.38	393	175	98
林型 H	20	324.60	34.97	22.55	102	45	26

(3) 0.05 公頃圓形樣區 (C 3) 者，如表 29

表 29: 0.05 公頃圓形樣區材積之統計量 (單位: m^3 /ha)

林型別 \ 統計量	樣本數	均數估值	均數標準誤	95% 準取樣誤差 (%) 機率水	取樣誤差 10% 最少樣區數	取樣誤差 15% 最少樣區數	取樣誤差 20% 最少樣區數
調查區全林	140	270.02	27.93	20.48	587	261	147
林型 CHP	32	78.31	11.80	30.74	302	134	76
林型 CP	48	212.91	13.19	12.47	75	33	19
林型 C	40	435.83	83.95	38.97	607	270	152
林型 H	20	382.16	50.62	27.72	153	68	38

(4)畢特立希氏角度係數為4(R1)之水平樣點者，如表30。

表30:畢特立希氏角度係數為4之水平樣點材積之統計量
(單位： m^3/ha)

林型別 \ 統計量	樣本數	均數估值	均數標準誤	95%準取樣誤差 (%) 機率水	取樣誤差10% 最少樣點數	取樣誤差15% 最少樣點數	取樣誤差20% 最少樣點數
調查區全林	140	228.69	12.99	11.25	177	79	44
林型 CHP	32	79.06	14.10	36.12	417	187	104
林型 CP	48	236.95	19.88	16.89	137	60	34
林型 C	40	299.58	24.56	16.59	110	49	27
林型 H	20	306.49	23.92	16.33	54	23	14

(5)畢特立希氏角度係數為2(R2)之水平樣點者，如表31。

表31:畢特立希氏角度係數為2之水平樣點材積之統計量
(單位： m^3/ha)

林型別 \ 統計量	樣本數	均數估值	均數標準誤	95%準取樣誤差 (%) 機率水	取樣誤差10% 最少樣點數	取樣誤差15% 最少樣點數	取樣誤差20% 最少樣點數
調查區全林	140	200.46	10.20	10.08	142	63	36
林型 CHP	32	76.35	12.21	32.62	340	150	89
林型 CP	48	218.54	15.07	13.89	93	41	23
林型 C	40	248.70	19.13	15.56	97	43	24
林型 H	20	259.13	18.04	14.57	43	19	11

2 因林型 CHP 3 2 樣區中有 5 樣區土地已移作非林地使用，設若將其剔除，五種地面測計方法調查區全林及林型別樣區（點）之統計量與保留此 5 樣區之統計量比較，分別列表如次：

(1) 0.0125 公頃圓形樣區（C 1）者，如表 32

表 32:0.0125 公頃圓形樣區材積之統計量比較（單位： m^3/ha ）

林型別 \ 統計量	樣本數	均數估值	均數標準誤	95% 準取樣誤差率水差 (%)	取樣誤差 10% 最少樣區數	取樣誤差 15% 最少樣區數	取樣誤差 20% 最少樣區數
調查區全林	140	254.95	22.22	17.26	417	185	104
調查區全林	135	264.40	22.64	16.96	388	172	97
林型 CHP	32	72.97	12.57	35.13	395	176	99
林型 CHP	27	86.48	13.35	31.74	271	120	68

(2) 0.025 公頃圓形樣區（C 2）者，如表 33。

表 33:0.025 公頃圓形樣區材積之統計量比較（單位： m^3/ha ）

林型別 \ 統計量	樣本數	均數估值	均數標準誤	95% 準取樣誤差率水差 (%)	取樣誤差 10% 最少樣區數	取樣誤差 15% 最少樣區數	取樣誤差 20% 最少樣區數
調查區全林	140	263.38	23.28	17.50	429	190	107
調查區全林	135	273.13	23.73	17.21	400	178	100
林型 CHP	32	77.16	12.14	32.09	330	147	82
林型 CHP	27	91.45	12.57	28.26	215	96	54

(3) 0.05 公頃圓形樣區 (C 3) 者，如表 34 。

表 34: 0.05 公頃圓形樣區材積之統計量比較 (單位: m^3/ha)

林型 統計量 別	樣本數	均估 數值	均數 標準誤	95% 準取樣 機率水 差誤差 (%)	取樣 誤差 10 %最少 樣點 數	取樣 誤差 15 %最少 樣點 數	取樣 誤差 20 %最少 樣點 數
調查區全林	140	270.02	27.93	20.48	587	261	147
調查區全林	135	280.02	28.61	20.23	552	245	138
林型 CHP	32	78.31	11.80	30.74	302	134	76
林型 CHP	27	92.81	12.04	26.67	192	85	48

(4) 畢特立希氏角度係數為 4 (R 1) 之水平樣點者，如表 35 。

表 35: 畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點材積之統計量比較
(單位: m^3/ha)

林型 統計量 別	樣本數	均估 數值	均數 標準誤	95% 準取樣 機率水 差誤差 (%)	取樣 誤差 10 %最少 樣點 數	取樣 誤差 15 %最少 樣點 數	取樣 誤差 20 %最少 樣點 數
調查區全林	140	228.69	12.99	11.25	177	79	44
調查區全林	135	237.16	12.91	10.78	156	69	39
林型 CHP	32	79.06	14.00	36.12	417	187	104
林型 CHP	27	93.69	14.97	32.85	291	130	73

(5)畢特立希氏角度係數爲2 (R 2)之水平樣點者，如表36。

表 36: 畢特立氏角度係數爲2 之水平樣點材積之統計量比較
(單位： m^3/ha)

統計量 林型別	樣本數	均估 數 值	均數標準誤	95% 準取樣誤差 機率水 (%)	取樣誤差 %最少樣點 10	取樣誤差 %最少樣點 15	取樣誤差 %最少樣點 20
調查區全林	140	200.46	10.20	10.08	142	63	36
調查區全林	135	207.88	10.02	9.55	123	55	31
林型 CHP	32	76.35	12.21	32.62	340	150	89
林型 CHP	27	90.49	12.71	28.87	225	100	56

4 - 1 - 6 - 2 簡單 逢機取樣設計材積資料

1 未剔除 CHP 林型 5 樣區林型別五種地面測計方法之材積資料

(1)人工針闊葉混淆林 (CHP) 五種地面測計方法樣區 (點) 材積如表 37。

表 37: 人工針闊葉混淆林樣區 (點) 材積統計量 (單位： m^3/ha)

統計量 地面測計方法	樣本數	均估 數 值	均數標準誤	95% 準取樣誤差 機率水 (%)	取樣誤差 %最少樣本 10	取樣誤差 %最少樣本 15	取樣誤差 %最少樣本 20
C 1	32	72.97	12.57	35.13	395	176	99
C 2	32	77.16	12.14	32.09	330	147	82
C 3	32	78.31	11.80	30.74	302	134	76
R 1	32	79.06	14.00	36.12	417	187	104
R 2	32	76.35	12.21	32.62	340	150	89

(2)人工針樹林型(CP)五種地面測計方法樣區(點)材積,如表4-9;其樣區(點)材積統計量,如表38。

表38: 人工針葉樹林型樣區(點)材積統計量(單位: m^3/ha)

地面測計方法	樣本數	均估數值	均數標準誤	95準%取樣機率水差(%)	取樣誤差最少樣本數	取樣誤差最少樣本數	取樣誤差最少樣本數
C 1	48	226.54	17.10	15.20	110	49	27
C 2	48	220.06	14.00	12.81	79	35	20
C 3	48	212.91	13.19	12.47	75	33	19
R 1	48	236.95	19.88	16.89	137	60	34
R 2	48	218.54	15.07	13.89	93	41	23

(3)天然針葉樹林型(C)五種地面測計方法樣區(點)材積,如表4-10;其樣區(點)材積統計量,如表39。

表39: 天然針葉林型樣區(點)材積統計量(單位 m^3/ha)

地面測計方法	樣本數	均估數值	均數標準誤	95準%取樣機率水差(%)	取樣誤差最少樣本數	取樣誤差最少樣本數	取樣誤差最少樣本數
C 1	40	395.82	62.01	31.69	401	178	100
C 2	40	433.73	67.28	31.38	393	175	98
C 3	40	435.83	83.95	38.97	607	270	152
R 1	40	299.58	24.56	16.59	110	49	27
R 2	40	248.70	19.13	15.56	97	43	24

(4)天然潤葉樹林型(H)五種地面測計方法樣區(點)材積如表4-11; 其樣區(點)材積統計量如表40。

表40: 天然潤葉樹林型樣區(點)材積統計量(單位 m^3/ha)

地面測計方法 \ 統計量	樣本數	均估數值	均數標準誤	95%取樣機率(%) 誤差水差	取樣最少樣本數 誤差10%	取樣最少樣本數 誤差15%	取樣最少樣本數 誤差20%
C 1	20	332.58	45.41	28.58	163	73	41
C 2	20	324.60	34.97	22.55	102	45	26
C 3	20	382.16	50.62	27.72	153	68	38
R 1	20	306.49	23.92	16.33	54	23	14
R 2	20	259.13	18.04	14.57	43	19	11

(5)調查區全林(CHP+CP+C+H)者, 如表41

表41: 調查區全林樣區(點)材積統計量(單位 m^3/ha)

地面測計方法 \ 統計量	樣本數	均估數值	均數標準誤	95%取樣機率(%) 誤差水差	取樣最少樣本數 誤差10%	取樣最少樣本數 誤差15%	取樣最少樣本數 誤差20%
C 1	140	254.95	22.22	17.26	417	185	104
C 2	140	263.38	23.28	17.50	429	190	107
C 3	140	270.02	27.93	20.48	587	261	147
R 1	140	228.69	12.99	11.25	177	79	44
R 2	140	200.46	10.20	10.08	142	63	36

2 調查區全林及CHP 林型而言，剔除 5 個非林地樣區與保留二者之統計量比較，分別列表如表 4 2 及表 4 3 。

表 4 2：調查區全林樣區（點）材積之統計量比較（單位： $m^3/h a$ ）

統計量 地面測計方法	樣本數	均估 數值	均數 標準誤	95準 %取樣 機樣誤 率誤差 水差	取樣 誤差 10本 %數	取樣 誤差 15本 %數	取樣 誤差 20本 %數
C 1	1 4 0	254.95	22.22	17.26	4 1 7	1 8 5	1 0 4
	1 3 5	264.40	22.64	16.96	3 8 8	1 7 2	9 7
C 2	1 4 0	263.38	23.28	17.50	4 2 9	1 9 0	1 0 7
	1 3 5	273.13	23.73	17.21	4 0 0	1 7 8	1 0 0
C 3	1 4 0	270.02	27.93	20.48	5 8 7	2 6 1	1 4 7
	1 3 5	280.02	28.61	20.23	5 5 2	2 4 5	1 3 8
R 1	1 4 0	228.69	12.99	11.25	1 7 7	7 9	4 4
	1 3 5	237.16	12.91	10.78	1 5 6	6 9	3 9
R 2	1 4 0	200.46	10.20	10.08	1 4 2	6 3	3 6
	1 3 5	207.88	10.02	9.55	1 2 3	5 5	3 1

表 4 3 : CHP 林型樣區 (點) 材積之統計量比較 (單位 : m^3/ha)

地面測計方法	統計量	樣本數	均估 數 值	均數 標準誤	95準 %取 機樣 率誤 水差 (%)	取樣 誤差 10本 %數	取樣 誤差 15本 %數	取樣 誤差 20本 %數
C 1		3 2	72.97	12.57	35.13	3 9 5	1 7 6	9 9
		2 7	86.48	13.35	31.74	2 7 1	1 2 0	6 8
C 2		3 2	77.16	12.14	32.09	3 3 0	1 4 7	8 2
		2 7	91.45	12.57	28.26	2 1 5	9 6	5 4
C 3		3 2	78.31	11.80	30.74	3 0 2	1 3 4	7 6
		2 7	92.81	12.04	26.67	1 9 2	8 5	4 8
R 1		3 2	79.06	14.00	36.12	4 1 7	1 8 7	1 0 4
		2 7	93.69	14.97	32.85	2 9 1	1 3 0	7 3
R 2		3 2	76.35	12.21	32.62	3 4 0	1 5 0	8 9
		2 7	90.49	12.71	28.87	2 2 5	1 0 0	5 6

3. 有關人工針闊葉混淆林，人工針葉樹林型、天然針葉樹林型及天然闊葉樹林型等五種地面測計方法未經坡度校正樣區 (點) 別材積，為嗣後分析之需要，亦經推算整理分別列表如表 4 - 1 2 表 4 - 1 3 表 4 - 1 4 及表 4 - 1 5 。

4.天然林及人工林五種地面測計方法所得樣區(點)材積資料之統計量分別列表如表44及表45

表44：天然林樣區(點)材積之統計量 (單位： m^3/ha)

地面測計方法	統計量	樣本數	均估數值	均數標準誤	95%準取樣率誤差(%)	取樣最少樣本數	取樣最少樣本數	取樣最少樣本數
C 1		60	374.74	43.94	22.98	317	141	79
C 2		60	397.35	46.59	22.98	317	141	79
C 3		60	417.94	58.24	27.31	448	199	112
R 1		60	289.12	16.49	11.18	75	33	19
R 2		60	252.18	14.02	10.90	71	32	18

表45：人工林樣區(點)材積之統計量 (單位： m^3/ha)

地面測計方法	統計量	樣本數	均估數值	均數標準誤	95%準取樣率誤差(%)	取樣最少樣本數	取樣最少樣本數	取樣最少樣本數
C 1		80	165.11	14.17	16.82	226	101	57
C 2		80	162.90	12.46	14.99	180	80	45
C 3		80	159.05	11.79	14.53	169	75	42
R 1		80	173.79	15.73	17.74	252	112	63
R 2		80	161.67	12.88	15.61	195	87	49

5. 針葉樹林型、闊葉樹林型及針闊混淆林三種林型別五種地面測計方法所得樣區(點)材積資料之統計量中,因闊葉樹林型一類僅有天然闊葉樹林型(H),其統計量已列如表40;針闊葉混淆林一類僅有人工針闊葉混淆林CHP一種,其統計量已列入表37,茲將人工針葉樹型CP及天然針葉樹林型C樣區(點)材積之統計量,列表如表46

表46: 針葉樹林型樣區(點)材積統計量 (單位: m^3/ha)

統計量 地面測計方法	樣本數	均估 數值	均數標 準誤	95準 %取 機樣 率誤 水差 (%)	取%數 樣最 誤少 差樣 10本	取%數 樣最 誤少 差樣 15本	取%數 樣最 誤少 差樣 20本
C 1	8 8	303.49	30.84	19.92	3 4 9	1 5 5	8 7
C 2	8 8	317.38	33.32	20.59	3 7 3	1 6 6	9 3
C 3	8 8	302.87	39.07	25.29	5 6 3	2 5 0	1 4 1
R 1	8 8	266.23	15.72	11.57	1 1 8	5 2	4 0
R 2	8 8	232.25	12.01	10.13	9 0	4 0	2 3

4 - 1 - 6 - 3 分層逢機取樣設計材積資料

1 四林型之分層逢機取樣設計依一般公式 (General Formula)

所得五種地面測計方法樣區 (點) 材積統計量如表 47。

表 47 : 依四林型分層設計調查區全林樣區 (點) 材積之統計量之比較 (單位 m^3/ha)

統計量 地面測計方法	樣本數	均 估 數 值	均 數 標 準 誤	95準 %取 機樣 率誤 水差 (%)	取%數 樣最 誤少 差樣 10本	取%數 樣最 誤少 差樣 15本	取%數 樣最 誤少 差樣 20本
C 1	1 4 0	306.80	26.82	17.13	4 1 1	1 8 2	1 0 3
	1 3 5	307.83	26.82	17.08	4 0 8	1 8 1	1 0 2
C 2	1 4 0	310.96	23.56	14.85	3 0 8	1 3 7	7 7
	1 3 5	312.05	23.58	14.81	3 0 6	1 3 6	7 7
C 3	1 4 0	338.16	31.85	18.46	4 7 7	2 1 2	1 1 9
	1 3 5	339.26	31.85	18.40	4 7 4	2 1 1	1 1 8
R 1	1 4 0	273.72	13.66	9.78	1 3 4	6 0	3 4
	1 3 5	274.83	13.67	9.75	1 3 3	5 9	3 3
R 2	1 4 0	234.68	10.38	8.67	1 0 5	4 7	2 6
	1 3 5	235.75	10.38	8.63	1 0 4	4 6	2 6

表 44 樣本數 1 35 時之統計量係剔除 CHP 林型 5 個非林地樣區後，依分層逢機取樣設計一般公式計算而得。

2 依天然林、人工林二者分層逢機取樣設計，亦依一般公式 (General Formula) 所得五種地面測計方法樣區 (點) 材積統計量，如表 48。

表 48：依二林型分層設計調查區全林樣區 (點) 材積之統計量 (單位： m^3/ha)

統計 地面 測計方法	樣 本 數	均 估 數 值	均 數 標 準 誤	95 準 % 取 機 樣 率 誤 水 差	取 % 數 樣 最 誤 少 差 樣 10 本	取 % 數 樣 最 誤 少 差 樣 15 本	取 % 數 樣 最 誤 少 差 樣 20 本
C 1	1 4 0	317.09	32.08	19.83	5 5 0	2 4 5	1 3 8
C 2	1 4 0	332.87	33.93	19.98	5 5 9	2 4 8	1 4 0
C 3	1 4 0	346.75	42.32	23.92	8 0 1	3 5 6	2 0 0
R 1	1 4 0	257.40	12.71	9.68	1 3 1	5 8	3 3
R 2	1 4 0	227.29	10.76	9.28	1 2 1	5 4	3 0

3 依針葉樹、闊葉樹、針闊葉樹三林型分層設計調查區全林樣區 (點) 材積資料，如表 49

表 49：依三林型分層設計調查區全林樣區 (點) 材積之統計量

統計 地面 測計方法	樣 本 數	均 估 數 值	均 數 標 準 誤	95 準 % 取 機 樣 率 誤 水 差	取 % 數 樣 最 誤 少 差 樣 10 本	取 % 數 樣 最 誤 少 差 樣 15 本	取 % 數 樣 最 誤 少 差 樣 20 本
C 1	1 4 0	300.14	25.92	16.93	4 0 1	1 7 8	1 0 0
C 2	1 4 0	302.55	22.43	14.53	2 9 5	1 3 1	7 4
C 3	1 4 0	324.42	30.01	18.13	4 6 0	2 0 4	1 1 5
R 1	1 4 0	271.61	13.57	9.79	1 3 4	6 0	3 4
R 2	1 4 0	233.49	10.28	8.63	1 0 4	4 6	2 6

(單位： m^3/ha)

4-1-7 時間資料

4-1-7-1 內業時間

內業各項工作時間之記錄均以人一分為單位，惟為嗣後與外業合併計算，均依每人一日工作4小時標準換算為人一日；依取樣設計內涵之不同，將第三章3-5-11-1節表234資料整理如表50

表50：不同取樣設計內業時間紀錄

取樣設計 作業重點 內業 工作項目	簡單逢機取樣設計				分層逢機取樣設計		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1.調查區圍描繪	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
2.必要準備先期 作業	0.00	0.00	0.00	120.00	120.00	260.00	260.00
3.航照判釋及轉 繪	0.00	271.00	353.00	527.00	603.00	646.00	983.00
4.面積計算	95.10	130.15	136.52	254.37	418.88	497.85	709.98
5.照片樣點之選 擇及定位	1306.00	1306.00	1306.00	1306.00	1306.00	1306.00	1306.00
合計(人一分)	1446.10	1752.15	1840.52	2252.37	2492.88	2754.85	3303.98
合計(人一日)	6.03	7.30	7.67	9.38	10.39	11.48	13.77

附註：(1)非林地、林地未予區分。

(2)非林地區分但保安林、生產林未予區分。

(3)非林地、保安林均經區分，但未及10年生及10年生以上林分未予區分。

(4)非林地、保安林、未及10年生林分均經區分，但林型未作區分。

(5)非林地、保安林未及10年生林分、天然林、人工林均予區分。

(6)非林地、保安林、未及10年生林分、針葉樹林型、針闊葉混淆林及闊葉樹林型均經區分。

(7)非林地、保安林、未及10年生林分、人工針葉樹林型、人工針闊葉混淆林、天然針葉樹林型及天然闊葉樹林型均經區分。

4-1-7-2 外業時間

1 樣區(點)測定時間

取樣設計內涵儘管不同，有關樣區(點)平均測定時間就各個地面測計方法而言却完全一樣；前章3-5-11-2節得0.0125公頃圓形樣區(C1)測定時間為45.1333人一分；0.025公頃圓形樣區(C2)為105.7315人一分；0.05公頃圓形樣區(C3)為190.0777人一分；畢特立希氏角度係數為4之水平樣點(R1)為58.1457人一分；畢特立希氏角度係數為2之水平樣點(R2)為61.9102人一分。

在95%機率水準時，林木材積調查精度在設定取樣誤差值(10%，15%，20%)五種地面測計方法所需的最少樣本數，於本章表41，表47，表48及表49均經計算完竣，併同前項各個地面測計方法樣區(點)平均測定時間，可得以下資料，再依外業每工作天工作時數(6.66705小時)及實際情況係數(2.11364)考量，得每人一日工作3.15430小時，將所有人一分資料均換算為一日。茲依不同取樣誤差分述如次

(1)95%機率水準取樣誤差10%時，不同取樣設計在各個地面測計方法的樣區(點)測定時間，經整理如表51。

表 5 1：取樣誤差 10% 不同取樣設計樣區（點）測定時間（單位：人台）

地面 測計方法	取樣設計 簡單 逢機 取樣設計	分層 逢機 取樣設計		
		二層 (1)	三層 (2)	四層 (3)
0.0125公頃圓形 樣區 (C 1)	99.44	131.16	95.63	98.01
0.025 公頃圓形 樣區 (C 2)	239.67	312.29	164.81	172.07
0.05 公頃圓形 樣區 (C 3)	589.54	804.47	461.99	479.07
畢特立希氏角度係數 為 4 之水平樣點 (R 1)	54.38	40.25	41.17	41.17
畢特立希氏角度係數 為 2 之水平樣點 (R 2)	46.45	39.58	34.02	34.35

附註：

- (1)天然林及人工林二層。
 - (2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。
 - (3)人工針闊葉混淆林 (CHP)、人工針葉樹林型 (CP) 天然針葉樹林型 (C)、天然闊葉樹林型 (H) 四層。
- (2)95% 機率水準取樣誤差 15% 時，不同取樣設計在各個地面測計方法的樣區（點）測定時間；經整理如表 5 2。

表 52：取樣誤差15%不同取樣設計樣區（點）測定時間（單位：人_日）

地面 測計方面	取樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125公頃圓形 樣區(C1)	44.12	58.43	42.45	43.40
0.025公頃圓形 樣區(C2)	106.15	138.55	73.18	76.54
0.05公頃圓形 樣區(C3)	262.13	357.54	204.88	212.92
畢特立希氏角度係數 為4之水平樣點 (R1)	24.27	17.82	18.43	18.43
畢特立希氏角度係數 為2之水平樣點 (R2)	20.61	17.66	15.05	15.37

附註：

- (1)天然林及人工林二層。
 - (2)針葉樹林型、針 濶葉混淆林、濶葉樹林型三層。
 - (3)人工針濶葉混淆林(CHP)、人工針葉樹林型(CP)、天然針葉樹林型(C)、天然濶葉樹林型(H)四層。
- (3)95%機率水準取樣誤差20%時，不同取樣設計在各個地面測計方法的樣區（點）測定時間，經整理如表53。

表 53： 取樣誤差20%不同取樣設計樣區（點）測定時間（單位人/台）

地面 測計方法	取樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層 (1)	三層 (2)	四層 (3)
0.0125公頃圓形 樣區 (C1)	24.80	32.91	23.85	24.56
0.025公頃圓形 樣區 (C2)	59.78	78.21	41.34	43.02
0.05公頃圓形 樣區 (C3)	147.64	200.87	115.50	119.52
畢特立希氏角度係數 為4之水平樣點 (R1)	13.52	10.14	10.45	10.45
畢特立希氏角度係數 為2之水平樣點 (R2)	11.78	9.81	8.51	8.51

附註：

(1)天然林及人工林二層

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林 (CHP)、人工針葉樹林型 (CP)、天然針葉樹林型 (C)、天然闊葉樹林型 (H) 四層。

2 樣區(點)間步行/車行時間

前章 3-5-11-2 之 4 得每人一日平均步行/車行速度為 433.0947 公尺,調查區面積為 4,091 公頃亦為已知;在 95% 機率水準時,林木材積調查精度在設定取樣誤差值(10%, 15%, 20%)五種地面測計方法所需的最少樣本數,於本章表 41、表 47、表 48 及表 49 亦經算妥。

依 D.A. Stellingwerf 氏(1983)採用之公式 $d^2 = \text{面積}(M^2) / \text{樣區數}(n)$ 即可求得樣區(點)間彼此距離(mutual distance between plots), d 值乘以 $(n-1)$ 之乘積為總樣區(點)間距離(total distance between plots),再依前項每人一日平均步行/車行速度,即可換算出在設定機率水準及取樣誤差時,不同取樣設計在各個地面測計方法的樣區(點)間交通需用的人一日,分別述之:

茲依 95% 機率水準下,取樣誤差 10%, 15% 及 20% 時不同取樣設計在各個地面測計方法的樣區(點)間交通需用人一日,分別述之:

(1) 95% 機率水準取樣誤差 10% 時,不同取樣設計在各個地面測計方法的樣區(點)間步行/車行需用人一日。如表 54。

表 54：取樣誤差 10% 不同取樣設計樣區（點）間步行／車行需用時間

（單位：人一日）

取樣設計 地面測計方法	簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層 (1)	三層 (2)	四層 (3)
0.0125 公頃圓形 樣區 (C 1)	300.85	345.72	295.00	298.67
0.025 公頃圓形 樣區 (C 2)	305.17	348.55	252.79	258.34
0.05 公頃圓形 樣區 (C 3)	357.20	417.45	316.06	321.87
畢特立希氏角度係 數為 4 之水平樣點 (R 1)	195.37	167.74	169.68	169.68
畢特立希氏角度係 數為 2 之水平樣點 (R 2)	174.75	161.11	149.16	149.89

附註：

(1)天然林及人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林 (CHP)、人工針葉樹林型 (CP)、天然針葉樹林型 (C)、天然闊葉樹林型 (H) 四層。

(2) 95% 機率水準取樣誤差 15% 時，不同取樣設計在各個地面測計方法的樣區（點）間步行／車行需用人一日。如表 55。

表 55：取樣誤差15%不同取樣設計樣區（點）間步行／車行需用時間
（單位：人一日）

地面 測計方法	取樣設計	簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
			二層 (1)	三層 (2)	四層 (3)
0.0125 公頃圓形 樣區 (C 1)		200.33	230.22	197.03	198.14
0.025 公頃圓形 樣區 (C 2)		202.50	231.63	167.74	171.60
0.05 公頃圓形 樣區 (C 3)		237.68	277.87	209.90	214.02
畢特立希氏角度係數 為4之水平樣點 (R 1)		129.60	110.53	112.49	112.49
畢特立希氏角度係數 為2之水平樣點 (R 2)		115.36	106.52	97.99	99.09

附註：

(1)天然林及人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林 (CHP)、人工針葉樹林型 (CP)、天然針葉樹林型 (C)、天然闊葉樹林型 (H) 四層。

(3)95%機率水準取樣誤差20%時，不同取樣設計在各個地面測計方法的樣區（點）間步行／車行需用人一日。如表 5 6。

表 5 6 : 取樣誤差20%不同取樣設計樣區 (點) 間步行 / 車行需用時間

(單位: 人一日)

地面 取樣設計 測計方法	簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層 (1)	三層 (2)	四層 (3)
0.0125 公頃圓形 樣區 (C 1)	149.16	172.23	146.21	148.43
0.025 公頃圓形 樣區 (C 2)	151.34	173.49	125.33	127.91
0.05 公頃圓形 樣區 (C 3)	177.84	207.81	157.00	159.75
畢特立希氏角度係 數為 4 之水平樣點 (R 1)	95.74	82.27	83.58	83.58
畢特立希氏角度係 數為 2 之水平樣點 (R 2)	86.15	78.19	72.41	72.41

附註：

- (1)天然林及人工林二層。
- (2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。
- (3)人工針闊葉混淆林 (CHP)、人工針葉樹林型 (CP)、天然針葉樹林型 (C)、天然闊葉樹林型 (H)四層。

4-1-7-3 內外業時間合計

不同取樣設計在各個地面測計方法於95%機率水準不同取樣誤差值(10%, 15%, 20%)的內外業時間合計, 經參照表50至表56資料, 依不同取樣誤差分述如次:

1. 95%機率水準取樣誤差10%時的內外業時間

參照表50、表51、表54資料, 整理如表57。

表57: 取樣誤差10%不同取樣設計內外業時間合計值(單位:人日)

地面 測計方法	取 樣 設 計	簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
			二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125 公頃圓形 樣區(C1)		409.67	487.27	402.11	410.45
0.025 公頃圓形 樣區(C2)		554.22	671.23	429.08	444.18
0.05 公頃圓形 樣區(C3)		956.12	1,232.31	789.53	814.71
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R1)		259.13	218.38	222.33	224.62
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R2)		230.58	211.08	194.66	198.01

表內之(1), (2), (3)與表51至表56之(1), (2), (3)意義相同。

2.95%機率水準取樣誤差15%時的內外業時間。

參照表50、表52、表55資料，整理如表58。

表58：取樣誤差15%不同取樣設計內外業時間合計值（單位：人日）

地面 測計方法	取樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125公頃圓形 樣區(C1)	253.83	299.04	250.96	255.31
0.025公頃圓形 樣區(C2)	318.03	380.57	252.24	261.91
0.05公頃圓形 樣區(C3)	509.19	645.50	426.26	440.71
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R1)	163.25	138.74	142.40	144.69
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R2)	145.35	134.57	124.52	128.23

附註：

- (1)天然林及人工林二層。
- (2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。
- (3)人工針闊葉混淆林(CHP)、人工針葉樹林型(CP)、天然針葉樹林型(C)、天然闊葉樹林型(H)四層。

3. 95%機率水準取樣誤差20%的內外業時間。

參照表50、表53、表56資料，整理如表59。

表59：取樣誤差20%不同取樣設計內外業時間合計值（單位：人^日）

地面 測計方法	取樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125公頃圓形 樣區(C1)	183.34	215.53	181.54	186.76
0.025公頃圓形 樣區(C2)	220.50	262.09	178.15	184.70
0.05公頃圓形 樣區(C3)	334.86	419.07	283.98	293.04
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R1)	118.64	102.80	105.51	107.80
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R2)	107.31	98.39	92.40	94.69

附註：

(1)天然林及人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針葉混淆林(CHP)、人工針葉樹林型(CP)、天然針葉樹林型(C)、天然闊葉樹林型(H)四層。

4-1-8 費用資料

調查費用探討方面，設定外業工作一天是內業工作一天的2倍，根據不同取樣設計在各個地面測計方法95%機率水準不同取樣誤差(10%，15%，20%)的外業時間資料，配合表50不同取樣設計內業時間紀錄，即可得出不同取樣設計在各個地面測計方法的費用資料。

茲依95%機率水準不同取樣誤差的費用分述如次：

4-1-8-1 95%機率水準取樣誤差10%的費用資料(如表60。)

表60.: 取樣誤差10%不同取樣設計費用值(單位:費用單位)

地面測計方法	取樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125 公頃圓形 樣區(C1)	809.96	964.15	792.74	807.87
0.025 公頃圓形 樣區(C2)	1,099.06	1,332.07	846.68	874.59
0.05 公頃圓形 樣區(C3)	1,902.86	2,454.23	1,567.58	1,615.65
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R1)	508.88	426.37	431.18	435.47
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R2)	451.78	411.77	377.84	382.25

附註：(1)，(2)，(3)與表51至56之(1)，(2)，(3)意義相同。

4-1-8-2 95%機率水準取樣誤差15%的費用資料(如表61)

表61: 取樣誤差15%不同取樣設計費用值(單位:費用單位)

地面 測計方法	取樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125公頃圓形 樣區(C1)	498.28	587.69	490.44	496.85
0.025公頃圓形 樣區(C2)	626.68	750.75	493.40	510.05
0.05公頃圓形 樣區(C3)	1,009.00	1,280.61	841.04	867.65
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R1)	317.12	267.09	273.32	275.61
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R2)	281.32	258.75	237.56	242.69

附註:

(1)天然林及人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林(CHP)、人工針葉樹林型(CP)、天然針葉
樹林型(C)、天然闊葉樹林型(H)四層。

4-1-8-3 95%機率水準取樣誤差20%的費用資料(如表62)

表62: 取樣誤差20%不同取樣設計費用值(單位:費用單位)

地面 測計方法	取樣設計	簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
			二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125公頃圓形 樣區(C1)		357.30	420.67	351.60	359.75
0.025公頃圓形 樣區(C2)		431.62	513.79	344.82	355.63
0.05公頃圓形 樣區(C3)		660.34	827.75	556.48	572.31
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R1)		227.90	195.21	199.54	201.83
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R2)		205.24	186.39	173.32	175.61

附註:

(1)天然林及人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林(CHP)、人工針葉樹林型(CP)、天然針葉樹林型(C)、天然闊葉樹林型(H)四層。

4-1-8-4 調查區面積調整時之費用推算。

試若調查區面積擴大而為 1 萬公頃、5 萬公頃及 10 萬公頃，且彼等各林型情況與本調查區相同時之費用推算，95% 機率水準不同取樣設計費用值依三種取樣誤差值分述如下：

1 取樣誤差 10% 之費用推算值。

(1) 調查區面積為一萬公頃者，如表 63。

表 63：取樣誤差 10% 不同取樣設計費用推算（單位：費用單位）

地面 測計方法	取樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125 公頃圓形 樣區 (C 1)	1,158.40	1,364.16	1,136.74	1,158.66
0.025 公頃圓形 樣區 (C 2)	1,452.36	1,735.28	1,143.06	1,179.50
0.05 公頃圓形 樣區 (C 3)	2,314.80	2,935.08	1,935.26	1,992.16
畢特立希氏角度係 數為 4 之水平樣點 (R 1)	738.44	625.80	635.88	640.46
畢特立希氏角度係 數為 2 之水平樣點 (R 2)	658.08	603.74	557.42	564.94

附註：(1)，(2)，(3) 意義同前。

(2)調查區面積為五萬公頃者，如表64。

表64：取樣誤差10%不同取樣設計費用推算（單位：費用單位）

地面 測計方法	取樣設計	簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
			二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125公頃圓形 樣區(C1)		2,396.22	2,783.50	2,368.70	2,424.60
0.025公頃圓形 樣區(C2)		2,706.88	3,165.54	2,211.92	2,288.16
0.05公頃圓形 樣區(C3)		3,770.42	4,631.66	3,248.68	3,346.36
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R1)		1,568.58	1,357.24	1,383.54	1,406.44
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R2)		1,408.56	1,309.54	1,225.76	1,254.44

附註：

(1)天然林、人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林(CHP)、人工針葉樹林型(CP)、天然針葉樹林型(C)、天然闊葉樹林型(H)四層。

(3)調查區面積為十萬公頃者，如表65

表65：取樣誤差10%不同取樣設計費用推算（單位：費用單位）

地面 測計方法	取樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125公頃圓形 樣區(C1)	3,361.28	3,888.60	3,337.82	3,428.32
0.025公頃圓形 樣區(C2)	3,684.46	4,278.84	3,058.80	3,174.00
0.05公頃圓形 樣區(C3)	4,898.68	5,944.48	4,278.78	4,416.20
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R1)	2,228.18	1,946.92	1,992.70	2,038.50
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R2)	2,008.42	1,880.02	1,772.52	1,826.22

附註：

(1)天然林及人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林(CHP)、人工針葉樹林型(CP)、天然針葉樹林型(C)、天然闊葉樹林型(H)四層。

2 取樣誤差 15% 之費用推算值。

(1) 調查區面積一萬公頃者，如表 66。

表 66：取樣誤差 15% 不同取樣設計費用推算（單位：費用單位）

地面 測計方法	取 樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層 (1)	三層 (2)	四層 (3)
0.0125 公頃圓形 樣區 (C1)	733.34	857.54	723.98	733.92
0.025 公頃圓形 樣區 (C2)	864.28	1,022.18	882.96	717.22
0.05 公頃圓形 樣區 (C3)	1,286.24	1,604.76	1,089.08	1,122.62
畢特立希氏角度係 數為 4 之水平樣點 點 (R1)	472.56	402.04	411.58	416.16
畢特立希氏角度係 數為 2 之水平樣點 (R2)	420.72	389.18	359.48	368.14

附註：

(1) 天然林及人工林二層。

(2) 針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3) 人工針闊葉混淆林 (CHP)、人工針葉樹林型 (CP)、天然針
葉樹林型 (C)、天然闊葉樹林型 (H) 四層。

(2)調查區面積五萬公頃者，如表67。

表 67：取樣誤差15%不同取樣設計費用推算（單位：費用單位）

取樣設計 地面 測計方法	簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125公頃圓形 樣區(C1)	1,582.74	1,830.46	1,577.34	1,609.90
0.025公頃圓形 樣區(C2)	1,721.98	2,000.56	1,434.00	1,490.60
0.05公頃圓形 樣區(C3)	2,279.92	2,761.84	1,992.16	2,059.96
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R1)	1,048.50	912.36	938.20	961.10
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R2)	941.62	884.00	830.04	861.28

附註：

(1)天然林及人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林(CHP)、人工針葉樹林型(CP)、天然針
葉樹林型(C)、天然闊葉樹林型(H)四層。

(3)調查區面積十萬公頃者，如表68

表 68：取樣誤差 15% 不同取樣設計費用推算（單位：費用單位）

地面 測計方法	取樣設計	簡單逢機 取樣設計	分層 逢機 取樣設計		
			二層 (1)	三層 (2)	四層 (3)
0.0125 公頃圓形 樣區 (C 1)		2,255.72	2,412.04	2,262.74	2,321.40
0.025 公頃圓形 樣區 (C 2)		2,402.22	2,586.22	2,034.58	2,125.26
0.05 公頃圓形 樣區 (C 3)		3,060.04	3,481.42	2,714.86	2,817.46
畢特立希氏角度係 數為 4 之水平樣點 (R 1)		1,517.62	1,147.32	1,378.76	1,424.56
畢特立希氏角度係 數為 2 之水平樣點 (R 2)		1,369.50	1,107.34	1,228.62	1,285.94

附註：

(1)天然林及人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林 (CHP)、人工針葉樹林型 (CP)、天然針葉樹林型 (C)、天然闊葉樹林型 (H) 四層。

3. 取樣誤差 20% 之費用推算值。

(1) 調查區面積為一萬公頃者，如表 69

表 69：取樣誤差 20% 不同取樣設計費用推算（單位：費用單位）

地面 測計方法	取樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層 (1)	三層 (2)	四層 (3)
0.0125 公頃圓形 樣區 (C 1)	534.78	625.16	527.86	540.80
0.025 公頃圓形 樣區 (C 2)	611.56	719.70	497.54	513.56
0.05 公頃圓形 樣區 (C 3)	870.14	1,072.34	744.90	766.12
畢特立希氏角度係 數為 4 之水平樣點 (R 1)	345.18	298.32	305.22	309.80
畢特立希氏角度係 數為 2 之水平樣點 (R 2)	311.72	284.90	266.40	270.98

附註：

(1) 天然林及人工林二層。

(2) 針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3) 人工針闊葉混淆林 (CHP)、人工針葉樹林型 (CP)、天然
針葉樹林型 (C)、天然闊葉樹林型 (H) 四層。

(2)調查區面積為五萬公頃者，如表70

表70：取樣誤差20%不同取樣設計費用推算（單位：費用單位）

地面 測計方法	取樣設計 簡單逢機 取樣設計	分層逢機取樣設計		
		二層(1)	三層(2)	四層(3)
0.0125公頃圓形 樣區(C1)	1,186.32	1,373.96	1,184.80	1,224.64
0.025公頃圓形 樣區(C2)	1,271.52	1,473.36	1,073.78	1,118.08
0.05公頃圓形 樣區(C3)	1,632.54	1,958.64	1,443.54	1,493.72
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R1)	790.26	699.42	720.10	743.00
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R2)	719.72	670.22	638.12	661.02

附註：

(1)天然林及人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林(CHP)、人工針葉樹林型(CP)、天然針葉樹林型(C)、天然闊葉樹林型(H)四層。

(3)調查區面積為十萬公頃者，如表 7 1

表 7 1： 取樣誤差 20% 不同取樣設計費用推算（單位：費用單位）

地面 測計方法	取樣設計	簡單逢機	分層逢機取樣設計		
		取樣設計	二層 (1)	三層 (2)	四層 (3)
0.0125 公頃圓形 樣區 (C 1)		1,712.10	1,976.64	1,723.02	1,792.20
0.025 公頃圓形 樣區 (C 2)		1,803.60	2,079.68	1,551.54	1,626.22
0.05 公頃圓形 樣區 (C 3)		2,241.36	2,664.36	2,013.02	2,094.04
畢特立希氏角度係 數為4之水平樣點 (R 1)		1,161.32	1,041.56	1,076.94	1,122.74
畢特立希氏角度係 數為2之水平樣點 (R 2)		1,063.02	1,000.56	962.62	1,008.42

附註：

(1)天然林及人工林二層。

(2)針葉樹林型、針闊葉混淆林、闊葉樹林型三層。

(3)人工針闊葉混淆林 (C H P)、人工針葉樹林型 (C P)、天然針葉樹林型 (C)、天然闊葉樹林型 (H)。

4-2 資料分析

4-2-1 面積資料

如前所述，像片基本圖為面積計算的底圖，造林台帳及造林地圖上記載資料均經航照判釋並轉繪於其上，由於像片基本圖上地物平面位置誤差均小於圖上 0.5 公厘，山區像片基本圖比例尺均為一萬分一，故在實地可能有的平面位置誤差小於 5 公尺，面積誤差小於 $25M^2$ ，加上像片基本圖本身在測製過程已消除航空照片無可或免的投影誤差 (relief displacement)、傾斜誤差 (tilt displacement) 及比例尺不均一等缺點，且因圖上地物係依林型經航照判釋並參考造林台帳及造林地圖全區描繪，用以計算面積所使用之面積測計儀測計精度亦在游標尺讀數的小數點一位，並取其三次測定值之均數；判釋、描繪，計算面積亦由專業人員執行；故整體而言，面積資料的測計精度甚高，亦無利用航空照片之照片樣點判釋結果推算林型面積之取樣誤差存在，已為林木資源調查工作成功一半的保證。國內第二次全省森林資源及土地利用調查之面積資料因其時並無像片基本圖可資應用，不得不依照照片樣點估測，取樣誤差自所難免，故其生產林面積為一個標準誤尺度下取樣機誤低於 $\pm 3\%$ 。

又照片判釋結果認定與造林圖等資料不符處之疑問地區亦經現場校對，將造林地圖與實況不符之資料予以更正如表 7。

本研究之先天性限制，乃在判釋根據之航空照片的拍攝時間為 72 年 5 月，而調查時間為 73 年 3 月，在 72 年 5 月至 73 年 3 月間之土地利用改變無法確知，因而免不了會有一些林地在此期間因被砍伐或被移作非林地使用而照片判釋仍歸於 10 年生以上林分調查範圍之列，本研究於現場作業時即發現人工針闊葉混淆林 CHP 林型 32 個地面樣區中即有 5 樣區已無林木存在，且被移作非林地使用。

上述情況之解決途徑為測計面積不予調整，而 5 個樣區之材積在各個地面測計方法均為零材積樣區（點），是則面積測計精度雖因航攝時間與調查時間的差距小有瑕疵，但不因而影響林木材積調查之精度。此外，CHP 林型 5 個零材積樣區對 CHP 林型及調查區全林材積推算之影響，以至可進一步探討未將非林地分開判釋描繪負面影響，對本研究言，亦為意外收穫。

4-2-2 胸徑資料

人工針潤葉混淆林（CHP）及人工針葉樹林型（CP）在 95% 機率水準下的胸徑估值之信賴界限分別為 17.04 — 18.06 公分，17.09 — 17.47 公分，二者極為相近；天然針葉樹林型（C）在 95% 機率水準下胸徑估值的信賴界限為 58.22 — 65.19 公分與天然潤葉樹林型（H）之 29.46 — 32.86 公分截然不同與前述之 CHP 與 CP 林型胸徑估值的信賴界限亦不相同，調查區不分林型胸徑估值的信賴界限與 C，H，CHP（或 CP）林型亦不相同，為 24.05 — 25.35 公分。

就胸徑資料分析言，調查區就天然針葉樹林型（C）、天然潤葉樹林型（H）及人工林（CP+CHP）分層是合理的，但人工林部份分為人工針潤葉混淆林（CHP）及人工針葉樹林型（CP）之設計，則不合理。

4-2-3 樹高資料

自每木胸徑及樹高測定時間（表 6）看出樹高之測定在樣區（點）測定時間上佔有絕對性的比重；設若調查區有胸徑單一因子的地方材積表（local volume table）則五種地面測計方法均不須測定樹高，其林型別之樣區（點）之測定時間經推算得表 72 之資料；設若五種地面測計方法僅測定 C1 及 R1 之樹高，未測樹高之樣木依 $H = 1.3 + aD^b$ 樹高曲線式法推算樹高，則林型別之樣區（點）之測定時間經推

算得表 73 之資料。

為探討三種樹高測定方式對同一林型不同地面測計方法樣區（點）測定時間暨相同地面測計方法不同林型的樣區（點）測定時間之表72：樹高不測定者林型別不同地面測計方法之平均測定時間（人一分）

林型別 \ 測計方法	C1	C2	C3	R1	R2
CHP	6.0053	13.0645	16.4740	4.5137	8.6529
CP	9.0036	20.3161	39.7345	6.5348	12.8449
C	2.9145	8.7754	16.2199	15.0236	26.1134
H	8.5563	21.4209	42.0132	15.7367	29.8052

表 73：樹高部份測定者林型別不同地面測計方法之平均測定時間（人一分）

林型別 \ 測計方法	C1	C2	C3	R1	R2
CHP	51.6667	70.6667	100.0000	38.8333	52.5957
CP	65.5000	94.5625	137.8125	47.5395	68.4589
C	12.5250	25.1250	40.1250	64.5647	86.4193
H	52.6500	83.4000	128.4000	96.8337	139.0008

影響，再作分析如次：

4-2-3-1 三種樹高測定方式對同一林型不同地面測計方法樣區（點）測定時間之變異數分析（採鄧肯氏多變域比較法）

限於篇幅，以天然針葉樹林型為例說明運算過程如次：

天然針葉樹林型（C）五種地面測計方法所得之材積估值統計量前經資料處理如表 39，並作如下：運算：

$$\text{五種地面測計方法之平均材積} \bar{V} = \frac{\sum V_i}{5} = 362.732 \text{ (m}^3 \text{ / ha)}$$

設定取樣誤差為 5 %，則整個均數標準誤 (overall standard error) $S_{\bar{v}}$ 在 95 % 機率水準時 = $0.05 \times \frac{1}{t} \times \bar{v} = 0.05 \times \frac{1}{2.023}$

$\times 362.732 = 8.965 \text{ m}^3 / \text{ha}$ ；各個地面測計方法所需之樣本大小依

公式 $n = \frac{S_i^2}{S_{\bar{v}}^2}$ 求得，則 C1 為 1914，C2 為 2253，C3 為 3507，R1 為 300，R2

為 182，再依每人一日工作 3.1540 小時為標準得三種樹高測定方式在 95 % 機率水準取樣誤差時五種地面測計方法樣區 (點) 之測定時間資料如表 74。

表74：天然針葉樹林型三種樹高測定方式不同地面測計方法樣區 (點) 測定時間 (單位：人一日)

五種地面測計方法	95% 機率水準取樣誤差 5% 的最少樣本大小	樣木樹高不測定之樣區 (點) 測定時間	樣木樹高部份測定之樣區 (點) 測定時間	樣木樹高全部測定之樣區 (點) 測定時間
C1	1914	29.47	126.68	126.68
C2	2253	104.47	299.13	448.99
C3	3507	300.59	743.60	1291.79
R1	300	23.82	102.35	102.35
R2	182	25.11	83.11	107.93

依表 74，三種樹高測定方式為三種處理，五種地面測計方法樹高測定方式別之樣區 (點) 測定時間為重複，據以進行鄧肯氏多變域比較法。

重複 \ 處理	1	2	3	Totals
1	29.47	126.68	126.68	矯正因子 C
2	104.47	299.13	448.99	= $\frac{(3916.07)^2}{15}$ = 1022373.62
3	300.59	743.60	1291.79	
4	23.82	102.35	102.35	
5	25.11	83.11	107.93	
Totals	483.46	1354.87	2077.74	
n	5	5	5	15
Means	96.69	270.97	415.55	261.07
$\sum X_{ij}^2$	103334.71	675850.33	1908485.65	2687670.69
$\frac{\sum T_i^2}{n_i}$	46746.71	367134.54	863400.70	1277281.95
減	56588.00	308715.79	1045084.95	1410388.74

$$\text{處理平方和} = \sum \frac{T_i^2}{n_i} - C = 1277281.95 - 1022373.62 = 254908.33$$

$$\begin{aligned} \text{離均差平方和} &= \sum (X_{ij} - \bar{X})^2 = \sum X_{ij}^2 - \frac{(\sum T_i)^2}{N} = \sum X_{ij}^2 - C \\ &= 2687670.69 - 1022373.62 \\ &= 1665297.07 \end{aligned}$$

$$\text{殘差平方和} = 1665297.07 - 254908.33 = 1410388.74$$

變異數分析如表 75。

表 75：變異數分析

變異來源	自由度	平方和	變異數	F
處理	2	254,908.33	127,454.17	1.08
殘差	12	1,410,388.74	117,532.40	
合計	14	1,665,297.07		

在F表，d.f. 為 3 及 11 顯著水準 5% 時，Ft 值為 3.60

因 $F_c (= 1.08)$ 小於 $F_t (= 3.60)$ ，故處理間差異不顯著，接受設定擬說 H_0 ，即 $(\mu_1 = \mu_2 = \mu_3)$ 。至此本應叫停，惟為說明起見，再進行均數間的比較。

均數間的比較：

$$1. S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{117532.40}{5}} = 153.32$$

2. d.f. 為 12，P = 2 到 3 在 5% 保護水準下學生氏變域：

P	2	3
學生氏變域值	3.08	3.23

3. L.S.R (least squared range，最低顯著變域) $(= t \times S_{\bar{x}})$

P	2	3
L.S.R.	472.23	495.22

4. 按均數大小，由小開始依序排列

1	2	3
96.69	270.97	415.55

5. 檢定均數差

變域	均數差	P	L.S.D.	顯著性
3-1	318.86	3	495.22	—
3-2	144.58	2	472.23	—
2-1	174.28	2	472.23	—

結論：95% 機率水準取樣誤差 5%，天然針葉林樹高測定方式間樣區（點）測定時間均無顯著差異。

取樣誤差 10%，20% 的計算方法同前，所得結論與 5% 者相同。照此方式運算對天然潤葉樹林型（H），人工針潤葉混淆林（CHP）及人工針葉樹林型（CP）獲取三種樹高測定方式對同一林型不同地面測計方法樣區（點）測定時間之結論為：

1. C 林型、H 林型、CHP 林型在 95% 機率水準，取樣誤差 5%，10%，20% 時，三種樹高測定方式的樣區（點）測定時間內均無顯著差異。

2. CP 林型：

在 95% 機率水準，取樣誤差 5%、10% 及 20% 時，樹高不測定之樣區（點）測定時間與樹高部份測定或全測間均有極顯著差異；樹高部份測定與全測間無顯著差異。

4-2-3-2 三種樹高測定方式對相同地面測計方法不同林型樣區（點）測定時間之變異數分析，經 Duncan 氏多變域比較法獲取結論如下：

1. 就 0.0125 公頃之圓形樣區（C1）而言，95% 機率水準取樣誤差 5%、10% 及 20% 時，樹高不測定之樣區（點）測定時間與樹高部份測定或全測間有顯著差異；樹高全測與部份測定間無顯著差異。

2. 就 0.025 公頃之圓形樣區（C2）而言，僅樹高不測定與樹高

全測間有顯著差異。

3.就 0.05 公頃之圓形樣區 (C3) 而言，僅樹高不測定與樹高全測間有極顯著差異。

4.就畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點 (R1) 及角度係數為 2 之水平樣點 (R2) 言，三種樹高測定方式的樣區 (點) 間測定時間均無顯著差異。

4-2-4 坡度資料

人工針潤葉混淆林 (CHP) 在 95% 機率水準下坡度估值的信賴界限為 26.30 — 34.88 度，人工針葉樹林型 (CP) 為 18.39 — 26.77 度，天然針葉樹林型 (C) 為 30.91 — 36.09 度，天然潤葉樹林型 (H) 為 33.12 — 38.68 度，調查區不分林型者為 27.27 — 31.51 度，彼等坡度與國內第二次全省森林資源及土地利用調查所得全省國有林事業區坡度級別面積分佈百分比之比較如表 76。

表 76 : 調查區全林及各林型與國有林事業區坡度級面積分佈百分比之比較 (單位：百分率 (%))

地區(或林型)別 坡度級	全省國有 林事業區	調查區全林	人工 針潤葉混 淆林(CHP)	人工 針葉樹林 型(CP)	天然 針葉樹林 型(C)	調查天然 潤葉樹林 型(H)
0°—5 度(平)	1.49	+ 8.11	+ 2.21	+ 23.51	- 1.49	- 1.49
6—22度(中)	11.31	+ 6.49	+ 10.89	+ 9.49	+ 8.69	- 11.31
23—35度(緩)	54.82	- 21.52	- 28.92	- 21.52	- 27.32	+ 0.18
36—45度(急)	28.85	+ 6.75	+ 19.25	- 14.25	+ 21.15	+ 11.15
46—55度(甚急)	3.26	+ 0.44	- 3.26	+ 3.04	- 0.76	+ 1.74
56度以上(險)	0.27	- 0.27	- 0.27	- 0.27	- 0.27	- 0.27

就上表看出，除 CP 林型外，調查區全林、CHP 林型、C 林型及 H 林型在 36 — 45 度 (急) 之坡度級面積百分率均較全省國有林事業

區之百分率為高；就 46—55 度（甚急）之坡度級言，調查區全林、C P 林型及 H 林型亦較全省國有林事業區者為高，故就坡度級之分佈言，調查區之選擇尚具本省國有林事業區之代表性。

為探討坡度校正與否對單位面積株數、每公頃材積等之影響，謹作以下之分析：

4-2-4-1 坡度校正與否對單位面積株數影響之變異數分析

1. 人工針潤葉混淆林（C H P）

針對每一地面測計方法，分別作坡度校正與否之變異數分析，資料來源為表 4-6（坡度經測定並調整樣區半徑）及表 4-7 未經坡度校正調查區林型別不同地面測計方法一覽表，經分析獲致結論為五種地面測計方法坡度校正與否的單位面積株數間均無顯著差異。

2. 人工針葉樹林型（C P）

變異數分析結果為五種地面測計方法坡度校正與否的單位面積株數間均無顯著差異。與 C H P 林型結論相同。

3. 天然針葉樹林型（C）

變異數分析結果為固定面積圓形樣區的三種測計方法坡度校正與否的單位面積株數間均無顯著差異，畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點（R1）及角度係數為 2 之水平樣點（R2）二種測計方法坡度校正與否的單位面積均有顯著差異。

4. 天然潤葉樹林型（H）

變異數分析結果為固定面積圓形樣區的三種測計方法坡度校正與否的單位面積株數間均無顯著差異；但畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點（R1）及角度係數為 2 之水平樣點（R2）二種測計方法坡度校正與否的單位面積株數間均有顯著差異。與 C 林型結論相同。

5. 調查區全林

變異數分析結果為固定面積圓形樣區的三種測計方法坡度校正與否的單位面積株數間均無顯著差異；畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點 (R1) 及角度係數為 2 之水平樣點 (R2) 二種測計方法坡度校正與否的單位面積株數間均有極顯著之差異。

4-2-4-2 坡度校正與否對單位面積材積影響之變異數分析

1. 人工針潤葉混淆林 (C H P)

針對每一地面測計方法，分別作坡度校正與否之變異數分析，資料來源為表 4-8，表 4-9，表 4-10，4-11（以上為坡度經測定並調整樣區半徑之樣區（點）別每公頃材積）及表 4-12 至表 4-15 未經坡度校正調查區林型別不同地面測計方法之樣區（點）別每公頃材積；經分析獲致結論為五種地面測計方法坡度校正與否每公頃材積間均無顯著差異。

2. 人工針葉樹林型 (C P)，天然針葉樹林型 (C) 及天然潤葉樹林型 (H) 變異數分析結果與 C H P 林型結論相同，亦即五種地面測計方法坡度校正與否每公頃材積間均無顯著差異。

3. 調查區全林

變異數分析結果為固定面積圓形樣區的三種測計方法坡度校正與否每公頃材積間均無顯著差異；畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點 (R1) 及角度係數為 2 之水平樣點 (R2) 二種測計方法坡度校正與否每公頃材積間均有顯著差異。

4-2-5 株數資料

調查區內樣區(點)之單位面積(或樣點)內株數,視林型別及地面測計方法的不同而異,而林型別不同地面測計方法或地面測計方法別不同林型的每公頃材積與單位面積(或樣點)株數多寡却有相當關係。

株數資料來源如表 4-6 茲就下述三方面分別進行。

4-2-5-1 林型別五種地面測計方法株數之變異數分析

採用 Duncan 氏多變域比較法,以五種地面測計方法為處理,各林型樣區(點)別株數為重複,作變異數分析。

1. 人工針潤葉混淆林 (CHP)

變異數分析知處理間之差異極顯著,接受 $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$; 再作均數間比較獲致結論 C1 與 C2, C1 及 R1, C1 與 R2, C2 與 R2, R1 與 R2 等二種測計方法株數間差異不顯著。其他各種測定方法株數間差異極為顯著。(均數為 9.51 株)

2. 人工針葉樹林型 (CP)

變異數分析知處理間之差異極顯著,接受 $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$; 再作均數間比較獲致結論為除 C1 與 R2 二種測計方法株數差異不顯著; R1 與 C1, R2 二者株數有顯著差異;其餘各地面測計方法株數差異均極顯著。(均數為 25.71 株)

3. 天然針葉樹林型 (C)

變異數分析知處理間之差異極顯著,接受 $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$; 再作均數間比較獲致結論為 C2 與 R1, C3 與 R1 等二種測計方法株數差異不顯著; C1 與 C2 株數差異顯著;其餘各地面測計方法株數差異均極顯著。(均數為 7.52 株)

4. 天然潤葉樹林型 (H)

變異數分析知處理間之差異極顯著，接受 $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ ；再作均數間比較獲致結論為：（均數為 16.04 株）

(1) C2 與 R2 二種測計方法株數差異，C1 與 R1 株數差異均不顯著。

(2) C2 與 R1 二種測計方法株數差異為顯著。

(3) 其餘各種地面測計方法株數間差異顯著。

5. 調查區全林

變異數分析知處理間之差異極顯著，接受 $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ ；再作均數間比較獲致結論為：（均數為 15.43 株）

(1) C1 與 R1 二種測計方法株數間差異不顯著。

(2) C1 與 R2 二種測計方法株數差異，C2 與 R2 株數差異均為顯著。

(3) 其餘各種地面測計方法株數間差異均極顯著。

CHP 林型與 CP 林型雖則胸徑估值的信賴界限頗為雷同，惟株數分析得知株數均數分別為 9.51 株及 25.71 株，相差頗大，除可說明將此二林型分層的合理性外，二林型在各種地面測計方法的每公頃材積迥然不同亦肇因於此。

4-2-5-2 地面測計方法別不同林型株數之變異數分析

針對每一種地面測計方法，分別作不同林型株數之變異數分析，亦即以林型作為處理。

1. 0.0125 公頃圓形樣區 (C1)

變異數分析知林型間株數差異極為顯著，接受 $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$ 之相對擬說；再作均數間比較獲致結論為：（均數 8.60 株）

(1) H 林型與 C 林型，H 林型與 CHP 林型，CHP 林型與 C 林型在 C1 測計方法株數之差異，並不顯著。

(2) C P 林型與 C 林型、C H P 林型、H 林型三者，在 C1 測計方法株數，均有極顯著差異。

2. 0.025 公頃圓形樣區 (C2)

變異數分析知林型間株數差異極為顯著，接受 $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$ 之相對擬說；再作均數間比較獲致結論為：(均數 16.70 株)

(1) C H P 林型與 H 林型在 C2 測計方法株數之差異，均不顯著；C H P 林型與 C 林型在 C2 測計方法株數，有顯著差異。

(2) C P 林型與 C 林型、C H P 林型、H 林型三者，在 C2 測計方法株數，均有極顯著差異。

(3) H 林型與 C 林型在 C2 測計方法株數，有極顯著差異。

3. 0.05 公頃圓形樣區 (C3)

變異數分析知林型間之差異極顯著，接受 $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$ ；再作均數間比較獲致結論為：(均數為 31.63 株)

(1) C H P 林型與 H 林型在 C3 測計方法株數之顯著差異存在。

(2) C P 林型與 C 林型、C H P 林型、H 林型三者，在 C3 測計方法株數，均有極顯著差異，C 林型與 H 林型、C H P 林型二者，在 C3 測計方法株數，均有極顯著差異。

4. 畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點 (R1)

變異數分析知林型間之差異極顯著，接受 $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$ 之相對擬說；再作均數間之比較獲致結論為：(均數為 7.29 株)

(1) C P 林型與 C 林型在 R1 測計方法株數之差異，並不顯著。

(2) C P 林型與 H 林型在 R1 測計方法株數，有顯著差異。

(3) H 林型與 C H P 林型、C 林型二者，在 R1 測計方法株數均有極顯著差異。C H P 林型與 C P 林型、C 林型二者，在 R1 測計方法株數，均有極顯著差異。

5. 畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點 (R2)

變異數分析知林型間之差異極顯著，接受 $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$ 之相對擬說；再作均數間之比較獲致結論為：(均數 12.91 株)

(1) C P 林型與 C 林型、H 林型二者，在 R2 測計方法株數差異，並不顯著。

(2) H 林型與 C 林型在 R2 測計方法株數，均有極顯著之差異。
C H P 林型與 H 林型、C P 林型、C 林型三者，在 R2 測計方法株數，均有極顯著差異。

4-2-5-3 包括零材積樣區與否對 CHP 林型暨調查區全林株數之變異數分析

調查區樣區 140 個中有 C H P 林型 5 個樣區所在地已被移作非林地使用，故彼等地區五種地面測計方法均無林木可測，自無材積可言；包括 5 個非林地樣區與否對調查區全林樣區(點)樣木株數之統計量比較已列如表 25。包括 5 個非林地樣區與否對 C H P 林型樣區(點)樣木株數之統計量比較已列如表 26。

包括零材積樣區與否對 C H P 林型，調查區全林株數之變異數分析，其資料來源為表 4—6。變異數分析結果為包括零材積樣區與否對 C H P 林型株數差異，並不顯著。包括零材積樣區與否對調查區全林株數差異，並不顯著。二者獲致之結論相同。

4-2-6 材積資料

4-2-6-1 林型別五種地面測計方法每公頃材積之變異數分析

針對每一種林型，將其五種地面測計方法視為處理，樣區（點）別每公頃材積為重複，採用 Duncan 氏多變域比較法，其中 C H P 林型 32 個重複，C P 林型 48 重複，C 林型 40 重複，H 林型 20 重複。

1. 人工針潤葉混淆林（C H P）

變異數分析知測計方法間每公頃材積差異並不顯著，均數為 76.77 立方公尺。

2. 人工針葉樹林型（C P）

變異數分析知測計方法間每公頃材積差異，並不顯著，均數為 223.00 立方公尺。

3. 天然針葉樹林型（C）

變異數分析知測計方法間每公頃材積差異，並不顯著；均數間比較獲知 C2 與 R2 測計方法間，C3 與 R2 測計方法每公頃材積均有顯著差異。均數為 362.73 立方公尺。

4. 天然潤葉樹林型（H）

變異數分析知測計方法間每公頃材積差異，並不顯著；均數間比較獲知 C3 與 R2 測計方法每公頃材積有顯著差異。均數為

320.99 立方公尺。

5. 調查區全林

變異數分析知測計方法間每公頃材積差異，並不顯著；均數間比較獲知 C2 與 R2 測計方法間，C3 與 R2 測計方法間每公頃材積，均有顯著差異。

4-2-6-2 包括零材積樣區與否對 C H P 林型，C 林型及調查區全林每公頃材積之變異數分析。

C 林型在 40 個 0.0125 公頃圓形樣區 (C1) 中，有 7 個零材積樣區；在 0.025 公頃圓形樣區 (C2) 中，有 1 個零材積樣區。C H P 林型 32 個樣區中，因 5 個樣區所在地已被移作非林地使用，故五種地面測計方法之樣區 (點) 材積均為零材積，名之為零材積樣區 (點) 。

1. 人工針潤葉混淆林 (C H P)

每一種地面測計方法包括零材積樣區與否二種方式作為處理，其樣區 (點) 別材積為重複。變異數分析知 0.0125 公頃圓形樣區 (C1) 包括零材積樣區與否的每公頃材積差異，並不顯著。其他四種地面測計方法變異數分析結果與上述 C1 結論相同。

2. 天然針葉樹林型 (C)

就 C1, C2 二種地面測計方法分別作業，每一種地面測計方法包括零材積與否二種方式作為處理，其樣區別材積為重複作變異數分析，獲知 0.0125 公頃圓形樣區 (C1) 包括零材積樣區與否的每公頃材積差異，並不顯著。0.025 公頃圓形樣區 (C2) 之結果與 C1 測計方法相同。

3. 調查區全林

每一種地面測計方法包括零材積樣區 (點) 與否二種方式作為處

理，其樣區（點）材積為重複。變異數分析結果同 C H P 林型及 C 林型結果相同，即各種地面測計方法包括零樣區（點）材積與否每公頃材積之差異，均不顯著。

4-2-6-3 地面測計方法別林型間每公頃材積之變異數分析

針對每一種地面測計方法，將不同林型視為不同處理，樣區（點）別每公頃材積為重複，採用 Duncan 氏多變域比較法。

1. 0.0125 公頃圓形樣區（C1）

變異數分析知林型間每公頃材積差異極顯著；再作均數間比較獲知結論為：

- (1) C H P 林型與其他三種林型每公頃材積差異極顯著。
- (2) C 林型與 C P 林型每公頃材積間有極顯著差異。
- (3) H 林型與 C P 林型每公頃材積間有顯著的差異。
- (4) C 林型與 H 林型每公頃材積差異，並不顯著。

經將 C 林型與 H 林型合併後，變異數分析 F 值為 4,325 較諸四林型分層 F 值（12.01）大甚多，表示新分層有更大極顯著之差異，第一次四林型分層之總均數標準誤為 19.98 立方公尺或 7.84%，經再分層者為 1.27 立方公尺或 0.56%；精密度而言，新分層加 7.28%；不分層者之總均數標準誤為 22.22 立方公尺或 8.72%，故可看出新分層效應極大，為達到同樣精度不分層所需樣本大小為 33,946 樣區。

2. 0.025 公頃圓形樣區（C2）

變異數分析知林型間每公頃材積差異極顯著；再作均數間比較獲知結論為：

- (1) C H P 林型與其他三種林型每公頃材積間，有極顯著差異。
- (2) C 林型與 C P 林型每公頃材積間，有極顯著差異。
- (3) C 林型與 H 林型每公頃材積間，有顯著差異。

(4)H林型與C P林型每公頃材積差異，並不顯著。

經將H林型與C P林型合併後，變異數分析F值為18.90較諸四林型分層之13.61為高，表示新分層間有更大極顯著之差異；惟新分層之總均數標準誤為20.76立方公尺或7.88%並不較四林型分層之20.64立方公尺或7.84%為高；不分林型要達到四林型分層同樣精度所需樣區數為178樣區，比140多38個樣區。

3. 0.05公頃圓形樣區(C3)

變異數分析知林型間每公頃材積，有極顯著差異；再作均數間比較，獲知結論為：

- (1)C H P林型與C林型、H林型二者每公頃材積間有極顯著差異。
- (2)C P林型與C林型每公頃材積間，有極顯著差異。
- (3)C P林型與C H P林型、H林型二者每公頃材積間，有顯著之差異。
- (4)C林型與H林型之每公頃材積差異，並不顯著。

經將C林型與H林型合併後，變異數分析F值15.27較四林型分層之10.28為多，表示新分層間有更大極顯著之差異，惟精密度僅增加0.02%；不分層較新分層達到同樣精度所需樣區數為176個，多調查36個。

4. 畢特立希氏角度係數為4之水平樣點(R1)

變異數分析知林型間每公頃材積，有極顯著差異；再作均數間比較，獲結論為：

- (1)C H P林型與其他三種林型每公頃材積差異極顯著。
- (2)C P林型與C林型、H林型二者每公頃材積間，有顯著之差異。

(3) C 林型與 H 林型每公頃材積差異，並不顯著。

經將 C 林型與 H 林型合併後，變異數分析 F 值 31.78，較四林型分層之 21.05 為高，顯示新分層間有更大極顯著之差異；惟精密度增加僅 0.02 %；不分層較新分層達到同樣精度所需樣點數為 202，較 140 多需 62 個樣區。

5. 畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點 (R2)

變異數分析知林型間每公頃材積有極顯著之差異；再作均數間的比較，獲知結論為：

(1) C H P 林型與其他三種林型每公頃材積差異極顯著。

(2) C P 林型與 C 林型、H 林型二者每公頃材積間差異，並不顯著；C 林型與 H 林型每公頃材積間差異，並不顯著。

經將 C P 林型、C 林型、H 林型合併後，變異數分析 F 值為 63.50 較四林型分層 22.43 為高，表示新分層間有更大極顯著之差異，惟精度反降 0.02 %；不分層較四林型分層達到同樣精度所需樣區數為 205 樣區，較四林型分層多 65 個樣區。

4-2-6-4 其他有關之變異數分析

1. 以單位面積（或樣點）株數言，各林型五種地面測計方法最接近 20 株者，自表 10 至表 14，得知 C H P 林型為 C3，C P 林型為 C1，C 林型為 R2，H 林型為 R2，將 C3（C H P 林型），C1（C P 林型），R2（C 林型及 H 林型）視作處理，其各地面測計方法樣區（點）材積為重複，採用 Duncan 氏多變域比較法。

變異數分析知林型別每公頃材積間，有極顯著差異；再作均數間比較獲知 C H P 林型與其他林型每公頃材積間，有極顯著差異，餘彼此間差異並不顯著。

經將 C P 林型、C 林型、H 林型合併後之變異數分析 F 值為 59.50 較四林型分層之 20.37 為高，顯示新分層間有更大極顯著之差異，惟精度增加僅 0.005 %，沒有什麼意義。

2. 以 95 % 機率水準下之取樣誤差言，林型別五種測計方法中，自表 27 至表 31，得知 C H P 林型以 C3 為最低 (30.74 %)；C P 林型以 C3 為最低 (12.47 %)；C 林型以 R2 為最低 (15.56 %)；H 林型以 R2 最低 (14.57 %)。將 C3 (CHP 林型及 C P 林型) 及 R2 (C 林型及 H 林型) 視作處理，其地面測計方法樣區 (點) 材積為重複，採用 Duncan 氏多變域比較法。

變異數分析結果知林型別每公頃材積間，有極顯著差異；再作均數間比較獲知 C H P 林型與其他三種林型每公頃材積間，有極顯著的差異，餘彼此間差異並不顯著。

經將 C P 林型、C 林型、H 林型合併後，變異數分析 F 值為 65.74 較 23.92 為高，顯示新分層間有更大極顯著之差異，惟精度反降低 0.04 %，沒有什麼意義。

4-2-6-5 綜合比較

1. 林型間之地面測計方法之比較

(1) 人工林部分自表 37 及表 38 看出依 95% 機率水準取樣誤差由大而小排列，不論 C P 林型及 C H P 林型，均呈 R1 → C1 → R2 → C2 → C3 之趨勢；換言之，圓形樣區除 C1 精度介於 R1 及 R2 間外，均較水平樣點為佳。

印證表 10 至表 14 之樣木株數之均數，其各個地面測計方法株數由少而多排列，與上項結果除 C P 林型之 C1，R2 外亦呈同樣趨勢，顯示人工林林木材積調查精度隨樣區 (點) 內樣木株數增加而增加

，此乃因人工林林木株行距固定，且同一造林地林齡一樣，且胸徑生長較之天然林為同質化所致。

C P 林型與 C H P 林型胸徑估值的信賴界限雖類似，惟單位面積（或樣點）株數同一種地面測計方法均有 2.5 — 2.8 倍之差，加上 C H P 林型有 5 個零樣區（點）材積，致使二林型材積差異在 2.3 — 2.6 倍之譜。

(2) 天然針葉樹林型（C）

自表 39 看出，依 95 % 機率水準取樣誤差由大而小排列，為 C3 → C1 → C2 → R1 → R2 之趨勢，亦即水平樣點較圓形樣區為佳，二者取樣誤差在 1 與 2 之比，顯示二種地面測計方法（水平樣點與圓形樣區）中，以水平樣點為適用。

就圓形樣區而言，C3 並未隨面積之增大為 0.05 公頃而使取樣誤差減小，相反的，反而較 C1 及 C2 者為大，這是因為樣區間材積差異大的緣故，從表 4-14 可看出梗概。

(3) 天然闊葉樹林型（H）

自表 40 看出，依 95 % 機率水準取樣誤差由大而小排列，為 C1 → C3 → C2 → R1 → R2，水平樣點取樣誤差遠比圓形樣區者為小，顯示水平樣點較圓形樣區為適用。

就圓形樣區而言，C3 樣區面積最大，調查取樣誤差却在 C1 與 C2 間，從表 4-15 知其理由同天然針葉樹林型。

基上論結，人工林部份均以 0.05 公頃之圓形固定面積精度最佳，且 C P 林型及 C H P 林型以 0.05 公頃之單位面積株數之均數分別為 58.13 及 21.34 株，均超過 Spur 氏（1952）氏建議之每樣區至少有 20 株樣木之原則。天然林部份則以畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點（R2）精度最佳。4-2-2 各林型胸徑估值知 C H P 林型 17.04

— 18.06 公分，C P 林型 17.09 — 17.47 公分，H 林型 29.46 — 32.86 公分，C 林型為 58.22 — 65.19 公分，而水平樣點均以畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點 (R2) 較角度係數為 4 之水平樣點 (R1) 者精度為佳，與疏林 (C H P 及 C 林型較另二種林型為疏) 或小徑木角度係數宜小，密林 (C P 林型及 H 林型較另二種林型為密) 或大徑木者角度係數宜大拉扯不上關係。

2. 簡單逢機取樣與四林型分層逢機取樣之比較

從表 41 及表 47 之比較，知任何一種地面測計方法分層逢機取樣均較簡單逢機取樣精度佳，以 95% 機率水準取樣誤差 10% 最少樣本數言，0.0125 公頃圓形樣區 (C1)，簡單逢機取樣要多調查 6 個樣區；0.025 公頃圓形樣區 (C2) 多調查 121 個樣區；0.05 公頃 (C3) 者多調查 110 個樣區；畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點 (R1) 多調查 43 個樣區；畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點 (R2) 多調查 37 個樣點。

上述二種取樣設計，都以 0.05 公頃圓形樣區 (C3) 所得精度最差，95% 機率水準的取樣誤差為 20.48% 及 18.46%；都以畢特立希氏角度係數為 2 (R2) 之水平樣點精度最佳，分別為 10.08% 及 8.67%，與 0.05 公頃精度相比，精度提高一倍以上。在 95% 機率水準取樣誤差 10% 的最少樣本數比較來看，簡單逢機者 C3 需調查 587 個，R2 僅需調查 142 個，少調查 445 個；分層逢機者，C3 需調查 477 個，R2 僅需用 105 個，少調查 372 個。

3. 四林型分層、三林型分層及二林型分層取樣之比較

自表 49 知三林型之分層，係針葉樹林型 (C + CP)、針闊葉混生林 (C H P) 及闊葉樹林型 (H)，經與表 47 相比，除 R1 略遜外，餘各種地面測計方法均較四林型分層者精度為佳，以 95% 機率水準

取樣誤差 10 % 最少樣本數言，0.0125 公頃圓形樣區 (C1)，三林型分層少調查 10 個樣區；0.025 公頃圓形樣區 (C2)，三林型分層少調查 13 個樣區；0.05 公頃圓形樣區 (C3)，三林型分層少調查 17 個樣區；畢特立希氏角度係數為 4 之水平樣點 (R1)，三林型分層與四林型分層都需要 134 個樣點；畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點 (R2)，三林型分層少調查一個樣點。

自表 48 知二林型分層，係天然林 (C + H) 與人工林 (CP + CHP) 二層，經由表 41，表 47，表 49 比較，知其圓形面固定樣區精度甚至不如簡單逢機取樣，而 R1 精度較三林型 R1 精度要高，R2 精度則較簡單逢機高 0.8 %，遜於三林型 R2 0.65 %。

不論採用分幾層的分層逢機設計，都以 0.05 公頃圓形樣區所得精度最差，95% 機率水準的取樣誤差依三林型、二林型分層分別為 18.13 % 及 23.92 %；都以畢特立希氏角度係數為 2 之水平樣點 R2 精度最佳，分別為 8.63 % 及 9.28%，與 0.05 公頃 C3 精度相比，精度提高一倍以上。在 95 % 機率水準取樣誤差 10 % 的最少樣本數比較來看，三林型分層者 C3 需調查 460 個，R2 僅需調查 104 個，少調查 356 個；二林型分層者，C3 需調查 801 個，R2 僅需調查 121 個，少調查 680 個。

4-2-7 時間資料

4-2-7-1 樣區 (點) 測定時間之變異數分析

1. 以五種地面測計方法為處理，四種林型別 (CHP, CP, CH) $AE = 10\%$ 測定時間為重複，經變異數分析知測計方法樣區 (點) 測定時間有極顯著之差異；再作均數間之比較，0.05 公頃圓形樣區 (C3) 之樣區測定時間與其他四種地面測計方法間有極顯著之差異。經運算在取樣誤差 15 % 及 20 %

時，結果相同。

2.以五種地面測計方法為處理，表 51 $AE = 10\%$ 不同取樣設計之樣區（點）測定時間為重複，變異數分析知測計方法間樣區（點）測定時間，有極顯著之差異；再作均數間的比較獲知以下結論：（均數為 198.98 人一日）

(1) 0.05 公頃圓形樣區（C3）與其他四種地面測計方法之樣區（點）測定時間均有極顯著之差異；0.025 公頃圓形樣區（C2）與畢特立希氏角度係數為 4（R1）及 2（R2）之水平樣點，亦有極顯著之差異。

(2) 0.025 公頃圓形樣區（C2）與 0.0125 公頃圓形樣區（C1）之樣區測定時間差異，並不顯著。

(3) C1 與 R1、R2 二者之樣區（點）測定時間差異，並不顯著；R1 與 R2 之測定時間差異，亦不顯著。

取樣誤差 15% 時，採用表 52 資料；取樣誤差 20% 時，採用表 53 資料。所得結果與前相同。

3.以五種地面測計方法為處理，四種林型別（CHP，CP，C，H） $AE = 10\%$ 測定時間為重複，惟樹高測定時間均未納入測定時間。

變異數分析知測計方法別樣區（點）測定時間，有極顯著之差異，經作均數間比較，獲結論為：

(1) C3 與 C1，R1，R2 三者之樣區（點）測定時間，有極顯著之差異。

(2) C3 與 C2 之樣區（點）測定時間，有顯著之差異。

$AE = 15\%$ ， 20% ，所得結果相同。

4.以五種地面測計方法為處理，四種林型別（CHP，CP，C

，H) AE = 10 % 測定時間為重複，測定時間僅 C1 及 R1 樣木樹高的測定時間納入各地面測計方法的樣區(點)測定時間變異數分析知測計方法別樣區(點)測定時間，有極顯著之差異，經作均數間比較，獲結論為：

(1) C3 與 C1、R1、R2 三者之樣區(點)測定時間，有極顯著之差異。

(2) C3 與 C2 之樣區(點)測定時間，有顯著之差異。

AE = 15 %，20 %，所得結果相同。

4-2-7-2 樣區(點)間步行/車行需用時間

1. 以五種地面測計方法為處理，四種林型別(CHP, CP, C, H) AE = 10 % 之樣區(點)間步行/車行需用時間為重複之鄧肯氏多變域比較法。

變異數分析知測計方法別之樣區(點)間步行/車行需用時間差異，均不顯著。

AE = 15 %，20 % 時，所得結果相同。

2. 以五種地面測計方法為處理，表 54 AE = 10 % 不同取樣設計樣區(點)間步行/車行需用時間為重複之變異數分析。

變異數分析知測計方法別之樣區(點)間步行/車行需用時間，有極顯著之差異。再作 Duncan 氏多變域比較法，獲知結論為：
(均數為 257.55 人一日)

(1) C3 與 C2、R1、R2 三種測計方法之樣區(點)間步行/車行需用時間有極顯著之差異；C1 與 R1、R2 二種測計方法之樣區(點)間步行/車行需用時間，有極顯著之差異；C2 與 R1、R2 二種測計方法之樣區(點)間步行/車行需用時間，有極顯著之差異。

(2) C3與C1間，C2與C1間，R1與R2間，樣區(點)間步行／車行需用時間之差異，均不顯著。

在取樣誤差 15 % 時，採用表 55 資料；取樣誤差 20 % 時，採用表 56 資料。所得結果與取樣誤差 10 % 時之結果相同。

4-2-7-3 樣區 (點) 內外業時間合計

1. 以五種地面測計方法為處理，四種林型別 (C H P , C P , C , H) $AE = 5 %$ 之內外業時間合計為重複之變異數分析。

變異數分析知測計方法別之內外業時間合計，有極顯著之差異。再作鄧肯氏多變域比較法，獲知結論為：

(1) C3 與 C1 , R1 , R2 三種測計方法之內外業時間合計，均有極顯著之差異。

(2) C3 與 C2 測計方法之內外業時間合計，有顯著差異。

$AE = 10 %$ 時之結論為：

(1) C3 與 C1 , R1 , R2 三種測計方法之內外業時間合計，均有顯著之差異。

(2) 其他不同地面測計方法間之差異，並不顯著。

$AE = 20 %$ 時，則各個地面測計方法間之內外業時間合計差異，均不顯著。

2. 以五種地面測計方法為處理，表 57 $AE = 10 %$ 不同取樣設計內外業時間合計值為重複之變異數分析。

變異數分析知測計方法別之內外業時間合計，有極顯著之差異；再由鄧肯氏多變域比較法之均數間比較，獲結論為：(均數為 467.85 人一日)

(1) C3 與 C1 , C2 , R1 , R2 四種測計方法之內外業時間合計，均有極顯著之差異。

(2) C2 與 R1 , R2 二種測計方法之內外業時間合計，均有極顯著之差異。

(3) C1 與 R1 , R2 二種測計方法之內外業時間合計，均有顯著之差異。

(4) C1 與 C2 間， R1 與 R2 間，內外業時間合計之差異，均不顯著。

取樣誤差 15 %，採用 58 資料；取樣誤差 20 %時，採用表 59 資料。所得結果與取樣誤差 10 %時之結果相同。

3. 以五種地面測計方法為處理，四種林型別 (C H P , C P , C , H) A E = 5 % 之內外業時間合計為重複，惟樹高測定時間均未納入之變異數分析。

變異數分析結果知不同測計方法別之內外業時間合計值間差異，均不顯著。

取樣誤差在 10 %， 15 %及 20 %時，結果相同。

4. 以五種地面測計方法為處理，四種林型別 (C H P , C P , C , H) A E = 5 % 時內外業時間合計值為重複，樹高測定部分僅 C1 與 R1 樣木樹高的測定時間納入各地面測計方法的內外業時間合計值內。

變異數分析知地面測計方法間之差異，並不顯著；經再作均數間比較，知僅 C3 與 R2 二者間，有顯著差異。

取樣誤差 10 %及 20 %時，則各個地面測計方法間差異，均不顯著。

5. 將不同取樣設計視作處理，表 57 取樣誤差 10 %，五種地面測計方法之內外業時間合計值為重複之變異數分析。

變異數分析知不同取樣設計別之內外業時間合計值差異，均不

顯著。

4-2-8 費用資料

4-2-8-1 95 %機率水準取樣誤差 10 %費用資料的變異數分析

五種地面測計方法為處理，不同取樣設計費用值為重複的 Duncan氏多變域比較法，依表 60、表 63、表 64 及表 65 分別進行變異數分析。

1. 調查區面積 4,091 公頃時，均數為 924.65 費用單位

變異數分析知測計方法別的費用值，有極顯著之差異；經作均數間比較，獲知結論為：（均數 924.65 費用單位）

(1) C3 與其他四種測計方法的費用值間，均有極顯著之差異。

(2) C2 與 R1，R2 二種測計方法的費用值間，均有極顯著之差異。

(3) C1 與 R1，R2 二種測計方法的費用值間，均有極顯著之差異。

(4) C1 與 C2 二種測計方法的費用值間差異，並不顯著；R1 與 R2 間之差異，並不顯著。

2. 調查區面積為一萬公頃，調查區各林型情況均與本調查區相同時，均數為 1,226.51 費用單位。

變異數分析知測計方法別的費用值間，有極顯著之差異；經作均數間比較，獲得如調查區 4,091 公頃相同的結果。

3. 調查區面積為五萬公頃及十萬公頃，調查區各林型情況均與本調查區相同時，均數分別為 2,312.82 費用單位及 3,172.19 費用單位。

變異數分析知測計方法別的費用值間，有極顯著之差異；經作均數間比較，獲得如調查區 4,091 公頃相同的結果。

4-2-8-2 95 %機率水準取樣誤差 15 %時的變異數分析

五種地面測計方法為處理，不同取樣設計費用值為重複的 Duncan 氏多變域比較法，依表 61，66，67，68 分別進行變異數分析。

調查區面積 4,091 公頃，一萬公頃，五萬公頃，十萬公頃，變異數分析所得五種地面測計方法別費用值間，均為“有極顯著”的差異；所做均數間之比較結果，與取樣誤差 10% 者完全相同。

4-2-8-3 95% 機率水準取樣誤差 20% 時的變異數分析

調查區面積 4,091 公頃，一萬公頃，五萬公頃，十萬公頃，變異數分析結果相同，亦即五種地面測計方法別費用值間，均有極顯著之差異；所做均數間之比較結果，與取樣誤差 10% 時者，完全相同。

4-2-9 樣本大小對標準機差影響的資料

標準機差為族群變異之標準，理論上雖為固定常數，不受樣本大小的影響，但樣本過小則使標準機差值不可靠。

依林型別及調查區全林，分別作業。以天然針潤葉混淆林 (CHP) 為例，其在五種地面測計方法均有 32 個樣區 (點) 材積資料，樣本大小訂為 5，10，15，20，25，30，31 等七種，以 5 樣區為例，為 32 個樣區內之逢機分布，重複 60 次，每次計算標準機差一次，從 60 次的標準偏差求取平均標準機差 (mean standard deviation)，以 \bar{X}_s 表之；根據此 60 個標準機差，可以計算重複 60 次樣本大小為 5 的標準機差 (standard deviation of the standard deviation)，以 S_s 表示之；再依均數標準誤 (standard error of the mean)、變異係數 (coefficient of variation) 及取樣誤差 (allowable sampling error) 求法，分別求得 $S_{\bar{x}s}$ ，CV (%) 及 E (%)。如此 CHP 林型樣本大小為 10，15，20，25，30，31 均依上述方式重複 60 次，並分別求 \bar{X}_s ， S_s ， $S_{\bar{x}s}$ ，C.V. (%) 及 E (%)，並將分析資料整理如表 4-16。人工針葉樹林型 (CP) 樣本大小為 5

10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 47 之分析資料如表 4-17。天然針葉樹林型 (C) 樣本大小為 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 39 之分析資料如表 4-18。天然闊葉樹林型 (H) 樣本大小為 5, 10, 15, 19 之分析資料, 如表 4-19。調查區全林 (即不分林型) 之樣本大小為 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 139 之分析資料, 如表 4-20。

4-2-10 可靠最低估值 (Reliable Minimum Estimate, RME)

可靠最低估值 RME 表示在設定機率水準下可期望的最低數量, 計算式為: $RME = \bar{X} - t S_x$; 95% 機率水準下林型別五種地面測計方法每公頃材積的 RME 值, 參照表 37, 表 38, 表 39, 表 40, 表 44, 表 45, 表 46 等資料整理如表 4-21; 95% 機率水準下不同取樣設計方法別每公頃材積的 RME 值, 參照表 41, 表 47, 表 48, 表 49 等資料整理如表 4-22。

五、研究結果

5—1 調查區面積 4,091 公頃，計有保安林 784.40 公頃，宅地、農地、草生地、崩壞地及竹林等非林地 963.09 公頃，未及十年生之生產林 503.80 公頃及十年生以上生產林 1,839.71 公頃。

調查區調查對象為十年生以上生產林 1,839.71 公頃之面積（簡稱調查區全林），依林型區分，計有人工針闊葉混淆林（CHP）140.41 公頃，人工針葉樹林型（CP）366.30 公頃，天然針葉樹林型（C）438.30 公頃及天然闊葉樹林型（H）894.70 公頃。

5—2 人工針闊葉混淆林（CHP）及人工針葉樹林型（CP）二者在 95% 機率水準下胸徑估值之信賴界限分別為 17.04—18.06 公分，17.09—17.47 公分，變異係數分別 39.01% 及 30.10%，惟單位面積（樣點）株數在同一種地面測計方法均有 2.5—2.8 倍之差。天然針葉樹林型（C）胸徑估值之信賴界限為 58.22—65.19 公分，變異係數 68.91%，天然闊葉樹林型（H）為 29.46—32.86 公分，變異係數 73.22%。

5—3 三種樹高測定方式對 CP 林型不同地面測計方法樣區

（點）測定時間變異數分析，知 95% 機率取樣誤差 5%、10% 及 20% 時，樹高不測定之樣區（點）測定時間與樹高部份測定或全測間，均有極顯著之差異；樹高部份測定與全測間差異，並不顯著。CHP 林型、C 林型及 H 林型三種樹高測定方式之樣區（點）測定時間差異，全不顯著。

再就三種樹高測定方式對相同地面測計方法不同林型樣區（點）測定時間之變異數分析，得知畢特立希氏角度係數為 4 及 2 之水平樣點取樣法（即 R1 及 R2），三種樹高測定方式的樣區（點）間測定時間差異，全不顯著。

5-4 坡度未校正對單位面積株數及每公頃材積的影響

5-4-1 天然針葉樹林型 (C) 及天然闊葉樹林型 (H) 採用畢特立希氏角度係數為 4 及 2 之水平樣點取樣法 (即 R1 及 R2) 時，坡度校正與否的單位面積 (樣點) 株數間，均有顯著之差異，但二種測計方法坡度校正與否每公頃材積間差異，則均不顯著。

5-4-2 人工針闊葉混淆林 (CHP) 及人工針葉樹林型 (CP) 坡度校正與否之單位面積 (樣點) 株數及每公頃材積間之差異，在五種地面測計方法均不顯著。

5-4-3 對不分林型調查區全林而言，採用 R1 及 R2 二種地面測計方法時，坡度校正與否的單位面積 (樣點) 株數及每公頃材積間，均有顯著之差異。採用固定面積圓形樣區的三種測計方法 (C1 , C2 , C3) 時，坡度校正與否的單位面積 (樣點) 株數及每公頃材積間差異，均不顯著。

5-5 調查區內樣區 (點) 單位面積 (樣點) 內株數分析結果

5-5-1 林型別來看，CHP 林型除 C3 有 21.34 株，C2 11.06 株而外，其他三種測計方法依次為 R2 6.13 株，C1 5.78 株，R1 3.22 株；如 5 個零材積樣區予以剔除，則 C3 為 25.30 株，C2 為 13.11 株；R2 為 7.26 株，C1 為 6.85 株，R1 為 3.81 株；包括 5 個零材積樣區 (點) 與否 CHP 林型單位面積 (樣點) 株數差異，並不顯著。

CP 林型則除 R1 為 8.42 株外，其他四種測計方法依次為 R2 為 15.48 株，C1 為 15.88 株，C2 為 30.63 株，C3 為 58.13 株，Duncan 氏多變域比較法得知 C1 與 R2 差異不顯著；R1 與 C1、R2 二者之株數，均有顯著差異；C3 與其他四種測計方法間，C2 與 C1、R1、R2 三者之株數間，均呈極顯著之差異。

C林型除 R2 有 12.95 株外，其他四種測計方法依次為 C3 8.73 株，R1 7.73 株，C2 5.35 株，C1 2.85 株，且固定面積圓形樣區除 C3 外，株數均少於水平樣點者，此點與 CHP 林型，CP 林型情況相左。Duncan 氏多變域比較法得知 R1 與 C3、C2 二者之差異不顯著；C1 與 C2 間差異顯著；R2 與其他四種測計方法之株數均呈極顯著之差異；C2 與 C3 間，C1 與 C2、C3 二者間有極顯著之差異。

H 林型以 C3 有 30.30 株為最多，再依次為 R2 為 17.55 株，C2 為 15 株，R1 為 10.20 株，C1 為 7.15 株；R2 株數多於 C2，R1 多於 C1 之情況與 CP 林型，CHP 林型情況相左。Duncan 氏多變域比較法得知 C2 與 R2，C1 與 R1 株數之差異均不顯著；C2 與 R1 有顯著之差異；C3 與其他四種測計方法之株數均有極顯著之差異；R2 與 C1、R1 二者之株數有極顯著之差異；C1 與 C2 間有極顯著之差異。CHP 林型在五種測計方法樣區（點）株數的均數為 9.51 株，CP 林型均數為 25.71 株，C 林型均數為 7.52 株，H 林型均數為 15.43 株。且各林型作 Duncan 氏多變域比較知測計方法所得株數間，均有極顯著之差異。

5-5-2 測計方法別來看，C1 除 CP 林型有 15.88 株外，餘依次為 H 林型 7.15 株，CHP 林型 5.78 株，C 林型 2.85 株，且其彼此間株數差異均不顯著。C2 除 CP 林型有 30.63 株外，餘依次為 H 林型 15.00 株，CHP 林型 11.06 株，C 林型 5.35 株，僅 H 林型與 CHP 林型株數差異不顯著，CHP 林型與 C 林型株數顯著差異；H 林型與 C 林型株數有極顯著之差異。C3 除 C 林型 8.73 株外，餘依次 CHP 林型 21.34 株，H 林型 30.30 株，CP 林型 58.13 株；C 林型與 CHP、H、CP 三林型之株數有極顯著之差異；H 林型與 CHP 林型之株數有顯著之差異。在 C1，C2，C3 之株數分析中，CP 林型與其

他三種林型之株數，均有極顯著之差異。R1 測計方法各林型株數都少，其均數為7.29株，甚至比C1 測計方法之均數8.60株還要來的少，各林型二種測計方法變異係數，人工林其R1 株數比C1 少，變異係數稍增大，天然林R1 株數比C1 多，變異係數幾減少一半，天然針葉樹林型由101.31%降為50.43%，天然闊葉樹林型由60.07%降為32.69%，株數C 林型有7.73株，H 林型有10.20株。R2 測計方法各林型株數比R1 均多，均數為12.91株，比C2 測計方法之均數16.70株為少，各林型株數之變異係數為CHP 林型88.14%，CP 林型42.10%，C 林型45.87%，H 林型30.29%為五種測計方法中各林型株數變異係數最低者。各測計方法所作Duncan 氏多變域比較法知不同林型所得株數間，均有極顯著之差異。

5-6 林木材積調查有關精度研究結果

5-6-1各林型五種地面測計方法所得每公頃材積之差異，均不顯著，各林型每公頃材積均數CHP 林型76.77立方公尺，CP 林型223.00 立方公尺，C 林型362.73 立方公尺，H 林型320.99 立方公尺。

各林型不同地面測計方法所得材積均數間比較，除C 林型R2 與C2，C3 二者之每公頃材積有顯著差異及H 林型R2 與C3 之每公頃材積有顯著差異而外，餘同林型不同測計方法每公頃材積間差異，均不顯著。

5-6-2包括零材積樣區與否之效應

C 林型在40個C1 樣區中有7個零材積樣區，CHP 林型32個樣區中，因5個樣區所在地已移作非林地使用，故其五種地面測計方法之樣區（點）材積均為零材積，名之為零材積樣區（點）。

雖則Duncan氏多變域比較法得知包括零材積樣區與否的每公頃材積

差異，對 CHP林型及調查區全林的五種地面測計方法都不顯著，C林型 C1 測計方法的 Duncan 氏多變域比較法也是相同結果。不過再就第四章表32到表36看出包括零材積樣區對 CHP 林型及調查區全林95%機率水準之取樣誤差及取樣誤差15%的最少樣本數的影響。CHP 林型而言，C1 精度下降3.39%，要多調查56個樣區；C2 精度下降3.83%，要多調查51個樣區；C3 精度下降4.07%，要多調查49個樣區；R1 精度下降3.27%，要多調查57個樣點；R2 精度下降3.75%，要多調查50個樣點。

5-6-3 對每一種地面測計方法來講，CHP，CP，C及H四林型的每公頃材積，都有極顯著的差異，顯示所作四林型之分層尚稱理想；C1 測計方法C林型與H林型每公頃差異並不顯著，經予合併後，新分層之精度較四林型分層者增加7.28%，較不分層之簡單逢機者增加8.16%，顯見新分層效應極大。C2 測計方法H林型與CP林型每公頃材積差異並不顯著，經予合併精度未見增加，四林型分層較不分層者好處為少調查38個樣區。C3 測計方法C林型與H林型每公頃材積差異並不顯著，經予合併精度僅較四林型分層者增加0.02%，較不分層者少調查36個樣區。R1 測計方法C林型與H林型每公頃材積差異並不顯著，經予合併精度僅增加0.02%，較不分層者少調查62個樣點。R2 測計方法C林型與H林型無顯著差異，CP林型與C、H二林型間亦無顯著差異，經將CP，C及H三種林型合併精度未見提高，四林型分層較不分層的好處為少調查65個樣點。

5-6-4 就各林型在其五種測計方法所得樣區（點）單位面積（樣點）株數均數最接近20株者作為各該林型的代表作，以各林型視作處理，CHP林型為C3，CP林型為C1，C林型為R2，H林型為R2，其各經選定測計方法樣區（點）材積為重複，變異數分析知

林型間每公頃材積，有極顯著之差異，經作均數間比較，CHP 林型與其他三種林型之每公頃材積有極顯著之差異，餘 CP，C，H 三林型間差異，全不顯著，惟合併此三林型，精度未見增加。

5-6-5 95%機率水準之取樣誤差來看，CHP 林型以 C3 最低（30.74%），CP 林型以 C3 最低（12.47%），C 林型以 R2 最低（15.56%），H 林型以 R2 最低（14.57%）。將 C3（CP 及 CHP 林型）及 R2（C 及 H 林型）用為各該林型的代表，以四種林型視作處理，代表的測計方法樣區（點）材積為重複，所得結果與 5-6-4 相同，再將 CP，C，H 三林型合併，精度亦未見增加。

5-6-6 CHP 林型每公頃材積均數在五種測計方法之變域為 72.97 - 79.06 立方公尺，以 R1 取樣誤差 36.12% 最大，C3 30.74% 最小，達到取樣誤差 15% 的最少樣本數，R1 要多調查 53 個（187:134）。CP 林型為 212.91 - 236.95 立方公尺，以 R1 取樣誤差 16.89% 為最大，C3 12.47% 為最小，達到取樣誤差 10% 的最少樣本數比為 137:75，R1 要多調查 62 個。C 林型為 248.70 - 435.83 立方公尺，以 C3 取樣誤差 38.97% 為最大，R2 取樣誤差 15.56% 為最小，達到 10% 的最少樣本數比為 607:97，C3 要多調查 510 個。H 林型為 259.13 - 382.16 立方公尺，以 C1 取樣誤差 28.58% 最大，R2 取樣誤差 14.57% 最小，達到取樣誤差 20% 的最少樣本數比為 41:11，C1 多調查 30 個。就設定取樣誤差 CHP 15%，CP 10%，C 10%，H 20% 而言，CHP 用 C3 尚需調查 270 個樣本，CP 用 C3 尚需調查 27 個樣本，C 用 R2 尚需調查 57 個，H 用 R2，原來 20 個樣本還嫌多，只要 11 個就可以。

換言之，CP 及 CHP 林型林木調查精度均以 C3 測計方法所得者最佳，C2 次之，R1 最差，C1 則介於 R1 與 R2 之間；C 及 H 林

型則均以 R2 測計方法最佳，R1 次之，C2 再次之；C 林型以 C3 最差，C1 介於 C3 與 C2 間；H 林型以 C1 最差，C3 介於 C1 與 C2 之間。在水平樣點取樣法而言，角度係數為 2 (R2) 精度恒高於角度係數為 4 (R1)；在固定面積圓形樣區方面，CP 及 CHP 林型林木調查精度隨樣區面積增大而提高，C 及 H 林型則均以 0.025 公頃之 C2 樣區優於 C3 及 C1，在 C 林型之 C3 所得精度為五種測計方法之最差者。

5-6-7 將 C 林型及 H 林型合併為天然林林型每公頃材積在五種測計方法之變域為 252.18 - 417.94 立方公尺；以 C3 的取樣誤差 27.31% 為最大，R2 之 10.90% 為最小；固定面積圓形樣區之取樣誤差 (%) 變域為 22.98% - 27.31%，C1 及 C2 之取樣誤差均為 22.98%，C3 則為 27.31%，水平樣點取樣法，R1 為 11.18%，R2 為 10.90%，二者較固定面積之 C1，C2，C3 調查精度高出甚多。

達到取樣誤差 10% 之最少樣本數，R2 為 71 個，R1 需多調查 4 個，C1 及 C2 均需多 246 個，C3 需多調查 377 個，其所需樣本數為 R2 之 6.31 倍。

5-6-8 將 CHP 林型及 CP 林型合併為人工林每公頃材積在五種測計方法之變域為 159.05 - 173.79 立方公尺；以 R1 之取樣誤差 17.74% 最大，C3 之取樣誤差 14.53% 最小；固定面積圓形樣區之取樣誤差 (%) 變域為 14.53% - 16.82%，C1 為 16.82%，C2 為 14.99%，C3 為 14.53%，隨面積之增大精度隨之提高；水平樣點取樣法，R1 17.74% 精度雖最差，但精度僅遜 C3 3.21%；R2 15.61%，精度優於 C1。

為達到取樣誤差 10% 之最少樣本數，C3 為 169 個，C2 需多調查

11 個，C1 需多調查57個，R2 多調查26個，R1 多調查83個，其所需樣本數為 C3 之1.49倍。

5-6-9. 將C林型及CP林型合併為針葉樹林型每公頃材積在五種測計方法之變域為 232.25 - 317.38 立方公尺；以 C3 之取樣誤差 25.29%為最大，R2 之取樣誤差 10.13%為最小；固定面積之取樣誤差變域為 19.92% - 25.29%，樣區面積越大精度反降，C1 為 19.92%，C2 為 20.59%，C3 為 25.29%；水平樣點取樣法 R1 為 11.57%，R2 為 10.13%，二者均優於固定面積樣區甚多。

為達到取樣誤差 10%之最少樣本數，R2 為90個，R1 需多調查28個，C1多調查 259 個，C2 多調查 283 個，C3 多調查 473 個，其所需樣本數為 R2 之 6.26 倍。

5-6-10. 簡單逢機取樣設計所得每公頃材積在五種測計方法之變域為 200.46 - 270.02 立方公尺；以 C3 之取樣誤差 20.48%為最大，R2 之取樣誤差 10.08%為最小；固定面積之取樣誤差變域為 17.26% - 20.48%，樣區面積越大精度反降，C1 為 17.26%，C2 為 17.50%，C3 為 20.48%；水平樣點取樣法 R1 為 11.25%，R2 為 10.08%，二者均優於固定面積樣區甚多。

為達到取樣誤差 10%之最少樣本數，R2 為 142 個，R1 多調查35個，C1 多調查 275 個，C2 多調查 287 個，C3 要多調查 445 個，其所需樣本數為 R2 之 4.13 倍。

5-6-11. 四林型分層的分層逢機取樣設計所得每公頃材積在五種測計方法之變域為 234.68 - 338.16 立方公尺；以 C3 之取樣誤差 18.46%為最大，R2 取樣誤差 8.67%為最小；固定面積之取樣誤差以 C3 最大，C1 之 17.13%次之，C2 之 14.85%最小；水平樣點取樣法，R1 為 9.78%，R2 為 8.67%，二者均優於固定面積樣區甚多

爲達到取樣誤差10%之最少樣本數，R2 爲 105 個，R1 多29個，C2 多調查 203 個，C1 多調查 306 個，C3 多調查 372 個，其所需樣本數爲 R2 之4.54倍。

5-6-12 天然林、人工林二林型的分層逢機取樣設計所得每公頃材積在五種測計方法之變域爲 227.29 - 346.75 立方公尺；以 C3 之取樣誤差 23.92 %爲最大，R2 之取樣誤差9.28%最小；固定面積之取樣誤差以 C3 最大，C2 之 19.98 %次之，C1 之 19.83 %最小；水平樣點取樣法，R1 爲9.68%，R2 爲9.28%，二者均優於固定面積樣區甚多。

爲達到取樣誤差10%之最少樣本數，R2 爲 121 個，R1 多調查13個，C1 多調查 429 個，C2 多調查 438 個，C3 多調查 680 個，其所需樣本數爲 R2 之6.62倍。

5-6-13. 依針葉樹林型、針闊葉混淆林及闊葉樹林型分層的三林型分層逢機取樣設計所得每公頃材積在五種測計方法之變域爲 233.49 - 324.42 立方公尺；以 C3 之取樣誤差 18.13 %爲最大，R2 之 8.63 %爲最小；固定面積之取樣誤差以 C3最大，C1 之 16.93%次之，C2 之 14.53 %爲最小；水平樣點取樣法，R1 爲9.79%，R2 爲8.63%，二者均優於固定面積樣區甚多。

爲達到取樣誤差10%之最少樣本數，R2 爲104 個，R1 需多調查 30 個，C2 需多調查 191 個，C1 需多調查 297 個，C3 需多調查 356 個，其所需樣本數爲 R2 之4.42倍。

5-6-14. 不同取樣設計林木調查精度之比較

在固定面積樣區方面，除二林型分層之 C1，C2，C3 均遜於簡單逢機取樣設計 C1，C2，C3 而外，三林型分層及四林型分層的分層逢機取樣設計三種測計方法均較簡單逢機取樣者爲佳，C1 之取

樣誤差變域爲 16.93%—17.26%；C2 爲 14.53%—17.50%；C3 爲 18.13%—20.48%，均以三林型分層設計者精度最高，四林型分層者次之，簡單逢機取樣者精度最差；達到取樣誤差10%最少樣本數，C1 三林型者 401 個，四林型需多10個，簡單逢機者多16個；C2 者三林型者295 個，四林型需多13個，簡單逢機者多 134 個，其所需樣本數爲三林型者之 1.45倍；C3 者三林型者 460 個，四林型者多17 個，簡單逢機者多 127 個，其所需樣本數爲三林型者之 1.28倍，爲三林型 C2 樣本數之 2.02 倍。

在水平樣點取樣法方面，則三種分層逢機取樣設計法 R1，R2 林木材積調查精度均較簡單逢機取樣設計 C1，C2，C3 者爲佳，R1 之取樣誤差變域爲9.68%—11.25%，以二林型分層9.68%最佳，四林型分層9.78%次之，三林型分層9.79%再次之，簡單逢機 11.25% 最差。R2 之取樣誤差變域爲8.63%—10.08%，三林型分層8.63% 最佳，四林型分層8.67%，二林型分層9.28%，簡單逢機 10.08% 最差。達到取樣誤差10%最少樣本數，R1 二林型者 131 個，四林型者及三林型者都需多調查 3 個，簡單逢機者多46個；R2 三林型者 104 個，四林型者多 1 個，二林型多17個，簡單逢機者多38個。

5-7 林木材積調查有關時間及費用研究結果

5-7-1 CHP 林型部分

5-7-1-1 95%機率水準取樣誤差 5%之結果

達到 95%機率水準取樣誤差 5%樣本數而言，其樣區（點）測定時間依次爲 R1 的 673 人一日，C1 的 722 人一日，R2 的 982 人一日，C2 的 1465 人一日，C3 的 1746 人一日。以 R1 最佳，C1 次之，R2 再次之。

在樣區（點）間交通時間方面，以 C3 560 人一日爲最少，C2

之 576 人一日次之，再依次為 R 2 的 580 人一日，C 1 的 597 人一日，R 1 的 665 人一日。以 C 3 最佳，C 2 次之。

樣區（點）測定時間與樣區（點）間交通時間的合計值，為外業的總花費時間，則以 C 1 的 1318 人一日最佳，R 1 的 1337 人一日次之，再依次為 R 2 的 1562 人一日，C 2 的 2041 人一日，C 3 的 2306 人一日。

C 3 在林木調查精度上最佳，惟因其樣區（點）測定時間為每樣區為 141.7335 人一分，達到 5 % 之樣本數 2331，二者相乘乘積換算為人一日為 1746 人/日，導致就同樣 5 % 精度花費時間，由精度最高到實務上不可取，反由精度不理想的 C 1 取代，C 1 及 R 1 是因為樣區（點）測定時間花費的少（分別為 51.66 人一分及 38.83 人一分），致使彼等由精度排名四、五的一躍而為吾人推薦的測計方法。

5-7-1-2 95% 機率水準取樣誤差 10% 的結果

樣區（點）測定時間仍以 R 1 之 168 人一日最少，C 3 之 437 人一日最多，其多少順序同取樣誤差 5 % 情況。樣區（點）間交通時間仍以 C 3 的 280 人一日為最少，R 1 之 332 人一日為最多，其多少順序同取樣誤差 5 % 情況，二者合計時仍以 C 1 的 478 人一日為最少，R 1 的 500 人一日次之，C 3 的 716 人一日調查時間及費用最多者，最不可取。

5-7-1-3 95% 機率水準取樣誤差 20% 的結果

樣區（點）測定時間仍以 R 1 之 42 人一日為最少，C 3 的 109 人一日最多，其多少順序同取樣誤差 5 % 及 10 % 者。樣區（點）間交通時間仍以 C 3 的 139 人一日最少，R 1 的 165 人一日最多，其多少順序亦同前。二者合計時與前不同結果為 R 2 的 205 人一日排名第二，R 1 的 207 人一日排名降為第三；C 1 的 194 人一日仍為調查時間及費用

最少者。C3 的 248 人一日仍為調查時間及費用最多者，最不可取。

5-7-2 CP林型部分

5-7-2-1 95%機率水準取樣誤差 5%之結果

樣區(點)測定時間，依次為 R1 的 295 人一日，C1 的 301 人一日，R2 的 334 人一日，C2 的 456 人一日，C3 的 791 人一日。樣區(點)間交通時間依次為 C3 的 264 人一日，C2 的 280 人一日，R2 的 302 人一日，C1 的 342 人一日，R1 的 398 人一日，二者合計值依次為 R2 的 636 人一日，C1 的 643 人一日，R1 的 693 人一日，C2 的 736 人一日，C3 的 1055 人一日，以 R2 最佳，C3 最差；前調查精度以 C3 最佳，R2 第三。

5-7-2-2 95%機率水準取樣誤差 10%的結果

樣區(點)測定時間，依次為 R1 的 74 人一日，C1 的 75 人一日，R2 的 84 人一日，C2 的 114 人一日，C3 的 199 人一日。樣區(點)間交通時間依次為 C3 的 131 人一日，C2 的 139 人一日，R2 的 150 人一日，C1 的 171 人一日，R1 的 198 人一日。二者合計值依次為 R2 的 234 人一日，C1 的 246 人一日，C2 的 253 人一日，R1 的 272 人一日，C3 的 329 人一日，仍以 R2 最佳，C3 最差；與前不同者 C2 較 R1 為佳。

5-7-2-3 95%機率水準取樣誤差 20%的結果

樣區(點)測定時間，依次為 R1 的 19 人一日，C1 的 19 人一日，R2 的 21 人一日，C2 的 29 人一日，C3 的 50 人一日。樣區(點)間交通時間依次為 C3 的 65 人一日，C2 的 69 人一日，R2 的 74 人一日，C1 的 85 人一日，R1 的 99 人一日。二者合計值依次為 R2 的 96 人一日，C2 的 98 人一日，C1 的 104 人一日，C3 的 115 人一日，R1 的 117 人一日。與取樣誤差 10% 結果不同者，C2 優於 C1，C3

優於 R1 。

5-7-3 C 林型部分

5-7-3-1 95%機率水準取樣誤差 5%的結果

樣區(點)測定時間依次爲 R1 的 193 人一日, R2 的 204 人一日, C1 的 239 人一日, C2 的 845 人一日, C3 的 2432 人一日, 可看出 R2 每樣點測計時間雖爲 112.2237 人一分, 多出 C3 之 69.7056 人一分甚多, 惟因調查精度高於 C3 甚多, 故樣區測定時間有極大之差異。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 之 89.4 人一日, R1 之 115 人一日, C1 之 290 人一日, C2 之 315 人一日, C3 的 393 人一日。二者合計值依次爲 R2 的 293 人一日, R1 的 308 人一日, C1 的 529 人一日, C2 的 1160 人一日, C3 的 2825 人一日與林木材積調查精度高低順序除 C1 及 C2 對調外, 完全相同。

5-7-3-2 95%機率水準取樣誤差 10%的結果

樣區(點)測定時間依次爲 R1 的 48 人一日, R2 的 51 人一日, C1 的 60 人一日, C2 的 211 人一日, C3 的 608 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 的 44 人一日, R1 的 57 人一日, C1 的 145 人一日, C2 的 157 人一日, C3 的 196 人一日。二者合計值依次序爲 R2 的 95 人一日, R1 的 105 人一日, C1 的 205 人一日, C2 的 369 人一日, C3 的 804 人一日。與林木材積調查精度高低順序 C1 及 C2 對調外, 完全相同。

5-7-3-3 95%機率水準取樣誤差 20%的結果

樣區(點)測定時間依次爲 R1 的 12 人一日, R2 的 13 人一日, C1 的 15 人一日, C2 的 53 人一日, C3 的 152 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 的 22 人一日, R1 的 28 人一日, C1 的 72 人一日, C2 的 79 人一日, C3 的 98 人一日。與林木材積調查精度高低順序除

C1 及 C2 對調外，完全相同。

5-7-4 H 林型部分

5-7-4-1 95% 機率水準取樣誤差 5% 的結果

樣區(點)測定時間依次爲 R1 的 176 人一日，R2 的 189 人一日，C1 的 343 人一日，C2 的 510 人一日，C3 的 2095 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 的 70 人一日，R1 的 93 人一日，C2 的 136 人一日，C1 的 177 人一日，C3 的 198 人一日。二者合計值依次爲 R2 的 259 人一日，R1 的 269 人一日，C1 的 520 人一日，C2 的 640 人一日，C3 的 2293 人一日。除固定面積 C1 優於 C2 及 C3 與林木調查精度高低順序有所未符外，餘全然相符。

5-7-4-2 95% 機率水準取樣誤差 10%

樣區(點)測定時間依次爲 R1 的 44 人一日，R2 的 47 人一日，C1 的 86 人一日，C2 的 127 人一日，C3 的 525 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 的 35 人一日，R1 的 46 人一日，C2 的 68 人一日，C1 的 88 人一日，C3 的 99 人一日。二者合計值依次爲 R2 的 82 人一日，R1 的 90 人一日，C1 的 174 人一日，C2 的 195 人一日，C3 的 623 人一日。除固定面積 C1 優於 C2 及 C3 與林木調查精度高低順序有所未符外，餘全然相符。

5-7-4-3 95% 機率水準取樣誤差 20%

樣區(點)測定時間依次爲 R1 的 11 人一日，R2 的 13 人一日，C1 的 21 人一日，C2 的 32 人一日，C3 的 131 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 的 17 人一日，R1 的 23 人一日，C2 的 33 人一日，C1 的 44 人一日，C3 的 49 人一日。二者之合計值依次爲 R2 的 29 人一日，R1 的 33 人一日，C2 的 65.52 人一日，C1 的 65.70 人一日，C3 的 180 人一日。除固定面積 C1 優於 C3 與林木調查精度高低

順序有所未符外，餘全然相符。

5-7-5 簡單逢機取樣設計不同地面測計方法的內外業時間比較

5-7-5-1 95%機率水準取樣誤差10%的結果

樣區(點)測定時間依次爲 R2 之 46.45 人一日，R1 之 54.38 人一日，C1 的 99.44 人一日，C2 的 239.67 人一日，C3 的 589.54 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 之 174.75 人一日，R1 之 195.37 人一日，C1 之 300.85 人一日，C2 之 305.17 人一日，C3 之 357.20 人一日。連同內業時間 9.38 人一日的合計值依次爲 R2 之 230.58 人一日，R1 之 259.13 人一日，C1 之 409.67 人一日，C2 之 554.22 人一日，C3 之 956.12 人一日。其調查需用時間及費用的多少與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-5-2 95%機率水準取樣誤差15%的結果

樣區(點)測定時間依次爲 R2 之 20.61 人一日，R1 之 24.27 人一日，C1 之 44.12 人一日，C2 之 106.15 人一日，C3 之 262.13 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 之 115.36 人一日，R1 之 129.60 人一日，C1 之 200.33 人一日，C2 之 202.50 人一日，C3 之 237.68 人一日。連同內業時間 9.38 人一日的合計值依次爲 R2 之 145.35 人一日，R1 之 163.25 人一日，C1 之 253.83 人一日，C2 之 318.03 人一日，C3 之 509.19 人一日。其調查需用時間及費用的多少與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-5-3 95%機率水準取樣誤差20%的結果

樣區(點)測定時間依次爲 R2 之 11.78 人一日，R1 之 13.52 人一日，C1 之 24.80 人一日，C2 之 59.78 人一日，C3 之 147.64 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 之 86.15 人一日，R1 之 95.74 人一日，C1 之 149.16 人一日，C2 之 151.34 人一日，C3

之 177.84 人一日。連同內業時間9.38人一日的合計值，依次為 R2 之 107.31 人一日，R1 的 118.64 人一日，C1 之 183.34 人一日，C2 之 220.50 人一日，C3 之 334.86 人一日。其調查需用時間及費用的多少與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-6 天然林、人工林二林型分層逢機取樣設計不同地面測計方法的內外業時間比較

5-7-6-1 95%機率水準取樣誤差10%的結果

樣區(點)測定時間依次為 R2 之 39.58 人一日，R1 之 40.25 人一日，C1 之 131.16 人一日，C2 之 312.29 人一日，C3 之 80-4.47 人一日。樣區(點)間交通時間依次為 R2 之 161.11 人一日，R1 之 167.74 人一日，C1 之 345.72 人一日，C2 之 348.55 人一日，C3 之 417.45 人一日。連同內業時間 10.39 人一日之合計值，依次為 R2 之 218.08 人一日，R1 之 218.38 人一日，C1 之 487.27 人一日，C2 之 671.23 人一日，C3 之 1,232.31 人一日。其調查需用時間及費用的多少與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-6-2 95%機率水準取樣誤差15%的結果

樣區(點)測定時間依次為 R2 之 17.66 人一日，R1 之 17.82 人一日，C1 之 58.43 人一日，C2 之 138.55 人一日，C3 之 357.54 人一日。樣區(點)間交通時間依次為 R2 之 106.52 人一日，R1 之 110.53 人一日，C1 之 230.22 人一日，C2 之 231.63 人一日，C3 之 277.87 人一日。連同內業 10.39 人一日之合計值，依次為 R2 之 134.57 人一日，R1 之 138.74 人一日，C1 之 299.04 人一日，C2 之 380.57 人一日，C3 之 645.50 人一日。其調查需用時間及費用的多少與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-6-3 95%機率水準取樣誤差20%的結果

樣區(點)測定時間依次爲 R2 之9.81人一日, R1 之 10.14人一日, C1 之 32.91人一日, C2 之 78.21人一日, C3 之 200.87 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 之 78.19人一日, R1 之 82.27人一日, C1 的 172.23 人一日, C2 之 173.49 人一日, C3 的 207.81 人一日。連同內業 10.39 人一日之合計值, 依次爲 R2 之 98.39 人一日, R1 之 102.80 人一日, C1 之 215.53 人一日, C2 之 262.09 人一日, C3 之 419.07 人一日。其調查需用時間及費用的多少與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-7 依針葉樹林型、針闊葉混淆林及闊葉樹林型之三林型分層逢機取樣設計不同地面測計方法的內外業時間比較

5-7-7-1 95%機率水準取樣誤差 10%的結果

樣區(點)測定時間依次爲 R2 之 34.02人一日, R1 之 41.17 人一日, C1 之 95.63人一日, C2 之 164.81 人一日, C3 之 461.99 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 之 149.16 人一日, R1 之 169.68 人一日, C2 之 252.79 人一日, C1 之 295.00 人一日, C3 之 316.06 人一日。連同內業 11.48 人一日的合計值依次爲 R2 的 194.66 人一日, R1 的 222.33 人一日, C1 的 402.11 人一日, C2 的 429.08 人一日, C3 的 789.53 人一日。其調查需用時間及費用的多少除 C2 多於 C1 外, 與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-7-2 95%機率水準取樣誤差 15%的結果

樣區(點)測定時間依次爲 R2 之 15.05人一日, R1 之 18.43 人一日, C1 之 42.45人一日, C2 的 73.18 人一日, C3 的 204.88 人一日。樣區(點)間交通時間依次爲 R2 的 97.99人一日, R1 的

112.49 人一日，C2 的 167.74 人一日；C1 的 197.03 人一日，C3 的 209.90 人一日。連同內業 11.48 人一日的合計值依次為 R2 的 124.52 人一日，R1 的 142.40 人一日，C1 的 250.96 人一日，C2 的 252.24 人一日，C3 的 426.26 人一日。其調查需用時間及費用的多少除 C2 多於 C1 外，與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-7-3 95%機率水準取樣誤差20%的結果

樣區(點)測定時間依次為 R2 的 10.45 人一日，R1 的 8.51 人一日，C1 的 23.85 人一日，C2 的 41.34 人一日，C3 的 115.50 人一日。樣區(點)間交通時間依次為 R2 的 72.41 人一日，R1 的 83.58 人一日，C2 的 125.33 人一日，C1 的 146.21 人一日，C3 的 157.00 人一日。連同內業 11.48 人一日的合計值，依次為 R2 的 92.40 人一日，R1 的 105.51 人一日，C2 的 178.15 人一日，C1 的 181.54 人一日，C3 的 283.98 人一日。其調查需用時間及費用的多少與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-8 依 GHP 林型、CP 林型、C 林型及 H 林型之四林型分層逢機取樣設計不同地面測計方法的內外業時間比較

5-7-8-1 95%機率水準取樣誤差10%的結果

樣區(點)測定時間依次為 R2 之 34.35 人一日，R1 之 41.17 人一日，C1 的 98.01 人一日，C2 的 172.07 人一日，C3 的 479.07 人一日。樣區(點)間的交通時間依次為 R2 的 149.89 人一日，R1 的 169.68 人一日，C2 的 258.34 人一日，C1 的 298.67 人一日，C3 的 321.87 人一日。連同內業 13.77 人一日的合計值依次為 R2 之 198.01 人一日，R1 之 224.62 人一日，C1 的 410.45 人一日，C2 的 444.18 人一日，C3 的 814.71 人一日。其調查需用時間

及費用的多少，除 C2 多於 C1 外，與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-8-2 95%機率水準取樣誤差15%的結果

樣區(點)測定時間依次為 R2 的 15.37 人一日，R1 的 18.43 人一日，C1 的 43.40 人一日，C2 的 76.54 人一日，C3 的 212.92 人一日。樣區(點)間交通時間依次為 R2 的 99.09 人一日，R1 的 112.49 人一日，C2 的 171.60 人一日，C1 的 198.14 人一日，C3 的 214.02 人一日。連同內業 13.77 人一日的合計值依次為 R2 的 128.23 人一日，R1 的 144.69 人一日，C1 的 255.31 人一日，C2 的 261.91 人一日，C3 的 440.71 人一日。其調查需用時間及費用的多少，除 C2 多於 C1 外，與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-8-3 95%機率水準取樣誤差20%的結果

樣區(點)測定時間依次為 R2 之 8.51 人一日，R1 的 10.45 人一日，C1 的 24.56 人一日，C2 的 43.02 人一日，C3 的 119.52 人一日。樣區(點)間交通時間依次為 R2 的 72.41 人一日，R1 的 83.58 人一日，C2 的 127.91 人一日，C1 的 148.43 人一日，C3 的 159.75 人一日。連同內業 13.77 人一日的合計值依次為 R2 的 94.69 人一日，R1 的 107.80 人一日，C2 的 184.70 人一日，C1 的 186.76 人一日，C3 的 293.04 人一日。其調查需用時間及費用的多少，與林木材積調查精度之高低順序全然相符。

5-7-9 綜合性結果

5-7-9-1 不同林型之結果

1. CHP 林型不論取樣誤差 5%，10% 或 20%，均以 C1 測計方法調查時間及費用最少者，再次為 R1 及 R2，在取樣誤差 20% 時，

R2 優於 R1 。與林木材積調查精度結果不同。

2. CP 林型不論取樣誤差 5 %，10 %或 20 %，均以 R2 測計方法調查時間及費用最少者，在 5 %及 10 %時，C1 次佳，在 20 %時 C2 優於 C1 。與林木材積調查精度結果不同。

3. C 林型不論取樣誤差 5 %，10 %或 20 %，調查時間與費用多少與林木材積調查精度高低順序，除 C1 優於 C2 有所不同外，完全相同。均以 R2 最佳，R1 次之，C3 最差。

4. H 林型不論取樣誤差 5 %，10 %或 20 %，均以 R2 最佳，R1 次之，與林木材積調查精度結果不同者，為取樣誤差 5 %及 10 %，C1 優於 C2 及 C3 ；取樣誤差 20 %時，C1 優於 C3 。

5-7-9-2 不同取樣設計之結果

1. 簡單逢機取樣設計五種地面測計方法調查時間與費用多少，不論取樣誤差 10 %，15 %及 20 %，都與林木材積調查精度高低順序相同。以 R2 最佳，R1 次之，再依次為 C1，C2，而以 C3 最佳。

2. 天然林、人工林二林型分層逢機取樣設計時，五種地面測計方法調查時間與費用的多少，不論取樣誤差 10 %，15 %及 20 %，都與林木材積調查精度高低順序相同。以 R2 最佳，R1 次之，再依次為 C1，C2，以 C3 最差。

3. 依針葉樹林型、針闊葉混淆林及闊葉樹林型之三林型分層逢機取樣設計時，五種地面測計方法調查時間與費用的多少，在取樣誤差 20 %時，與林木材積調查精度高低順序相同；在取樣誤差 10 %及 15 %時，除 C1 優於 C2 是不同處外，餘完全相同。以 R2 最佳，R1 次之，再依次為 C1，C2，以 C3 最差。

4. 依 CHP 林型、CP 林型、C 林型及 H 林型之四林型分層逢機取樣設計時，五種地面測計方法調查時間與費用的多少，在取樣誤差 20% 時，與林木材積調查精度高低順序相同；在取樣誤差 10% 及 15% 時除 C1 優於 C2 是不同處外，餘完全相同。以 R2 最佳，R1 次之，再依次為 C1，C2，以 C3 最差。

5. 不同取樣設計時，既均以 R2 為最佳，彼等設計在取樣誤差 10%、15% 及 20% 時 R2 測計方法的調查時間及費用比較，經整理如表 77。

由表 77 看出，不同設計之分層逢機取樣設計均較簡單逢機取樣者為佳，而以三林型分層者效果最佳，其在取樣誤差 10% 時，比簡單逢機之取樣設計要節省 35.92 人一日調查時間，73.94 個費用單位；取樣誤差 15% 時，節省 20.83 人一日調查時間，43.76 個費用單位；在取樣誤差 20% 時，要節省 14.91 人一日的調查時間，31.92 個費用單位。

表77：不同取樣設計 R2 測計方法的調查時間與費用比較（面積：
4091 ha）

不同取樣設計	比較項目			調查需用時間(單位：人一日)			調查需用費用(單位：費用單位)		
	不同取樣設計	取樣誤差 (%)			取樣誤差 (%)				
		10	15	20	10	15	20		
簡單逢機取樣設計	230.58	145.35	107.31	451.78	281.32	205.24			
二林型分層逢機取樣設計	211.08	134.57	98.39	411.77	258.75	186.39			
三林型分層逢機取樣設計	194.66	124.52	92.40	377.84	237.56	173.32			
四林型分層逢機取樣設計	198.01	128.23	94.69	382.25	242.69	175.61			

5—8 調查區面積調整時有關時間及費用研究結果

設若調查區面積擴大而為一萬公頃、5萬公頃及10萬公頃，且彼等各林型情況與本調查區相同時，則調查時間之變化僅在樣區（點）間之交通時間及內業時間之比例增加而已，樣區（點）測定時間並不受影響。

5-8-1 不同林型之研究結果

5-8-1-1 CHP林型

1. 調查區面積為 1 萬公頃

在取樣誤差 5 % 時，與地區面積為 4,091 公頃者相同，以 C1 最佳依次為 R1, R2, C2，以 C3 最差。在取樣誤差為 10 % 及 20 % 時除 R2 優於 R1 有所不同外，仍以 C1 最佳，C3 最差。

2. 調查區面積為 5 萬公頃

在取樣誤差 5 % 及 10 % 時，以 C1 最佳，餘依次為 R2, R1, C2, 以 C3 為最差。在取樣誤差為 20 % 時，情況完全改變，以 R2 為最佳，餘依次為 C1, C3, C2 以 R1 最差。

3. 調查區面積為 10 萬公頃

在取樣誤差為 5 %，以 C1 為佳，依次為 R2, R1, C2，以 C3 最差；10 % 時，仍以 C1 最佳，依次為 R2, C2, C3，以 R1 最差；20 % 時，以 R2 最佳，C1 次之，R1 最差，與 5 萬公頃 20 % 之結果相同。

簡言之，除地區面積 1 萬公頃取樣誤差 5 % 時之結果與地區面積為 4,091 公頃之情況相同外，有三種改變情況。其一為 C1 最佳依次為 R2, R1, C2，以 C3 最差，此結果發生於 1 萬公頃取樣誤差 10 % 及 20 %，5 萬公頃取樣誤差 5 % 及 10 %，以及 10 萬公頃取樣誤差 5 %。其二為 R2 最佳，依次為 C1, C3, C2，以 R1 最差，此種情況發生於取樣誤差為 20 %，地區面積為 5 萬公頃及 10 萬公頃。其三為地區面積為 10 萬公頃取樣誤差 10 % 時發生，以 C1 最差，R2 次之，再次為 C2

,C3,以R1為差,為上述前二種情況之中間型。

5-8-1-2 CP 林型

1.調查區面積為1萬公頃

在取樣誤差5%時之結果與地區為4,091公頃,取樣誤差為5%及10%之結果相同,以R2最佳,C1次之,再依次為R1,C2,以C3最差。在取樣誤差為10%時之結果與地區為4,091公頃取樣誤差為20%之結果相同,以R2最佳,C2次之,再依次為C1,C3,以R1最差。在取樣誤差為20%時,以C2最佳,R2次之,再依次為C3,C1,以R1最差。

2.調查區面積為5萬公頃

取樣誤差為5%時與1萬公頃取樣誤差10%之結果相同,R2最佳,R1最差;取樣誤差10%時與1萬公頃取樣誤差20%之結果相同,C2最佳,R1最差;取樣誤差20%時,以C2最佳,再依次為C3,R2,C1,以R1最差。

3.調查區面積為10萬公頃

結果相同,均以C2最佳,R2次之,再依次為C3,C1,以R1最差。取樣誤差10%時與地區面積5萬公頃取樣誤差20%之結果相同,以C2最佳,再依次為C3,R2,C1,以R1最差。取樣誤差為20%時,則以C3最佳,依次為C2,R2,C1,仍以R1最差。

簡言之,1萬公頃取樣誤差10%與5萬公頃取樣誤差5%情況相同以R2最佳,R1最差;1萬公頃取樣誤差20%與5萬公頃取樣誤差10%以及10萬公頃取樣誤差5%結果相同,以C2最佳,R2次之,R1最差;5萬公頃取樣誤差20%與10萬公頃取樣誤差10%之結果相同,以C2最

佳，C3 次之，依次為R2,C1,以R1 最差。到10萬公頃取樣誤差20%時，C3 變為最佳，依次為C2,R2,C1,以R1 最差，與林木材積調查之精度高低順序相同。

5-8-1-3 C林型

不論地區面積為1萬公頃、5萬公頃或10萬公頃，取樣誤差為5%、10%或20%，結果都是一樣，均以R2 最佳，R1 次之，再依次為C1、C2,以C3 最差，與地區面積4,091公頃之結果相同。與林木材積調查精度高低順序相較，除C1 優於C2 有所不同外，完全相同。

5-8-1-4 H林型

不論地區面積為1萬公頃、5萬公頃或10公頃，取樣誤差5%、10%或20%，結果都是一樣，均以R2 最佳，R1 次之，再依次為C2、C1,C3 與地區4,091公頃取樣誤差20%之結果相同；與林木材積調查精度相較，除C1 優於C3 有所不同外，完全相同。

5-8-2 不同取樣設計之結果

地區面積1萬公頃時，樣區(點)間交通時間較4,091公頃時增加1.5635 倍；5萬公頃時，樣區(點)交通時間增加3.496 倍；10萬公頃時，增加4.944 倍。內業時間部分，1萬公頃時增加1 倍；5萬公頃時增加10 倍；10萬公頃時增加20 倍。

5-8-2-1 簡單逢機取樣設計

不論地區面積為1萬公頃、5萬公頃或10萬公頃，取樣誤差為10%、15%、20%，結果都是一樣，均以R2 最佳，R1 次之，再依次為C1、C2、C3，與地區4,091公頃者結果相同，與林木材積調查精度高低

順序相同。

5-8-2-2 天然林、人工林二林型分層逢機取樣設計時，五種地面測計方法調查時間與費用多少，不論地區面積為1萬公頃、5萬公頃或10萬公頃，取樣誤差為10%、15%、20%，結果都一樣，均以R2最佳，R1次之，再依次為C1, C2, C3，與地區4,091公頃者結果相同，與林木材積調查精度高低順序相同。

5-8-2-3 依針葉樹林型、針闊葉混淆林及闊葉樹林型之三林型分層逢機取樣時有二種結果。其一為地區面積1萬公頃取樣誤差10%及15%時之結果與地區面積4,091公頃取樣誤差10%及15%之結果相同；與林木材積調查精度相較，除C1優於C2有所不同外，餘完全相同。以R2最佳，R1次之，再依次為C1, C2及C3。

其二為與地區4,091公頃取樣誤差20%之結果相同，與林木材積調查精度高低順序亦相同，以R2最佳，R1次之，再依次為C2, C1及C3，發生於5萬公頃及10萬公頃的三種取樣誤差及1萬公頃20%的取樣誤差。

5-8-2-4 依CHP林型、CP林型、C林型及H林型之四林型分層逢機取樣設計時，有二種結果。其一為地區面積1萬公頃取樣誤差10%時，與地區面積4,091公頃取樣誤差10%及15%之結果相同；與林木材積調查精度相較，除C1優於C2有所不同外，餘完全相同。以R2最佳，R1次之，再依次為C1, C2及C3。

其二為與地區 4,091 公頃取樣誤差 20% 之結果相同，與林木材積調查精度高低順序亦相同，以 R2 最佳，R1 次之，再依次為 C2, C1 及 C3，發生於 5 萬公頃及 10 萬公頃的三種取樣誤差及 1 萬公頃 15% 及 20% 的取樣誤差。

5-8-2-5 不同取樣設計，既均以 R2 最佳，彼等設計在取樣誤差 10%、15% 及 20% 時，R2 測計方法的調查時間及費用比較，經整理如表 78、表 79 及表 80。表 78 為一萬公頃，表 79 為 5 萬公頃，表 80 為 10 萬公頃。

表 78: 不同取樣設計 R2 測計方法的調查時間與費用比較

(1 萬公頃)

不同取樣設計	比較項目					
	調查需用時間 (單位:人一日)			調查需用費用 (單位:費用單位)		
	取樣誤差(%)			取樣誤差(%)		
	10.	15.	20.	10.	15.	20.
簡單逢機取樣設計	338.42	229.74	165.24	658.08	420.72	311.72
二林型分層逢機取樣設計	310.24	202.96	150.82	603.74	389.18	284.90
三林型分層逢機取樣設計	285.99	187.02	140.48	557.42	359.48	266.40
四林型分層逢機取樣設計	287.46	189.06	140.48	564.94	368.14	270.98

從表 7 8 看出，不同設計之分層逢機取樣設計均較簡單逢機取樣設計者為佳。而以三林型分層者效果最佳，其在取樣誤差10%時，比簡單逢機取樣設計要節省 52.43 人一日之調查時間，100.66 個費用單位；取樣誤差15%時，要節省 42.72 人一日之調查時間，61.24 個費用單位；取樣誤差20%時，要節省 24.76 人一日之調查時間，45.32 個費用單位。

表 7 9：不同取樣設計 R 2 測計方法的調查時間與費用比較

(5 萬公頃)

不同取樣設計	比較項目					
	調查需用時間 (單位：人一日)			調查需用費用 (單位：費用單位)		
	取樣誤差(%)			取樣誤差(%)		
	10	15	20	10	15	20
簡單逢機取樣設計	751.18	517.71	406.76	1408.56	941.62	719.72
二林型分層逢機取樣設計	696.62	483.85	376.96	1309.54	884.00	670.22
三林型分層逢機取樣設計	649.28	451.42	355.46	1225.76	830.04	638.12
四林型分層逢機取樣設計	652.17	455.59	355.46	1254.44	861.28	661.02

從表 7.9 看出，不同設計之分層逢機取樣設計均較簡單逢機取樣設計者為佳。而以三林型分層者效果最佳，其在取樣誤差 10% 時，比簡單逢機取樣設計要節省 101.90 人一日之調查時間，182.80 個費用單位；取樣誤差 15% 時，節省 66.29 人一日之調查時間，111.58 個費用單位；取樣誤差 20% 時，節省 51.30 人一日之調查時間，81.6 個費用單位。

表 8.0：不同取樣設計 R2 測計方法的調查時間與費用比較

(10 萬公頃)

不同取樣設計	比較項目		調查需用時間 (單位：人一日)			調查需用費用 (單位：費用單位)		
	不同取樣誤差		取樣誤差(%)			取樣誤差(%)		
	10	15	20	10	15	20		
簡單逢機取樣設計	1098.01	778.55	625.31	2008.42	1369.50	1063.02		
二林型分層逢機取樣設計	1023.71	731.89	583.98	1880.02	1107.34	1000.56		
三林型分層逢機取樣設計	959.07	687.11	554.11	1772.52	1228.62	962.62		
四林型分層逢機取樣設計	963.01	692.87	554.11	1826.22	1285.94	1008.42		

從表 80 看出，不同設計之分層逢機取樣設計均較簡單逢機取樣設計者為佳，而以三林型分層者效果最佳，其在取樣誤差10%時，比簡單逢機取樣設計要節省 138.94 人一日之調查時間，235.90 個費用單位；取樣誤差15%時，要節省 91.44 人一日之調查時間，140.88 個費用單位；取樣誤差20%時，要節省 71.20 人一日之調查時間，100.40 個費用單位。

5-9 樣本大小對標準機差的影響

5-9-1 CHP 林型

因 CHP 林型在五種地面測計方法均僅能有32個樣區（點）材積之資料，故重複60次之樣本大小最多僅能有31個樣本數，從第四章表 4~16 看出，標準機差的變異係數（%）分別為 15.90 及 14.53，餘值在 19.10 至 27.29 間。

5-9-2 CP 林型

因 CP 林型在五種地面測計方法均有48個樣區（點）材積之資料，故重複60次之樣本大小最多僅能為47個樣本數，從第四章表 4~17 看出，標準機差的變異係數隨樣本數的增加而減少。在樣本數為30時，各地面測計方法的變異係數（%）皆在 9.19 至 11.83 之間。

5-9-3 C 林型

因 C 林型在五種地面測計方法均有40個樣區（點）材積之資料，故重複60次之樣本大小最多僅能為39個樣本數，從第四章表 4~18 看出

，標準機差的變異係數隨樣本數的增加而減少。在樣本數為30時，C1, R1及R2 的變異係數(%)分別為 14.12, 13.19 及 11.31, C2 為 26.91, C3 為 43.31。

5-9-4 H林型

因H林型在五種地面測計方法地僅有20個樣區(點)材積之資料，故重複60次之樣本大小最多僅能有19個樣本數，第四章表4~19看出，標準機差的變異係數隨樣本數的增加而減少。在樣本數為19時，標準機差的變異係數(%)除C3 為 28.63外，餘值皆在18以下，依次分別為R2 的 15.02, C2 的 16.03, C1 的 17.24 以及R2 的 17.56。

5-9-5 調查區不分林型之結果

調查區共有 140 個樣區(點)材積之資料，故重複60次之樣本大小可至 139 個樣本數，從第四章表4~20看出，標準機差的變異係數隨樣本數的增加而減少。在樣本數為30時，標準機差的變異係數(%)，R1 為 12.43, R2 為 9.53, 再增大樣本大小，變異係數雖有減少，惟減少速度減緩。C1 到樣本大小為80時，始為 14.80; C3 到90時方為 14.65之數，C2 則要到樣本數為139時，始為 16.57之數。

5-10 可靠最低估值(RME)

林型別及不同取樣設計在95%機率水準五種地面測計方法每公頃材積之可靠最低估值，在第四章已列表如表4~21及表4~22，在此不再贅述。

六、結論及討論

6-1 結論及其分析、解釋

6-1-1 樣本數固定時，人工林林木材積調查精度隨其樣區（點）株數之增加而提高，與使用固定面積樣區調查或水平樣點取樣法無關。

研究結果顯示，CHP 林型及 CP 林型林木材積調查精度均以 C3 精度最高，C2 次之，再依次為 R2, C1, R1，並不能逕行結論為人工林採用固定面積樣區調查較宜。

首先可確定的是人工林的林木胸徑級範圍在同一林分內較為均質化（homogeneous），研究結果也獲知 CHP 林型樣本胸徑之變異係數為 39.01%，CP 林型之變異係數為 30.10%，遠較 C 林型的 68.9% 及 H 林型的 73.22% 為低乃為左證；所以不等機率取樣的水平樣點 PPS 功能未能在人工林有所表現乃理所當然。

其次可確定是人工林在栽植時皆有其適當的株行距（spacing），換言之其株行距較天然林者要規整的多。再就單位面積株數分析知水平樣點樣木株數遠較 C2 及 C3 為少，如 CHP 林型之 R1 為 3.22 株，R2 為 6.13 株，C2 及 C3 則分別有 11.06 株及 21.34 株，CP 林型之 R1 為 8.42 株，R2 為 15.48 株，C2 及 C3 則分別有 30.63 株及 58.13 株。吾人認為人工林株行距規整加上 R1, R2 單位面積株數遠較 C2, C3 為少，是水平樣點取樣法遜於 C2 及 C3 的緣故所在。

再者水平樣點取樣法之原理乃為樣木選取機率與樣木直徑自乘成比例乃為定論，而 CHP 林型及 CP 林型二者在 95% 機率水準下的胸徑估值之信賴界限分別為 17.04 ~ 18.06 公分及 17.09 ~ 17.47 公分，其胸徑值仍屬桿材（poletimber），換言之，調查區人工林林分為

製材 (sawtimber) 林分，則 R₁, R₂ 單位面積 (樣點) 株數必大為增加與 C₂, C₃ 之單位面積株數間關係，未必與本研究結果相同，則材積調查精度孰優孰劣殊難定論。

衡諸人工林胸徑級範圍在同一林分內較天然林為均質化，株行距亦較為規整，以及單位面積株數分析與材積結果的佐證，吾人得以下之結論：「樣本數固定時，人工林林木材積調查精度隨其樣區 (點) 株數之增多而提高，與使用固定面積樣區調查或水平樣點取樣法無關。」

前經敘及有關 CHP 林型與 CP 林型胸徑估值的信賴界限雖相類似，惟二者每公頃材積在同一種地面測計方法之差異却有 2.3 ~ 2.6 倍之譜，這是因為單位面積株數在同一種地面測計方法之差異在 2.5 ~ 2.8 倍之譜，同時 CHP 林型又有 5 個零樣區材積的緣故。

6-1-2 樣本數固定時，天然林林木材積調查採用水平樣點取樣法所得精度遠高於固定面積樣區調查法，且固定面積樣區調查法精度亦未必因樣區面積增大為 0.05 公頃而提高。

研究結果顯示，C 林型及 H 林型林木材積調查精度均以 R₂ 精度最高，R₁ 次之，且彼等精度均遠比固定面積樣區調查者為高。C 林型樣區 (點) 材積 95 % 機率水準取樣誤差，R₂ 及 R₁ 分別為 15.56 % 及 16.59 %，C₁, C₂, C₃ 分別為 31.69 %，31.38 %，38.97 %；H 林型之 R₁ 及 R₂ 分別為 14.57 % 及 16.33 %，C₁, C₂, C₃ 則分別為 28.58 %，22.55 %，27.72 %，可以看出 R₁ 及 R₂ 二者在 C 林型及 H 林型精度差值很小，C₁, C₂ 及 C₃ 三者彼此間差值亦相當有限，不過水平樣點取樣法所得精度比起固定面積調查者，要高到二倍，却更是 C 林型及 H 林型二者一致的結果。三種固定面積樣區調查方法精度比較結果，顯示有關林木材積調查精度並未隨樣區面積增大為 0.05 公頃而提高，亦值吾人加以探討。

一般而言，天然林林分之林木胸徑級範圍自必較大，自研究獲知之結果，C林型樣木胸徑之變異係數為68.91%，H林型為73.22%，遠較CHP林型的39.01及CP林型的30.10%為高，可為佐證。在林木胸徑級異質化(heterogeneous)的林分，自不能期望等機率取樣之固定面積樣區調查方法能有理想之調查結果，地面樣區中心點乃係逢機抽選之照片樣點，樣區內株數相同或者不同是一因素，但影響樣區材積的個別胸徑值差別大時，其影響更大，再將樣區材積乘以擴大係數的每公頃材積自難免有此起彼落影響精度之虞。如此說來，等機率取樣的固定面積樣區調查法，其樣區面積在0.05公頃範圍內者，對天然林的適用性實值吾人存疑。

其次，對於林木胸徑異質化的天然林，不等機率取樣的水平樣點取樣法的PPS功能，却因其取樣機率與林木胸徑大小成比例之特質而能有淋漓盡致的發揮，使每一樣點所得樣木均有較固定面積樣區者為佳的林分代表性。自C林型及H林型樣木胸徑直方圖，可看出C林型樣木胸徑級變域比H林型要大得多，其固定面積調查精度在C2及C3二種地面測計方法都比H林型之C2及C3要低10%左右，凡此種種，皆肇因於水平樣點取樣法與固定面積樣區調查法的基本原理對胸徑級異質化林分應用上的必然結果。

固定面積樣區調查法精度未因樣區面積由0.0125公頃，0.025公頃再增大為0.05公頃而提高乙節，經查彼二林型的株數資料，C林型C1, C2, C3的單位面積株數分別為2.85, 5.35, 8.73，H林型之C1, C2, C3株數分別為7.15, 15.00, 30.00，知C1, C2, C3的單位面積株數與其樣區面積呈大致的比例關係，顯見林木材積調查精度之高低與其單位面積株數間的多寡關係不大，而是由於固定面積樣區調查法的等機率取樣原理，在胸徑級異質化林分應用上難以避免的困擾。

鑒及天然林為胸徑級範圍廣泛的林分，及水平樣點取樣法之應用與固定面積樣區調查法的基本原理在胸徑級異質化林分的適用性，本研究結果應屬合理，並得以下結論：「樣本數固定者，天然林林木材積調查採用水平樣點取樣法所得精度遠高於固定面積樣區調查法，且固定面積樣區調查法精度亦未必因樣區面積增大為 0.05 公頃而提高。」

值得一提以印證 6-1-1 敘及之「CHP 林型及 CP 林型如為製材林分， R_1, R_2 單位面積（樣點）株數必大為增加」的是，調查區 CHP 林型及 CP 林型為桿材林分，其 R_2 株數少於 C_2 ， R_1 則少於 C_1 ，H 林型情況則為 R_2 株數多於 C_2 ， R_1 多於 C_1 ，C 林型與 H 林型情況相同，這是因為 H 林型樣木胸徑均數為 31.16 公分，C 林型均數為 61.70 公分，均屬製材林分，而水平樣點取樣法之樣木選取機率既與樣木直徑成比例，其 R_1, R_2 單位面積（樣點）株數自會隨之增加的緣故。

另外，林型別五種地面測計方法每公頃材積之變異數分析所得結果，就 C 林型而言， R_2 測計方法與 C_2, C_3 測計方法每公頃材積間，均有顯著差異；H 林型而言， R_2 測計方法與 C_3 測計方法每公頃材積間，亦有顯著差異，而此等情況並未發生於 CHP 林型及 CP 林型，在此併予討論。

水平樣點取樣法樣木材積換算成一公頃材積值之係數（以下簡稱換算係數），不同于固定面積樣區調查方法之擴大係數（expansion factor）之為定值，此換算係數為畢特立希氏角度係數除以每平方公尺樣木胸高斷面積（tree basal area in square meters）的商數；畢特立希氏角度係數值， R_2 為 2，乃設定值且與立木胸徑無關，每平方公尺樣木胸高斷面積值為 $0.00007854 D_i^2$ ， D_i 為樣木胸徑；是以換算係數（conversion factor）隨樣木胸徑之增大而變

小，而C林型自其樣木胸徑分佈直方圖知有40%之樣木在胸徑中央值65公分以上，以胸徑65公分（樹高為29公尺，雲杉）為例，其樣木材積為3.77立方公尺，C2之每公頃材積為150.80立方公尺，C3為75.4立方公尺，R2為22.71立方公尺，以上數字是導自C2,C3的擴大係數分別是40及20，而R2的換算係數則僅為6.03的情況；C2及C3之材積差距當可由C3的樣區面積為C2的一倍，增多樣木株數作或多或少的增加，但R2的換算係數隨著林木胸徑值的增大，自會將其與固定面積樣區每公頃材積差距拉大，這是C林型R2測計方法與C2,C3測計方法每公頃材積間，均有顯著差異之來由。H林型僅23.3%的樣木在胸徑中央值45公分以上，胸徑45公分之換算係數為12.58與C3之擴大係數亦有差距，所以H林型R2測計方法與C3測計方法每公頃材積間的顯著差異也是同樣原因。

6—1—3純就林木調查精度而言，林分為桿材林分或疏林分情況之一者，應使用係數值為2或較小的畢特立希氏角度係數值；使用係數值為2較諸係數值為4者，在95%機率水準取樣誤差10~20%時，可以減少之樣點個數在30%左右。

研究結果獲知，CHP林型採用R2測計方法在95%機率水準下之取樣誤差較R1者低3.5%，在95%機率水準取樣誤差10%及20%下，可以減少之樣點個數在14.42~19.79%之間；CP林型R2較R1低3%，樣點個數可以減少31.67~32.35%；C林型R2較R1低1.03%，樣點個數可以減少11.11~12.24%；H林型R2較R1低1.76%，樣點個數可以減少17.39~21.43%。

就四林型胸徑估值的均數來看，CHP林型及CP林型均為胸徑小於20公分之桿材林分，C林型均數為61.70公分之製材林分，H林型為31.16公分，亦為製材林分。根據大徑木係數值宜大，小徑木係數值宜

小的通則來看，CP 及 CHP 林型 R2 精度優於 R1 的研究結果是合理的。

再以 C3 單位面積株數之均數乘以 20 所得四林型每公頃株數為例來看，得 CHP 林型為 427 株之疏林分，CP 林型為 1,163 株之密林分，C 林型為 175 株之過疏林分，H 林型為 606 株之疏林分，根據疏林分係數值宜小，密林分係數值宜大之通則來看，除 CP 林型而外，R2 精度優於 R1 的研究結果都是合理的。R2 精度優於 R1 的根本原因，乃在前者樣點樣木株數較多，有較佳的代表性使然。

綜合胸徑值及每公頃株數來看，不論疏林分或密林分，CHP 林型及 CP 林型都是桿林級小徑木，所以 CHP 林型與 CP 林型 R2 精度優於 R1 的研究結果都是合理的；C 林型及 H 林型固皆為製材級的大徑木，然皆為疏林分却是事實，所以 R2 精度優於 R1 的研究結果也都是合理的。故而大徑木或疏林分係數值宜大，小徑木或密林分係數值宜小之通則（楊榮啓 1980）僅針對林木胸徑或林分密度單因子考量，是有待商榷的。

此外，係數值為 2 之 R2 較諸係數值為 4 者，可以減少樣點個數的理論，在本研究結果也獲得證實，效果亦稱理想；本研究在 95% 機率水準取樣誤差 10~20% 時，R2 測計方法較諸 R1 測計方法可以減少的樣點個數，除 CP 減少 31.67%~32.35% 外，餘三林型減少 11.11~21.34%，是以「係數值為 2 較諸係數為 4 者，樣點個數可以減少 40% 左右」之論（楊榮啓, 1980）就本研究地區涵蓋桿材（CHP 林型、CP 林型）製材（C 林型、H 林型），疏林分（CHP 林型、H 林型、C 林型），密林分（CP 林型）之研究結果而言，40% 實嫌稍高，30% 較為允當。

基上討論，吾人得以下之結論：「純就林木調查精度而言，林分為

桿材林分或疏林分情況之一者，應使用係數值為 2 或較小的的畢特立希氏角度係數值；使用係數值為 2 較諸係數值為 4 者，在 95% 機率水準取樣誤差 10%~20%，可以減少之樣點個數在 30% 左右」。

6-1-4 不管坡度校正與否對單位面積株數及每公頃材積間之差異是否有統計上的顯著性，為確保林木材積調查的正確性，坡度校正的重要性，不應予以忽視。

研究結果獲知，固定面積樣區調查法坡度校正與否對單位面積株數及每公頃材積間差異，在四種林型及不分林型的情況均無顯著差異。

CHP 林型及 CP 林型在水平樣點取樣法時，坡度校正與否對單位面積株數及每公頃材積間差異，並不顯著；至 C 林型及 H 林型在水平樣點取樣法時，坡度校正與否對每公頃材積間無差異，但對單位面積株數間之比較，二林型在 R 1, R 2 二種測計方法都有顯著的差異。對不分林型調查區全林而言，採用 R 1 及 R 2 二種地面測計方法時，坡度校正與否的單位面積株數及每公頃材積間，均有顯著差異。

人工林與天然林在水平樣點取樣法坡度校正與否對單位面積株數間差異之研究結果不同，是肇因於人工林株行距較為規整且其胸徑級範圍較為均質化，天然林林分之林木胸徑級範圍廣泛，與水平樣點取樣法樣木之選擇機率與樣木胸徑大小成比例之事實使然，研究結果（6-1-1 及 6-1-2）亦為上述說法之佐證。

吾人認為不管每公頃材積差異在統計上分析結果上顯著與否，由於坡度未校正單位面積株數之減少及每公頃材積的低估偏差（under-estimate bias），以本省國有林事業區的坡度級分佈言，是無可避免的事實，且無法事後補救；此外，由於各樣區（點）坡度之不同，致使地面樣區大小不同，在統計上也有其負面影響，亦為不需證明的事實。何況坡度之測定僅需自樣區中心點沿上、下坡方向用 Suunto

clinometer 量測坡度，並以二者坡度的平均值作為樣區之坡度，作業既容易，所用時間絕不超過二分鐘的事，豈能容吾人漠視不作或用目測法 (eyeball measurement) 應付了事呢！極少數林業專家以林業粗放為名，倡言坡度校不校正無關緊要的說法，在理論及實務觀點均礙難苟同；當然只要獲取資訊精度符合決策者的需要，林木材積調查容許取樣誤差之設定大可調整，地面樣區的相對減少，自會縮短調查時間及節省調查經費，却是任何人都會置可的。同時 135 樣區 (點) 不分林型的材積資料及單位面積株數資料，經變異數分析，坡度校正與否在水平樣點取樣法都有其顯著差異，更值得吾人在倡議水平樣點 (或線) 取樣調查法之同時，記取坡度校正對水平樣點 (線) 取樣法的重要性，雖然 Spiegel relascop 儀器內已有自動修正坡度的內設裝置，也是事實。

6—1—5 林型別五種地面測計方法所得每公頃材積間之差異均不顯著，惟精度仍有高低差別；四種林型每公頃材積間有極顯著的差異，顯示所作四林型之分層尚稱理想。

林型別五種地面測計方法所得每公頃材積間之差異均不顯著為 Duncan 氏多變域比較法所得結果，其中 C 林型之 R2 測計方法與 C2，C3 所得者，H 林型 R2 與 C3 所得者，每公頃材積有顯著差異的原因，已於 6—1—2 處有所說明。

雖然五種地面測計方法所得每公頃材積差異並不顯著，各林型五種地面測計方法所得每公頃材積在 95 % 機率水準的取樣誤差却有所不同，尤以天然林之變域差距更大，C 林型為 15.56 %—38.97 %，H 林型為 14.57 %—28.58 %，與 CHP 林型之 30.74 %—36.12 %，CP 林型的 12.47 %—16.89 % 可知其梗概。再從設定取樣誤差的最少樣本數來看，CHP 林型 15 % 變域為 134—187，CP 林型 15 %

時為 33 — 60 ， C 林型 10 % 時為 97 — 607 ， H 林型 20 % 時為 11 — 38 。由 95 % 機率水準的取樣誤差及設定取樣誤差的最少樣本數來看，不同地面測計方法所得每公頃材積的精度還是不小，其理由在 6 — 1 — 1 及 6 — 1 — 2 也有充份的討論。

研究結果得知，測計方法別四種林型每公頃材積間都有極顯著的差異，而其中除 C1 測計方法將差異不顯著的 C 林型與 H 林型合併後新分層之精度較諸四林型分層者增加 7.28 % 效果顯著外，C3 及 R1 將差異不顯著的 C 林型與 H 林型合併後新分層之精度較諸四林型分層之精度僅增加 0.02 % ； C2 將差異不顯著的 H 林型與 CP 林型合併後之精度反而稍低； R1 測計方法將差異不顯著的 C 林型， H 林型及 CP 林型合併後之精度也是稍低。

慮及林型或因單位面積株數及材木胸徑大小等情況不同，相同測計方法間的比較導致錯誤結論，經再就各林型在其五種地面測計方法所得單位面積株數之均數最接近 20 株之測計方法代表各林型，以四種林型視作四種處理，CHP 林型為 C3，CP 林型為 C1，C 林型及 H 林型均為 R2，各該測計方法樣區（點）材積為重複，林型間每公頃材積有極顯著差異之結果仍然不變，將差異不顯著的 C 林型，CP 林型及 CHP 林型合併後之精度反稍降低；此外，依各林型 95 % 機率取樣誤差最低之測計方法代表各該林型，以四種林型視作四種處理，CHP 及 CP 林型為 C3，C 及 H 林型為 R2，樣區（點）材積為重複，所得林型間每公頃材積有極顯著之差異存在的結果仍然維持，將差異不顯著的 C 林型，CP 林型及 CHP 林型合併後之精度反稍降低。

基上分析，吾人得以下結論：「林型別五種地面測計方法所得每公頃材積間之差異均不顯著，惟精度仍有高低差別；四種林型每公頃材積間有極顯著的差異，顯示所做四林型之分層，尚稱理想。

6—1—6 就調查區各林型特性及調查設定各林型材積取樣誤差而言，樣本數固定為 140 個時，各林型配置的樣區個數，尚稱理想，且較最適分配法及比例分配法分配者更符合調查設定各林型材積調查精度。

研究結果 CHP 林型以精度最佳的設計方法 C3 為例，95% 機率水準下 32 個樣區的取樣誤差為 30.74%，5 個零材積樣區不予考慮的情況下之取樣誤差為 26.67%，均與調查設定的 15% 相去甚遠，這是因為 CHP 林型樣區（點）樣本株數在五種地面測計方法的變異係數都甚大，其變域在 88.14%—98.16% 所致，要達到 15% 取樣誤差的最少樣本數為 134 個；CP 林型以精度最佳的 C3 測計方法為例，材積取樣誤差為 12.47%，離設定之 10% 相差極為有限，要達到 10% 取樣誤差的最少樣本數為 75 個；C 林型 R2 測計方法為 15.56%；達到取樣誤差 10% 的樣本數為 97 個；H 林型 R2 測計方法為 14.57%，較設定之 20%，精度高出 5.43%，僅需 11 個樣區即可。

CHP 林型面積 140.41 公頃，CP 林型 366.30 公頃，C 林型為 438.30 公頃，H 林型為 894.70 公頃，依分層逢機取樣法之比例分配，各林型樣區數 CHP 林型 11 個，CP 林型 28 個，C 林型 33 個，H 林型 68 個。依最適分配的各林型樣區數，C1 測計方法 CHP 林型 3 個，CP 林型 15 個，C 林型 59 個，H 林型 63 個；C2 測計方法 CHP 林型 4 個，CP 林型 13 個，C 林型 70 個，H 林型 53 個；C3 測計方法 CHP 林型 3 個，CP 林型 10 個，C 林型 68 個，H 林型 59 個；R1 測計方法 CHP 林型 7 個，CP 林型 31 個，C 林型 42 個，H 林型 60 個；R2 測計方法 CHP 林型 8 個，CP 林型 31 個，C 林型 43 個，H 林型 58 個。

比例分配與最適分配在 H 林型的樣區數變域為 53—68 個，較諸

調查設定 20 % 取樣誤差僅需 11 個樣區而言，53 — 68 個樣區似無需要；CHP 林型而言，32 個樣區已嫌不足，而比例分配及最適分配樣區數變域則為 3 — 11 個樣區，更顯不足。

故就調查區林型特性及設定各林型取樣誤差而言，吾人得以下之結論：「就調查區各林型特性及調查設定各林型材積取樣誤差而言，樣本數固定為 140 個時，各林型配置的樣區個數，尚稱理想，且較最適分配法及比例分配者更符合調查設定各林型材積調查精度。

6—1—7 本區全林林木材積調查之簡單逢機取樣設計，以天然林採用水平樣點取樣 R2 測計方法及人工林採用固定面積樣區 C3 測計方法之組合方式精度最佳。

研究結果知五種地面測計方法本區全林林木材積調查之簡單逢機取樣設計，C1 測計方法在 95 % 機率水準下之取樣誤差為 17.26 %，C2 測計方法為 17.50 %，C3 測計方法為 20.48 %，R1 測計方法為 11.25 %，R2 測計方法為 10.08 %。按精度高低順序，以 R2 最佳，R1 次之，再依次為 C1，C2，C3，以 C3 精度最低。

天然林 60 個樣區（點）材積資料顯示水平樣點取樣法精度優於固定面積調查法甚多（R2 為 10.90 %，R1 為 11.18 %，C1 及 C2 均為 22.98 %，C3 為 27.31 %），人工林 80 個樣區（點）材積資料顯示固定面積樣區調查法所得林木材積調查精度僅略高於水平樣點取樣法（R2 為 15.61 %，R1 為 17.74 %，C1 為 16.82 %，C2 為 14.99 %，C3 為 14.53 %）所以就調查區全林而言，致使水平樣點取樣法之精度高於固定面積取樣法。此外天然林固定面積樣區調查法精度未因樣區面積增大為 0.05 公頃而提高之研究結果，則是 C3 測計方法調查精度在簡單逢機取樣設計法遜於 C1，C2 之原因，在 6—1—1 及 6—1—2 針對上述原因，業已討論其緣由。

鑒及 6—1—1 及 6—1—2 之討論，試就天然林採 R2 測計方法及人工林採 C3 測計方法組合方式，得知其 95% 機率水準林木材積取樣誤差為 9.76%，較上述 R2 測計方法 10.08% 之取樣誤差，精度提高 0.32%，在設定 10% 取樣誤差時，樣本數較 R2 測計方法可減少 8 個，15% 時減少 3 個，20% 時減少 2 個。吾人因依各林型設定材積調查取樣誤差逢機配置各林型樣本數得上述結果，若調查區完全逢機取樣，樣本數固定為 140 個時，天然林以其 1,333 公頃佔全區面積 72.46% 的情況下，其可能分配之樣本數必較目前僅佔 42.86% 的 60 個樣本數為多，乃可斷言，而簡單逢機取樣設計水平樣點取樣法林木材積調查精度雖必更優於固定面積樣區調查法，而天然林採 R2 測計方法及人工林採 C3 測計方法組合方式所得林木材積調查精度優於全部採用 R2 測計方法者的結果仍將維持不變，仍為必然之結果。

上述研究結果除可佐證 6—1—1 及 6—1—2 之結論外，吾人可得以下之結論為：「調查區全林林木材積調查之簡單逢機取樣設計，以天然林採用水平樣點取樣 R2 測計方法及人工林採用固定面積樣區 C3 測計方法之組合方式精度最佳」。

6—1—8 調查區全林林木材積調查精度而言，依設定林型別材積取樣誤差決定各林型樣本數時，依 CHP，CP，C 及 H 四林型分層之分層逢機取樣設計除可提供林型別材積有關資訊外，其固定面積樣區及水平樣點取樣之精度皆比簡單逢機取樣設計者為佳。

以 95% 機率水準取樣誤差 10% 的最少樣本數比較，吾人從研究結果知 C1 測計方法簡單逢機取樣設計較四林型分層者要多調查 6 個樣區，C2 測計方法要多調查 121 個樣區，C3 測計方法要多調查 110 個樣區，R1 測計方法要多調查 43 個樣點，R2 測計方法要多調查 37 個樣點。分層逢機與簡單逢機取樣設計二者都以 C3 測計方

法所得精度最差，95 %機率水準的取樣誤差為 20.48 %及 18.46 %；都以 R2 測計方法精度最佳，分別為 10.08 %及 8.67 %；R2 與 C3 測計方法精度相比，精度提高一倍。再就 95 %機率水準取樣誤差 10 %的最少樣本數予以比較，簡單逢機取樣設計 C3測計方法樣本數 587 個，R2 僅需調查 142個，少調查 445 個；分層逢機者，C3 測計方法樣本數 477 個，R2 僅需調查 105 個，少調查 372 個。

其次，依設定林型別材積取樣誤差決定之樣本數，CHP林型樣本數為 32 個，CP 林型為 48 個，C 林型為 40 個，H 林型為 20 個，與 6—1—6 級及最適分配與比例分配之樣區個數相比，截然不同，鑒及在此情況下簡單逢機取樣設計依其公式所得估值未必具代表性（W.G. Cochran, 1977），經依 J.N.K. Rao 氏（1962）求取均數變異數無偏估值（unbiased estimator of the variance of the mean）公式計算結果，C1 測計方法取樣誤差為 16.88%，較諸原本簡單逢機研究結果 17.26% 精度增加 0.38%；C2 測計方法取樣誤差為 16.25%，精度增加 1.25%；C3 測計方法取樣誤差為 19.90%，精度增加 0.58%，因引用公式限於固定面積樣區者，R1 及 R2 測計方法未能計算其精度，俾與原本之 R1 及 R2 所得精度相比，由固定面積三種測計方法來看，依簡單逢機公式計算所得估值尚稱理想。

經將四林型分層所得精度與上述結果再予比較，得知除 C1 測計方法四林型分層精度低 0.25 %外，C2 測計方法四林型分層者精度高 1.40 %；C3 測計方法四林型分層者精度要高 1.44 %。再者，分層逢機取樣設計可提供林型別材積資訊的好處，是簡單逢機取樣設計無能為力者。

基上討論分析，吾人可得以下之結論：「調查區全林林木材積調

查精度而言，依設定林型材積取樣誤差決定各林型樣本數時，依 CHP，CP，C 及 H 四林型分層之分層逢機取樣設計除可提供林型別材積有關資訊外，其固定面積樣區及水平樣點取樣之精度皆比簡單逢機取樣設計者為佳」。

6-1-9 樣本數固定為 140 時，依分層逢機取樣設計的最適分配與比例分配所得林型材積資訊未盡合宜，又其未能滿足林型別不同取樣誤差的調查設定，就調查區調查目的而言，並無其實用性。

樣本數固定時，依分層逢機取樣設計的最適分配，藉其可獲致均數變異數的最小估值，必有效提高全林林木材積調查精度，乃為吾人所認知。為了解本研究四林型分層結果與依最適分配二者間之精度差距，經依 Cochran 氏 (1977) 各層樣本偏離最適分配效應公式計算果，C1 測計方法依本研究四林型分層設計較諸最適分配者，全林林木材積變異數估值增加 107.46%；C2 測計方法者增加 90.69%；C3 測計方法增加 108.58%；R1 測計方法增加 75.46%；R2 測計方法增加 68.89%，由此可見最適分配有效提高調查區全林林木材積調查精度之程度，而依林型別取樣誤差設定來分配樣本，則似有欠理想之慮，是否如此，宜加探討。

再進一步分析，發現原設計均數變異數估值的增加，大半係導因於 H 林型的高比例面積權數，其中 C1 測計方法 H 林型佔增加均數變異數估值的 61.45%；C2 測計方法 H 林型佔 42.88%；C3 測計方法 H 林型佔 50.43%；R1 測計方法 H 林型佔 75.72%；R2 測計方法 H 林型佔 74.86% 再從 H 林型樣區（點）材積統計量分析，因固定面積樣區調查法不適用於天然林林木材積調查 (6-1-2)；C1，C3 測計方法 95% 機率水準取樣誤差為 28.58% 及 27.72%；C2 測計方法之 22.55% 略高於設定之 20%；水平樣點 R1 及

R 2 測計方法所得精度為 16.33% 及 14.57% 均高於設定之 20%，鑒此，按 H 林型高比例面積權數調整 H 林型樣本樣，在實務上實無需要，因其增加之均數變異數估值似可予以扣除不計。在扣除後，原本 C 1 測計方法較最適分配增加之全林林材積均數變異數估值為 41.42%；原本 C 2 測計方法增加 51.80%；原本 C 3 測計方法增加 54.26%；R 1 測計方法增加 18.32%，R 2 測計方法增加 17.32%，最適分配提高精度的正面效應大為降低，此其一。

標準機差的變異係數雖可自行設定，惟 10—15% 已為吾人接受的工作準則 (Hansen, Hurwitz, Madow, 1953)，再就各林型樣本數對標準機差的影響角度試予分析，最適分配在 H 林型的樣本數變域為 53—63 個樣區，比例分配為 68 個樣區，依 H 林型 95% 機率水準不同樣本大小標準機差統計值觀之，H 林型樣本數為 19 重複 60 次標準機差的變異係數除 C 3 測計方法為 28.63% 未盡理想外，C 1，C 2，R 1，R 2 分別為 17.24%，16.03%，17.56%，15.02% 與可接受的 15% 相當接近，最適分配與比例分配的 53—68 個樣本數，似無必要。C H P 林型依最適分配之樣本數變域為 3—8 個樣區，比例分配為 11 個樣區，C H P 林型樣本數為 10 重複 60 次標準機差的變異係數變域為 26.04—43.30% 之統計量觀之，最適分配與比例分配 C H P 林型樣本數，亦難為吾人所接受，此其二。

調查區林型別取樣誤差之設定，C H P 林型為 15%，C P 及 C 林型為 10%，H 林型為 20%；C H P 林型以精度最佳的 C 3 測計方法為例，95% 機率水準下 32 個樣區的取樣誤差為 30.74%，5 個零材積樣區不予考慮取樣誤差為 26.67%，均與調查設定之 15% 相去甚遠，32 個樣區已嫌不足，最適分配與比例分配的 3—11 個樣區則更不敷精度需要；H 林型以精度最佳的 R 2 測計方法為例，取

樣誤差僅為 14.57% 較諸設定之 20%，精度尚高出 5.43%，達到 20% 的最少樣本數僅需 11 個樣區即可，亦顯見最適分配與比例分配的 53—68 個樣區所引起的外業工作之無謂浪費。再者 C H P 林型 3—11 個樣區所得林木材積資訊，其代表性就統計上而言亦有未盡合宜之處。

基上分析探討，吾人可得以下之結論：「樣本數固定為 140 時，依分層逢機取樣設計的最適分配與比例分配所得林型材積資訊未盡合宜，又其未能滿足林型別不同取樣誤差的調查設定，就調查區調查目的而言，並無其實用性」。

6—1—10 鑒諸針葉樹及闊葉樹經濟價值差距及全省生產林地林型別面積之分佈等事實，全省林木材積調查在總樣本數確定並採用依林型分層之分層逢機取樣設計時，依林型經濟價值高低設定不同取樣誤差之設計，較諸最適分配及比例分配設計，將更具備提供林型別配合經濟價值不同精度需求資訊之實用性。

台灣之森林資源及土地利用(1978)敍及扣除全省竹林面積 133,000 公頃之全省生產林地面積計有 1,653,500 公頃之多。其中保安林 408,556 公頃，無蓄積林分 42,200 公頃以及幼齡林分 399,100 公頃。雖然調查區研究方法設計已將本區內保安林、非林地(無蓄積林分及竹林均在內)及未及 10 年生之產林(幼齡林分在內)除外不予調查，在此先不討論。

全省生產林地面積 1,653,500 公頃依林型別之面積分佈，針葉樹林型面積 415,200 公頃佔全部生產林地面積 25.11%，以人工針葉樹林型面積 158,600 公頃佔 9.59% 為最多，依次為雲杉、冷杉、鐵杉林型面積 106,700 公頃佔 6.45%，其他針葉樹林型 75,300 公

頃佔 4.56% 檜木林型面積 74,600 公頃佔 4.51%；針闊葉樹混淆林面積 156,400公頃佔 9.46%，由多種針葉樹與溫帶闊葉樹混生而成，例如紅檜、台灣杉、肖楠、馬尾松、樟類、櫟類、楠木類等；闊葉樹林型所佔林地面積最大，超過林地面積之一半以上，面積1,081,900 公頃佔 65.43%，其中天然闊葉樹林型面積 803,300 公頃佔48.58% 人工闊葉樹林型面積 278,600 公頃佔16.85%；闊葉樹係由熱帶闊葉樹、亞熱帶闊葉樹及溫帶闊葉樹構成，較為普遍之樹種有相思樹、赤楊、楠類、櫟類、厚殼桂、山黃麻、榕類、楓樹類等。一般而言，針葉樹林型具備台灣最有價值之森林資源，並以佔 4.51% 之檜木林型為最具經濟價值者，佔 6.45% 之冷杉、雲杉、鐵杉林型次之，而闊葉樹林型面積雖佔 65.43%，大體來說其經濟價值不如針葉樹，其樹形亦較差，以佔 48.58%的天然闊葉樹林型最差，佔16.85%的人工闊葉樹林型較佳等乃為我林業人員所認知。此外樣本數固定時，比例分配法全由面積之多寡決定林型樣本數，最適分配法則由面積多寡及林型標準誤決定林型樣本數亦為統計學上之基本原理。

就全省林木材積調查精度而言，最適分配及比例分配都可得較小的均數變異數估值而以最適分配精度最佳，其提高精度有效性於 6-1-9 已有說明；以全省生產林地為調查對象，6-1-9 敘及最適分配及比例分配所得林型材積資訊未盡合宜之情況因各林型樣本數的增加而消彌於無形，亦為可預見的事實。本節探討的是，以闊葉樹林型面積比例之高達 65.43% 而其經濟價值一般而言不如針葉樹林型更遠遜於佔 4.51%的檜木林型之事實，依最適分配及比例分配之設計，闊葉樹林型勢必較檜木林型有超倍的樣本數乃為定論，雖謂闊葉樹林型經濟價值低，但為獲取全省林木材積之高精度，則又非最適分配不足以達成，此實為左右為難之窘境；要減少闊

葉樹林型超多的樣本數，依最適分配及比例分配之原則，則總樣本數減少及針葉樹林型樣本數必相對減少，不惟全林調查精度要降低，高經濟價值針葉樹林型的調查精度亦必自然滑落而至不符決策者資訊之需求。

如是觀之，最適分配與比例分配之設計自不若依林型經濟價值高低設定不同取樣誤差決定林型別樣本數來的實際可行，究竟犧牲少許全林材積調查精度以換取高經濟價值高精度之成果較諸犧牲高經濟價值之精度以換取全林材積調查精度提高來得划算。

基上討論分析，吾人得以下之結論：「鑒諸針葉樹及闊葉樹經濟價值差距及全省生產林地林型別面積分佈等事實，全省林木材積調查在總樣本數確定並採用依林型分層之分層逢機取樣設計時，依林型經濟價值高低設定不同取樣誤差之設計，較諸最適分配及比例分配之設計，將更具備提供林型別配合經濟價值不同精度需求資訊之實用性」。

6-1-1 1 調查區全林林木材積精度而言，簡單逢機取樣設計以及依林型分層層數不同的三種分層逢機取樣設計，水平樣點取樣法的二種測計方法均優於固定面積樣區調查法的三種測計方法，精度以 R 2 測計方法最佳，R 1 測計方法次之，C 3 測計方法精度最差；在水平樣點取樣法方面，三種分層逢機取樣設計的 R 1，R 2 測計方法所得全林林木材積調查精度均優於簡單逢機取樣設計相同測計方法。

簡單逢機取樣設計水平樣點的二種測計方法所得本區全林林木材積調查精度優於固定面積樣區調查法的三種測計方法之研究結果，在 6-1-7 已說明其合理性。依林型分層層數不同的三種分層逢機取樣設計之有相同研究結果，除了 6-1-7 敘及天然林水平樣點取樣法精度優於固定面積樣區調查法甚多，人工林固定面積樣區調查法精

度僅略高於水平樣點取樣法暨天然林固定面積樣區調查法精度未因樣區增大為 0.05 公頃而提高之研究結果等均是重要因素外，天然林 C 林型面積佔 23.82% 及 H 林型面積佔 48.63%，合計佔 72.45% 的高面積比例使得天然林有較大的權數，更是水平樣點法精度更高的主因，也因為如此，三種分層逢機取樣設計之 R 1，R 2 測計方法所得林木材積調查精度均優於簡單逢機取樣設計相同測計方法。

至於三種逢機取樣設計之優劣比較，因彼此間精度差距甚小，其抉擇端視林型別材積資訊需求而定。

基此，吾人得以下之結論：「調查區全林林木材積精度而言，簡單逢機取樣設計以及依林型分層層數不同的三種分層逢機取樣設計，水平樣點取樣法的二種測計方法均優於固定面積樣區調查法的三種測計方法，精度以 R 2 測計方法最佳，R 1 測計方法次之，C 3 測計方法精度最差；在水平樣點取樣法方面，三種分層逢機取樣設計的 R 1，R 2 測計方法所得全林林木材積調查精度均優於簡單逢機取樣設計方法」。

6-1-12 調查地區面積固定時，林木材積調查精度需求愈高，地面測計方法樣區（點）平均測定時間對調查需用時間及費用多寡的影響程度愈大；隨著精度需求的降低，樣區（點）平均測定時間的影響力漸為地面測計方法林木材積調查精度所取代。

先就 C H P 林型研究結果分析，其地面測計方法的樣區（點）平均測定時間，C 1 測計方法為 51.6667 人一分，C 2 為 112.4001 人一分，C 3 為 141.7335 人一分，R 1 為 38.8333 人一分，R 2 為 74.4440 人一分，其測定時間的長短與測計方法精度高低順序就固定面積樣區調查法及水平樣點取樣法而言恰恰相同，即測定時間較長者精度較高。取樣誤差設定為 5% 及 10% 時，以 C 1 的調查時間（

費用)最少,再依次為R₁, R₂, C₂, C₃,以C₃測計方法調查時間(費用)最多,顯而易見是受樣區(點)平均測定時間影響;取樣誤差設定為20%時,R₂測計方法調查時間(費用)少於R₁測計方法是唯一的改變,表面上的原因是R₂測計方法的樣區(點)間交通時間(費用)較少所致,實則樣區(點)間交通時間(費用)的多寡在調查地區面積固定時,乃受特定取樣誤差所需最少樣本數所決定,而此最少樣本數乃係受R₁及R₂二種測計方法林木材積精度所主宰,亦即R₂測計方法精度優於R₁者才是根本原因。三種取樣誤差均以C₁之調查時間(費用)最少。

C₁P林型地面測計方法的樣區(點)平均測定時間,C₁測計方法為65.5000人一分,C₂為147.7966人一分,C₃為289.0627人一分,R₁為47.5395人一分,R₂為93.4449人一分,與C₁H₁P林型情況相同,即依固定面積樣區調查法及水平樣點取樣法別而言,測定時間較長者精度較佳。取樣誤差5%時,調查需用時間及費用的多寡與樣區(點)平均測定時間長短順序相同,即樣區(點)平均測定時間較短者,調查時間(費用)較少;取樣誤差10%時,C₂測計方法調查時間(費用)少於R₁者是唯一的改變,根本原因乃在C₂測計方法精度優於R₁者;取樣誤差20%時,C₃優於R₁以及C₂優於C₁的研究結果,則為測計方法精度高者,調查時間(費用)較少。三種取樣誤差均以R₂之調查時間(費用)最少,是因為其精度優於C₁及R₁,同時樣區(點)平均測定時間則比C₂及C₃都少的多;上述C₁H₁P林型C₁之調查時間(費用)最少,則是因為其精度優於R₁,樣區(點)平均測定時間比C₂,C₃,R₂都要少的多的關係。

C₁林型地面測計方法的樣區(點)平均測定時間,C₁測計方法

爲 12.5250人一分，C 2 爲 37.7125人一分，C 3 爲 69.7056人一分，R 1 爲 64.5647人一分，R 2 爲 112.2237人一分，以C1測定時間最短，再依次爲C 2，R 1，C 3及R 2，精度則以R 2最佳，再依次爲R 1，C 2，C 1，C 3。在5%，10%，15%三種取樣誤差時，R 2測計方法之調查時間（費用）最少，再依次爲R1 C 1，C 2，C 3；與測計方法精度比較，除C 1優於C 2外，餘全然相符，C 1優於C 2是因爲二者樣區（點）平均測定時間有極大之差異，而精度方面差異極小的緣故，在95%機率水準C 1取樣誤差爲31.69%，C 2爲31.38%。R 2樣區（點）平均測定時間遠高於C 1，C 2，C 3暨R 1樣區（點）平均測定時間遠大於C 1及C 2，都是因爲固定面積外樣木測定都必須先砍除高山箭竹才能開始作業；R 2，R 1在三種取樣誤差所以得有最少，次少的調查時間（費用）乃在水平樣點R 1及R 2所得精度超過固定面積樣區調查法C 1，C 2及C 3三種測計方法一倍以上，所以其樣區（點）平均測定時間之影響全爲調查精度之突出所淡化所致。

H林型地面測計方法的樣區（點）測定時間，C 1測計方法爲52.6500人一分，C 2爲131.8106人一分，C 3爲258.5227人一分，R 1爲96.8337人一分，R 2爲183.4029人一分，以C 1之測定時間最短，再依次爲R 1，C 2，R 2，C 3，精度則以R 2最高，再依次爲R 1，C 2，C 3，C 1；C 1精度最差測定時間最短，R 2精度最佳，測定時間次長。取樣誤差5%及10%時，調查時間（費用）以R 2最少，再依次爲R 1，C 1，C 2，C 3；C 1優於C 2及C 3之根本原因乃在其樣區（點）平均測定時間的影響高過測計方法調查精度之影響，95%機率水準C 1之取樣誤差爲28.58%，C 2爲22.55%，C 3爲27.72%；取樣誤差20%時，C 2優於

C 1 是唯一的改變，說明了樣區（點）平均測定時間之影響力已為測計方法調查精度所取代。針對上述研究結果之綜合性分析說明如下。

吾人認知大面積林木材積調查需用時間及費用，為內外業時間（費用）之合計，研究結果知室內判釋、描繪、面積計算、照片樣點選擇及定位等內業工作效果雖宏，需用時間（費）却極少，外業工作佔調查時間（費用）絕大比例。

簡而言之，外業工作時間（費用）乃為樣區（點）測定時間（費用）及樣區（點）間交通時間（費用）之合計。樣區（點）測定時間（費用）為特定精度所需最少樣本數乘以樣區（點）平均測定時間的乘積；樣區（點）間交通時間（費用）多寡在調查地區面積固定時，乃受特定精度所需最少樣本數所決定，而此最少樣本數在林型族群特性相同時，則全為測計方法調查精度所主宰。

調查精度需求愈高，隨着特定精度最少樣本數的倍數增加，樣區（點）測定時間（費用）自較樣區（點）間交通時間（費用）佔較大比重，樣區（點）平均測定時間之擴大係數效果愈彰；精度需求一經降低，因為特定精度所需最少樣本數的倍數減少，則樣區（點）間交通時間（費用）自較樣區（點）測定時間（費用）佔較大比重，在調查地區面積固定時，測計方法調查精度為唯一左右樣區（點）間交通時間之因子，因之，其影響外業工作調查時間（費用）多寡的程度愈大。

基此，吾人得以下之結論：「調查地區面積固定時，林木材積調查精度需求愈高，地面測計方法樣區（點）平均測定時間對調查需用時間及費用多寡的影響程度愈大；隨着精度需求的降低，樣區（點）平均測定時間的影響力漸為地面測計方法林木材積調查精度所取代」。

6-1-1-3 特定林型族群特性不變且設定之林木材積調查精度相同時，調查地區面積愈大，地面測計方法林木材積調查精度對調查需用時間及費用多寡影響力愈大，地面測計方法樣區(點)平均測定時間的影響力則相對愈小。

6-1-1-3-1 林型別調查需用時間及費用的結果

1. C H P 林型

95%機率水準取樣誤差5%調查地區面積在4,091公頃時，以C1調查時間(費用)最少，再依次為R1, R2, C2, C3；面積一萬公頃時上項調查時間(費用)多寡順序並未改變；面積五萬公頃及十萬公頃的結果相同，與4,091公頃及一萬公頃結果除了R2優於R1餘完全相同。取樣誤差10%時，四種調查面積均以C1調查時間(費用)最少，在4,091公頃時依調查時間(費用)遞增之順序依次為R1, R2, C2, C3；在一萬公頃及五萬公頃時依次為R2, R1, C2, C3；十萬公頃者依次為R2, C2, C3, R1。取樣誤差20%，4,091公頃與一萬公頃結果相同，依調查時間(費用)遞增之順序依次為C1, R2, R1, C2, C3；五萬公頃及十萬公頃結果相同，依次為R2, C1, C3, C2, R1。

2. C P 林型

95%機率水準取樣誤差5%調查地區面積4,091公頃時，依調查時間(費用)遞增之順序依次為R2, C1, R1, C2, C3；一萬公頃時結果相同；五萬公頃者依次為R2, C2, C1, C3, R1；十萬公頃者依次為C2, R2, C3, C1, R1。取樣誤差10%時，4,091公頃者依次為R2, C1, C2, R1, C3；一萬公頃者依次為R2, C2, C1, C3, R1；五萬公頃者依次

爲 C 2 , R 2 , C 3 , C 1 , R 1 ; 十萬公頃者依次爲 C 2 , C 3 , R 2 , C 1 , R 1 。取樣誤差 2 0 % 時 , 4 , 0 9 1 公頃者依次爲 R 2 , C 2 , C 1 , C 3 , R 1 ; 一萬公頃者依次爲 C 2 , R 2 , C 3 , C 1 , R 1 ; 五萬公頃者依次爲 C 2 , C 3 , R 2 , C 1 , R 1 ; 十萬公頃者依次爲 C 3 , C 2 , R 2 , C 1 , R 1 。

3. C 林型

9 5 % 機率水準取樣誤差 5 % , 1 0 % , 2 0 % 時 , 四種調查地區調查時間 (費用) 多寡順序完全相同 , 均以 R 2 調查時間 (費用) 最外 , 再次爲 R 1 , C 1 , C 2 , C 3 , 與五種地面測計方法精度比較 , 除 C 1 優於 C 2 有所不同外 , 餘全然相符。

4. H 林型

9 5 % 機率水準取樣誤差 5 % 及 1 0 % , 面積 4 , 0 9 1 公頃時 , 依調查時間 (費用) 遞增之順序依次爲 R 2 , R 1 , C 1 , C 2 , C 3 ; 9 5 % 機率水準取樣誤差 5 % , 1 0 % , 2 0 % 面積一萬公頃到十萬公頃的研究結果與 9 5 % 機率水準取樣誤差 2 0 % 面積 4 , 0 9 1 公頃的研究結果相同 , 依次爲 R 2 , R 1 , C 2 , C 1 , C 3 , 與各該測計方法精度高低順序全然相符。

6 - 1 - 1 3 - 2 不同取樣設計全林調查時間 (費用) 的研究結果。

1. 簡單逢機取樣設計

9 5 % 機率水準取樣誤差 1 0 % 到 2 0 % , 四種調查面積之研究結果均相同 , 依調查時間 (費用) 遞增之順序依次爲 R 2 , R 1 , C 1 , C 2 , C 3 , 與各該測計方法精度高低順序全然相符。

2. 依天然林、人工林二林型分層之分層逢機取樣設計

9 5 % 機率水準取樣誤差 1 0 % 到 2 0 % , 四種調查面積之研

究結果相同，依調查時間（費用）遞增之順序依次為 R 2，R 1，C 1，C 2，C 3，與各該測計方法精度高低順序全然相符。

3. 依針葉樹、針闊葉樹、闊葉樹三林型分層之分層逢機取樣設計

95% 機率水準取樣誤差 10%，15% 時，4,091 公頃與一萬公頃之研究結果相同，依調查時間（費用）遞增之順序依次為 R 2，R 1，C 1，C 2，C 3；取樣誤差 20%，四種調查面積之結果與取樣誤差 10%，15% 面積五萬公頃及十萬公頃之結果相同，依次為 R 2，R 1，C 2，C 1，C 3，與各該測計方法精度高低之順序全然相同。

4. 依 C_HP，C_P，C 及 H 四林型分層之分層逢機取樣設計

95% 機率水準取樣誤差 10%，15% 時 4,091 公頃的研究結果與取樣誤差 10% 面積一萬公頃的結果相同，依調查時間（費用）遞增之順序依次為 R 2，R 1，C 1，C 2，C 3；取樣誤差 20% 四種調查面積之結果與取樣誤差 10—15% 面積五萬公頃及十萬公頃暨取樣誤差 15% 面積一萬公頃的研究結果相同，依次為 R 2，R 1，C 2，C 1，C 3，與各該測計方法精度高低之順序全然相同。

6-1-13-3 分析與解釋

6-1-13-1 林型別不同測計方法之樣區（點）平均測定時間，已於 6-1-12 列出，至於 6-1-13-2 不同取樣設計不同測計方法的樣區（點）平均測定時間，為方便計算樣區（點）測定時間，依不分林型調查區全林計算結果，亦即林型別樣區（點）平均測定時間之差異不予考慮，特為說明；不同取樣設計不同測計方法的樣區（點）平均測定時間，C 1 測計方法為 45.1333 人一分，C 2 為 105.7315 人一分，C 3 為 190.0777 人一分，R 1 為 58.1457

人一分， R^2 為 61.9102 人一分。此外，調查地區面積增大之調查時間（費用）計算均基於特定林型族群特性不變之假設。

特定林型族群特性不變時，樣區（點）平均測定時間不會因調查地區面積增大而改變，而樣區（點）測定時間既為樣區（點）平均測定時間乘以特定精度所需最少樣本數的乘積，特定林型族群特性不變且設定之林木材積調查精度相同時，因為特定精度之最少樣本數及樣區（點）平均測定時間均不變的情況下，並不隨調查地區面積之增加而增大，是合理的。

特定林型族群特性不變且設定之林木材積調查精度相同時，其特定精度所需最少樣本數既然不因調查地區面積增大而增加，其對樣區間彼此距離 (mutual distance between plots) 以及樣區（點）間總距離 (total distance between plots) 之影響程度不變，故此調查地區面積由 A_j 增大為 A_i ，樣區間彼此距離增加之擴大係數值為 $\sqrt{A_i/A_j}$ ；樣區（點）間總距離之擴大係數值亦為 $\sqrt{A_i/A_j}$ ；因之，樣區（點）間交通時間（費用）在調查地區面積增大，依上述擴大係數值比例增加的計算方式也是合理的。

特定林型族群特性不變且設定之林木材積調查精度相同時，既然祇有樣區（點）間交通時間（費用）隨着調查地區面積之增加而依 $\sqrt{A_i/A_j}$ 之擴大係數之增加而增加，則樣區（點）間交通時間所佔調查時間（費用）之比重自隨調查面積擴大而加重乃為理所當然之結果；調查面積固定，特定林型族群特性不變且設定之林木材積調查精度相同時，樣區（點）間交通時間（費用）的多寡自必與不同測計方法精度所主宰亦為吾人認知，亦即測計方法精度愈高者，樣區（點）間交通時間（費用）亦少；隨着樣區（點）間交通時間（費用）對調查時間（費用）的影響力增加，當然測計方法精度隨着調查面積增大對

調查時間（費用）影響力增加則是不變的原則，6-1-13-1及6-1-13-2之研究結果的合理性，殆無置疑。

調查面積一萬公頃較諸4,091公頃而言，其擴大係數值為1.5635，五萬公頃者為3.4960，十萬公頃者為4.944。

基上分析解釋，吾人可得以下之結論：「特定林型族群特性不變且設定之林木材積調查精度相同時，調查地區面積愈大，地面測計方法林木材積調查精度對調查需用時間及費用多寡的影響力愈大，地面測計方法樣區（點）平均測定時間的影響力則相對愈小」。

6-1-14特定林型族群特性不變時，調查地區面積愈大或調查精度需求愈低，調查需用時間及費用的多寡與地面測計方法調查精高低順序吻合程度愈趨一致。

6-1-14-1 林型別調查需用時間及費用的研究結果

1. C H P 林型

95%機率水準取樣誤差5%時，隨調查地區面積的比例擴大，R1測計方法由次佳滑落為名列第三，R2由名列第三提升為次佳；取樣誤差10%時，C2及C3由遜於R1提升而為優於R1；取樣誤差20%時，C1由最佳滑落為次佳，R2由次佳提升為最佳，R1由名列第三滑落為最差，C2從次差但優於C3到次差優於R1却遜於C3，C3由最差到優於C2及R1名列第三。

95%機率水準調查地區面積固定時，隨着精度需求的降低，4,091公頃及一萬公頃R1從次佳滑落為名列第三，R2由名列第三提升為次佳；五萬公頃時，C1由最佳滑落為次佳，R2由次佳提升到最佳，R1由名列第三滑落到最差，C2由次差但優於C3到次差優於R1却遜於C3；十萬公頃時，C1由最佳滑落為次佳，R2由次佳提升到最佳，R1由名列第三到最差，C2從次差優於C3到

次差優於 R 1 却遜於 C 3，C 3 由最差提升到名列第三優於 C 2 及 R 1。

95% 機率水準隨着精度需求降低及調查地區面積的比例增大，取樣誤差 5%，面積 4,091 公頃時，C 1 最佳，依次為 R 1，R 2，C 2，C 3；取樣誤差 20%，面積十萬公頃時，R 2 最佳，依次為 C 1，C 3，C 2，R 1。地面測計方法精度以 C 3 最佳，依次為 C 2，R 2，C 1，R 1，以 R 1 精度最差。

2. CP 林型

95% 機率水準取樣誤差 5% 時，隨着調查地區面積的比例擴大，R 2 由最佳滑落為次佳，C 1 由次佳到名列第三到次差，R 1 由名列第三滑落為最差；C 2 由次差提升到次佳再提升為最佳。取樣誤差 10% 時，R 2 由最佳滑落為次佳到名列第三，C 1 由次佳滑落為名列第三到次差；C 2 由名列第三提升為次佳到最佳；R 1 由次差滑落為最差。取樣誤差 20% 時，R 2 由最佳滑落為次佳到名列第三；C 2 由次佳優於 C 3 提升為最佳到次佳遜於 C 3。

95% 機率水準調查地區面積固定時，隨著精度需求的降低，面積 4,091 公頃時，R 2 均為最佳，C 1 由次佳滑落為名列第三，R 1 由名列第三滑落為最差，C 2 由次差一再提升到次佳，C 3 由最差提升為次差。面積一萬公頃時 R 2 由最佳滑落為次佳，C 1 由次佳一再滑落為次差，R 1 由名列第三到最差，C 2 由次差一再提升為最佳，C 3 由最差一再提升為名列第三。

95% 機率水準隨着精度需求降低及調查地區面積的比例增大，取樣誤差 5%，面積 4,091 公頃時，R 2 最佳，再依次為 C 1，R 1，C 2，C 3；取樣誤差 20%，面積十萬公頃時，C 3 最佳，再依次為 C 2，R 2，C 1，R 1，與各該地面測計方法精度高低順序全然相符。

3. C 林型

95%機率水準取樣誤差5%，10%，20%時，四種調查地區調查時間（費用）多寡順序完全相同，均以R2調查時間（費用）最少，再次為R1，C1，C2，C3，與五種地面調查方法精度比較結果，除C1優於C2有所不同外，餘全然相符。

4. H 林型

95%機率水準取樣誤差5%及10%，面積4,091公頃時，依調查時間（費用）遞增之順序依次為R2，R1，C1，C2，C3；95%機率水準取樣誤差5%，10%，20%，面積一萬公頃到十萬公頃的研究結果與95%機率水準取樣誤差20%面積4,091公頃的研究結果相同，依次為R2，R1，C3，與各該測計方法精度高低順序全然相符。

6-1-14-2不同取樣設計全林調查時間（費用）的研究結果。

1. 簡單逢機取樣設計

95%機率水準取樣誤差10%到20%，四種調查面積之研究結果均相同，依調查時間（費用）遞增之順序依次為R2，R1，C1，C2，C3，與各該測計方法精度高低順序全然相符。

2. 依天然林、人工林二林型分層之分層逢機取樣設計

95%機率水準取樣誤差10%到20%，四種調查面積之研究結果相同，依調查時間（費用）遞增之順序依次為R2，R1，C1，C2，C3，與各該測計方法精度高低順序全然相符。

3. 依針葉樹、針闊葉樹、闊葉樹三林型分層之分層逢機取樣設計

95%機率水準取樣誤差10%，15%時，4,091公頃與一萬公頃之研究結果相同，依調查時間（費用）遞增之順序依次為

R 2, R 1, C 1, C 2, C 3 ; 取樣誤差 20% , 四種調查面積之結果與取樣誤差 10% , 15% , 面積五萬公頃及十萬公頃之結果相同, 依次為 R 2, R 1, C 2, C 1, C 3 , 與各該測計方法精度高低之順序全然相同。

4. 依 C H P, C P, C 及 H 四林型分層之分層逢機取樣設計

95% 機率水準取樣誤差 10% , 15% 時 4,091 公頃的研究結果與取樣誤差 10% , 面積一萬公頃的結果相同, 依調查時間(費用)遞增之順序依次為 R 2, R 1, C 1, C 2, C 3 ; 取樣誤差 20% , 四種調查面積之結果與取樣誤差 10-15% , 面積五萬公頃及十萬公頃暨取樣誤差 15% , 面積一萬公頃的研究結果相同, 依次為 R 2, R 1, C 2, C 1, C 3 , 與各該測計方法精度高低之順序全然相同。

6-1-14-3 分析與解釋

調查地區面積固定時, 隨着精度需求的降低, 地面測計方法林木材積調查精度對調查需用時間及費用多寡影響之程度愈大, 樣區(點)平均測定時間的影響力相對降低乙節, 於 6-1-12 已分析其合理性。特定林型族群特性不變且設定之林木材積調查精度相同時, 調查地區面積愈大, 地面測計方法林木材積調查精度對調查需用時間及費用多寡影響力愈大, 地面測計方法樣區(點)平均測定時間的影響力則相對愈小乙節, 於 6-1-13 已分析其合理性。

基於 6-1-12 及 6-1-13 結論之合理性, 吾人可得以下之結論: 「特定林型族群特性不變時, 調查地區面積愈大或調查精度需求愈低, 調查需用時間及費用的多寡與地面測計方法調查精度高低順序吻合程度愈趨一致。

6-2 本次研究之重要貢獻

6-2-1 對現有林木材積調查理論或技術方法上之貢獻

6-2-1-1 就不同大小樣區之相對效率 (relative efficiency) 憑以選擇樣區大小之原理，不適用於大面積林木材積調查最適樣區大小之決定。

Husch 氏等 (1972) 認為最適地面樣區之大小必須根據所需精密度及其需用調查費用綜合考量之結果作最佳之抉擇，固為不變之原理，其所採用樣區相對效率 (relative efficiency) 計算公式根據之因子僅有基準大小及作為比較用不同樣區大小的變異係數及費用 (時間) 二項，對大面積林木材積調查憑以決定最適地面樣區大小的可行性，宜予分析探討。

1. 變異係數為特定樣區大小所得林分族群每公頃材積值分散程度的估值，與標準機差同為林分族群每公頃材積變異之標準；為某樣區大小本身的調查精度，在計算達到所需精密度必須具備最小樣本數的過程中扮演重要角色，但其並非調查設定之精密度，乃為不需辯解之事實；變異係數相同時，精度提高一倍，樣本數增加四倍，調查費用 (時間) 中測定時間 (費用) 增加四倍，樣區點 (間) 交通時間增加二倍，未將容許取樣誤差 (allowable sampling error) 因子納入考慮，誠未理想。

2. 再就基準大小及作為比較用不同樣區大小的費用 (時間) 而言，其調查費用 (時間) 之計算根據究係以單位樣區或該樣區樣本數為準未見敘明，又其調查費用 (時間) 僅係指樣區測定費用 (時間) 亦或包括樣區間交通時間在內的調查費用 (時間) 也不夠明確，亦值吾人加以探討。

(1)計算根據以單位樣區為準且僅考慮樣區測定時間之情況
調查地區面積甚小時，樣區間交通時間未予考慮對調查費用
(時間)影響固然有限；前經敘明未將容許取樣誤差因子納入
考慮之情況下，樣區平均測定時間乘以變異係數平方值的乘積
大小，在大面積林木材積調查時導致錯誤結論不無可能，以CHP
林型為例，變異係數值C1為 97.43%，C2 為 89.00%，C3 為
85.23%，R1為 100.17%，R2為 90.47%，樣區(點)平均測
定時間C1為 51.6667 人一分，C2為 112.4001 人一分，C3 為
141.7335 人一分，R1 為 38.8333 人一分，R2為74.4444
人一分，依 Husch 氏公式計算，C1為 49.09 人一分，C2為
89.03 人一分，C3為102.96 人一分，R1為 38.97 人一分，
R2為 60.93 人一分，以R1之相對效率最高，再依次為 C1, R2
C2, C3 調查地區4,091公頃95%機率水準取樣誤差5-10%
時之研究結果則以 C1 之相對效率最高，再依次為 R1, R2, C2
C3, 20% 時仍以 C1 之相對效率最高，再依次為 R2, R1, C2, C3
；足見調查面積4,091公頃時，依 Husch 氏公式所得樣區效率
與考慮樣區間交通時間及特定精度樣本數之研究結查比較後其
所獲致之錯誤結論。

(2)計算根據單位樣區為準且考慮樣區間交通時間在內之情況
以CHP林型為例，95%機率水準取樣誤差5-20%時之單
位樣區調查時間資料乘以變異係數平方值的乘積，得知三種容
許取樣誤差均以R1之相對效率最高，C2次低，C3最低，在5-10%
時C1優於R2，20%時R2優於C1；再以調查地區4,091公頃95%
機率水準5-20%的研究結果與之比較，足見其忽略特定精度樣
本數之擴大係數效果所造成 C1, R2, R1 相對效率的錯誤結論。

(3)計算根據樣區樣本數為準且僅考慮樣區測定時間之情況

大面積林木材積調查之樣區間交通時間(費用)相形較大且容許取樣誤差設定值不同樣區樣本數的倍數變化，也會產生依 Husch

氏公式計算結果抉擇之最適樣區大小不是考慮所需精密度及調查費用(時間)最適樣區大小之可能，殆無置疑。

(4)計算根據樣區樣本數且考慮樣區間交通時間在內之情況

大面積林木材積調查在此情況下之結果較為合理，惟其依所需精密度及所需費用所得之最適樣區大小，也有讓人誤解其在任何容許取樣誤差值都是最理想的可能，在調查地區面積固定時，因容許取樣誤差的高低，樣區測定時間與樣區間交通時間的相對比重變化，在 6-1-12 處曾說明其對最適樣區大小抉擇之影響。

3.特定林型族群特性不變時，樣區測定時間不隨調查地區面積增大而增加在 6-1-13-3 處曾說明其合理性；調查地區面積由 4,091 公頃比例增大時，樣區間交通時間(費用)的擴大係數值，一萬公頃者為 15,635，五萬公頃者為 3.4960，十萬公頃者為 4.944，在 6-1-13-3 亦有說明。

Husch 氏等(1972)樣區效率公式未將調查地區面積因子納入考慮，對大面積林木材積調查最適樣區大小的決定，更增加其適用性的困擾。

從 6-1-12, 13, 14 結論之分析解釋，吾人得知在林分族群特性不變時，樣區的相對效率因調查精度高低或調查地區面積大小會有相當幅度之變動，對大面積林木材積調查最適樣區大

小之抉擇，自不宜應用Husch氏等(1972)僅考慮變異係數及調查費用(時間)二因子公式草率定之。

6-2-1-2 水平樣點取樣法僅依林分密度或林木胸徑大小單一因子決定畢特立希氏角度係數值大小之通則有待補正。

楊榮啓氏(1980)敘及：「老齡過熟之疏林分，應該使用較小之胸高斷面積係數值，而過密林分所用者應大。一般言之，大徑木者宜大，小徑木者宜小。」，乃為吾人一般秉持之通則。惟根據此大徑木或疏林分係數值宜大，小徑木或密林分係數值宜小之通則，就林木材積調查精度而言，與研究結果未盡相符之討論(6-1-3)顯示水平樣點取樣法僅依林分密度或林木胸徑單一因子決定畢特立希氏係數值大小之通則宜補正為「純就林木調查精度而言，林分為桿材林分或疏林分情況之一者，應使用係數值為2或較小的畢特立希氏角度係數值」以符實際情況。桿材林分定義清楚，惟有關在何種林分平均胸徑值單位面積株數多少之下限值定義為疏林分(open stands)仍有待日後相關之研究予以充實方有較清楚之定論。

6-2-1-3 不論林分胸徑級範圍廣泛與否，在相同精度時，水平樣點取樣法所需要測定之株數都比固定面積樣區者為少，但樣本數固定時水平樣點取樣法需測定之株數未必較少。

楊榮啓氏(1980)敘及包括不同齡級林木其中有多數小樹

及少數大樹之林分（呈反J型分佈），變動面積樣區取樣遠比固定面積樣區有效之理由為「(1)使測定工作集中於材積及品質權數較重之大樹。(2)就林木徑級範圍廣泛之林分而言，為達到某一定精密度所需要測定之株數可以減少」。

對於林木胸徑異質化的天然林，不等機率取樣的水平樣點取樣法的PPS功能，因其取樣機率與林木胸徑大小成比例之特質，每一樣點所得樣木均有較固定面積樣區為佳的林分代表性，自不待言；使測定工作集中於材積及品質權數較重的大樹更是水平樣點取樣法優於固定面積樣區的重要論證；此外其不需測定樣區半徑，relascop 內設的坡度修正裝置不需測定坡度，不需測定胸徑即得林分每公頃胸高斷面積值，現場作業人力不若固定面積樣區必須有三人等也都是水平樣點取樣法優於固定面積樣區調查法之所在。（F. Loetsch and K. E. Haller, 1964）。

研究結果獲知C林型胸徑級之變異係數為68.91% H林型為73.22% 遠較CHP林型的39.01%及CP林型的30.10%為高；胸徑之變域C林型為10-345公分，有40%之樣木在胸徑中央值65公分公上，H林型為10-130公分，有23.3%的樣木在胸徑中央值45公分以上，較諸人工林CHP林型10-65公分，有93.6%樣木在25公分以下以及CP林型10-45公分，有97.9%樣木在25公分以下，知調查區天然林胸徑級範圍較人工林者為廣泛。

就C林型測計方法樣區（點）樣木株數之均數來看，C1為2.85株，C2為5.35株，C3為8.73株，R1為7.73株，R2為12.95株；H林型C1為7.15株，C2為15.00株

C3爲30.30株，R1爲10.20株，R2爲17.55株，得知C林型樣本數爲40時，R2樣點測定株數多於C1，C2，C3，R1者多於C1及C2；H林型樣本數20時，R1株數多於C1，R2者多於C1及C2。反觀人工林者，除C H P林型之R2略高於C1 0.35株外，餘C1，C2，C3均比R1及R2測定株數爲多，再就林木材積調查精度相同的樣本數乘以測計方法樣區（點）樣本株數的乘積值的結果來看，則不論林分胸徑級範圍廣泛與否，在相同調查精度時，水平樣點取樣法所需要測定之株數都比固定面積樣區調查測定者爲少，但樣本數固定時水平樣點取樣法需測定之株數未必較少。

6-2-1-4 分層隨機取樣設計最適分配依據

$C = C_0 + \sum_{h=1}^L C_h n_h$ 分配各層樣本數的費用函數式，在大面積林木材積調查上未盡適用。

楊榮啓氏（1980）敘及各層樣本大小之 n_h 決定基準，主要根據變異數及費用兩項因素，由此而產生兩項原則：當取樣結果達到一定之推算精密度時，能使取樣調查費用爲少；及當取樣調查費用一定時，能使取樣結果之推算精密度達到最高。以C爲取樣調查總費用； C_0 爲固定費用，包括調查人員訓練及資料整理分析等之經常費用； C_h 爲各層調查每一取樣單位所需費用，最簡單的費用函數式爲

$$C = C_0 + \sum_{h=1}^L C_h n_h$$

依此導出各層最適樣本大小。

由上式觀之， C_0 爲固定費用，各層費用則由各該層的樣本數 n_h 與每一樣區（點）所需費用二者之乘積決定，在調查面積甚小時，因爲樣區（點）平均測定時間佔絕大之比

重，則此式之應用甚為方便且適切，在大面積林木材積調查時，因為樣區（點）間交通費用（時間）鉅增，致使樣區（點）平均測定時間的比重相對減少，而樣區（點）交通費用（時間）除因調查面積由 A_j 增至 A_i 依 $\frac{\sqrt{A_i(m^2)}}{\sqrt{A_j(m^2)}}$ 之擴大係數增加外，必須根據 $\frac{(n-1)}{\sqrt{n}}$ 總得樣區（點）間總距離，再依每人一日平均步行/車行速度換算為樣區（點）間交通費用（時間），此 n 乃為特定精度所需最少樣本數，精度需求提高一倍，樣本數增加四倍，樣區（點）間交通費用增加二倍，樣區（點）間交通費用（時間）在特定林分族群特性不變時，乃由調查面積及特定精度樣本數所主宰，其理甚明。(6-1-12,13,14; 6-2-1-1)

基上討論，在大面積林木材積調查時，分層逢機取樣設計最適分配依據 $C=C_0+\sum_{h=1}^L C_h N_h$ 分配各層樣本數的費用函數式未盡適用，得以明證。其適合之費用函數式仍待吾人日後多方研究充實或能對大面積林木材積調查提供較理想之費用函數式。有關樣區（點）調查費用（時間）的計算，依 Stellingwerf氏 (1983a) 所用之公式，林分族群特性測計方法精度、調查精度需求、調查面積、樣區（點）平均測定時間、樣區（點）測定時間、樣區（點）間交通時間均能顧及，雖則樣區（點）彼此距離及總距離之計算稍顯概化 (generalized) 或有未盡合乎特定地區實況之虞，吾人認為仍為目前最具實用價值者。

6-2-2 應用本研究結果的實用價值

6-2-2-1 不論採用何種取樣設計，地面測計方法以天然林採用水平樣點取樣法及人工林採用固定面積樣區調查法之組合方式所得精密度較諸採單一地面測計方法為佳。至於達到同樣精密度的樣區（點）調查時間（費用）視特定林分族群特性、地面測計方法精度、調查精度需求、調查面積、樣區（點）平均測定時間等因子綜合影響決定最適地面測計方法。（6-1-1，2，7）

6-2-2-2 應用航空照片、像片基本圖以及造林地圖進行室內判讀、描繪、面積計算以及各種取樣設計的照片樣點逢機選擇及定位，需用時間極為有限而效果甚佳，其作業合乎成本效益的實用性；尤以像片基本圖及造林地圖加入運用可供吾人嗣後之全省林木資源調查加以採用。（4-1-7-1）

6-2-2-3 以國內像片基本圖的齊備及其地理座標的高精度，國內大面積林木材積調查依林型為分層基礎的面積計算及照片樣點逢機抽選及定位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圖。

6-2-2-4 調查對象集中於10年以上生產林之設計，有其實用價值。

調查對象既經設定為10年生以上生產林內連皮胸徑9.5公分以上生立木，故將保安林，未及10年生之生產

林以及非林地室內判讀描繪並分別計算其面積不予調整之舉，乃所必要，並藉此舉集中力量調查僅佔44.97%的面積。林木生長量及枯死量調查雖與森林面積、材積之資訊同等重要，惟因其所需時間、經費、人力均非本研究力所能及，調查區已有實驗林完成人工林之定期平均生長量及現實生長量資訊故僅調查森林面積與材積二項。再者，將保安林，未及10年生之生產林及非林地與調查對象分開，雖增加室內判釋、描繪及面積計算之時間2.86人一日之多，惟其面積佔55.03%，依逢機抽選之理論定義，半數以上的照片樣區及地面樣區當屬無用或零材積，徒增林木材積調查結果分析之疑惑及變異係數，屆時要使調查結果清楚可用或降低其變異係數勢必抽選及調查更多樣區。本研究C H P林型32個樣區中有5個零材積樣區其與不含零材積樣區的27個樣區（點）材積的變異數分析雖經證明並無顯著差異，惟二者間調查精度及取樣誤差15%的最少樣區數在95%機率水準下之比較，含零材積者C1精度下降3.39%，要多調查56個樣區；C2精度下降3.83%，要多調查51個樣區；C3精度下降4.07%，要多調查49個樣區；R1精度下降3.27%，要多調查57個樣點；R2精度下降3.75%，要多調查50個樣點。精度下降變域為

3.27%-4.07%，要多調查樣本數變域為49-57，則其增加之外業時間不僅為樣區（點）測計時間之大量增加，亦無謂增加了樣區（點）間交通時間，以C H P林型測定時間最短之R1測計方法38.8333人一分為例，計樣區（點）測計時間增加10.26人一日，樣區（點）交通時間

增加 26.55 人一日，二者相加，扣除前述之 2.86 人一日得知因為增加 5 個零材積樣區，增加了 33.95 人一日之調查時間，70.76 個費用單位。更由此窺知花費 2.86 人一日將保安林，未及 10 年生之生產林及非林地與調查對象分開，而將照片樣點之選擇及定位以及地面樣區調查集中於佔 44.97% 的調查對象是個有其實用價值的理想設計。

未及 10 年生之生產林、保安林地之林木不論其胸徑大小均不予調查，其林地面積雖亦計算，但計算全林總材積時均不將其面積納入計算。宅地、農地、草生地、崩壞地及竹林等統籌歸為非林地 (NF) 一類，均不予列為林地面積等之隔間設計，亦方便吾人針對未來經營計畫的需要對未及 10 年生之生產林的撫育、成林進行先期作業調查；針對保安林效能的檢訂調查；針對竹林資源的調查；針對非林地的林政管理亦或造林失敗地的再造林需要調查以及造林地的選定調查等等不一而足。(3-5-1)

6-2-2-5 鑒諸針葉樹及闊葉樹經濟價值差距及全省生產林地林型別面積分布等事實，全省林木材積調查在總樣本數確定並採用依林型分層之分層逢機取樣設計時，依林型經濟價值高低設定不同取樣誤差之設計，較諸最適分配及比例分配之設計，將更具備提供林型別配合經濟價值不同精度需求資訊的實用性。(6-1-10)

6-3 本次研究結果的限制條件及適用範圍

6-3-1 地區選擇尚具本省國有林事業區的代表性調查區海拔高自 778.4 公尺至 3461.8 公尺不等，海拔

高低差達 2,683.4 公尺，僅山麓地帶有少許之緩斜地，全區山勢大部份陡急。

調查區全林及各林型與國有林事業區坡度級面積分佈百分比予以比較，得知除 C P 林型而外，調查區全林、C H P 林型、C 林型及 H 林型在 3 6 — 4 5 度（急）之坡度級面積分布百分率均較全省國有林事業區之百分率為高；就 4 6 — 5 5 度（甚急）之坡度級而言，調查區全林，C P 林型及 H 林型亦較全省國有林事業區者為高。

就林型之分佈，有 C H P 林型（人工針闊葉樹混淆林），C P 林型（人工針葉樹林型），C 林型（天然針葉樹林型）及 H 林型（天然闊葉樹林型），人工闊葉樹林型面積合計不及 1 0 公頃併入 C H P 林型一類；在樹種組成方面 C H P 林型多為柳杉（或杉木）與泡桐（或油桐或赤楊），柳杉、杉木與泡桐（或油桐或赤楊）二種；C P 林型之純林則多以杉木、柳杉、紅繪、台灣杉為主，混淆林則多為杉木與柳杉，柳杉與台灣杉二種；C 林型係以鐵杉、雲杉及紅繪為主；H 林型計有楠木類、樟類、繡櫟類及其他闊葉樹為主，楓香、相思樹次之，烏心石、木荷、牛樟則很少。就調查區之各種土地利用型言，保安林面積為 784.40 公頃，佔試區面積 19.17%，與保安林佔全省林地面積百分率之 21.91% 相近；非林地包括宅地、農地、草生地、崩壞地及竹林等，面積 963.09 公頃，佔全區 23.54%；未及 1 0 年生之生產林面積 503.80 公頃，佔 12.32%。人工針闊葉混淆林面積 140.41 公頃，佔 3.43%；人工針葉樹林型面積 366.30 公頃，佔 8.96%；天然針葉樹林型

面積 438.30 公頃，佔 10.71%；天然闊葉樹林型面積

894.70公頃，佔21.87%，與全省生產林地林型別面積分佈趨勢亦大致相同。

故就調查區之交通狀況、行政管理、海拔高、坡度、林型及樹種組成，以及全區各種土地利用型面積百分率來看，地區之選擇尚具本省國有林事業區之代表性，殆無疑義。

6-3-2 地面測計方法之選定，水平樣點取樣法畢特立希氏角度係數值 2 及 4 之選定，觀其樣點樣木株數之均數除 C 林型 R1 測計方法 3.22 株偏低，餘均合乎每一樣點平均株數 5-12 株之原則 (F. Loetsch, F. Zöhrer, K.E. Haller, 1973)；依 Spurr 氏 (1952) 建議每一樣區平均株數至少 20 株之原則來看，C1 測計方法對四林型均屬過小，但人工林部分合乎楊榮啓氏 (1980) 敘及「人工林之調查，可以選用 0.01 公頃之樣區」之規範；C2 測計方法樣區面積擴大一倍為 0.025 公頃，僅 C P 林型合乎 Spurr 氏原則；C3 測計方法樣區面積 0.05 公頃時，除 C 林型仍偏離 Spurr 氏之 20 株甚遠外，C H P，C P 及 H 三林型分別為 21.34 株，58.13 株，H 林型 30.30 株。多數 C H P 林型成林情況不佳，加之因地處迎風方位風倒木為數不少，不然 0.025 公頃樣區樣木株數 20 株應該不成問題；惟調查區人工林均為桿材林分，日後若能選定若干製材林分再行調查當可求出合乎 Spurr 氏 (1952) 20 株的樣區大小；天然林部份，H 林型在 0.025 公頃有 15.00 株，0.05 公頃者有 30.30 株，故 0.035 公頃大小應已足夠；就 C 林型而言，嗣後之研究似以 0.1, 0.125 及

0.15 公頃三種樣區大小研究調查精度、時間、費用最適樣區大小之基準，本研究設計 C 林型樣區大小的選定，未事先知曉其胸徑均數 61.70 公分而預為籌謀，誠不理想。

基上討論，除 C 林型外固定面積樣區大小及水平樣點畢特立希氏角度係數值等之選定尚屬滿意；針對研究結果人工林桿材林分似以 0.02, 0.03, 0.04 公頃為最適樣區大小研究基準，天然闊葉樹林型為 0.035, 0.04, 0.045 公頃三種，天然針葉樹老齡之疏林分林型為 0.1, 0.125, 0.15 公頃三種，水平樣點取樣法 R 1 及 R 2 二種測計方法畢特立希氏角度係數值之選定則無可議之處。

6-3-3 調查面積 4,091 公頃較諸吾人一般瞭解的大面積林木材積調查而言，調查面積誠屬過小，其所得樣區（點）間交通時間（費用）資訊，僅適用於類似面積林木材積調查之參考乃所定論；至於假設特定林型族群特性不變情況樣區（點）數仍為 140 時，而將調查面積擴大為一萬公頃、五萬公頃、十萬公頃的沙盤推演所得樣區（點）間交通時間（費用）資訊則除供類似等面積林木材積調查之參考外，兼供吾人了解調查精度高低不同，調查面積大小之不同，樣區（點）平均測定時間與地面測計方法精度的相對比重變化暨樣區（點）間交通時間（費用）與樣區（點）測定時間的相對比重變化，當可為吾人嗣後之全省林木資源調查規劃設計之參考。（3-5-1；6-1-10，12，13，14）

6-3-4 航空照片年齡及照片比例尺之限制

6-3-4-1 航空照片年齡之限制

Marshall and Meyer 氏 (1977) 綜結歐洲地區航空照片年齡超過五年者已屬過時，美國八年以內的航空照片勉可接受； Sumarsono 氏 (1968) 證明 1947 年在 Surinam 低地未經施業熱帶雨林拍攝的照片，在 1968 年用於林型繪製時仍為有用；Remeijn 氏 (1978) 認為一般情況下由於熱帶地區的遊牧耕作 (Shifting cultivation) 及其他人為活動影響，每 10 年仍需新照片。以上說明了森林樹種組成、林木材積及生長勢 (growth vigor) 會隨時間變動，集約經營時造林、伐木等施業頻繁，變動尤大。

本研究使用之航空照片為 72 年 5 月拍攝者，外業調查工作於 73 年 3 月開始，以迄同年 5 月完成，依歐洲及美國林業航空照片年齡上限標準，其航空照片年齡尚不足一年，相當理想，但就調查結果而言，C H P 林型有 5 個樣區在該一年內已被移作非林地使用，造成 C H P 林型 32 個樣區 (點) 中有 5 個零材積樣區，雖則包括零材積與否的樣區 (點) 每公頃材積間之差異在五種測計方法均不顯著，有這五個零樣區對 C H P 林型的調查精度及特定精度的樣本數却有相當的負面影響却是事實，以 95% 機率水準之取樣誤差及取樣誤差 15% 的最少樣本數為例，C 1 測計方法精度降低 3.39%，要多調查 56 個樣區，C 2 精度降 3.83%，要多調查 51 個樣區；C 3 精度降 4.07%，要多調查 49 個樣區；R 1 精度降 3.27%，要多調查 57 個樣點；R 2 精度降 3.75%，要多調查 50 個樣點。惟因判讀描繪係依 72 年 5 月航空照片為基礎，此 5 個零材積樣區

祇得照單全收，多花費樣區（點）間交通時間，却反而降低了調查精度，要得到沒有零材積樣區相同精度，又因樣本數的必須增多，從而又增加樣區（點）測定時間及樣區（點）間交通時間，對調查精度、時間、費用有百害而無一利。當然要即期航攝的航空照片却要增加飛航及軟片等費用也是事實，如何慎選使得兩者兼顧，就成為林木材積調查規劃設計的重要課題。

6-3-4-2 航空照片比例尺之限制

Remeijn 氏（1978）綜結溫帶地區森林經營通用比例尺，歐洲為 1:10,000；英語系國家為 1:15,840；粗放經營森林地區照片比例尺為 1:30,000；單株林木研判，照片比例尺宜為 1:2,500 及 1:5,000；熱帶地區林業用途同溫帶地區者，不過粗放經營森林地區勘查性偵察調查的一般林型描繪有小至 1:60,000 者。

照片比例尺愈小，每張照片的涵蓋面積愈大，描繪林型時，整體影像 (overall view) 看的較為清晰，由於需用照片張數少，飛航時間、照片沖洗、儲存的費用愈少；反之，大比例尺照片由於地面解析力 (ground resolution) 佳，判讀、描繪愈為精確，更不會漏掉小地區的小目標。就林木材積調查而言，航空照片上小於 0.25 Cm^2 林分多不予描繪，而將其併入鄰近最似林分，此 0.25 Cm^2 在照片比例尺 1:10,000 時面積為 0.25 公頃，照片比例尺 1:17,000 時為 0.43 公頃，此即所謂之最小物體大小 (smallest object size)；沿河或林道的長型植生帶寬在 2 公厘以上時予以描繪，照片比例尺 1:10,000 時

地面寬度為 20 公尺，1:17,000 時地面寬度為 34 公尺；本研究使用航空照片之比例尺為 1:17,000，故其地面最小物體大小為 0.43 公頃，寬度為 34 公尺，要作到像地面面積 0.25 公頃亦或寬度 20 公尺之精確判讀、描繪、分類則唯有照片比例尺 1:10,000 者不足以為功，這就是所謂照片比例尺的限制，非林地、保安林、未及 10 年之生產林、CHP 林型、CP 林型、C 林型及 H 林型之判讀、描繪、分類依此最小物體大小之規格為之，換言之，如 72 年 5 月航空照片的比例尺是 1:10,000 的話，則本研究結果的判讀、描繪、分類的精度會比目前之 0.43 公頃及 34 公尺為佳。

6-3-5 林木生長量與枯死量資訊至為重要，要決定適當的年伐量必須森林面積、材積及生長量的連續變化資訊均齊備才行；本研究限於時間、經費、人力及困難度僅進行森林面積及材積資訊的獲取，加以生長量及枯死量資訊實驗林早經設定 26 處生長量試驗地，已有極完整之數據可供實驗參考。

吾人嗣後之全省森林資源調查設若依本研究設計方式僅針對森林面積及材積資訊進行調查，同時獲取台灣林木資源之生長量及枯死量資訊也能每隔 5 年就全島設定之 545 個永久性樣區 (permanent plot) 作定期連續性調查，似不失節省經費、人力的二全之策；建議我林業最高決策人士在規劃設計嗣後全省林木資源調查時評估其可行性。

6-4 本次研究結果與其他已有報告之比較

6-4-1 本研究結果林地面積及林型別面積資訊係來自航空照片判釋、描繪、分類結果，參考造林地圖等資料查證無誤後，將判釋描繪結果於立體鏡下轉繪於像片基本圖上，照片判釋結果認定與造林地圖等資料不符之處，列為疑問地區，再經現場實地校對予以更正；以像片基本圖為面積計算的底圖，用面積儀測定三次的平均值為準，由於比例尺一萬分一像片基本圖平面位置誤差小於 5 公尺，面積誤差小於 2.5 平方公尺，加上像片基本圖在測製過程已消除航空照片無可或免的投影誤差 (relief

displacement)，傾斜誤差 (tilt displacement) 及比例尺不均一等缺點，面積儀測定之精度亦在游標尺讀數的小數點一位，其正確性之高可以想見，加上全區判讀、描繪、面積計算，故無利用航空照片之照片樣點判釋結果推算林型面積必有的取樣誤差存在。國內第二次全省森林資源及土地利用調查所得生產林面積為一個標準誤尺度下取樣誤差低於 3%，二者相較，本研究結果之正確性及完全沒有取樣誤差乃係藉助像片基本圖之功，國內第二次全省森林資源調查之時，像片基本圖並未開始測製，自無從運用，乃不得不依照照片樣點估計，取樣誤差自所難免。

6-4-2 水平樣點取樣法使用畢特立希氏角度係數值為 2 較諸係數值為 4 者，在 95% 機率水準取樣誤差 10-20% 時可以減少之樣點個數，C H P 林型可以減少的樣點個數在 14.42-19.79%，C H P 林型為桿材林分，為疏林；C P 林型樣點個數可以減少 31.67-32.35%，C P 林型為桿材林分，為密林分；C 林型樣點個數可以減

少 11.11-12.24% , C 林型爲製材林分爲過疏林分 ; H 林型樣點個數可以減少 17.39-21.43% , H 林型爲製材林分 , 疏林分 , 故而係數值爲 2 之 R² 較係數值爲 4 值可以減少樣點個數的理論 (楊榮啓 , 1980) 在本研究也獲得證實 , 效果亦稱理想。

本研究在 95% 機率水準取樣誤差 10-20% 時 , R² 測計方法較諸 R¹ 測計方法可以減少的樣點個數 , 除 C P 林型減少 31.67-32.35% 外 , 其餘三林型減少 11.11 - 21.34% , 是以「係數值爲 2 較諸係數爲 4 者 , 樣點個數可以減少 40% 左右」之論 (楊榮啓 , 1980) 就本研究地區涵蓋桿材林分 (C H P 及 C P 林型) 、製材林分 (C 林型、H 林型) 、疏林分 (C H P 林型、H 林型、C 林型) 、密林分 (C P 林型) 之研究結果而言 , 40% 實嫌稍高 , 30% 較爲允當。

6-4-3 本研究人工林林木材積調查精度 , 固定面積樣區調查法均以樣區面積 0.05 公頃之 C³ 測計方法所得精度最佳 , 與 Stellingwert 氏 (1979) 雲杉人工林胸徑 9.5 公分五種不同大小圓形樣區 , 分別爲 0.0125 公頃 , 0.025 公頃 , 0.0375 公頃 , 0.05 公頃 , 0.0625 公頃 , 樣本數 125 所得林木材積調查精度結果相同 , 在本研究並未設計 0.0375 公頃及 0.0625 公頃二種樣區面積。

天然林林分水平樣點取樣法 R¹ 及 R² 二種測計方法所得林木每公頃材積均數估值均低於固定面積樣區調查法三種測計方法所得林木每公頃材積均數估值的的研究結果與國

內第二次全省森林資源及土地利用調查先驅計畫竹東觀霧地區及大雪山地區面積各約 15 公頃水平樣線取樣法每公頃材積均數均低於圓形樣區每公頃材積之研究結果（廖閱郎，1974）相同，因該先驅計畫二處試驗調查對象也都是天然林，水平樣線取樣法原理與水平樣點取樣法的基本 P P S 原理相同所致；至於天然林會有上述情況亦經於 6-1-2 後段敘明。至於人工林部份研究結果並無上述情況的理由亦經 6-1-1 分析解釋。是以國內第二次森林資源及土地利用航測調查先驅計畫試驗地區僅選擇天然林為測試對象，進而根據研究結果決定以不等機率取樣的水平樣線取樣法進行林木材積調查，雖然實務上並無暇疵，惟就研究觀點而言，其試驗地區未包括人工林之設計，是有欠周延的。

6-4-4 以全省林木材積調查之大面積情況，樣區（點）交通時間（費用）必佔林木材積調查需用時間（費用）之絕大比重，可自本研究結果十萬公頃與調查區 4,091 公頃之比較得知；依 6-1-1 4 結論知特定林型族群特性不變時，調查地區面積愈大，調查需用時間及費用的多寡與地面測計方法調查精度高低順序吻合程度愈趨一致，故國內嗣後之全省森林資源及土地利用調查先驅計畫未作調查時間（費用）之比較分析在實務上並無問題，惟就研究觀點而言，二處調查地區加起來不過 30 公頃，本研究地區 4,091 公頃所得之樣區（點）間交通時間（費用）在 6-3-3 都敘及其有限的代表性；未作相同精度的調查

時間（費用）比較分析是設計上的疏忽；佔地僅30公頃的面積大小更是使調查時間（費用）比較分析除了樣區（點）平均測定時間有代表性外，其餘統計量代表性均不會理想，是以未作相同精度之調查時間（費用）分析以及調查地區僅有30公頃之設計，是不正確的。

6-4-5 特定族群特性不變且設定之林木材積調查精度相同時，調查地區面積愈大，地面測計方法樣區（點）平均測定時間的影響力愈小為本研究獲致結論（6-1-13），故國內第二次全省森林資源及土地利用調查之林木涵蓋及連皮胸徑9.5公分以下之稚木(seedling)及小桿材林木(sapling)對中、長期森林經營計畫之釐訂有其正面意義且所費時間對調查需用時間（費用）多寡之影響極其有限，兼具經營計畫調查及資源資訊調查功能，與本研究針對連皮胸徑9.5公分生立木材積調查有所不同，此乃視調查目的之不同而相迥異。台灣森林資源之連續調查針對全島設定之545個永久性樣區，已於民國68年至71年完成，每隔5年定期調查若能持之以恆，因其對稚木及小桿材林分的生長及枯死也有調查，國內嗣後之全省林木資源調查採用本研究設計在航空照片、像片基本圖、造林地圖及保安林分佈圖將保安林、未及10年生之生產林與10年生以上生產林（包括天然林）分開僅計算其面積，集中力量調查10年生以上生產林內連皮胸徑9.5公分之生立木，至於10年生以下的稚木、小桿材的每公頃生長量或材積依連續森林調查所得資訊為準的設計方式，建議我

林業最高決策人士在規劃設計嗣後全省林木資源調查時評估其可行性。(6 - 2 - 4)

6 - 4 - 6 國內第二次全省森林資源及土地利用調查，共有 3,996 個地面樣點，即每一 900 公頃或每隔 3,000 公尺選取一個地面樣點為系統取樣設計，純就取樣技術理論觀之，仍以本研究之逢機取樣設計較合乎統計分析必備的完全逢機性為佳；既為系統取樣設計，則各林型樣點之分布自必依林型面積大小成大致的比例關係，林型面積愈大者樣點數愈多，乃為必然結果，鑒諸針葉樹及闊葉樹經濟價值差距及全省生產林地林型別面積分佈等事實，雲杉、冷杉、鐵杉林型面積佔 9.59%，檜木林型面積佔 4.51%，闊葉樹林型經濟價值不高面積 65.43%，各林型樣點之分布未因林型經濟價值高低而有相對的增減在所難免，本研究依林型經濟價值之高低設定不同取樣誤差俾憑決定林型別樣本數之設計由上述說明可知較為理想，並可為國內嗣後之全省林木資源調查規劃設計之參考。(6 - 1 - 10)

6 - 5 台灣林木資源航測調查模式之初擬

6 - 5 - 1 全省林木資源航測調查，僅對森林面積及材積資訊進行調查，至生長量及枯死量資訊之獲取，則仰藉全島設定之 545 個永久樣區的定期持續調查得之。

6 - 5 - 2 使用像片基本圖供為計算森林面積及照片

樣點逢機選擇及定位的底圖，以去除應用航空照片樣點取樣 (photo-plot sampling) 的面積取樣誤差，確保地面樣區配置的逢機性，並提高森林面積資訊的正確度 (accuracy)

6-5-3 保安林地分別描繪並計算其林地面積，供為特定保安林效能檢訂專案調查作業之參考；未及10年生的生產林藉助造林地圖亦予描繪並進行面積計算，供為針對未來經營計畫需要的撫育，成林調查作業之參考。

6-5-4 竹林及林地內的草生地，崩壞地、造林失敗地、宅地、農地分別描繪並視為非林地，依需要分別計算其面積，供為特定專案調查作業參考之用，如竹林資源調查、非林地林政管理調查，造林失敗地的再造林需要調查及造林地的選定調查等不一而足。

6-5-5 材積資訊調查設定為10年生以上生產林內連皮胸徑9.5公分以上生立木，並將10年生以上生產林依林型分類（層），作為分層逢機取樣設計的次族群 (subpopulations)。

6-5-6 分層逢機取樣設計在總樣本數確定時各層樣本數之多少，應依林型經濟價值高低設定不同取樣誤差之方式決定之。

6-5-7 純就調查精度考量，天然林採用畢特立希

氏角度係數值為 2 的水平樣點取樣法，人工林採用固定面積樣區 0.05 公頃之圓形樣區為最適地面測計方法。

6-5-8 綜合調查精度、時間、費用的最適地面測計方法，依特定林型族群特性、地面測計方法精度、調查精度需求、調查面積、樣區（點）平均測定時間等因子綜合影響而定，故需要先進行設計周密翔實的先驅計畫，依 Stellingwerf 氏 (1983a) 所用公式計算才能決定之。

6-5-9 現場樣木胸徑之測定採用輪尺 (caliper)，讀數及紀錄依四捨五入至整公分方式；樹高之測定採用 Spiegel relascop，讀數及紀錄依四捨五入至整公尺方式，且僅測定 0.0125 公頃內胸徑 ≥ 9.5 公分之生立木，未測樣木之樹高依地號 / 樹種（群）別，按樹高曲線式推算得之，以減少外業調查人員的作業疲勞度，進而提高測定的正確性。

七、參考文獻

- 1 林務局 (1974) 臺灣森林及土地利用航測調查工作手冊 林務局 pp. 30—101。
- 2 林務局 (1978) 臺灣之森林資源及土地利用 林務局 pp. 1—89。
- 3 林務局 (1981) 臺灣林業 林務局 pp. 19。
- 4 林達雄 (1977) 正射像片基本圖在林業上之應用 台灣林業 3 (6) : 31—33。
- 5 林慶同 (1982) 臺灣林木資源之生長及枯死 林務局 pp. 1—2。
- 6 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 中華民國航空測量及遙感探測學會 6 : 48—52。
- 7 吳英陵 (1983) 臺灣地區大比例尺正射像片基本圖在林業應用上探討 中華民國航空測量及遙感探測學會 7 : 36。
- 8 國立臺灣大學農學院實驗林 (1974) 主要造林樹種生長紀錄 台大實驗林林業特刊 4 : 1—4。
- 9 國立臺灣大學農學院實驗林 (1977) 實驗林經營計劃 台大實驗

林林業特刊 5 : 22 - 33 。

- 10.傅安明 (1980) 臺灣地區像片基本圖航測作業的技術創新及其發展方向 中華民國航空測量及遙感探測學會 2 : 2 - 6 。
- 11.劉宣誠 (1976) 林業試研統計 林試所 pp. 39 - 84 。
- 12.楊榮啓 (1979) 當代森林調查方法之探討 台灣林業 5 (2) : 5 - 12 。
- 13.楊榮啓 (1980) 森林測計學 黎明文化事業公司 pp. 178 - 459 。
- 14.楊榮啓 (1984) 談森林資源調查 台灣林業 10 (9) : 13 - 20 。
- 15.楊寶霖 (1983) 森林調查學 台灣商務印書館 pp. 74 - 96 ; 241 - 458 。
- 16.廖大牛 (1980) 森林資源攝影測量 林務局 pp. 255 - 342 。
- 17.廖開郎 (1974) 森林資源調查上線形樣區之應用 木材產銷 6 (6) : 33 - 35
- 18.謝仁馨 (1981) 臺灣地區大比例尺像片基本圖讀圖手冊 農航所叢刊 23 : 1 - 32 。
- 19.謝仁馨 (1982) 地圖判讀 中華民國航空測量及遙感探測學會 pp. 1 - 6 。
- 20.謝仁馨 (1983) 航照判讀 中華民國航空測量及遙感探測學會 pp. 184 - 192 。

- 21.戴廣耀 (1963) 畢特立希氏胸高斷面積測定儀之原理與應用 台大實驗林研究報告 27 : 1-11。
- 22.Avery, T.E. 1977. Interpretation of Aerial Photographs 3rd Ed. Burgess Publishing Company pp. 227-235.
- 23.Born, J.D. 1971. Sampling Design Procedures Used for Forest Resources Studies by the Forest Survey Unit TFB & JCRR pp. 2F-12F.
- 24.Bowden, L.W., Pruitt E.L. 1975. Manual of Remote Sensing Volume II Interpretation and Applications American Society of Photogrammetry pp. 1353-1358.
- 25.Cochran, W.G. 1977. Sampling Techniques 3rd Ed. John Wiley & Sons, Inc. pp. 89-355.
- 26.FAO 1973. Manual of Forest Inventory with Special Reference to Mixed Tropical Forest FAO, UN pp. 36-187.
- 27.Freese, F. 1962. Elementary Forest Sampling USDA Forest Service pp. 20-60.
- 28.Frayer, W.E. 1979. Multi-level Sampling Designs for Resource Inventories CSU & Rockymountain Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service pp. 9-89.
- 29.Husch, B. 1971. Planning a Forest Inventory FAO Forestry and Forest Products Studies No. 17 pp. 1-127.
- 30.Husch B., Miller C.I., and Beers T.W. 1972. Forest Mensuration 2nd Ed. New York: The Ronald Press Co. pp. 199-291.
- 31.Ligterink, G.H. 1968. Elementary Photogrammetry for the Interpretation Course, ITC Textbook pp. 9-17.
- 32.Loetsch F. and Haller K.E. 1964. Forest Inventory Volume I BLV Verlagsgesellschaft München-Basel-Wien pp. 324-369.
- 33.Loetsch F., Zöhner F. and Haller K.E. 1973. Forest

- Inventory Volum II BLV Verlagsgesellschaft München-Basel-Wien pp. 87-409.
34. Remeijn, J.M. 1978. Photo Interpretation in Forestry, ITC Textbook 3.3-5.7.
 35. Sicco Smit, G. 1976. Measurement on Aerial Photographs for Forestry Purposes, ITC Textbook pp. 1-30.
 36. Stellingwerf, D.A. 1979. The Use of Aerial Photographs in Forest Inventory, Part I ITC Textbook pp. 1-78.
 37. Stellingwerf, D.A. 1983a. Lectures Notes on Forest Inventory given in Taipei.
 38. Stellingwerf, D.A. 1983b. Suggestion and Remarks on the National Forest Inventories of Taiwan unpublished pp. 1-11.
 39. Taiwan Provincial Agricultural and Forestry Aerial Survey Team (AFAST) 1961. Land Use and Forest Resource Aerial Survey Instruction No.5 AFAST pp.141-150.
 40. Versteegh, P.J.D. 1976. Statistics in Forestry Part II ITC Textbook pp.69-206.

Study on Optimum Design of Aerial Survey
for Timber Resources Inventory in Taiwan

Summary

Based on the cost precision studies of the pilot project and, later on, the inventory design of the Second National Forest Inventory of Taiwan, it is found that small parts of it are not deemed theoretically the most appropriate choice to be employed. Certain primary thoughts of possible improvement measures might as well be worthwhile to implement a pilot research so as to enrich the possibilities on fulfillment to the basic requirements for subsequent inventory.

The study area is situated in the Ho-she Tract of the Experimental Forest of National Taiwan University. The major parts of Compartment 30, 32-34 are comprised in the study area. With elevations ranging from 778.4 meters up to 3461.8 meters and a total area of 4,091ha., the accessibility, slope, forest types and relevant species composition, and other land-use types of the study area make itself a quite minisketch of our National Forest. The aerial photographs, orthophoto basemaps, volume tables and other documentations as well as instrument and equipment required for indoor and outdoor work are all available which make the small-scale inventory work possible.

The in-office work of the area estimation, random selection of photo points and sampling designs are all implemented on the orthophoto basemaps with the aid of

aerial photographs and other available documentations.; Both the simple random sampling and forest-type oriented stratified random sampling are the two major designs applied in this experiment.; The prick points of the selected photo points are used as the center or point of ground plots for field enumeration.; For a fixed total size of sample, the 140 observations are allocated to the strata according to the degree of precision desired for the particular strata, i.e. 32 for conifer-hardwood plantation, 48 for conifer plantation, 20 for natural hardwood forest, 40 for natural conifer forest.; Three forms of circular plot sampling, i.e. 0.0125ha, 0.0250ha and 0.0500ha, and two forms of horizontal point sampling, i.e. BAF4 and BAF2, are enumerated with the common center or point in every 140 observations.; For the sake of simplification in field work, the breast height diameter of each sample tree is counted only once and the height measurement are restricted to the sample trees within the 0.0125ha circular plot. The wanted height of all other sample trees is then obtained after the relationship between the breast height diameter and the tree height has been established from the data of the selected sample trees through the tree height equation: $H = 1.3 + aD^b$ (F. Loetsch et al [1973], Y.C. Yang [1980]).; In commensuration with the later cost precision studies, the actual time spent in each working phase of the inventory is carefully and exactly recorded.

The results of this experiment are summarized in the following conclusions:

1. For fixed sample size in artificial plantation, the horizontal point sampling is not more efficient than the circular plot sampling for precision concerned. Furthermore, precision themselves are much more influenced by the average number of trees per plot or point.
2. For fixed sample size, precision studies have shown that the horizontal point sampling is more efficient than those of circular plot sampling. Also, the circular plot with a plot size of 0.05ha does not guarantee any higher precision than those of smaller ones for fixed sample size.
3. For horizontal point sampling concerned, the optimum basal area factor is 2 in open stands or pole-timber stands.; With 10-20% sampling error at 0.95 probability level, the sample size of BAF 2 is 30% less than that of BAF 4.
4. Based on the characteristics of the test area on which information with a certain precision for the particular strata, the allocation of the observations to the strata is deemed adequate for a fixed total size of sample 140. And, for the degree of precision desired for the particular strata concerned, this kind of allocation is more suitable than optimum allocation and proportional allocation.
5. For simple random sampling concerned, the optimum results could be expected with a combination of horizontal point sampling and circular plot sampling, i.e. with horizontal point sampling, with BAF2, to natural forest and circular plot sampling, with 0.05

- ha plot size, to artificial plantation.
6. Compared with simple random sampling, the 4-stratum stratification produce a gain in precision in the estimates of timber volume of the test area whether the horizontal point sampling or circular plot sampling is adopted. Besides, it provides separate estimates of the mean and variance of each stratum.
 7. For a sample of size 140, the separate information of each stratum that could be obtained through optimum allocation and proportional allocation is not appropriate.; Based on the primary objectives, a separate estimates with certain precision for particular strata, of this experiment, the practicality of the two forms of stratified random sampling is not justified.
 8. For precision concerned, the two forms of horizontal point sampling are superior to three kinds of circular plot sampling whatever the simple random sampling design or stratified random sampling design might be.; Among the sampling designs, the horizontal point sampling of BAF2 is the best, horizontal point sampling of BAF4 comes next and circular plot sampling of 0.05ha be the worst.; Compared with the simple random sampling, three forms of stratified random sampling gain in precision in corresponding form of horizontal point sampling respectively.
 9. For a fixed area of timber resources inventory, the total inventory cost is much more influenced by the average enumeration time per plot or point with an increasing demand for precision. On the other hand,

the influence of the precision obtained through field enumeration methods has an increasing impact with a decreasing demand for precision.

10. For specific population on which information with a certain precision is required, the precision obtained through field enumeration methods has an increasing influence on the total inventory cost with enlarging the areas to be inventoried while the effect of the average enumeration time per plot or point is decreasing inversely.
11. For specific population concerned, the degree of coincidence between the inventory cost required and precision obtained through field enumeration methods is better at the time that the area to be inventoried enlarged or the demand for precision increased.

Comparing with the results of former researchers, the results and conclusions pertaining to the study area is likely to be reasonable. The practicability of this methodology or approach to be applied to the National Forest Inventory of Taiwan is not fully justified before required replenishment and enhancement could be implemented in the later stages.

附錄一、名詞釋義

1. 森林

以具森林覆蓋且土地面積 0.43 公頃以上且其林木樹冠覆蓋林地面積在 20% 以上者或路邊、溪邊之林帶寬度大於 34 公尺且其林木樹冠覆蓋林帶面積在 20% 以上者。(竹林除外)

2. 非林地

舉凡宅地、農地、草生地、崩壞地、竹林、森林火災後未及造林之土地、造林不成功地以及尚未造林的砍伐跡地等未被覆森林之土地，或地面雖為林木樹冠所覆蓋，惟覆蓋部份不足 20%，且其面積在 0.43 公頃以上或其林帶寬度在 34 公尺以下者均視為非林地，他如合乎森林定義，惟其面積小於 0.43 公頃或其林帶寬度較 34 公尺為窄，而四周為非林地所環繞者，亦視為非林地。定義要旨在減少零材積樣區（增大變異係數）的發生機會，方便航照判釋作業，也同時減少達到特定精度所需之地面樣區數。

全區航照判釋均以拍攝航高照片時間 72 年 5 月 6 日為準。

3. 林地

凡地面至少 20% 為林木樹冠所覆蓋且其面積 0.43 公頃以上者，或路邊、溪邊之林帶寬度 34 公尺以上且其林木樹冠覆蓋林帶面積在 20% 以上者。(竹林除外)

凡非林地面積小於 0.43 公頃，或寬度窄於 34 公尺，但其四周為森林所包圍者亦稱為林地。由森林、林地、非林地之定義，可知最小描繪面積之訂定是需要充分設計，將其訂為 1 公頃或林帶寬度訂為 100 公尺時，調查區非林地，林地面積絕不會與訂為 0.43 公頃或林帶寬度 34 公尺所得數字相同，當然其訂定受限於照片比例尺，一般通則是航空照片上面積

0.25Cm²，寬度2公厘為標準，設若調查區有一萬分一的航空照片，則最小描繪面積為0.25公頃，林帶寬度為20公尺，則將較本研究設定者更能減少零材積樣區（增大變異係數）發生的機會，不過不考慮照片比例尺盲目訂定較小的最小描繪面積（size of the minimum unit area），除了判讀費時，費工外，還會導致判讀，描繪的誤差。

4. 生產林與保安林

保安林有其特殊施業規定，其伐採與否或伐採量與其蓄積量多寡完全沒有關係，故除保安林以外的林地只要面積0.43公頃以上或寬度34公尺以上者均稱為生產林。換言之，雖非生產林，但其面積小於0.43公頃或寬度窄於34公尺，且四周為生產林所圍繞者，亦視為生產林；同樣生產林面積在0.43公頃以下或寬度窄於34公尺且四周為非生產林所圍繞者，不視為生產林。

未及10年生及10年生以上，則依造林地圖及造林台帳為準加以判釋，描繪再行轉繪於像片基本圖上。

5. 天然林與人工林

10年生以上的生產林包括天然林與人工林，依造林地圖等資料，區分甚易，符合下述情況之一者為天然林，反之為人工林。

(1)天然林面積0.43公頃以上或其寬度34公尺以上者。

(2)人工林面積不足0.43公頃或其寬度窄於34公尺且為天然林所圍繞者。

6. 針葉樹林型、針闊葉混淆林及闊葉樹林型（均為10年生以上的生產林）

凡針葉樹佔總立木材積或林木株數80%以上者，為針葉林林型（以下簡稱針葉林），符合下述情況之一者為針葉林：

(1)針葉林面積 0.43 公頃以上或其寬度 34 公尺以上者。

(2)針闊葉混淆林（以下簡稱針闊葉林）或闊葉樹林型（以下簡稱闊葉林）面積不足 0.43 公頃或其寬度窄於 34 公尺且為針葉林所圍繞者。

凡針葉樹及闊葉樹佔總立木材積或林木株數 20% 以上，80% 以下者均為針闊葉林，符合下述情況之一者為針闊葉林：

(1)針闊葉林面積 0.43 公頃以上或其寬度 34 公尺以上者。

(2)針葉林或闊葉林面積不足 0.43 公頃或其寬度窄於 34 公尺且為針闊葉林圍繞者。

凡闊葉樹佔總立木材積或林木株數 80% 以上者，為闊葉林，符合下述情況之一者為闊葉林：

(1)闊葉林面積 0.43 公頃以上或其寬度 34 公尺以上者。

(2)針葉林或針闊葉林面積不足 0.43 公頃或其寬度窄於 34 公尺且為闊葉林圍繞者。

7.天然針葉樹林型、天然闊葉樹林型、人工針葉樹林型及人工針闊葉混淆林

此四種林型均為 10 年生以上的生產林，依其為天然林或人工林、針葉林、針闊葉林或闊葉林，依次描繪為天然針葉樹林型（以下簡稱為天然針葉林，以 C 代表），天然闊葉樹林型（以下簡稱為天然闊葉林，以 H 代表），人工針葉樹林型（以下簡稱人工針葉林，以 CP 代表），人工針闊葉混淆林（以下簡稱人工針闊葉林，以 CHP 代表）。

依上述族群分類方式之組合，可得天然林（C + H），人工林（CP + CHP），針葉林（C + CP），針闊葉林（CHP），闊葉林（H）等次族群。

8.標準誤（standard error,s）

為族群標準差之估值，中文譯名尚有標準機差等。

9. 均數標準誤 (standard error of the mean, $s_{\bar{x}}$)

為族群均數標準差之估值，中文譯名尚有平均數標準誤、平均數標準機差等。

10. 變異數估值 (sample variance, s^2)

為族群變異數之估值，一般變異數分析則多以均方 (mean square) 名之。

11. 統計量 (statistics)

中文譯名尚有介量估值、介值、統計數等，上述之標準誤、均數標準誤、變異數估值等均為統計量。

12. 標準差 (standard deviation, σ)

中文譯名尚有標準偏差等。

13. 均數標準差 (standard deviation of the mean, $\sigma_{\bar{x}}$)

中文譯名尚有平均數標準差、平均數標準偏差等。

14. 變異數 (variance, σ^2)

中文譯名尚有變方等。

15. 介量 (parameter)

中文譯名尚有母數、參數等，上述之標準差、均數標準差、變異數等均為介量。

16. 族群 (population)

英名尚有 universe , aggregate 等，意義相同，中文譯名尚有母體、母群體等。

17. 多段取樣法 (multi-stage sampling)

英名尚有 subsampling ，中文譯名尚有分段取樣法等。

18. PPS取樣法 (PPS sampling)

為抽樣機率依其集團 (cluster) 大小成比率的取樣法。

19. 集團取樣法 (cluster sampling)

中文譯名尚有集體取樣法等。

附錄二、附表部份

表 2 - 1 不同性質森林調查族群參數及其優先重要性

森林資源調查型式	森 林 地 區				材積或其他參數估值	生長量估值	伐採量估值	遊樂區、集水區等資料、土地利用程度、野生動物資源等
	面積估值	地形描述	所有權屬	可及性及交通便利程度				
國家森林資源調查	II	II	II	II	II	II	II	II
事業計劃調查	I	II	II	II	I	I	I	II
概略性森林資源調查	II	III	III	II or III	II or III	III	III	II
伐木計劃調查	II	I	III	I	I	III	III	III
森林工業發展基本資料調查	II	II	I	I	I	I	I	II
立木評價基本資料調查	I	II	III	I	I	III	III	III
土地利用規劃調查	I	I	I	I	II	II	III	I
森林遊樂區規劃調查	II	II	I	I	III	III	III	I
集水區經營規劃調查	I	I	II	II	II	II	II	I

優先次序

I 非常重要，且需細部資料

II 大致推算即可

III 不重要甚或可不調查

資料來源：森林調查規劃 (Husch B., 1971)

表 2 - 2 不同樣區大小在不同坡度時樣區半徑調整表 (沿坡面傾斜距離)

Inclination(β)	correction factor $\frac{1}{\cos\beta}$	rc		
		0.0125ha,	0.025ha	0.05ha
0.	1.0000	6.31	8.92	12.62
5.	1.0019	6.32	8.94	12.64
10.	1.0077	6.35	8.99	12.72
15.	1.0175	6.42	9.08	12.84
20.	1.0316	6.51	9.20	13.02
25.	1.0504	6.63	9.37	13.26
30.	1.0746	6.78	9.59	13.56
35.	1.1049	6.97	9.86	13.94
40.	1.1426	7.21	10.19	14.42
45.	1.1892	7.50	10.61	15.01
50.	1.2473	7.87	11.13	15.74
55.	1.3204	8.33	11.78	16.66
60.	1.4142	8.92	12.62	17.85
65.	1.5382	9.71	13.72	19.41
70.	1.7099	10.79	15.25	21.58

資料來源：根據森林調查學 (F. Loetsch et al, 1964) 推算而得

表 2-3：臺灣各天然林型之主要優勢樹種在垂直航空照片上之像特徵

林型名稱	優勢樹種	次要樹種	垂直分布海拔(公尺)	生育地部位及態	垂直影像之特徵	結構及色調	與相近樹種之區別
天然林型 冷杉	冷杉	鐵杉	3,000+	山脊或高山草原地之邊緣，聚生為純林，或與鐵杉混交，樹株密生，枝葉繁密，高低頗一致。	單株樹冠圓錐形，具顯著尖頂，聚生之影像若密集之圓圈(較大像比尺)或堆積之黑點(較小比尺)。	結構粗糙。色調：全色片：暗灰 紅外線片：灰色及濃黑藍影。	
雲杉	雲杉	鐵杉 赤山松 臺灣扁柏 紅檜	2,300 ~ 3,000	生於山腰或山谷中，呈團狀或散生，成純林或混生林。	單株樹冠圓錐形具顯著尖頂，及放射如星芒狀枝葉，樹冠在小比例尺照片上聚集若豆粒。	結構粗糙。色調：全色片：深灰較冷杉稍淡。 紅外線片：淡灰夾黑色藍影。	似冷杉而分布較低，且色調較淡，而具放射星芒狀之枝葉。
淺杉	鐵杉	赤山松、 臺灣扁柏、 紅檜、 雲杉、 冷杉、 長尾尖葉松	2,000 ~ 3,000	生育地無特殊部位，樹株略疏闊，高低略顯參差不齊。	樹冠平展，不具尖頂，堆積若塊狀深灰色棉絮，樹冠大小較不一致。	略粗糙。全色片色調為暗灰色，紅外線片：灰色較淡，與藍影對比強烈。	與冷杉及雲杉相較為樹冠不具尖頂，色調較闊葉樹深，且樹冠大小，樹株高低亦較闊葉樹枝齊。
臺灣扁柏及紅檜	臺灣扁柏及紅檜	鐵杉、 赤山松、 臺灣杉、 二葉松、 長尾尖葉松、 青剛櫟等	臺灣扁柏： 1,300 ~ 2,900 紅檜： 900 ~ 2,700	生於疏密之山腰或山谷，呈純林，亦常與次要樹種混生。	樹冠為均勻之團狀，偶現尖頂及旁枝，完全關閉之林分，樹冠之大小均勻，形似鐵團。	色調在全色片呈深灰色，紅外線片則呈淡灰至稍深之灰色。	樹木之樹冠影像，較雲杉小而均勻，色調之灰色較雲杉明亮，冠形似粒粒之細球，極易與其他針葉樹種區別。
松	赤山松 臺灣五葉松、 臺灣二葉松、 馬尾松		2,000 ~ 2,800 800 ~ 2,300 750 ~ 2,800 800 ~ 1,300	多著生於向陽之山坡，樹株疏闊。	樹冠為稀疏之圓形，旁枝呈放射之星芒狀，在小比尺照片上，樹冠若米粒。	色調：全色片：灰色，紅外線片：明亮灰色夾濃黑藍影。	著生於向陽之山坡，與疏闊之林相及淡灰色色調，可與其他針葉樹種區別。
熱帶闊葉樹	榕樹類 大葉楠 江菜 九芎	臺灣柳杉	北部 500 公尺以下， 南部 800 公尺以下	生育地無特殊要求，樹株高低不齊，鬱閉不勻。	樹冠形狀不一致。	全色片色調深灰，紅外線片對比強烈。	
暖帶闊葉樹	楠類及 欖斗科 林木		北部：500 ~ 1,500 南部：800 ~ 1,800 公尺	分布之海拔較高，可與熱帶闊葉樹區別，林冠之鬱閉較前斷稠密。	樹株高低稍有差異，樹冠大小略不一致，形狀不一。	色調較熱帶者稍淡，結構粗糙。	可著生於地海拔高低，及樹冠形狀大小不均之程度區別之。
溫帶闊葉樹	阿里山 楠、 黃肉楠、 櫻桃木	烏心石等	北部 1,500 ~ 2,100 南部 1,800 ~ 2,400 公尺	在天然針葉樹林分內成團狀群聚或為單株散生。	鬱閉度較前二類為密，樹冠形狀及大小、及株高均較前二類均勻。	色調深淺不一致，結構粗糙。	

資料來源：森林調查學（楊寶霖，1983）

表 3 - 1 : 實驗林各營林區面積

營 林 區	林班數	林 班 號 碼	面 積 (ha)	備 註
溪 頭	6	1-6	2,488	
清 水	6	7-12	3,711	
水 里	7	13-19	3,576	
內 寮	5	20-24	5,025	
對 高	3	28、29、31	5,902	由林務局暫管
和 社	15	25-27、30、32-42	12,820	第32-42林班為保安林，面積計6,449公頃
總 計	42		33,522	

資料來源：國立台灣大學農學院實驗林經營計劃（66年7月）

表 3 - 2 無邊樣區境木檢定表

DBH(公分)	D(R1)	D(R2)									
10.	2.50	3.54	37.	9.25	13.08	64.	16.00	22.63	91.	22.75	32.18
11.	2.75	3.89	38.	9.50	13.44	65.	16.25	22.98	92.	23.00	32.53
12.	3.00	4.24	39.	9.75	13.79	66.	16.50	23.34	93.	23.25	32.89
13.	3.25	4.60	40.	10.00	14.14	67.	16.75	23.69	94.	23.50	33.24
14.	3.50	4.95	41.	10.25	14.50	68.	17.00	24.05	95.	23.75	33.59
15.	3.75	5.30	42.	10.50	14.85	69.	17.25	24.40	96.	24.00	33.95
16.	4.00	5.66	43.	10.75	15.21	70.	17.50	24.75	97.	24.25	34.30
17.	4.25	6.01	44.	11.00	15.56	71.	17.75	25.11	98.	24.50	34.65
18.	4.50	6.37	45.	11.25	15.91	72.	18.00	25.46	99.	24.75	35.01
19.	4.75	6.72	46.	11.50	16.27	73.	18.25	25.81	100.	25.00	35.36
20.	5.00	7.07	47.	11.75	16.62	74.	18.50	26.17	101.	25.25	35.71
21.	5.25	7.43	48.	12.00	16.97	75.	18.75	26.52	102.	25.50	36.07
22.	5.50	7.78	49.	12.25	17.33	76.	19.00	26.87	103.	25.75	36.42
23.	5.75	8.13	50.	12.50	17.68	77.	19.25	27.23	104.	26.00	36.77
24.	6.00	8.49	51.	12.75	18.03	78.	19.50	27.58	105.	26.25	37.13
25.	6.25	8.84	52.	13.00	18.39	79.	19.75	27.93	106.	26.50	37.48
26.	6.50	9.19	53.	13.25	18.74	80.	20.00	28.29	107.	26.75	37.84
27.	6.75	9.55	54.	13.50	19.09	81.	20.25	28.64	108.	27.00	38.19
28.	7.00	9.90	55.	13.75	19.45	82.	20.50	29.00	109.	27.25	38.54
29.	7.25	10.25	56.	14.00	19.80	83.	20.75	29.35	110.	27.50	38.90
30.	7.50	10.61	57.	14.25	20.16	84.	21.00	29.70	111.	27.75	39.25
31.	7.75	10.96	58.	14.50	20.51	85.	21.25	30.06	112.	28.00	39.60
32.	8.00	11.32	59.	14.75	20.86	86.	21.50	30.41	113.	28.25	39.96
33.	8.25	11.67	60.	15.00	21.22	87.	21.75	30.76	114.	28.50	40.31
34.	8.50	12.02	61.	15.25	21.57	88.	22.00	31.12	115.	28.75	40.66
35.	8.75	12.38	62.	15.50	21.92	89.	22.25	31.47	116.	29.00	41.02
36.	9.00	12.73	63.	15.75	22.28	90.	22.50	31.82	117.	29.25	41.37

註：無邊樣區 (BAF4 及 BAF2) 疑問木之確定離樣區中心點至“ 疑問 ” 樣木之“ 水平距離 ”
 樣木胸徑
 小於 $\frac{1}{\sqrt{50}}$ (BAF) [即 D(R1) 或 D(R2)] 時，即入選為樣木二者相等時，算“ $\frac{1}{2}$ ” 註記
 在調查表內“ 備註欄 ”。

表 3 - 3 : 樣木調查表

樣區號碼		林班別			圖名別		類別	調查日期		出發時間		抵達林緣時間	
找出樣區中心時間				作業開始時間			坡度(°)		作業完成時間			抵達住處時間	
樣區編號	樹種	胸徑	樹高	材積	樣區積	每公頃材積	代號	無邊樣區					備註
								胸徑	材積	每公頃株數	每公頃材積	代號	
1.													
2.													
3.													
4.													
5.													
6.													
7.													
8.													
9.													
10.													
11.													
12.													
13.													
14.													
15.													
16.													
17.													
18.													
19.													
20.													
21.													
22.													
23.													
24.													
25.													
26.													
27.													
28.													
29.													
30.													
31.													
32.													
33.													
34.													
35.													
36.													
37.													
38.													
39.													
40.													
41.													
42.													
43.													
44.													
45.													
46.													
47.													
調查時間 (組一分)		C 1	C 2	C 3	R 1	R 2							

表 4 - 1 : 樹種 (群) 別 $\log(H-1.3) = \log a + b \log D$ 有關之統計量

統計量 樹種(群)	樣本數	相關係數	b 值	計算之 F 值 Fc(1,n-2)	理論 F 值 (99.5%機率)	顯著性
鐵杉 (113)	49	0.811654	0.550364	90.74	8.83	極顯著
紅檜 (102)	26	0.642526	0.412583	16.87	9.94	極顯著
雲杉 (115)	27	0.934260	0.529861	202.38	9.94	極顯著
冷杉 (114)	11	0.892967	0.800698	35.42	13.60	極顯著
(冷杉 + 雲杉)	38	0.919590	0.545931	197.23	9.18	極顯著
杉木 (117)	519	0.780252	0.656745	801.44	7.88	極顯著
柳杉 (118)	211	0.796225	0.585999	361.99	7.88	極顯著
楠木類 (350)	65	0.850903	0.535225	165.29	8.49	極顯著
檜木類 (450)	18	0.842394	0.440608	39.10	10.80	極顯著
其他闊葉樹 (600)	91	0.716592	0.634413	93.94	8.49	極顯著
(相思樹 + 其他闊葉樹)	95	0.701402	0.624504	90.06	8.49	極顯著
桐類 (514)	62	0.744201	0.506941	74.48	8.49	極顯著
台灣五葉松 (112)	6	0.979750	1.006563	95.78	31.30	極顯著

表 4 - 2 : 柳杉不同地號別 $\log(H-1.3) = \log a + b \log D$ 有關之統計量

統計量 地號別	樣本數	相關係數	b 值	計算之 F 值 Fc(1,n-2)	理論 F 值 (99.5%機率)	顯著性
56- 6(45)	22	0.673581	0.279003	16.61	9.94	極顯著
56- 6(46)	23	0.842237	0.539793	51.26	9.94	極顯著
56- 6(32)	7	0.775874	0.535731	7.56	{ 22.80 6.61(95%)	顯著
56- 6(35)	22	0.887088	0.488156	73.86	9.94	極顯著
56- 6(37)	21	0.909200	0.431128	90.60	10.80	極顯著
59- 9, 124, 114	40	0.852670	0.656001	101.22	9.18	極顯著

表 4 - 3 : 杉木不同地號別 $\log(H-1.3)=\log a + b \log D$ 有關之統計量

地號別 \ 統計量	樣本數	相關係數	b 值	計算之 F 值 $F_c(1, n-2)$	理論 F 值 (99.5% 機率)	顯著性
60-13	18	0.972839	0.563186	282.59	10.80	極顯著
119(4)	14	0.737702	0.856283	14.33	11.80	極顯著
119(C1)	12	0.861024	0.724604	28.66	12.80	極顯著
119(C2)	25	0.753570	0.511598	30.22	9.94	極顯著
119(C3)	15	0.839574	0.575657	31.05	11.80	極顯著
119(C4)	11	0.766368	0.702312	12.81	13.60	極顯著
62-12(45)	20	0.830635	0.693710	40.06	10.60(99%)	極顯著
62-12(46)	8	0.828484	0.811059	13.13	18.60 8.81(97.5%)	顯著
62-12(47)	9	0.975085	0.833552	135.25	13.20	極顯著
57- 3(3)	20	0.773088	0.429459	26.74	10.80	極顯著
57- 3(42)	17	0.828801	0.619037	32.91	10.80	極顯著
57- 3(43)	19	0.777517	0.556109	25.99	10.80	極顯著
57- 3(44)	8 *	0.611060	0.384703	3.58	18.60 5.99(95%)	不顯著
57- 3(CH1)	11	0.783804	0.293926	14.34	13.60	極顯著
56- 6(34)	15 *	0.439357	0.612293	3.10	4.75(95%)	不顯著
62- 7	15 *	0.112885	0.118541	0.17	4.75(95%)	不顯著
60-19(6,7,8)	90	0.738683	0.536763	105.68	8.45	極顯著
57- 7,56-14	40	0.845672	0.737910	95.41	9.18	極顯著
55- 7,56-15	17	0.958452	0.648655	169.34	10.80	極顯著
59- 9,124,114	34	0.893082	0.773214	126.10	9.18	極顯著
100,60-17	33	0.641436	0.468202	21.67	9.18	極顯著
46-11,47-7	68	0.732485	0.818772	76.41	8.49	極顯著

※ 直線迴歸關係不顯著，惟因彼等位置林木均係斷梢木，故沿仍用計算。

表 4-4 : 不同地號別/樹種(群) $\log(H-1.3)=\log a+b\log D$ 有關之統計量

地號別/樹種(群)	樣本數	相關係數	b 值	計算之 F 值 Fc(1,n-2)	理論 F 值 (99.5%機率)	顯著性
100(紅檜)	15.	0.805211	0.397181	23.97	11.80	極顯著
48-20(松類)	6.	0.979750	1.006563	95.78	31.30	極顯著
56-6(其他闊葉樹)	6.※	-0.476209	-0.319413	1.17	7.71(93%)	不顯著
62-7(桐類)	9.※	0.586425	0.677300	3.67	5.59(93%)	不顯著
62-7(桐類)	16.	0.544078	0.462142	5.89	4.75(93%)	顯著
其他闊葉樹(林型H)	61.	0.756496	0.666837	78.94	8.45	極顯著
楠木類(林型C)	9.	0.751117	0.315924	9.06	8.07(97.5%)	顯著
楠木類(林型H)	56.	0.862224	0.562130	156.47	8.83	極顯著

※直線迴歸關係不顯著，故照表 4-1 相同樹種(群)者，分別計算其樹高。

表 4-5 : 調查區各林型樣區之坡度觀測值表

TYPE	SP	CHP*	C	H
1	32	20	30	40
2	37	37	40	37
3	37	5	40	20
4	0	4	20	41
5	30	30	30	29
6	15	99	20	33
7	32	99	40	32
8	15	99	20	30
9	35	44	40	35
10	24	43	40	28
11	4	41	40	34
12	0	31	20	42
13	0	26	20	30
14	0	99	30	42
15	0	20	40	31
16	0	40	40	34
17	35	20	40	41
18	30	22	30	32
19	30	20	20	31
20	32	20	30	42
21	20	99	40	
22	24	30	40	
23	34	43	30	
24	4	42	40	
25	3	17	30	
26	40	30	20	
27	23	35	40	
28	2	43	40	
29	33	32	40	
30	23	41	40	
31	40	25	30	
32	30	30	30	
33	37		30	
34	27		30	
35	48		30	
36	20		40	
37	42		40	
38	15		40	
39	17		40	
40	10		20	
41	0			
42	20			
43	10			
44	30			
45	0			
46	10			
47	3			
48	55			

※ CHP林型中 99 者代表該樣區因移作非林業使用，未測坡度

表 4-7: 擬斷林型別不同地面測計方法總木株數一覽表(樣區坡度假設為零度之總株數)

TYPE	CP					SP					Y				
	S1	S2	S3	K1	K2	S1	S2	S3	K1	K2	S1	S2	S3	K1	K2
NU. 1	27	30	100	7	19	5	4	5	1	3	2	2	2	2	2
NU. 2	15	40	87	7	19	3	17	27	4	5	14	6	11	7	8
NU. 3	22	39	67	6	16	11	21	42	3	12		3	5	2	2
NU. 4	3	6	15	3	7	9	15	33	1	6		3	5	4	5
NU. 5	14	29	58	7	15	3	15	30	2	5		1	1	5	3
NU. 6	15	23	33	10	17						2	3	2	4	4
NU. 7	11	22	47	11	20						2	3	4	3	4
NU. 8	26	46	90	9	17							4	4	11	15
NU. 9	12	24	50	12	16	1	5	17	1	3		1	3	12	14
NU. 10	11	17	35	3	11	3	12	24	4	8	6	4	3	3	12
NU. 11	14	39	79	4	11	13	19	27	9	12	6	2	2	3	7
NU. 12	0	10	34	2	7	6	10	21	1	0		2	2	5	15
NU. 13	11	23	42	2	12	3	6	12	1	4		2	2	3	5
NU. 14	5	12	20	2	7						2	2	2	2	3
NU. 15	11	17	30	7	10	1	3	7	1	2	3	4	3	0	10
NU. 16	10	26	47	2	7	2	4	6	2	3	3	4	3	4	5
NU. 17	7	14	24	3	10	3	5	12	2	3	3	17	32	7	16
NU. 18	4	8	13	2	7	16	16	73	6	42	1	3	11	7	15
NU. 19	12	24	50	7	12	7	16	32	5	12		2	2	12	19
NU. 20	17	24	44	14	17						4	4	4	4	10
NU. 21	11	24	44	5	9						2	3	3	7	16
NU. 22	17	28	72	6	15	1	2	3	2	2		3	4	4	7
NU. 23	16	20	32	7	11	1	5	10	2	3	6	11	13	11	19
NU. 24	16	20	54	10	20						6	1	5	1	3
NU. 25	17	34	61	11	20	4	7	8	3	3	4	5	11	7	10
NU. 26	7	14	27	2	9	2	3	6	1	2	2	5	9	2	12
NU. 27	10	20	34	5	14	3	12	23	2	4		2	2	3	7
NU. 28	14	23	50	9	16	3	5	6	1	4		3	3	4	13
NU. 29	14	38	62	11	15	2	8	12	1	2	3	0	4	4	8
NU. 30	10	18	31	2	4	1	6	44	1	3	3	3	5	0	8
NU. 31	6	30	68	2	4	14	19	34	3	12	3	5	6	5	13
NU. 32	15	28	57	9	14	13	27	46	5	7	3	1	2	3	10
NU. 33	14	32	57	6	14						3	1	1	7	10
NU. 34	4	5	9	1	2						3	5	11	4	12
NU. 35	5	12	20	3	5						5	6	13	7	12
NU. 36	17	30	50	10	18						3	6	4	3	10
NU. 37	10	30	60	6	13						3	11	16	9	15
NU. 38	7	14	37	4	13						6	13	16	14	20
NU. 39	4	20	40	7	15						1	2	3	3	5
NU. 40	3	5	13	4	4						3	3	5	3	10
NU. 41	20	39	64	10	14										
NU. 42	16	27	56	12	13										
NU. 43	17	30	63	7	13										
NU. 44	6	15	36		3										
NU. 45	24	44	62	14	20										
NU. 46	21	43	77	15	25										
NU. 47	21	50	73	13	21										
NU. 48	12	23	41	6	15										

表 4-8 : 人工針葉混林五種地面測計方法樣區(點)別材積 (m³/ha)

C1	L2	C3	K1	K2
25.34021070	67.89204337	54.92202335	44.27021037	47.02101020
52.21370245	86.41700602	73.30950205	125.45100225	73.31220224
153.47422473	135.44674507	131.24328702	111.40504214	172.73021332
79.39130164	50.70413559	30.42070643	39.40322040	70.44330306
35.17510220	143.36350334	140.63104463	57.51753105	33.70511452
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
35.13622033	71.42004231	101.75753709	39.70771303	57.32427771
100.16524273	142.44505302	135.44513747	110.10507002	110.33067025
150.07427225	110.44379791	113.28599179	237.23007002	150.42623035
85.11117030	50.75491051	102.12241560	44.550225042	45.73042421
23.70013300	37.05178577	41.40407005	40.70205489	54.40075407
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
27.05217023	40.31740307	59.20450030	23.32011035	23.74100005
44.03020742	80.33031350	40.07012035	45.40211041	57.49032504
130.04030004	137.36242099	127.00472151	114.00401927	113.00455649
310.12270190	300.04262007	255.44731024	370.00500333	321.15244327
100.06059415	104.72700706	221.00753571	150.00710325	105.39475315
67.42591201	33.90295640	10.40147320	30.30042040	17.05021044
0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
40.21477335	51.00013272	25.77030303	70.70000019	35.39034010
113.73512250	193.33543200	150.00764735	44.40550171	122.22040061
10.25400237	10.30136107	15.74072930	10.23001007	21.61344445
0.00103315	05.00200437	34.40474703	115.41874304	57.70937192
14.17395211	15.34240017	17.00211705	21.50001909	20.70400240
75.82004484	52.15704707	57.10332970	111.57191700	70.40741100
41.07013474	24.47610097	73.10323213	55.33095454	66.00532531
25.37477943	34.03433134	27.23407400	40.50000000	37.24548732
14.10324042	85.303774530	115.70000000	51.37403975	44.12243327
117.70923634	55.31564342	111.11000359	40.50700160	153.23531076
133.42000400	123.05000700	130.00440300	170.02001000	110.05400000

表 4-9 : 人工針葉樹林型五種地面測計方法樣區(點)別材積 (m³/ha)

C1	C2	C3	K1	K2
225.77520503	237.27994003	227.42274333	245.34752322	312.46793251
292.60491100	285.30410361	271.33110039	277.32245043	323.19400372
237.93130043	207.37702744	234.91200077	103.11507939	240.12344735
47.30045517	40.00715271	42.49700074	44.37207453	113.03515752
175.70422136	177.02073774	150.11375574	315.73259773	252.50119100
300.00723702	215.01000077	217.04400052	322.30500000	259.54100973
202.75344505	200.11047294	221.70000000	253.10000000	325.37000000
323.03605004	300.33510221	347.17547770	307.14409546	247.110370321
444.34094151	360.37770410	410.30000000	403.13573039	355.00257409
150.01113474	120.00254250	440.20040703	30.02203161	191.390000777
104.45044192	151.004721771	141.30021155	123.17733512	145.33220725
143.10094220	141.01004500	170.20000700	107.09230462	159.20764349
134.00190009	145.20309903	107.02700000	77.13361662	190.00000000
153.30001073	123.00200106	125.20000000	107.20000000	127.10800109
211.37092504	147.10000000	127.10000000	112.50000000	132.003771402
70.22000000	154.23040014	121.45727237	0.002194400	46.10340135
131.30429312	132.92339140	130.43464470	100.45592227	154.00222920
47.40000000	43.04740393	84.32200000	72.37200749	122.00100000
25.470094772	305.70000000	215.20000000	252.47009477	210.22000000
443.40000701	290.93500077	273.24000413	470.75474735	240.44100000
200.00000000	110.30200000	134.00000000	135.42145737	122.00000000
100.27000000	141.50470000	154.37220000	101.70000000	211.10000000
216.37400000	174.00000000	170.00000000	237.30000000	172.00000000
400.00100000	310.40000000	303.40000000	400.10000000	371.00000000
274.20000000	302.00000000	270.00000000	375.00000000	334.20000000
105.41200000	167.00000000	104.00000000	72.00000000	147.10000000
150.00000000	170.00000000	100.00000000	107.00000000	110.00000000
300.34000000	242.10000000	234.00000000	312.47100000	250.00000000
250.00000000	252.43131200	202.00000000	304.73972631	257.00000000
70.11700000	41.00000000	47.00000000	72.33102009	52.00000000
124.90000000	345.00000000	244.00000000	72.50000000	73.00000000
300.70700000	285.47400450	302.00000000	303.40249313	344.00000000
205.31000000	205.00000000	235.00000000	174.31000000	202.00000000
44.40000000	20.41500000	20.50000000	52.20000000	22.00000000
74.00000000	37.71700000	100.00000000	74.00000000	74.00000000
414.34770337	343.37610353	333.00000000	374.11000000	334.25220000
270.00000000	207.74070215	234.10000000	315.00000000	224.30000000
154.00000000	147.00000000	100.00000000	120.00000000	100.00000000
332.00000000	200.00000000	272.00000000	200.00000000	225.00000000
63.00000000	46.46015520	34.70000000	124.30000000	64.10000000
175.30000000	192.45300000	150.22220000	247.00000000	175.30000000
204.41907014	173.20171300	193.20215002	350.35402533	144.32173742
263.13500730	241.00000000	220.39200000	200.00000000	210.00000000
50.00000000	100.00000000	114.40200000	0.00000000	50.00000000
472.00000000	340.00000000	307.75000000	471.00000000	420.00000000
431.30700000	420.00000000	341.19000000	451.00000000	350.00000000
414.15421000	370.00000000	244.40000000	340.00000000	324.00000000
357.00471222	330.00000000	300.20000000	472.34100000	423.00000000

表 4-10: 天然針葉樹林型五種地面測計方法樣區(點)別材積(m³/ha)

C1	C2	C3	C4	C5
250.26344635	403.00705507	231.50352754	43.11447751	45.22724475
404.64237374	433.52048547	320.20377051	307.33463015	131.22531575
323.92403407	2182.97910023	1194.41009224	125.245259009	62.54277305
1047.13545651	656.22725551	333.72241514	142.73575296	115.46336020
0.00000000	1582.32429529	771.17714760	284.74291937	191.55404557
372.00122324	184.00062667	255.84349736	145.26433899	47.78215250
10.4712640	121.10556034	312.0671210	149.77105417	104.35437597
0.00000000	75.21950717	3254.75543418	449.36757003	303.20662332
153.30235130	152.60023133	434.74131451	632.37733310	375.56564516
371.05105734	243.16009975	121.50034433	154.29366122	255.24502035
301.46703009	173.73671623	55.96135014	147.52238102	201.81046432
414.13479053	454.56745426	224.76374403	310.37312346	427.57771045
454.70617534	477.45309752	744.03501055	204.44535373	154.77132276
701.32285747	380.22643375	140.26321607	217.25033635	282.20492015
135.13323295	83.42731345	111.42711905	500.16732174	375.53764199
351.14413150	320.75240704	310.24837706	143.27380547	230.20221444
167.25054605	243.47365874	306.17523697	301.37195394	342.41648333
244.34020903	234.98332737	267.149170640	475.55052744	301.33070714
0.00000000	650.40470174	770.01159232	307.37021632	417.04469920
1201.43135025	630.96456043	614.78314714	261.75732193	130.35371077
17.47440000	276.32240009	364.62333510	461.25035257	475.17608544
07.43491290	137.32050647	110.62135130	243.47444147	140.32576173
434.63241702	272.14674534	145.50371444	403.56172453	275.30667006
0.00000000	34.04014564	42.00413847	41.80707033	54.44473916
371.76542071	265.60424519	172.52613419	304.70336147	203.53126835
34.71422035	63.50450901	72.46316540	28.23350353	174.80930304
0.00000000	0.00000000	425.26595001	264.32121234	234.05222356
032.02553473	310.32776734	644.00470427	413.25467624	206.02473612
305.1703943	307.55161177	225.30635244	193.33049141	354.32523497
1223.56777540	431.70014571	371.37316073	340.30161650	200.37529239
225.70055443	131.13544550	67.77323235	223.12545917	261.34772903
0.00000000	635.04129699	430.20312044	131.25347250	271.60156490
0.00000000	244.10671071	153.20602445	414.17408621	423.54707797
1276.47233714	310.41141630	647.22455463	451.04104464	316.41534360
643.40357723	418.40453574	441.64244357	217.54275526	210.74935941
145.3343204	324.41746127	186.14337310	244.46099111	205.14093044
313.40135664	513.36304054	345.13771335	347.40572044	304.54504372
823.71512126	656.04773513	522.12121115	746.30436351	513.85495284
75.04764414	115.14544550	127.72942735	142.46253514	71.46140260
407.51212103	203.72606070	101.67303045	257.37503205	258.44089058

表 4-11: 天然闊葉樹林型五種地面測計方法樣區(點)別材積(m³/ha)

C1	C2	C3	C4	C5
144.73541710	462.24666507	431.05274073	314.57454506	274.99240171
632.59135348	523.06173554	310.46734911	344.73413375	318.55314571
720.27511705	357.46708733	613.83037300	273.47577015	264.44076752
232.30475227	106.91615263	150.54324252	257.36203297	195.33013810
226.05557135	402.47251154	345.55541553	244.70034432	300.74570675
100.97576113	146.43110503	109.45905504	222.40552624	143.34344436
345.51320511	234.52005845	233.44705265	214.63506032	215.66552745
170.44561420	187.02027010	168.30533958	393.57938341	314.73132157
243.54352675	205.41532254	405.3481895	220.46040500	121.35069001
571.41523095	350.47455631	756.47413057	343.72424106	401.69611546
304.16250245	346.55349854	314.67795108	363.61016477	354.63471319
744.05430241	412.34462354	223.07670925	374.43223440	317.30704649
41.14422276	42.47346175	114.99353488	66.14101124	113.54247260
241.24307552	204.24930023	279.70354108	255.66450151	160.44330352
55.00500000	206.37225054	272.24306507	202.40444356	270.30733321
105.04345065	134.23000900	274.11468183	244.54425276	211.47413915
543.73715505	477.70544527	304.80342820	385.77359724	287.33751570
200.10071096	317.25270137	400.08016080	471.44117014	354.72657133
254.97474172	354.14556954	340.70214026	320.34501062	253.47234050
216.21270154	277.42952361	265.16241502	200.37352705	251.47227055

表 4-14: 天然針葉樹林型五種地面測計方法未經坡度校正樣區(點)別材積 (m³/ha)

C1	C2	C3	C1	C2
222.14087524	400.7737112	200.40743591	50.53752030	43.31475015
092.99664644	715.1175330	657.48734324	235.20217230	121.95834837
271.12157790	1671.75259143	918.80385093	95.77428995	47.08714773
1030.97106477	016.05170484	313.56049040	181.11237422	111.33793926
0.00000000	1370.35901743	035.17550072	240.57400172	155.98593247
355.20490841	177.00247420	240.51424490	154.14624329	42.07312154
0.34760465	72.77224740	239.51500526	138.47927435	83.00426700
0.00000000	70.70512551	3085.50047032	469.74066642	360.37056478
115.13820041	116.09850700	371.33337033	404.44599445	269.99121444
264.70121143	186.27189517	93.15544758	118.19365086	195.56903444
235.3732544	133.07004608	50.54502304	147.35543793	154.54570514
051.70437502	431.85212701	217.42099391	291.55315208	401.79182684
497.31030502	440.65415251	099.72772177	147.23711504	145.43803372
407.19535354	244.57767077	122.29283832	139.64908242	101.67974371
103.54127334	03.40302750	35.35412536	387.27913505	237.75512827
053.70940111	245.71040350	237.70234400	140.39971047	170.80475766
143.44130350	217.15342105	234.54460495	275.01248477	300.60849550
240.24509030	203.50153071	231.39430543	343.43147050	260.90022057
0.00000000	327.30730157	724.32955532	476.77204029	342.49466208
1092.07135055	540.43507528	542.41212039	226.64758309	113.34979154
13.37700000	213.20732544	283.30114709	303.88073594	365.30305139
07.36128534	105.19301124	04.74087145	166.60779450	146.25600677
300.90004655	232.00579507	164.90107022	349.59131237	239.28801283
0.00000000	26.54340734	37.43210202	32.02607429	41.71095841
339.29099317	247.51800754	149.41379038	268.21099599	176.26324800
37.50710349	78.40357092	68.09310557	26.53087130	169.04070705
0.00000000	0.00000000	325.74199706	202.36481517	179.70724562
44.40263016	242.09131503	470.00013291	316.57543176	150.28771588
250.51031276	235.67453759	172.97761562	148.56515993	279.47312915
441.13703593	713.70004430	438.07745494	265.43579106	153.95600033
195.51483498	113.50067313	77.75020395	197.56374193	226.33377256
0.00000000	549.09109555	372.01077309	153.54799745	235.21396317
0.00000000	215.75770143	130.13480731	303.01773739	366.04583049
1105.37040394	707.40047345	543.15400901	410.59300044	276.18883257
537.20379967	302.83301334	352.67651447	253.79022029	182.55665986
144.01493282	202.73145321	144.12019050	194.32842823	157.18372027
244.27265067	469.37571410	303.45007402	304.73500158	233.33340664
331.00231130	510.26215463	335.57355020	371.75213447	393.63573349
33.75757513	05.71559000	77.54541305	117.91980247	54.75793124
302.93013374	191.46005007	49.73403343	242.3232711	242.55499770

表 4-15: 天然闊葉樹林型五種地面測計方法未經坡度校正樣區(點)別材積 (m³/ha)

C1	C2	C3	C1	C2
153.10171330	365.09049400	330.20257507	244.30470307	210.65075425
507.04549393	497.50130700	254.35534043	319.24107379	254.40705539
032.77175172	540.92770370	551.70709459	243.10219703	260.14763870
175.14527287	127.40203000	113.61642737	174.23403235	147.41722603
137.7125122	352.44726271	549.90157450	259.70331508	268.25504320
151.44357254	123.22745005	134.57220002	109.00060084	124.57493098
212.71522501	144.30094053	144.00143453	135.34447309	132.77657711
147.40133920	182.53501609	439.9040703	340.35017745	272.56531993
197.16213703	217.02500506	332.03371260	185.91507973	99.40400500
504.97118350	325.93945292	673.13880343	484.49479194	354.67838494
256.30757929	325.75774982	261.04585222	305.59167622	274.04695354
553.31543744	306.46093061	339.72323609	273.20738120	230.00504006
32.46151433	77.51330702	70.62016094	52.11982815	57.14306255
179.50148670	151.81725500	207.86093646	159.74575135	125.50420900
307.44591754	230.03991708	233.35765322	173.92305419	231.44255707
87.00449806	111.32367012	227.25137209	211.06820129	175.32044844
414.13307782	360.57493600	293.04259550	291.14702364	218.55837550
244.39113320	209.04561724	334.26721072	399.34714431	300.00000000
230.04035005	303.76200194	292.03873372	279.77551595	225.33787472
160.07735057	206.54156732	197.05407762	199.31197034	167.25100410

表 4 - 16 : 人工針測葉混涓林 95% 機率水準不同樣本大小標準機差統計量表

樣本大小 之 重覆 60 次 統 計 量	樣本大小						
	5	10	15	20	25	30	31
C1	\bar{X}_n	61.97	65.28	68.65	67.62	66.22	68.95
	S.	23.50	16.82	15.77	14.75	10.53	15.65
	$S_{\bar{x}}$	3.03	2.17	2.03	1.90	1.36	2.02
	C.V.(%)	37.03	25.76	22.97	21.82	15.90	22.69
	E(%)	13.18	6.52	5.80	5.50	4.03	5.74
C2	\bar{X}_n	64.13	61.81	68.63	68.20	67.03	65.92
	S.	18.59	17.73	14.79	14.38	14.00	14.33
	$S_{\bar{x}}$	2.40	2.29	1.91	1.86	1.81	1.85
	C.V.(%)	28.99	28.68	21.55	21.08	20.89	21.74
	E(%)	11.02	7.26	5.45	5.35	5.29	5.50
C3	\bar{X}_n	63.90	63.38	64.85	64.93	66.57	65.40
	S.	16.64	13.41	10.98	9.61	9.67	10.05
	$S_{\bar{x}}$	2.15	1.73	1.42	1.24	1.25	1.30
	C.V.(%)	26.04	21.16	16.94	14.80	14.53	15.36
	E(%)	10.40	6.59	4.29	3.74	3.68	3.90
R1	\bar{X}_n	69.62	74.00	73.15	73.22	72.55	75.87
	S.	30.15	24.30	23.03	20.02	19.80	17.45
	$S_{\bar{x}}$	3.89	3.14	2.97	2.58	2.56	2.25
	C.V.(%)	43.30	32.83	31.49	27.34	27.29	23.00
	E(%)	15.63	8.32	7.96	6.91	6.92	5.81
R2	\bar{X}_n	61.75	68.41	69.17	67.16	70.21	67.36
	S.	21.98	21.94	17.65	15.63	13.41	14.97
	$S_{\bar{x}}$	2.84	2.83	2.28	2.02	1.73	1.93
	C.V.(%)	35.59	32.07	25.52	23.28	19.10	22.23
	E(%)	14.19	8.11	6.46	5.90	4.83	5.62

表 4-17：人工針葉樹林型 95% 標準水準不同樣本大小標準機差統計量表

地 區 統 計 方 法	重 複 60 次 之 樣 本 大 小	統 計 量										
		5	10	15	20	25	30	35	40	45		
C1	\bar{X} .	113.29	114.28	114.83	116.09	114.56	118.34	113.71	115.58	116.99	117	
	S.	3762	21.48	16.20	15.36	14.04	11.87	11.18	10.35	10.27	9	
	S \bar{r} .	4.86	2.77	2.09	1.98	1.81	1.53	1.44	1.34	1.33	1	
	C.V. (%)	33.21	18.80	14.11	13.23	12.26	10.03	9.83	8.95	8.78	7	
	E (%)	8.41	4.75	3.57	3.34	3.10	2.53	2.48	2.27	2.23	2	
C2	\bar{X} .	97.92	90.01	94.75	95.28	95.58	93.57	97.23	95.46	94.09	97	
	S.	27.48	16.91	15.60	12.53	10.78	11.07	8.72	8.17	8.53	6	
	S \bar{r} .	3.55	2.18	2.01	1.62	1.39	1.43	1.13	1.05	1.10	0	
	C.V. (%)	28.06	18.79	16.46	13.15	11.27	11.83	8.97	8.55	9.06	6	
	E (%)	7.11	4.75	4.16	3.33	2.85	3.00	2.28	2.16	2.29	1	
C3	\bar{X} .	87.43	86.42	89.87	88.10	89.64	89.64	90.00	88.34	89.14	89	
	S.	24.77	18.66	14.95	12.86	10.05	8.60	7.59	7.63	7.31	7	
	S \bar{r} .	3.20	2.41	1.93	1.66	1.30	1.10	0.98	0.98	0.94	0	
	C.V. (%)	28.33	21.59	16.64	14.60	11.22	9.59	8.44	8.63	8.21	8	
	E (%)	7.17	5.47	4.21	3.69	2.84	2.41	2.13	2.17	2.07	2	
R1	\bar{X} .	128.50	134.15	134.18	136.15	137.77	132.72	135.52	136.29	134.36	135	
	S.	39.64	22.42	16.86	15.66	12.45	12.20	11.84	10.91	7.85	8	
	S \bar{r} .	5.12	2.89	2.18	2.02	1.61	1.57	1.53	1.41	1.01	1	
	C.V. (%)	30.85	16.71	12.57	11.50	9.04	9.19	8.74	8.01	5.84	6	
	E (%)	7.81	4.22	3.18	2.91	2.29	2.32	2.21	2.03	1.47	1	
R2	\bar{X} .	95.20	102.77	102.02	103.16	101.14	102.26	103.13	103.01	103.23	104	
	S.	30.30	16.86	13.21	14.06	11.03	11.11	10.32	8.65	9.40	7	
	S \bar{r} .	3.91	2.18	1.70	1.81	1.42	1.43	1.33	1.11	1.21	1	
	C.V. (%)	31.83	16.41	12.95	13.62	10.91	10.86	10.01	8.40	9.11	7	
	E (%)	8.05	4.16	30.62	3.44	2.75	2.74	2.53	2.11	2.30	1	

表 4-20 : 調查區不分林型 95% 標準水準不同樣本大小標準機差統計量表

重覆60次之樣 本大小 統計量	地 區 別 計 方 法														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	1	
C1	\bar{X} .	228.14	248.90	259.47	266.40	258.78	259.19	264.59	252.35	262.59	262.16	258.83	263.43	259.40	26
	S.	88.84	81.55	60.71	42.42	52.60	43.32	41.16	37.34	31.49	30.33	26.89	30.06	32.13	2
	$S\bar{x}$.	11.47	10.53	7.84	5.48	6.79	5.59	5.31	4.82	4.06	3.92	3.47	3.88	4.15	1
	C.V. (%)	38.94	32.77	23.40	15.92	20.32	16.71	15.55	14.80	11.99	11.57	10.39	11.41	12.38	1
	E (%)	9.85	8.29	5.92	4.03	5.14	4.23	3.93	3.74	3.03	2.93	2.63	2.89	3.14	1
C2	\bar{X} .	257.86	247.18	271.08	250.06	257.73	244.37	260.14	283.50	270.85	268.21	260.55	265.89	273.09	28
	S.	166.83	134.55	107.82	98.95	81.42	70.91	65.76	82.87	71.51	64.10	55.36	55.80	60.41	4
	$S\bar{x}$.	21.54	17.37	13.92	12.77	10.51	9.15	8.49	10.70	9.23	8.28	7.15	7.20	7.80	1
	C.V. (%)	64.70	54.43	39.77	39.57	31.59	29.02	25.28	29.23	26.40	23.90	21.25	20.99	22.12	1
	E (%)	16.37	13.77	10.06	10.01	8.00	7.34	6.40	7.40	6.68	6.05	5.38	5.31	5.60	1
C3	\bar{X} .	225.81	230.54	272.55	328.68	310.68	304.54	294.31	294.95	324.81	327.64	332.31	304.81	318.22	32
	S.	159.27	156.95	156.44	176.96	131.55	136.76	135.83	126.95	113.50	107.16	117.09	103.87	97.09	10
	$S\bar{x}$.	20.56	20.26	20.20	22.85	16.98	17.66	17.54	16.39	14.65	13.83	15.12	13.41	12.53	1
	C.V. (%)	70.53	68.08	57.40	53.84	42.34	44.91	46.15	43.04	34.94	32.71	35.24	34.08	30.51	1
	E (%)	17.85	17.22	14.53	13.63	10.71	11.37	11.68	10.89	8.84	8.27	8.92	8.62	7.72	1
R1	\bar{X} .	150.31	148.51	151.09	152.78	151.12	154.15	149.79	154.59	154.00	153.06	153.14	151.79	152.49	11
	S.	26.58	22.03	18.79	17.49	13.12	13.39	12.45	12.28	10.60	10.15	9.53	10.02	8.87	11
	$S\bar{x}$.	3.43	2.84	2.43	2.26	1.69	1.73	1.61	1.59	1.37	1.31	1.23	1.29	1.15	11
	C.V. (%)	17.69	14.83	12.43	11.45	8.68	8.69	8.31	7.94	6.88	6.63	6.23	6.59	5.82	11
	E (%)	4.47	3.75	3.15	2.90	2.19	2.20	2.11	2.02	1.74	1.68	1.57	1.67	1.48	11
R2	\bar{X} .	120.15	122.05	119.83	121.62	120.24	119.63	118.05	120.99	120.25	119.94	121.08	121.73	118.98	11
	S.	19.85	14.47	11.42	10.08	12.00	7.80	8.83	7.25	6.33	6.03	5.88	6.41	7.62	11
	$S\bar{x}$.	2.56	1.87	1.47	1.30	1.55	1.01	1.14	0.94	0.82	0.78	0.76	0.83	0.98	11
	C.V. (%)	16.52	11.86	9.53	8.29	9.98	6.52	7.48	5.99	5.26	5.03	4.86	5.27	6.41	11
	E (%)	4.18	3.00	2.40	2.10	2.53	1.65	1.89	1.52	1.34	1.27	1.23	1.34	1.61	11

表 4—2I：林型別95%機率水準五種地面測計方法每公頃材積之可靠最低估値

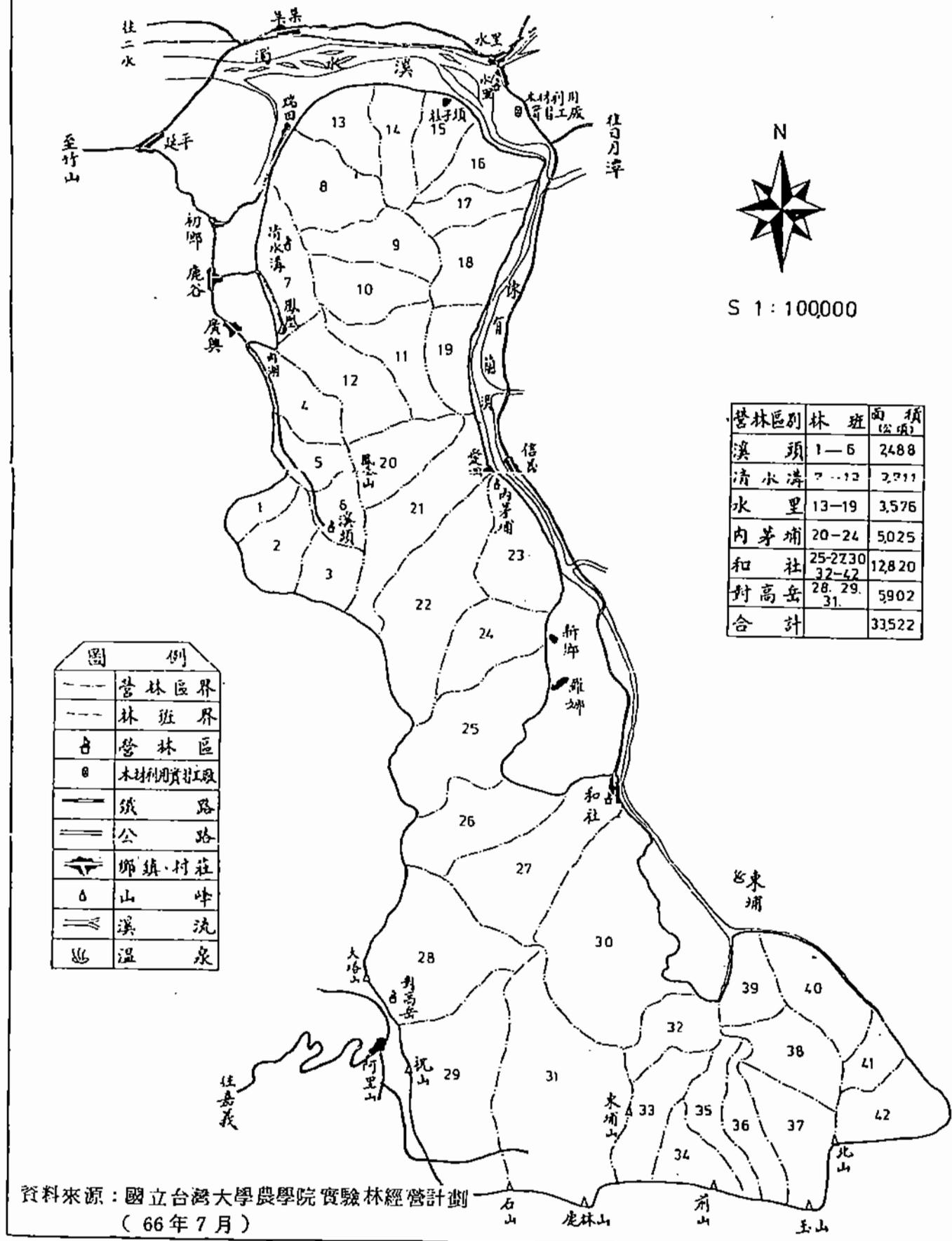
單位：m³/ha

地面測計方法	林型別	人工混濁林 (CHP)	人工針葉樹林 (CP)	天然針葉樹林 (C)	天然闊葉樹林 (H)	天然林 (C+H)	人工林 (CP+CHP)	針葉樹林型 (C+CP)
0.0125 公頃 圓形樣區(C1)		51.69	197.90	291.52	254.07	301.26	141.50	252.14
		56.61	196.61	320.57	264.14	319.44	142.13	261.90
		58.15	190.82	294.96	294.64	320.55	139.40	237.82
0.05 公頃 圓形樣區 C3)		55.36	203.65	258.27	265.13	261.54	147.57	240.06
	畢特立希氏角度 係數為 4 之水平 樣點 (R1)	55.68	193.30	216.52	227.94	228.73	140.20	212.25

表 4—22：不同取樣設計95%機率水準五種地面測計方法每公頃材積之可靠最低估值單位：m³/ha

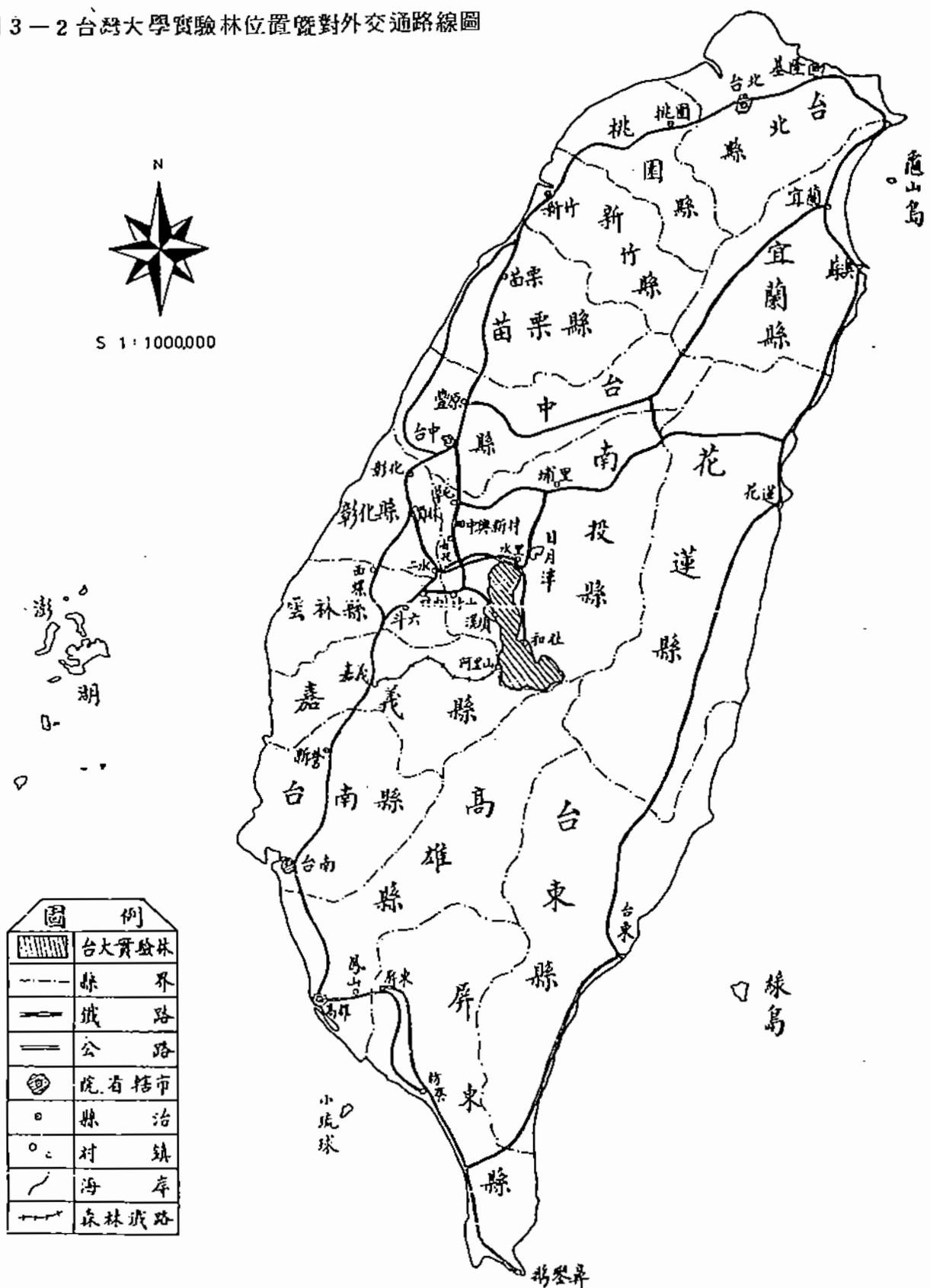
取樣設計 地面測計方法	簡單達機取樣設計	天然林、人工林二層之分層達機取樣設計	針葉樹林、混濁林、闊葉樹林之分層達機設計	人工針闊葉混濁林、人工針葉樹林型、天然闊葉樹林型四層之分層達機取樣設計
0.0125 公頃 圓形樣區(C1)	218.40	264.32	257.50	262.68
0.025 公頃 圓形樣區(C2)	225.08	277.06	265.65	272.20
0.05 公頃 圓形樣區(C3)	224.08	277.13	275.05	285.77
畢特立希氏角度係數為4之水平樣點(R1)	207.32	236.51	249.29	251.25
畢特立希氏角度係數為2之水平樣點(R2)	183.68	209.59	216.58	217.60

圖 3-1：台灣大學實驗林營林區及林班區劃圖



資料來源：國立台灣大學農學院實驗林經營計劃
(66年7月)

圖 3-2 台灣大學實驗林位置概對外交通路線圖



資料來源：國立台灣大學農學院實驗林經營計劃
(66年7月)

圖 3-3：試驗地區地況圖

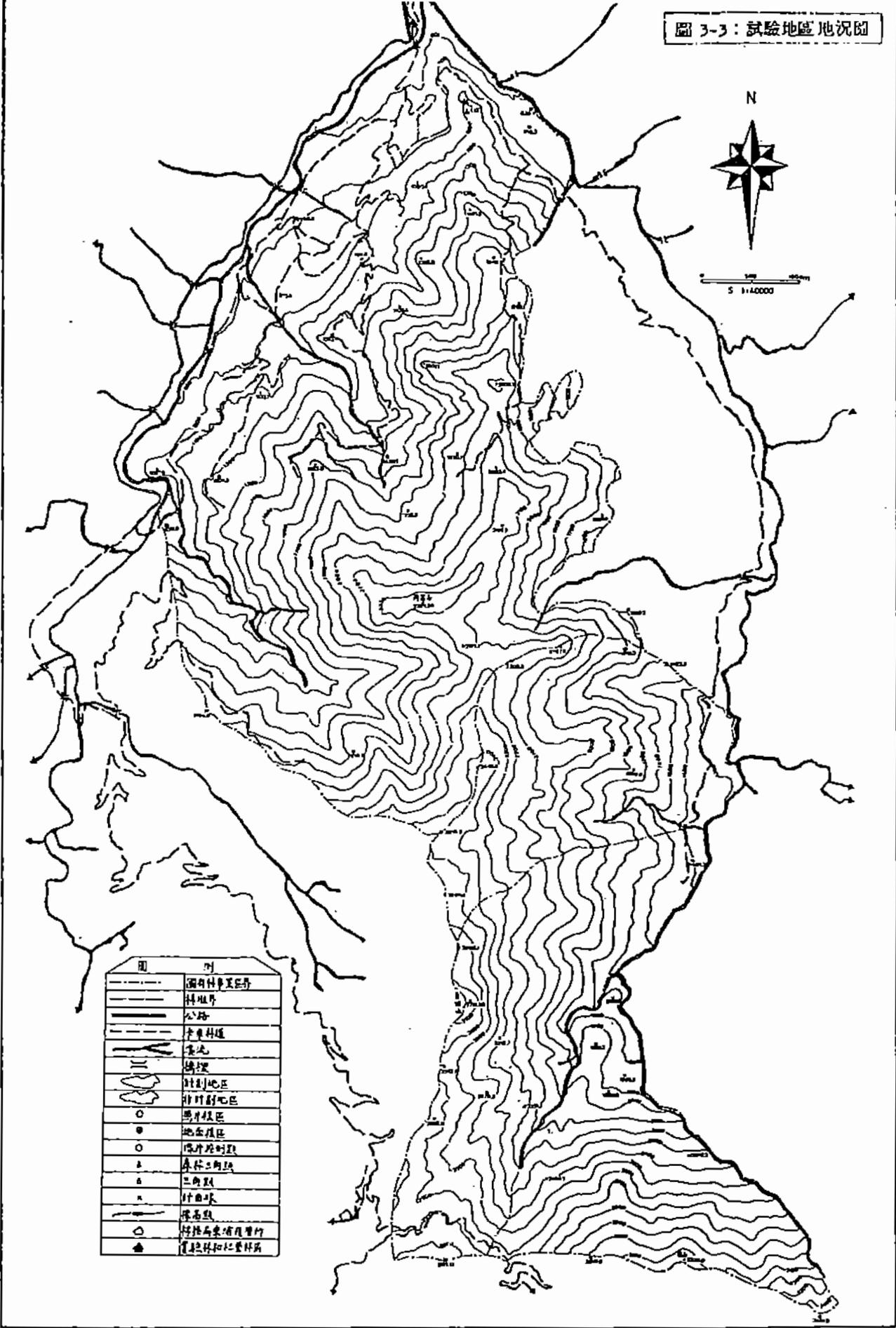
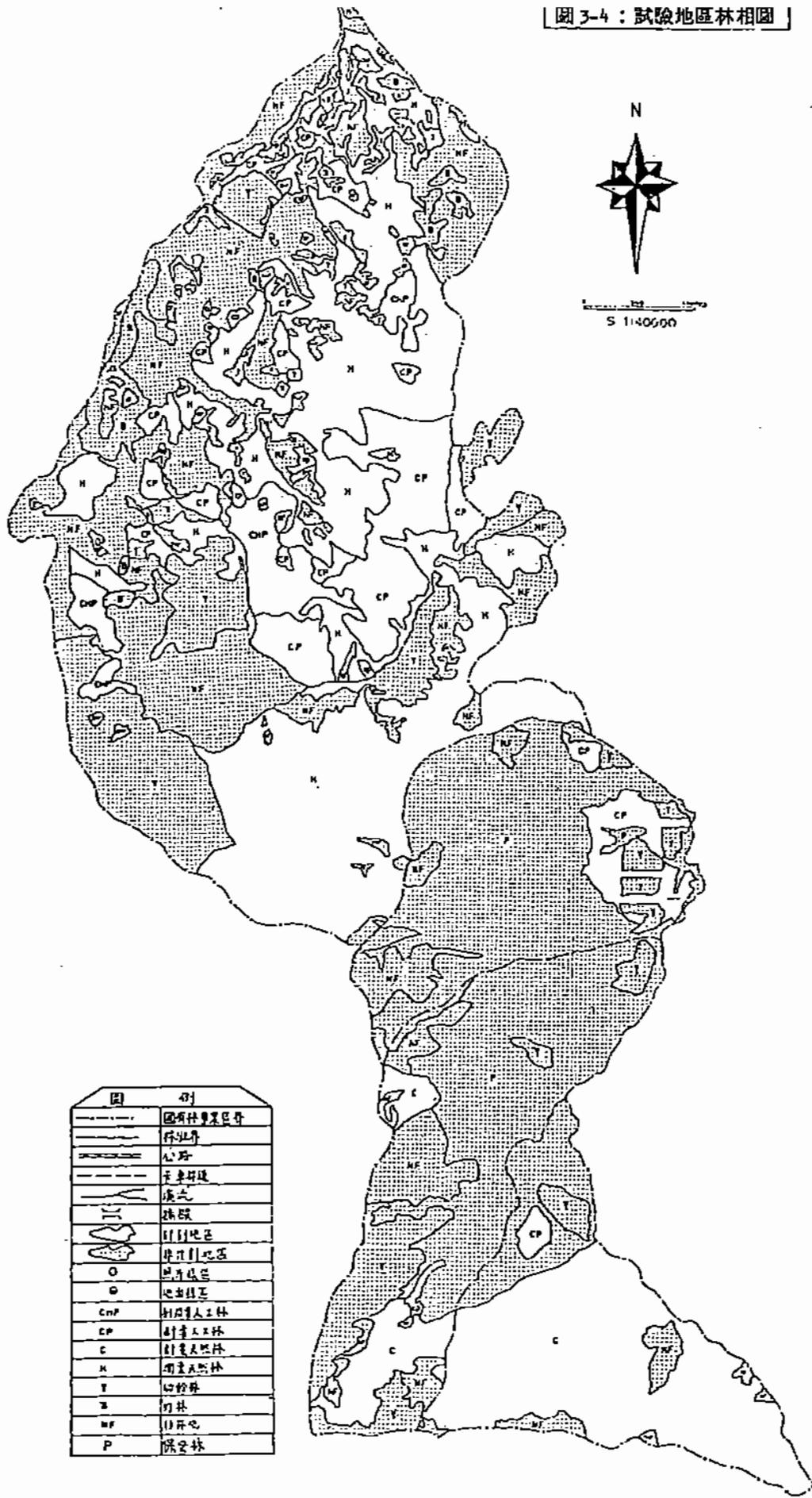
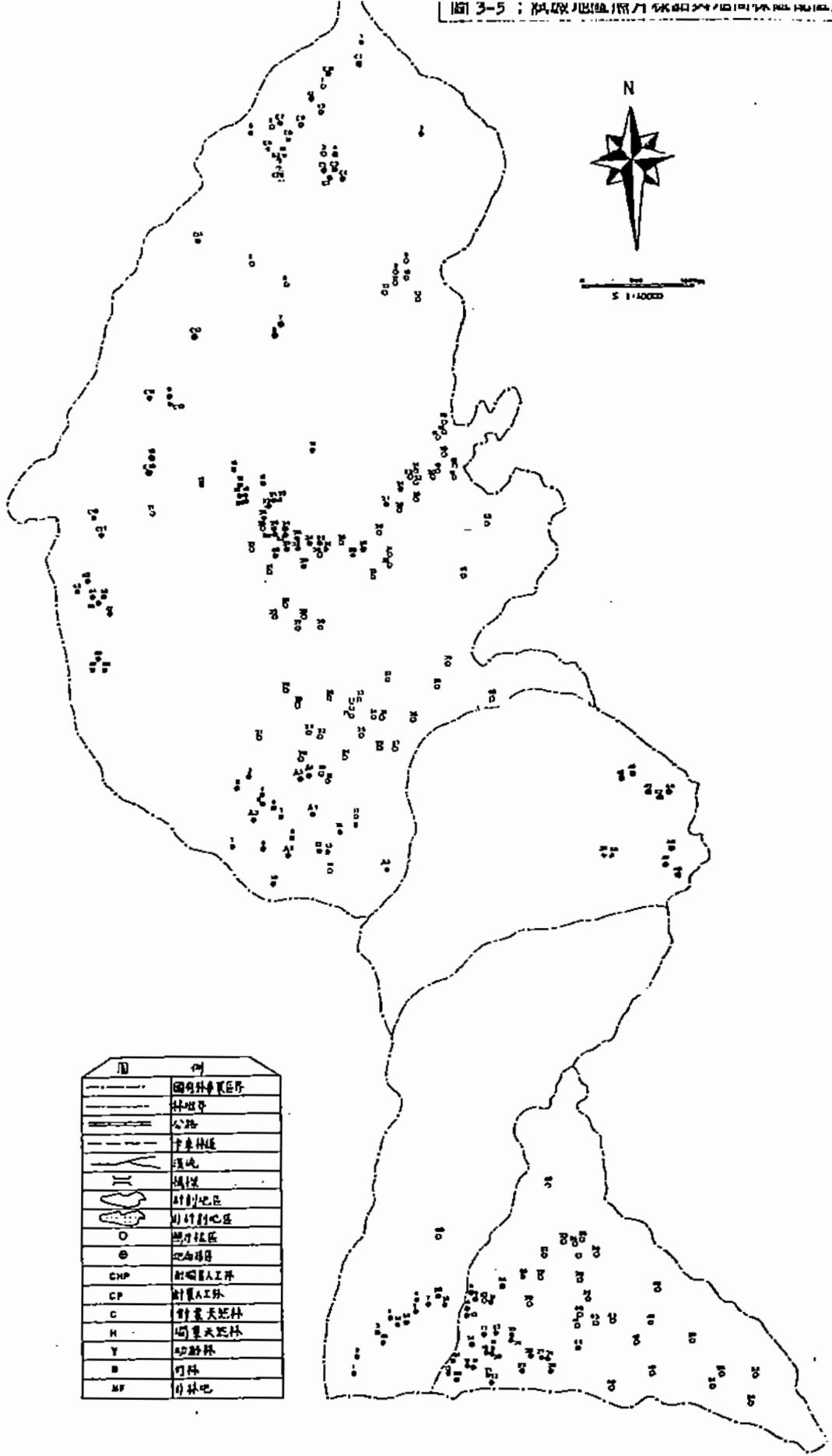


圖	例
——	國有林事業區界
——	林班界
——	公路
——	次要幹道
——	溪流
——	溝渠
——	計劃地區
——	非計劃地區
○	馬槽樣區
●	地在樣區
○	保存地時點
△	森林三角點
△	三角點
△	計面點
——	標高點
○	特殊調查區界
●	實地林和社營林區

圖 3-4：試驗地區林相圖





图例	说明
——	国外林分界线
——	林班界
——	公路
——	干渠林道
——	溪流
——	堤防
——	规划地区
——	划行划地区
○	测点标志
⊙	测点标志
CHP	划行人工林
CP	划行人工林
C	划行天然林
H	划行天然林
Y	划行林
B	划行林
MF	划行地

圖 3-6：造林圖與現物實況不符位置標示圖

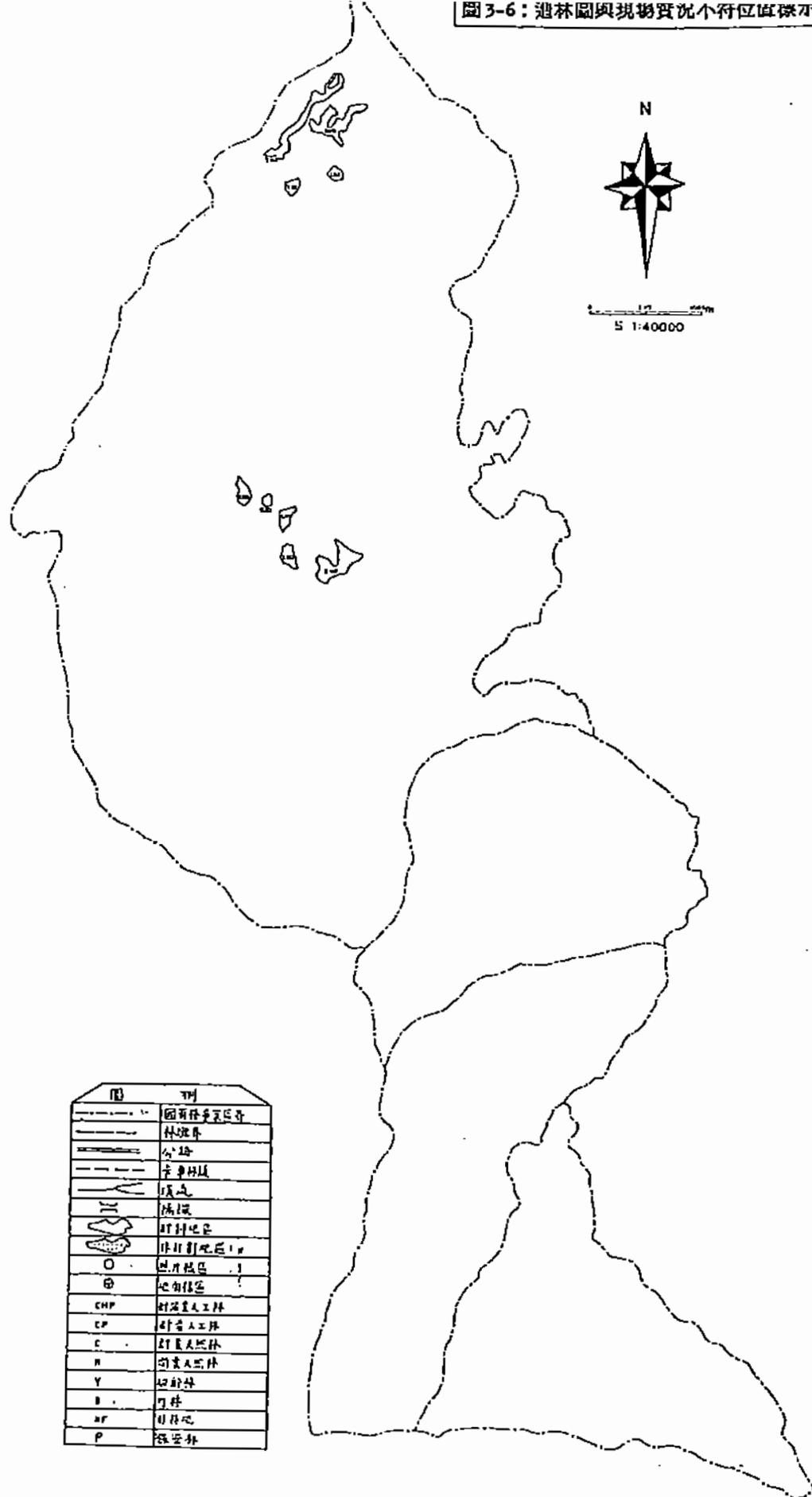


圖	說明
——	國有林管理區界
——	林班界
——	公路
——	主要林道
——	溪流
——	溝渠
——	封禁地區
——	非計劃地區
○	造林地區
⊗	已有林區
CHP	耐旱人工林
CP	耐旱人工林
C	耐旱天然林
N	耐旱人工林
Y	幼齡林
B	幼齡林
MF	幼齡林
P	保安林

	徑級數	加數	直徑級	累加
10.00	+++++*****46	1446	1446	30.5
15.00	+++++*****26	1326	2772	28.0
20.00	+++++***18	818	3590	17.3
25.00	++++*69	357	3957	7.8
30.00	+*40	140	4097	3.0
35.00	+84	84	4183	1.3
40.00	+72	72	4255	1.5
45.00	+61	61	4316	1.3
50.00	+37	37	4353	.8
55.00	+34	34	4387	.7
60.00	+47	47	4434	1.0
65.00	+35	35	4473	.7
70.00	+39	39	4512	.3
75.00	+30	30	4542	.6
80.00	+28	28	4570	.6
85.00	+25	25	4595	.5
90.00	+24	24	4619	.5
95.00	+23	23	4642	.5
100.00	+10	15	4657	.3
105.00	+7	7	4664	.1
110.00	+20	20	4684	.4
115.00	+11	11	4695	.2
120.00	+7	7	4702	.1
125.00	+7	7	4709	.1
130.00	+5	6	4715	.1
135.00	+3	3	4718	.1
140.00	+3	5	4723	.1
145.00	+3	3	4726	.1
150.00	+2	2	4728	.0
155.00	+1	1	4729	.0
160.00	+	0	4729	0.0
165.00	+1	1	4730	.0
170.00	+	0	4730	0.0
175.00	+2	2	4732	.0
180.00	+3	3	4735	.1
185.00	+	0	4735	0.0
190.00	+	0	4735	0.0
195.00	+1	1	4736	.0
200.00	+1	1	4737	.0
205.00	+	0	4737	0.0
210.00	+	0	4737	0.0
215.00	+1	1	4738	.0
220.00	+	0	4738	0.0
225.00	+	0	4738	0.0
230.00	+	0	4738	0.0
235.00	+	0	4738	0.0
240.00	+	0	4738	0.0
245.00	+	0	4738	0.0
250.00	+	0	4738	0.0
255.00	+	0	4738	0.0
260.00	+	0	4738	0.0
265.00	+	0	4738	0.0
270.00	+2	2	4740	.0
275.00	+	0	4740	0.0
280.00	+	0	4740	0.0
285.00	+	0	4740	0.0
290.00	+	0	4740	0.0
295.00	+	0	4740	0.0
300.00	+	0	4740	0.0
305.00	+1	1	4741	.0
310.00	+	0	4741	0.0
315.00	+	0	4741	0.0
320.00	+	0	4741	0.0
325.00	+	0	4741	0.0
330.00	+	0	4741	0.0
335.00	+	0	4741	0.0
340.00	+	0	4741	0.0
345.00	+1	1	4742	.0

圖 4—2 湖南區人工針葉混種林樣木胸徑分布直方圖 (每一*代表10株)

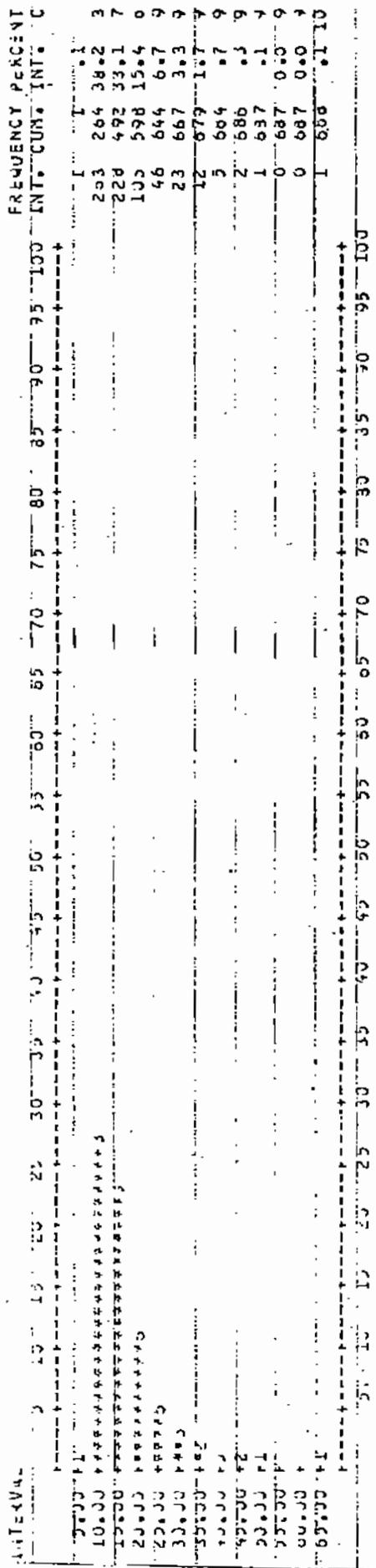


圖 4—3 湖南區人工針葉樹林型樣木胸徑分布直方圖 (每一*代表10株)

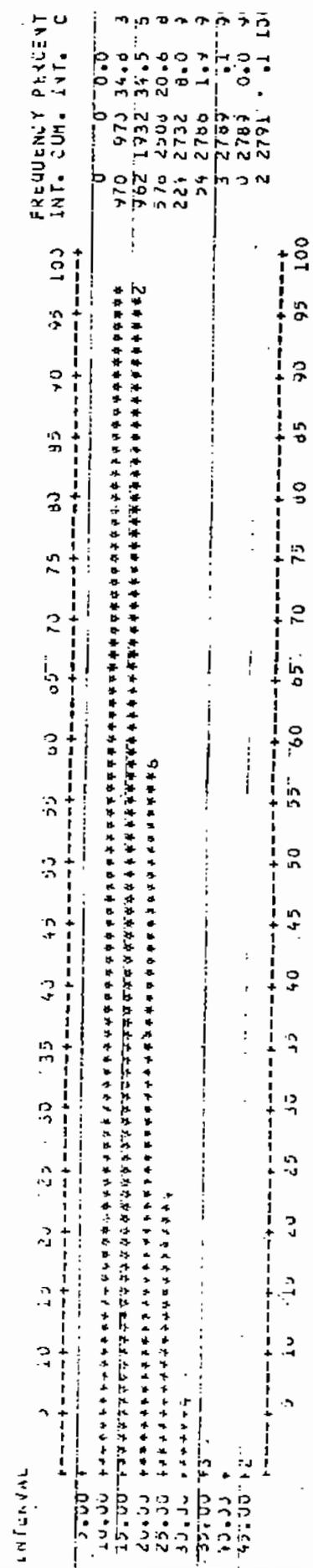


圖 4—5 調查區天然闊葉樹林型樣木胸徑直方圖 (每一*代表10株)

INTERVAL	FREQUENCY				PERCENTAGE	
	5	10	15	20	INT. INT.	CUM. CUM.
5.00 +					0	0.0
10.00 +*****					199	28.8
15.00 +*****1					101	43.4
20.00 +*****					80	55.0
25.00 +*****1					51	62.4
30.00 +***2					32	67.0
35.00 +***4					34	71.9
40.00 +**3					33	76.7
45.00 +**0					23	80.3
50.00 +**1					21	83.3
55.00 +*7					17	86.3
60.00 +**1					21	89.3
65.00 +*5					15	91.6
70.00 +*4					14	93.6
75.00 +*					10	95.1
80.00 +5					5	95.9
85.00 +9					9	97.3
90.00 +7					7	98.3
95.00 +5					5	99.0
100.00 +1					1	99.1
105.00 +					0	99.1
110.00 +2					2	99.4
115.00 +2					2	99.7
120.00 +1					1	99.9
125.00 +					0	99.9
130.00 +1					1	100.0

圖 4—6 湖沼區全體樣區坡度分布直方圖(之一)

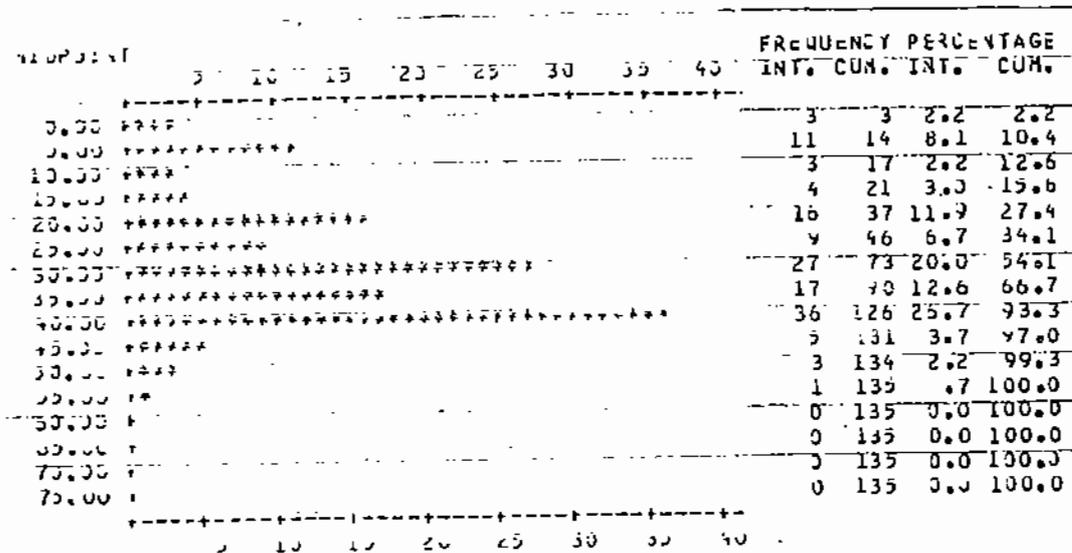


圖 4—7 湖沼區全體樣區坡度分布直方圖(之二)

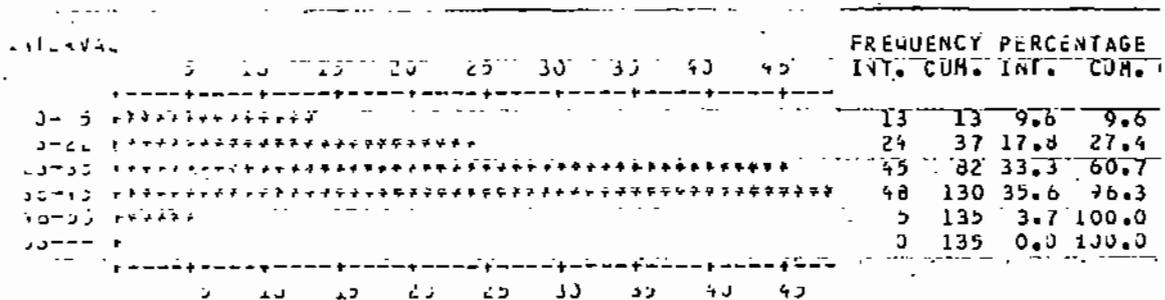


圖 4—8：人工針闊葉混淆林樣區坡度分布直方圖（之一）

MIDPOINT						FREQUENCY		PERCENTAGE	
	5	10	15	20	25	INT.	CUM.	INT.	CUM.
0.00 +						0	0	0.0	0.0
5.00 +++						2	2	7.4	7.4
10.00 +						0	2	0.0	7.4
15.00 +*						1	3	3.7	11.1
20.00 +****						4	7	14.3	25.9
25.00 +***						3	10	11.1	37.0
30.00 +****						4	14	14.3	51.9
35.00 +***						3	17	11.1	63.0
40.00 +*****						6	23	22.2	85.2
45.00 +****						4	27	14.3	100.0
50.00 +						0	27	0.0	100.0
55.00 +						0	27	0.0	100.0
60.00 +						0	27	0.0	100.0
65.00 +						0	27	0.0	100.0
70.00 +						0	27	0.0	100.0
75.00 +						0	27	0.0	100.0

圖 4—9：人工針闊葉混淆林樣區坡度分布直方圖（之二）

INTERVAL						FREQUENCY		PERCENTAGE	
	5	10	15	20	25	INT.	CUM.	INT.	CUM.
0-5 +*						1	1	3.7	3.7
5-22 +*****						6	7	22.2	25.9
23-35 +*****						7	14	25.9	51.9
36-45 +*****						13	27	48.1	100.0
45-55 +						0	27	0.0	100.0
50---- +						0	27	0.0	100.0

圖 4—10：人工針葉樹林型樣區坡度分布直方圖（之一）

MIDPOINT						FREQUENCY PERCENTAGE			
	5	10	15	20	25	INT.	CUM.	INT.	CUM.
5.00	+	+	+	+	+	3	3	6.3	6.3
10.00	+	+	+	+	+	9	12	18.8	25.0
15.00	+	+	+	+	+	3	15	6.3	31.3
20.00	+	+	+	+	+	3	18	6.3	37.5
25.00	+	+	+	+	+	4	22	8.3	45.8
30.00	+	+	+	+	+	5	27	10.4	56.3
35.00	+	+	+	+	+	5	33	12.5	68.8
40.00	+	+	+	+	+	9	42	18.8	87.5
45.00	+	+	+	+	+	3	45	6.3	93.8
50.00	+	+	+	+	+	1	46	2.1	95.8
55.00	+	+	+	+	+	1	47	2.1	97.9
60.00	+	+	+	+	+	1	48	2.1	100.0
65.00	+	+	+	+	+	0	48	0.0	100.0
70.00	+	+	+	+	+	0	48	0.0	100.0
75.00	+	+	+	+	+	0	48	0.0	100.0

圖 4—11：人工針葉樹林型樣區坡度分布直方圖（之二）

INTERVAL						FREQUENCY PERCENTAGE			
	5	10	15	20	25	INT.	CUM.	INT.	CUM.
0-5	+	+	+	+	+	12	12	25.0	25.0
5-10	+	+	+	+	+	10	22	20.8	45.8
10-15	+	+	+	+	+	16	38	33.3	79.2
15-20	+	+	+	+	+	7	45	14.6	93.8
20-25	+	+	+	+	+	3	48	6.3	100.0
25-30	+	+	+	+	+	0	48	0.0	100.0

圖 4—12：天然針葉樹林型樣區坡度分布直方圖（之一）

MIDPOINT						FREQUENCY PERCENTAGE			
	5	10	15	20	25	INT.	CUM.	INT.	CUM.
0.00 +						0	0	0.0	0.0
5.00 +						0	0	0.0	0.0
10.00 +						0	0	0.0	0.0
15.00 +						0	0	0.0	0.0
20.00 +*****						8	8	20.0	20.0
25.00 +						0	8	0.0	20.0
30.00 +*****						11	19	27.5	47.5
35.00 +						0	19	0.0	47.5
40.00 +*****						20	39	50.0	97.5
45.00 +						0	39	0.0	97.5
50.00 +†						1	40	2.5	100.0
55.00 +						0	40	0.0	100.0
60.00 +						0	40	0.0	100.0
65.00 +						0	40	0.0	100.0
70.00 +						0	40	0.0	100.0
75.00 +						0	40	0.0	100.0

圖 4—13：天然針葉樹林型樣區坡度分布直方圖（之二）

INTERVAL						FREQUENCY PERCENTAGE			
	5	10	15	20	25	INT.	CUM.	INT.	CUM.
0-5 +						0	0	0.0	0.0
5-22 +*****						8	8	20.0	20.0
23-35 +*****						11	19	27.5	47.5
36-45 +*****						20	39	50.0	97.5
46-55 +†						1	40	2.5	100.0
56--- +						0	40	0.0	100.0

圖 4—14：天然潤葉樹林型樣區坡度分布直方圖（之一）

SLOPE INT.						FREQUENCY PERCENTAGE			
	5	10	15	20	25	INT.	CUM.	INT.	CUM.
0.00 +						0	0	0.0	0.0
5.00 +						0	0	0.0	0.0
10.00 +						0	0	0.0	0.0
15.00 +						10	0	0.0	0.0
20.00 +						0	0	0.0	0.0
25.00 +						1	1	5.0	5.0
30.00 +*****						6	7	30.0	35.0
35.00 +*****						5	12	25.0	60.0
40.00 +*****						7	19	35.0	95.0
45.00 +						0	19	0.0	95.0
50.00 +						1	20	5.0	100.0
55.00 +						0	20	0.0	100.0
60.00 +						0	20	0.0	100.0
65.00 +						0	20	0.0	100.0
70.00 +						0	20	0.0	100.0
75.00 +						0	20	0.0	100.0

圖 4—15：天然潤葉樹林型樣區坡度分布直方圖（之二）

INTERVAL						FREQUENCY PERCENTAGE			
	5	10	15	20	25	INT.	CUM.	INT.	CUM.
0-5 +						0	0	0.0	0.0
5-22 +						0	0	0.0	0.0
23-35 +*****						11	11	55.0	55.0
36-42 +*****						8	19	40.0	95.0
43-50 +						1	20	5.0	100.0
51-70 +						0	20	0.0	100.0