

部編大學用書

森林調查學

楊寶霖編著

國立編譯館主編
臺灣商務印書館發行

S757

18

部編大學用書

森 林 調 查 學

楊 寶 霖 編著

中華民國七十二年十月初版

部編大
學用書

森林調查學

一冊

基本定價五元六角正

主編者 國立編譯館

編著者 楊寶霖

發行人 朱建民

版權所有
翻印必究

印刷及
發行所

臺灣商務印書館股份有限公司

登記證：局版臺業字第〇八三六號

臺北市重慶南路一段三十七號

校對人：張樹怡

謹 以 此 書

紀念淪陷大陸之雙親

周 序

育林與森林經營，同屬森林學之主要學門，而森林測計、評價、與森林管理，森林經理以及森林經營經濟學，均類屬於森林經營學門之內，旁觸紛繁，其內容尤需精研；早期之森林調查技術，每於森林測計或森林經理學範圍內講述，今則因林業科學之突飛猛晉，且自廿世紀四十年代以來，由於航空測量資源調查技術之引用，統計理論與取樣技術之演變，遂使森林調查學之內涵，愈趨豐富，其方法亦繁，演進至今，實為研究森林經營學門之必須學科矣！

楊寶霖學友，早年從事森林實業之試驗工作，對林業計算與統計方法，亟富興趣，復又從事森林航測調查，先後執教於大專院校達廿年之久，對航測資料之統計及取樣方法，鑽研甚詳，今集其多年來教學與工作心得，彙編成森林調查學，內容旁徵博引，逐步例述，由簡至繁，足供大專院校教學與參考之應用。

余樂觀此書之將由國立編譯館付梓刊行，特以為序焉！

周楨於臺灣臺北市寓所

時年八十有四

編輯大意

一本書係根據多年來參加森林航測調查工作之經驗，及教學心得所撰寫，全書共分三篇十九章，前文之總述中則闡明與森林調查有關之各項名辭釋義，并扼要簡介現行之各種取樣調查方法。

二航空攝影之簡要幾何原理，立體觀察方法，像點投影位移誤差之改正方法，林型、土地類型之判釋，與照片之測定，均於第一篇內講述之。對於必須應用之計算公式，均詳加證明；所述照片判釋方法與遙感探測有關者，則略予引述，以備將來修學遙感探測之需要。

三統計術語，變方 (Variance) 或稱變異數，取樣誤差 (Sampling error) 及信賴界限之計算方法，均以實例詳予說明，第二篇各章所述之森林調查取樣設計，主要係參考 W. G. Cochran 氏 (1962) 之 Sampling Technique 第二版，及 F. X. Schumacher and R. A. Chapman (1954) 二氏之 Sampling Methods in Forestry and Range Management 二書編撰，并參加實例說明，對於 PPS 選樣法及 3 P 選樣法等，則俟將來重刊時補充之。

四第三篇中，詳述面積之計法，及林型，林分材積與生長量之估算，并詳述其誤差之改正方法，以供應用時之參考。

五本書可供大學、獨立學院及專科學校之森林攝影測計及森林調查學之教科用書，全年共需六學分之課程。

六本書完稿已數年，至今始承國立編譯館刊印，謹致謝意。

著者謹識

目 錄

總述	1
I. 森林及森林調查之意義.....	1
II. 森林調查方法之演進.....	4
III. 森林調查之類別及其主要項目.....	6
IV. 森林之普查與取樣調查法概述.....	9
V. 森林調查、林地、林木、及材積等有關名辭釋義.....	13
第一篇 森林之航空攝影調查法.....	25
第一章：航空攝影與航攝垂直照片之認識.....	25
1.1 可見光之航空攝影照片在森林調查上之應用與 遙感探測.....	25
1.2 森林航空攝影調查技術之應用.....	27
1.3 航攝及遙測照片種類、規格、與照片之邊緣註記.....	29
1.4 垂直照片之像比尺、攝影基線、航線間隔與照片重疊.....	34
1.5 攝影飛機與空中照像機.....	38
1.6 攝影材料：底片與濾色鏡.....	43
1.7 航線設計法、與拍攝照片張數之計算.....	47
1.8 航空攝影之幾何原理淺釋及其有關辭義.....	50
第二章 像點位移，照片之檢驗保管與描繪區域之選擇.....	56
2.1 中心投影，像點位移，及地形高程差對像點位置之 影響.....	56
2.2 照片之檢驗與保管.....	60
2.3 選擇照片描繪區域法.....	63
第三章 雙像立體觀察之原理與方法.....	67
3.1 雙像立體觀察之原理.....	67
3.2 雙像立體觀察之方法與儀器.....	69

3.3 雙像立體觀察所受之限制	71
第四章 森林調查之照片判釋	74
4.1 照片判釋技術在森林調查上之應用	74
4.2 照片判釋之意義及應注意之要點	74
4.3 照片判釋之工作方式	81
4.4 多重像據判釋之意義	82
4.5 照片判釋技術上所受限制或其優點與缺點	83
4.6 照片判釋用之儀器與設備	84
4.7 森林調查之照片判釋，及森型判釋要點	85
4.8 地形及土地類型之判釋	96
第五章 照片判釋計量資料之測定與分級	114
5.1 照片上資料量測設備	114
5.2 飛行高度與像比例尺，及兩點間距離之測定法	114
5.3 物體高度、樹冠直徑、樹冠密度、及樹高之測定	118
5.4 林分材積與林分之分級	130
5.5 自照片上測定樣區或一地段之坡度法	131
第六章 照片描繪與平面圖轉繪法	137
6.1 森林調查判釋照片之描繪	137
6.2 平面圖轉繪製圖法	142
6.3 單像轉繪糾正製圖法	143
6.4 輻射線法與輻射平面測繪儀	157
第七章 照片樣區，照片樣點與地面樣區調查法	164
7.1 照片樣區之設置與判釋	164
7.2 照片樣點法	168
7.3 地面樣區調查	172
第二篇 森林調查設計	201
第八章 統計術語與基本概念	202
8.1 變值、樣本、族群、與取樣單位	202

8.2	介量、介值、變值之頻度分布與變值分組法	206
8.3	變值之總和或總加、算術平均數、機差、變方與 標準偏差	208
8.4	介值之期望值	215
8.5	機差常態曲線，機率積分，與信賴界限	219
8.6	二樣本平均數和或差之變方及其信賴界限	225
8.7	二變值相乘積，常數與變值相乘積之變方及取樣 機差	230
8.8	變值比值之變方	232
8.9	屬性變異分立變值之變方	237
第九章	簡單逢機選樣之森林調查設計	241
9.1	森林調查與有限大族群	241
9.2	有限族群與其逢機樣本	241
9.3	森林之簡單逢機取樣調查法	249
9.4	簡單逢機取樣法之調查設計	261
9.5	分立變值，有限族群之簡單逢機取樣法	264
9.6	取樣單位，觀測變值之單位，與調查結果估值變 方之影響	265
第十章	分層取樣調查法	271
10.1	分層取樣調查法總述	271
10.2	森林調查林區之分層方法	274
10.3	分層逢機取樣調查法，樣區測定值變方及信賴界限 之估算	276
10.4	分層逢機取樣法之調查設計	283
10.5	簡單逢機取樣與分層逢機取樣法之比較	294
10.6	分層取樣、取樣單位數之換算，及其與調查費用 間之關係	296
10.7	分層取樣法調查設計，取樣數目計算之偏差	297

第十一章 異質或多數族群同時取樣，及比率取樣調查法·····	304
11.1 異質族群或多數族群同時取樣調查法之解釋·····	304
11.2 一林分中同時調查兩種不同樹種材積之同時取樣·····	304
11.3 同時調查兩種以上樹種材積之方法·····	311
11.4 依多族群同時取樣法，就一樣區內同時調查兩種以上 之樹種材積，林區先行分層，再就各層內選樣之同時 取樣調查·····	315
11.5 區集面積不等，林區面積不能預知時之比率取樣調查 法·····	324
第十二章 系統取樣調查法·····	350
12.1 系統取樣調查法總述·····	350
12.2 系統選樣法樣本之抽選·····	351
12.3 系統取樣法之樣本平均，總平均估值及其變方之 估值·····	354
12.4 森林調查之系統取樣法，樣區之設定·····	359
12.5 系統取樣法舉例·····	360
12.6 系統取樣調查法之討論·····	368
第十三章 集團取樣調查法·····	372
13.1 集團取樣法總述·····	372
13.2 集團取樣法之變方分析·····	375
13.3 集團取樣法，變方與費用間之函數·····	378
13.4 比率或分立變值集團取樣法變方之估算·····	381
13.5 集團大小不等之取樣調查法·····	382
13.6 不等大集團取樣法，樣本估值之相對準確度·····	391
13.7 集團取樣法，在森林調查上應用之舉例·····	397
第十四章 二階段取樣及雙重分層取樣調查法·····	410
14.1 二階段取樣調查法，樣本平均數及其變方之估算·····	410
14.2 區集大小相等之二階段取樣法例示·····	417

14.3 二階段取樣法之調查設計，取樣數之計算.....	422
14.4 第一次取樣單位面積不等之二階段取樣調查法.....	425
14.5 分層之二階段取樣調查法.....	442
14.6 雙重分層取樣法.....	444
第十五章 迴歸及變積分析方法在森林調查上之應用.....	459
15.1 起點值不等於零之迴歸分析法.....	459
15.2 起點值爲零之加權直線迴歸分析.....	466
15.3 直線迴歸變積分析方法之應用.....	469
15.4 複迴歸變積分析法，在森林調查上之應用.....	475
第三篇 森林調查之資料整理.....	489
第十六章 林分面積計算與校正.....	489
16.1 計算林分面積之工具與方法.....	489
16.2 計算林分面積之工作步驟.....	491
16.3 改正面積及其取樣誤差之計算.....	496
16.4 面積之統計及統計表項目.....	511
第十七章 地面樣區調查資料之校對，林木株數與材積之推算.....	513
17.1 地面樣區調查記錄之校對.....	513
17.2 樣區中林木株數之計算.....	514
17.3 樣木測計資料之核對，與材積之計算.....	517
17.4 健全活著林木之瑕疵率.....	520
17.5 闊葉樹之枝條材積，及枝條材積率.....	522
第十八章 生長量之計算.....	525
18.1 材積之連年生長量.....	525
18.2 小桿材之晉級生長量.....	529
18.3 死亡量.....	530
第十九章 林分材積與林分材積之生長量與損耗量.....	532
19.1 各級林分之單位面積材積.....	532

19.2 樣區及林分材積之淨生長量與生長率.....	535
19.3 材積損耗量.....	537
附 錄.....	553
英中名詞對照.....	565

總 述

I. 森林及森林調查之意義

1. 森林之意義：

國人對森林最習見之解釋，指森林係叢生之樹木，西人字彙，則謂森林係密集著生於一地區之喬木及灌木之總稱；惟森林家對於森林，則有不同之解釋，依聯合國世界糧農組織，所予之定義，謂森林乃係指林地 (forest land) 及林地上生長以各型林木為優勢，且為野生動物蔭蔽棲息，可生產木材及其他林產物，對其所在地之氣候、水系、及土壤具有影響力之植物社會之總稱；復按我國森林法修正草案，第一章，第九條之修正條文指森林乃林地及其所生長林木之有機結合體，且依天然資源之分類，以森林為可以更新之天然資源 (renewable natural resources)，森林不僅可被採伐以生產木材，并可保護農作物及其他天然資源，間接防止天然災害，進而增加國民財富以謀人類之福祉。

2. 森林調查之需要：

廿世紀以來，各先進國家，對於天然資源之保育，早已感覺迫切需要，因一地區或一國之人民，所享受物質生活之水準，胥視其對於所擁有之天然資源保育與利用之程度而異，對於所有天然資源中之土地是否已為合理之利用，森林之是否已遭破壞，抑或保續良好，尤可反應其國家之強弱與文明之程度；對於濫墾土地與破壞森林覆蓋之國度，人民之生活固無法提高，久之且足以毀滅其固有之文化，而促致落後，今世已不乏實例，反之以合理方法經營利用其天然資源之國家，不僅百業獲益，且可恆續其福祉；就工業生產之潛力言之，一現代化之國家，其生產力之大小，繫於其工業發展之程度，而其工業之發

展，與其所需原料之供應是否充足，密切攸關，其中由開發森林所生產之木材，為主要工業原料，因此對於森林之培育與維護，實為促進國家總體經濟、富足國計民生之所必需，尤其適應人口之增加，促進經濟之發展以提高國民之生活水準，維護及保育優美之森林，不僅可滿足對木材及其他林產物之需求，森林之間接效益如涵養水源、防洪及遏止土壤沖蝕、改善地力及生育環境，均屬長期性之效益，他如美化地景、增進觀光及遊樂事業，亦每以林相優美之森林是賴，至一區域之相鄰國際間，對於森林之維護，更易收互惠之效，尤其欲使天然資源充分發揮其對人類之效益，更有賴於合理之森林經營，而良好之森林經營，又必依充分且有時效之森林調查資料是賴。根據瑞典皇家林學院 1974 年世界森林資源之統計（文中并引用 1963 年世界森林資源調查報告）（1963 年之統計為 41 億 2 千 6 百萬）全世界之森林面積共約四十億零叁仟萬公頃，其中 69.5 % 約二十八億公頃，屬於易到達之森林；全世界已被開發利用以及具有生產潛力之森林，估計約三十二億二千三百五十萬公頃，其中約 17 % 或五億七千萬公頃已編有森林經營計劃，若就此森林面積，每間隔二十年調查一次，每年應調查之森林面積為二千八百五十萬公頃，此一面積數字，約當臺灣本島面積之 14.5 倍，而臺灣本島之一百九十七萬公頃之森林，若每間隔 20 年重加調查一次，每年應調查之森林面積為九萬八千公頃。由上舉之各項數字，可概括瞭解全世界或臺灣每年需加調查之森林面積；復據聯合國糧農組織每間隔三年林產物統計數字顯示，木材之用材增加量約為 20 %，而薪炭材僅增加 3 %，可說明世界對於良材之需要，年有增加，而森林之用材林之經營以及其所需之森林集約調查，實宜力行，英國林業委員會蘇瑞林業試驗所研究員 D.R. Johnston 氏在動盪世界中之林業（1976）文中，對世界森林現況，且有詳盡之研述，以全世界森林面積共約 38 億公頃中有 28 億公頃經聯合國糧農組織評定為鬱閉林，其中約有 25 億公頃可供生產木材或具有生產木材之潛力，平均每公頃蓄積量為 110 立方公尺，另 10 億公頃為蓄積量較低之非鬱閉

林或疏林之林分，其每公頃蓄積量僅約 30 立方公尺，綜計全世界森林總蓄積約三千五百億立方公尺，若木材非再生資源，且均可伐採取用，依目前世界木材年消費量計（年消費 25 億立方公尺），可足供 140 年之需，但森林之伐採與木材之供應，常受經濟、政治、戰爭與財政上困難之影響，以及樹種不良，與伐採技術上之諸問題，有時難遂人類之所願，宜就力之所及者，研究改進，並促使其更新，俾符再生資源之旨，後者實惟森林之定期調查是賴焉。

3. 森林調查之意義：

如前所述，森林必須定期調查，以瞭解林況之變遷，蓄積與生長量之消長，且依森林之定義，森林既係林地及其所生長林木及植生社會之有機結合體，復因其對於人類具有直接及間接之效益，故廣義之森林調查，應不僅以調查可供經濟利用之林木為限，亦不僅以其所聚生之植物社會為唯一之調查對象，他如林地面積之大小、表層地質之結構、地型、土地類型，林相及森林生態等，均應涵括之，以獲得森林及其植物社會與生育環境之綜合資料；無如其調查項目愈繁雜，計劃與調查之規模必愈龐大，致不能於短期內完成而難收時效，故森林調查常依其主要目的之不同，而分類或分項進行之，一般所稱之森林調查（forest inventory），多係指森林資源調查（forest resource survey）而言，森林資源調查之意義則為：森林調查應為有系統而可靠之林地面積分類區畫，所著生之林木材積及生長與死亡量依一定之單位表示並以表列出者，故完整之森林調查資料應包括林木被覆地之面積、土地類型、及其所有權之記述，林木、及林分材積、生長及材積損耗之估算，其主要項目雖可因調查之主要目的而增減，但經營森林以達永續之必需項目尤應括入之。聯合國糧農組織 Harrison 氏曾將國家森林資源調查定義為：國家森林資源調查為調查其森林面積及林況以及推計林木材積蓄積、生長量與年伐量（包括林木之自然消失量，亦即枯死量）等一見楊榮啟（1979）當代森林調查方法之探討。

II. 森林調查方法之演進

早期之森林調查多僅為達成販賣之目的，而以估測林木之材積為主，浸至十九世紀以來，則被視為編製森林經理計畫之基礎工作。中世紀末葉，因木材供應缺乏，人類遂被迫開始砍伐城郊及礦場附近之森林，對於林木之材積，則係根據林地面積估算，此時森林調查之首要工作，則在繪製簡單之森林分布圖，惟其製圖技術則甚差，成圖亦不精確，但以對於森林面積及林木材積僅着重於其總蓄積量之估算而言，已足數所需，蓋當時對於木材之需求，係以薪材為主，用材次之；在十八世紀時，估計全林總蓄積量之方法，係將全林區先分為分區（forstaste），再先以目測方法，估計其單位面積上之林木蓄積，然後伐倒樣木若干株測定計算之以核對目測之結果，彼時且以訓練目測方法為研究林學之所必需，此種目測方法，至今仍為調查森林者所延用，惟在調查大面積森林時，僅在林區中某一駐足點，進行目測，實難以獲致精確而可靠之結果，故目測方法僅能適用於調查小面積之森林。

十九世紀初，對於測定林木以估算材積之方法，大有改進，林業人員開始利用林木之胸高直徑、樹高、及形數，編製各樹種之立木材積表，此種估算林木材積方法之改進，實導因於交通及工業之發達，人類對於用材之需要逐漸遠超過其對於薪材之需要，木材之價格既增，前此由目測小面積林分以推計全林蓄積之方法，遂感不切合實際之需要，對於森林之經理，亦以生產達一定規格與相當品質之用材為目的。至此目測方法，漸被放棄而代之以逐株測定，演進而為今日之每木調查方法者是也，惟此種逐株測定之每木調查方法，費時費力，需費亦鉅，如今，德國及瑞士，仍以此法調查貴重之林分，臺灣地區亦用以調查天然針葉樹林分以及柳杉及杉木人工林等之林班賣却調查；十九世紀時，中歐一帶，因盛行人工純林之皆伐作業，林業家遂研究

編製收穫表之方法，用以推計較大面積森林之蓄積，同時挪威瑞典各國，以及芬蘭等，相繼採用帶狀調查法以推計大面積之林分蓄積。應用帶狀調查法調查時，若各帶間隔寬度不大，所得資料，且可用以繪製全林區之林型林分圖。

延至廿世紀，以較小林分或標準地之調查結果，推計全林蓄積之方法，更使調查工作，推陳出新，法國之 A. Gurnaud 氏，以及瑞士之 H. Biolley 氏，曾採用連續調查法，比較兩次定期調查之結果，以推計林分之定期生長，1947 年，W. Bitterlich 氏，更以查定林分中林木之胸高斷面積以推算林分蓄積，另如應用生長錐測定林木生長，依林木之材質及其價格之高低以估計一林分經濟價值等調查，均為推計全林蓄積之方法。

應用統計理論及統計方法於森林之調查，始於廿世紀之廿年代，首先加以研究採用者為瑞典、挪威、及美國，自 1930 至 1950 年間，漸次推廣及其他各國，統計上對於變方及變積分析方法之研究，對於森林調查技術之改進影響甚大，同時取樣方法之改進，亦成為森林調查設計之重要法則，相關及迴歸分析方法之研究，給予編製林分及林木材積表甚多之便利，統計方法之應用，非但簡化森林調查之方法，且可估出調查結果之信賴界限。

應用航空攝影方法從事森林調查，為調查技術之主要改進，德國雖於廿世紀之二十年代，即開始研究是項技術，但未加推廣應用，因此對於中歐各國之森林調查方法，并未發生影響，反逐漸由美國、非洲、加拿大及紐西蘭等國，加以引用改進。此種應用航空攝影以調查森林之方法，不僅可以之繪製林型林分圖，計出各林分之面積，復可推測計算林分蓄積，對於不易到達、人跡罕至之原始林，亦可以本法調查之，近更可應用電子計算機（電腦），對於大面積林區之調查資料，迅予整理分析，以縮短森林調查作業之時間，又復因攝影技術之精進，應用彩色照片、彩色紅外線照片、以及多光帶攝影之方法，研究森林調查，照片之判釋技術，用以分辨樹種及病害之林木及林分