

平成9年度 技術情報提供活動促進業務報告書

平成9年度

# 技術情報提供活動促進業務報告書

— 林業分野プロジェクト国内委員会活動 —

平成10年3月

JICA LIBRARY



J 1143203 [6]

## 国際協力事業団

JICA  
00  
88  
FC  
BRARY

林 開 林
J R
98-009

平成10年3月

88

平成9年度

# 技術情報提供活動促進業務報告書

ー林業分野プロジェクト国内委員会活動ー

平成10年3月

国際協力事業団



1143203 (6)

## 序 文

本報告書は、平成9年度林業協力分野国内委員会における技術情報提供活動の内容を取り纏めたものです。

技術情報提供活動は、林業協力プロジェクト等からの技術質問を受け、国内委員会が回答を作成して迅速に現場にフィードバックし、プロジェクトの効果的な推進を図ることを目的としています。

本年度、プロジェクトから提出された質問事項は、5項目ありますが、これら質問事項は国内委員会の各委員会の多大な御協力により回答が作成されました。本報告書はこの5項目の質問内容及びそれらに対する回答を合冊したもので、現地からの林業情報及び国内からの支援情報が夫々相当量盛り込まれており、それらが蓄積されていけば、開発途上国における林業技術情報の有効活用になるものと考えています。本報告書が海外林業協力の関係者に、より広く活用されることを願っています。

本報告書を取り纏めるにあたり、委員その他関係者から賜った御支援と御協力に深く感謝申し上げます。

平成10年3月

国際協力事業団  
林業水産開発協力部  
部長 黒木 亮

# 目 次

## I PNG森林研究計画II

1. 樹冠投影図の書き方 ..... 1
2. 天然林における材積表あるいは材積式の算出方法。全伐による現存量の実測方法 … 9

## II パナマ森林保全技術開発計画

2. *Calliandra calothyrsus*の淡水魚養殖用飼料としての有効性について ..... 75
3. 防風林植栽のデザイン ..... 79
4. 草地の生産性の測定について ..... 89

登録番号 2210  
参照番号

O D C 分類	2	造林
	2	作業種 林分の構造と造成 林型
質問内容	樹冠投影図の書き方	
プロジェクト	PNG森林研究計画Ⅱ	
地域 : 国名	オセアニア	: パプアニューギニア
キーワード	樹冠投影図、保育技術、伐採、森林生態	
参考文献	生態学実習書	

質問者	阿部仁文	回答者	埜田 宏
-----	------	-----	------

# 個別技術情報支援のための質問書

プロジェクト名 PNG森林研究計画II  
専門家名 安部 仁文

質問技術テーマ：樹冠投影図の書き方

## 1. 質問テーマの具体的背景、及びそのプロジェクト活動の中での位置付け

天然林の研究において樹冠投影図は、森林の立体構造に関して極めて有用な情報を多く含んでいるといわれる。プロジェクトでも伐採前後の森林の変化を調べる試験区や間伐等の保育技術の開発試験区などで樹冠投影図を作成し、研究に利用したい。

## 2. 質問の具体的内容

林内での個々の樹木のデータの取り方、投影図の描き方の実際。昨今のコンピュータの性能の向上を受け、既存のソフトを利用して作成が行われているならば、そのソフト名と利用の方法。

## 3. 期待する回答の範囲

樹冠投影図の作成方法手引き書。樹冠投影図を利用した学術論文。コンピュータソフトの資料。

質問のキーワード：天然林、樹冠投影図

希望資料名：「森林の生態学」（1971）  
依田恭二 築地書館

希望指導委員名：埜田 宏



〒305 筑波農林研究団地内郵便局私書箱16号  
(茨城県稲敷郡茅崎町松の里1)  
森林総合研究所 森林環境部 植物生態科  
電話 0298 (73) 3211 内353  
ファクス 0298 (73) 1542  
E-mail taoda@ffpri.affrc.go.jp  
Nifty-Serve SGR00354

埜田 宏

安部 仁文様

樹冠投影図についての御質問ですが、所内の担当者より別紙の意見、文献のコピーが示されましたので送付します。

樹冠投影図の作成につきましてはあくまで測量の一種であって、特別なことはありません。一般の測量に比べて精密さが求められないことから簡易な道具を用いる工夫も有り、プラントンコンパスのように鏡をつけたクリノメーターが販売されていたことがあります。現在販売されているかどうかは不明です。要は、地上部から真上であることが判断されれば良いわけですので、自分で工夫しているようです。

投影図を何に使用するかということが重要で、投影図が情報を持っているわけではなく、調査者が得た情報を表現する手段の一つと考えるべきです。したがって、樹冠投影図を載せた論文はあっても、樹冠投影図を利用した論文と呼べるものを知りません。

伐採の前後の樹冠投影図ということになりますと、

- ・高木層の配置を示し、成長予測を説明する。
- ・樹冠面積（もしくはギャップ面積）を測定するためのデータ

この場合、塗りつぶした範囲の面積を測定することになりますから、コンピューターを使用した面積測定も可能です。

- ・親子関係、種子散布範囲の表示

幹間距離を絵で表すことで、計算等はもとのデータの方が良いはずです。

要するに、個体間の位置関係を議論する場合に、その説明図として用いられるわけですから、森林生産の場のように面積当たりの個体数、収量を計算するような調査で用いられることはほとんど有りません。

より具体的な質問が有りましたら、あらためて御質問を受けたいと存じます。

## 技術情報 Q & A 回答

### 樹冠投影図の書き方

#### 1. 林内での個々の樹木のデータの取り方、投影図の描き方の実際：

参考文献（「生態学実習書」）のコピーを添付した。

実際に描く場合は、現場で個々の木の周辺を歩き、目測あるいは実測（ポールあるいは巻き尺を使用する）で樹冠の広がりを把握し、樹冠投影図を作成する。

実測する場合は根元から樹冠の2方向あるいは4方向の線を10cm単位で測定する。手描きの場合は現場で残りの部分を樹冠の広がり方を見ながら補足して描く。

パソコンなどで描く場合は根元からの4方向（長径方向および短径方向）をデータとして記録する。一般には楕円で近似して描く。

#### 2. 樹冠投影図を描くソフトの存在は寡聞にして聞かない。

一般にはベシックなどで自分でプログラムを組んでいる。

#### 3. 手引き書はコピーを添付した。

樹冠投影図を利用した学術論文。林分の構造に言及した報告の場合、樹冠投影図を示す例が多い。構造を視覚に訴えるため。

針葉樹の単純一斉林などでは樹冠投影面積と林内照度の関係について論じた報告が2、3例ある。

#### 4. 森林

##### (1) 毎木調査

原理： 毎木調査とは、現存量、胸高断面積合計など、面積当りの森林の諸量を求めるために、面積をきわめて全立木の種類、胸高直径、胸高などを測定することをいう。林学でいう毎木調査は胸高直径だけの測定をさすが、ここでは樹高などの測定も含める。

調査区の設定： 調査区はふつう正方形または長方形にとる。どの辺の長さも調査森林の最大樹高以上であることが望ましい。

対象森林全体について立木の大小、密度、うっぺい（鬱蔽）度、林床の状況などをよく観察し、調査区の大体の位置と範囲をきめ、その一端に基線をおく。斜面の場合には区の上手に、斜面の最大傾斜方向に直角に水平な基線をとる。ポケットコンパスを使い、基線の両端から基礎に直角に等しい長さの2側線を取り、その端を結ぶ。側線の方位を斜面方位、両側線の傾斜角の平均を斜面の傾斜角とし、斜面面積を水平面に投影した平面面積に換算する。

調査区は必要に応じて10m×10mまたは5m×5mの小区画に区切る。

調査地名（行政区域名、山名、林班名、森林所有者名など）、森林の種類、歴史、海拔高度、地形、斜面方位、傾斜角、斜面面積、平面面積を記録する。個体番号および小区画の順番を示す簡単な見取図をえがく、さらに母岩、土壌、森林の成層構造、うっぺい度、林床、ツル、着生植物など、森林の状態をあらわす事項を観察記録する。林床、樹冠などの写真をとる。

胸高直径 4.5cm以上の全立木に個体番号をつけ、種名を記録する。あらかじめ番号を書きこみ、上端に孔をあけたプラスチック製の番号札を用意し、電気配線用大型ステイプルでとめると便利である。番号をとりつける位置は目の高さで、幹の一定方向の面につける。斜面的場合は山側につける。小区画に区切った場合は、同じ小区画内の個体は一連の番号となるようにする。

測定： 胸高直径（D）の測定：ふつう記帳者1名、測定者1名、測定助手1名で行なう。記帳者と助手は兼任でもよい。

胸高は地表面から 1.3mの高さとし、斜面的場合には幹の山側の地表面から測る。水平方向に移動しながら測定し、できるだけ斜面を上下するのをさけると疲労が少ない。

胸高の位置は基準棒を作ってあてるか、測定者の体に位置のマークをつけるかしてきめる。疲労や体位によって位置がずれないように注意する。

測定には直径巻尺または輪尺を用いる。直径巻尺の場合には、巻尺を幹に直角にまわして測定する。助手は巻尺のまわる位置の邪魔物をのぞくなど、巻尺を正しくまわす補助をする。輪尺（カリパー）の場合には、相互に直角な2方向の直径を測り、その平均を直径とする。直径巻尺の方が平均的直径がえられ便利であるが、直径10cm以下の場合には幹に密着せず不正確となる。小さい木では小型カリパーを使うのがよい。

目盛はmm単位までよむ。しかし必要に応じてcm括約。または有効数字2桁で測定してもよい。

樹高（H）の測定： 測定は記帳者1名、測定者1名、助手1名で行なう。小さい木は目盛つき測竿を用い、大きい木は測高器を用いて測定する。

測高器は多種なものが考案されているが、相似形の性質を利用した幾何学的測高器と、三角法を応用した三角法的測高器の2種に大別できる。いずれの場合にも幹の先端の位置が見えることが条件となる。多数の木を比較的短時間に測定するためには、幾何学的測高器としてはワイゼ式が、三角法的測高器としては牛方式アルチレベルが比較的簡便である。

測定者は測高器をもち、測定木の先端と根もとがよく見える位置に立つ、助手は木をゆすって測定者に木の先端を確認させ、巻尺で測定者から木の先端の真下までの水平距離を測る。木の根もとと先端の真下の位置とは異なることがあるから注意すること。測定者は測高器で木の先端とその真下の根もとの高さを見とおし、眼と同じ水準面より上と下の部分にわけて

高さを測定し、Hをもとめる。眼の水準面以下は測竿で測定してもよい。

広葉樹のように樹冠が丸くなる木では先端の確認がむずかしく、ある程度カンを働かせる必要がある。このような時にはなるべく木から離れて、かつ高い位置から測定するのがよい。どうしても先端が確認できない木は欠測とする。誤差を小さくするため、できるだけ仰角45°付近で測定すること。測定者と木の距離が短いときには、幾何学的測高器では距離目盛を2倍、3倍などにとり、高さの読み目盛を1/2、1/3などにした方が精密になる。傾斜地で根もとより下方から測定することはさけること。

整理：1) 作表 種名、個体番号、D, H,  $D^2$ ,  $D^3$ ,  $(1/4\pi)D^2$  (胸高断面積)の欄を横にとり、縦には各樹種ごとにDの大きさの順にならべた表をつくり、各樹種ごとの胸高断面積合計を計算する。つぎに横の欄に種名、個体数、胸高断面積合計、および、それぞれの面積あたりの値である密度(Na/ha)、胸高断面積合計(%)をとり、縦には樹種を個体数の順にならべた表をつくり、この合計として森林全体の値をもとめる。

胸高断面積合計%は森林のうっぺい度と密接に関係することが知られている。よくうっぺいした森林では、広葉樹林で0.5%前後、針葉樹林で0.7%前後の値となるのが普通である。

2) 度数分布の比較  $D$ ,  $D^2$  および  $D^3$  で、それぞれの最小値と最大値の間を等間隔の6階級にわけ、それぞれの度数分布の棒グラフを作る。個体数の多少によって、階級の数は増減してもよい。 $D^2$ ,  $D^3$  と次数が高くなるにつれて、度数分布のモードは個体の小さい階級の方に動く。たとえば、 $D$ の度数分布が正規型の分布のときでも、 $D^2$ のモードは中央の階級より小さい方に移り、 $D^3$ では最小の階級にモードのある、いわゆるL型分布となる。 $D$ は直径、 $D^2$ は表面積、 $D^3$ は体積または重さにほぼ対応することから、これらの度数分布の型の変化の示す意味を考察せよ。

用具： 巻尺、ポケットコンパス、測量ポール、番号札、ステイプル、金づち、直径巻尺または輪尺、小型カリパー、測竿、測高器、野帳、集計用紙、グラフ用紙、数表。

注意： 毎木調査以外の調査を同じ調査区で行なう場合には、区の設定が終わったら、森林の破壊が他の測定をさまたげないように、慎重に順序をきめることが必要である。たとえば毎木調査で歩きまわると、林床をふみあらし、下生え、リター、土壌などの調査をさまたげる。一般には次のような順序がよい。i) 調査区の設定、ii) 環境測定、iii) リタートラップの設定、iv) 下生え、A層、土壌の調査、v) 個体番号つけ ( $D \geq 4.5$  cmの木)、vi) 下層木 ( $D < 4.5$  cm)の刈取調査、vii) 毎木調査、viii) 樹冠投影図の作製、ix) 伐木調査(現存量、成長量、光合成、林木の呼吸など)。

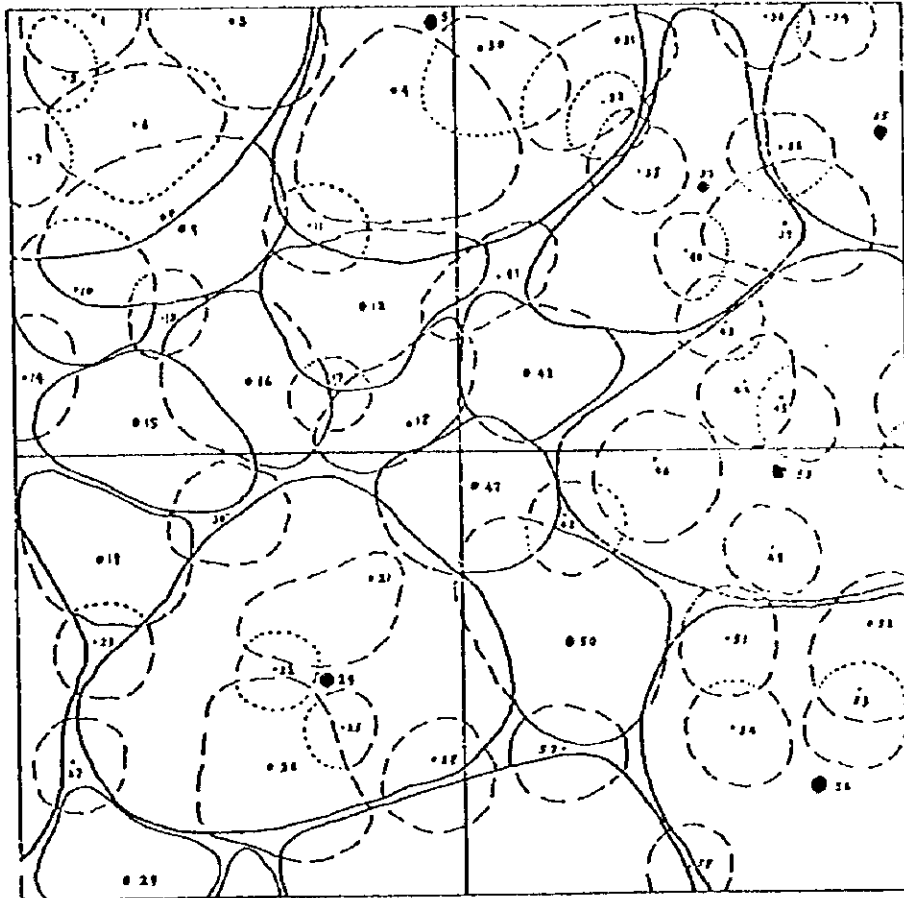
1. 4. a. (5) - 3) でのべた幹重 $W_s$ と $D^2$  Hとの相対生長関係は、森林がちがってもかなり広い範囲で同じ関係式となる場合が多い。ゆえにDとHを測定すれば、 $H \sim D$ 関係がちがっても他の森林でえられた関係式を適用して $W_s$ を推定できる。ゆえに毎木調査の場合、必ずHが測定されることが望まれる。

## (2) 樹冠投影図

森林の野外調査では、研究室に持ちかえる資料はほとんどデジタル化され、森林の構造、形態を示す資料が少なくなりがちである。しかし、調査資料の解析検討には、森林の形態をできるだけ忠実に再現できる資料が不可欠な場合が多い。写真だけでは、個体間の位置関係や、樹冠の上下関係などを示すには不十分である。

こういう要求を満たすための森林形態学的にすぐれた資料として、森林の断面図と樹冠投影図がある(図Ⅲ、16)。森林断面図は大がかりな伐倒作業を伴わないと正確に作図ができない。一方、樹冠投影図は根気を要する作業であるが、断面図にくらべると比較的簡単に作製できる。

実施： 作図はふつう1/100の縮尺で行なう。調査区が小さいときには1/50でもよい。調査区を10m×10mまたは5m×5mの小区画に分け、 $D \geq 4.5\text{cm}$ の木に個体番号をつけ、毎木調査を行なう。



図Ⅲ. 16 ブナ林の樹冠投影図、1区画は10m×10m  
(青森県下北郡脇野沢村貝崎、1966)

グラフ用紙に規定の縮尺で調査区および小区画のわくを画く、小区画を区分する巻尺の目盛から各個体の根もとの位置をよみ、図上の該当位置に直径に比例する円を画く、個体番号

を記入する。板根をもつ木は円の周囲に板根の形を画く。

つぎに各個体の樹冠のひろがり確かめ、その位置と形を記入する。この場合、補助者は巻尺の目盛によって、樹冠のひろがりの範囲を作図者に指示する。隣接する個体の幹や樹冠との平面的関係に十分注意すること。樹冠はつねに根もとの上をおおうとは限らない。同じ図上に多くの樹冠が重なって投影されるから樹冠の輪廓上に個体番号を書きこむか、根もとの位置と樹冠の輪廓をつなぐなどして、どの樹冠がどの個体のものか、まぎれないようにする。

図上に投影された樹冠については、どの樹冠が上でどの樹冠が下かといった立体的関係を確認する。この立体的位置関係の正確な観察はとくに重要であるから、色鉛筆を使うなどして、整理の際にまぎらわしくないように画く。

整理： どんなにいいねいに画いても、原図はかなり複雑なものになる。記憶の確かなその日のうちにトレーシングペーパーにうつしかえる。図Ⅲ、16に示すように、実線・点線などを併用して、一目で樹冠の上下関係がわかるようにする。

整理の途中、樹冠の個体番号や上下関係がはっきりしない個体があれば、もう一度現地で確認すること。

用具： 巻尺、画板、グラフ用紙、トレーシングペーパー、筆記具、色鉛筆、消しゴム。

[小川房人・依田恭二・穂積和夫]

O D C 分類	5	測樹 生長量 林分の成育課程と林分構造 測量と図化
	2	樹幹の各因子の大きさ 単木 林分 森林及び素材材積の測定
質問内容	天然林における材積表あるいは材積式の算出方法。全伐による現存量の実測方法	
プロジェクト	PNG森林研究計画II	
地域 : 国名	オセアニア	: パプアニューギニア
キーワード	材積表、材積式、現存量実測調査	
参考文献	生態学研究法講座 陸上植物群落の生産量測定法 Methods for Estimating the Primary Production of Forests	

質問者	阿部 仁文	回答者	峠田 宏
-----	-------	-----	------

# 個別技術情報支援のための質問書

プロジェクト名 PNG森林研究計画Ⅱ  
専門家名 阿部仁文

質問技術テーマ：天然林における材積表あるいは材積式の算出方法。全伐による現存量の実測方法。

## 1. 質問技術テーマの具体的な背景、及びそのプロジェクト活動の中での位置付け

当プロジェクトでは、天然林において毎木調査を行った幾つかの試験プロットを保持している。しかし林分材積の算出には出所の明らかでない数式や他国の熱帯林で作成された材積式を利用している。PNGの天然林における材積式を求めたい。

PNGにおいて、天然林の現存量の実測調査は過去に一度標高およそ2000mの山岳林において行われたのみである。PNGにおける低地熱帯雨林の現存量の実測を行うことは、非常に有意義なことであると考えます。

## 2. 質問の具体的な内容

商業伐採が行われつつあるプロットを利用してデータ収集を行い、材積表あるいは材積式を算出するための砕いてきな方法。林道設置予定地を利用しての全伐による現存量実測のための具体的な方法。

## 3. 期待する回答の範囲

天然林における材積表あるいは材積式の算出方法の手引き書。現存量実測のための手引き書。上記項目に関する内外の学術論文。

質問のキーワード：熱帯雨林、天然林、材積表、材積式、森林現存量、バイオマス

希望資料名：

希望指導委員名：



## 第3章 森林の生産力測定法

### 3.1 現存量の測定法

森林の現存量を測定する場合には、草原と異なって一定面積の群落をすべて刈り取って重量を測定することはふつうできない。したがって、草原の場合とは異なった方法がとられている。それは、1) 調査区を設定し、2) 調査区内のすべての木について、立木のままでできる必要な測定を行う（毎木調査）、3) 試料木を選び伐り倒して、各部の重量そのほか必要な測定を行う、4) 試料木について得られた測値と毎木調査の測値とから、単位土地面積あたりの値を得る、という手順である。ただし森林の下層木や草層木などについては、草原で行ったと同様の全刈り法が適用できる。

#### A. 調査区の設定

まず森林のなかに調査区を設定する。これはその地の森林を代表するようなところで、一様の林相をもち、しかも地形変化ができるだけ少ないところが望ましい。調査区はふつう正方形または長方形にとる。その一辺の長さは少なくともその森林の最高木の樹高より長いことが望ましい。したがってふつうの森林では 20 m×20 m、30 m×30 m、あるいはそれ以上となる。あらかじめ区切りのよい面積としたときは、正方形の一辺を 31.62 m とすれば 0.1 ha となる。また原点を定めて、直交する方向に 15.81 m の対角線をとる、その先端を結べば 0.05 ha の面積がとれるが（図 3.1）、ふつうその必要はない。直角

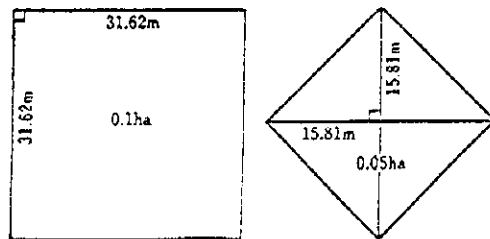


図 3.1 整面積の調査地のとりかた

のとり方は、ポケットコンパスを使うか、または巻尺で 10, 8, 6 m または 5, 4, 3 m の直角三角形をつくる。傾斜地の場合には、方形区の一辺が斜面の最大傾斜方向を向くようにとり、平均傾斜度を測定し、後に必要とあらば水平投影面積に換算できるようにしておく。

調査区は必要に応じて 5 m×5 m、2 m×2 m などの小区画に区切る。この小区画は、立木の位置を記録するのに都合がよいだけでなく、後述のようにリター・トラップの設置位置の選定、下ばえの調査に使う区画の抽出などにも役立つ。

調査区の設定のさいに、できるだけ作意が働かないようにすることが大切である。えてして大きな木や、立木の密生した部分を入れたくなるものだが、そのようにして設定した調査区から得られた過大な値はあとで補正のしようがない。調査区は複数をとることが望ましいが、地形の変化の激しい日本の森林では等質の調査区を多くとることはむずかしい。

調査区の設定が終わったら、直接の観察や簡単な測定で得られる事項はできるだけ記録しておくようにする。森林の成層構造、うっぺい度、林床植物、つる植物、着生植物の状態など。

#### B. 毎木調査

字のように調査区内のすべての木について 1 本 1 本、種類、胸高直径、樹高などを測定する作業である。林学では毎木調査というとふつう胸高直径だけの測定をさすが、生物生産の測定を目的とする場合には、樹高などの測定も含める。

胸高直径 (D) の測定は、ふつう記録者 1 名、測定者 1 名、測定助手 1 名で行う。小径木の林では助手は不要な場合もある。胸高は地表面から 1.3 m の高さで、ふつうの木では根張りの影響がなくなり、最も楽な体位で測定できる高さである。測定者は 1.3 m の長さの基準棒をつくって木にあて、斜面の場合は幹の山側の地表面から計る。胸高にちょうど枝が出ていたり、つるの巻きついたあとなどで幹に不自然な変形がある木は、その部位をさけ、上下の正常と思われる高さで測定する。測定した木には番号をふり、幹の同一方向にチ

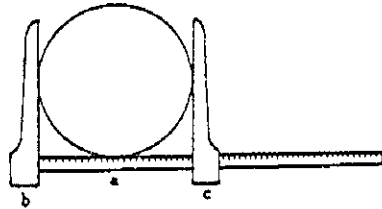


図 3.2 輪尺。a: 尺径, b: 固定脚, c: 遊動脚。

ークなどで印をつける。記帳者は測りおとしがないよう注意しつつ測定者を誘導する。斜面の場合は下部から上方へ昇りながら測定していくほうが欠測が少ない。

測定には輪尺(図 3.2) または巻尺を用いる。1 回だけの測定で終わるときは輪尺を用い、山側から 1 方

向、あるいは横からの測定を加えた 2 方向を測り、1 cm 単位で記録すれば十分である。期間において 2 回以上測り、肥大成長を求めたいときは巻尺を用い、mm まで測り、その部位の幹に白ペンキで帯をまいておく。直径巻尺という、直接に直径が読みとれる巻尺もある。測定助手は巻尺のまわる位置のじゃま物を取り除くなど、巻尺を正しくまわす補助をする。

樹高(H)の測定も、ふつう記帳者 1 名、測定者 1 名、助手 1 名で行う。用具は測棒または測高器である。測棒は小さい木の樹高測定に用いる。引き伸ばし式で、長さ 12 m ほどまで伸びる目盛り付きのグラスファイバー・ロッドが市販されている。測定者は、木の根元から上方へ測棒を伸ばし、助手は木をゆすって木の先端を記帳者に確認させる。記帳者は、斜面の場合は山側にあってなるべく木から離れ、測定者に命じて木の先端に合うように測棒の先端を上下させ、測棒の目盛りを読ませて記帳する。測高器には多くの種類があるが、相似形の性質を利用した幾何学的測高器と、三角法を応用した三角法的測高器の 2 種に大別できる。前者の例としてワイゼ(Weise)の測高器、後者の例としてブルーメライス(Blume-Leiss)の測高器が広く使われている。いずれも測定者が木の先端を見通せることが条件で、測定者と木の先端の真下までの水平距離を巻尺あるいは光学的距離計で測定する必要がある。なお、原理的には三角法的測高器と光学的距離計とを組み合わせ、水平、垂直の角度、水平距離、斜距離を読みとることによって、樹高だけではなく任意の高さの幹直径(したがって胸高直径も)、樹冠の直径などを測定できるような測樹器(たとえばシュ

ビーゲル・レラスコープ Spiegel-relascope や Barr and Stroud のデンドロメーター Barr and Stroud Dendrometer) が開発市販されている。高価な測器であるが利用範囲は広く精度は高い。これらの器具の測定原理、使用法については林学関係の専門書(たとえば、大隅真一ほか、1971<sup>1)</sup>など)を参照されたい。樹高の測定は、なるべく木から離れて行ったほうが林冠の丸みや枝張りによる先端確認のさいの誤差が少なくてすむ。また傾斜地では必ず斜面上方から行うこと。

毎木調査において生ずる誤差のうち最大のものは測りおとしによるものであり、これを除くには測定者および記帳者の注意にまつ以外ない。数十 m 四方という小面積の方形区内の調査なら、測りおとしのチェックは容易であるが、大面積の調査の場合は測りおとしをまったくなくすることはむずかしい。とくに小径木が多く、立木密度が高く、また足場の悪い林分ほど、測りおとしが多くなる。測りおとしを最少限にするためには、樹幹につけるマークは必ず同一方向につけること、記帳者はこのマークをみながら後退しつつ測定者を誘導することが必要である。斜面の場合は下方からジグザグに上方へと調査を行うほうがよい。測りおとしによる誤差は必ず測値に負の効果のみを与えるので、とくに重要視されねばならない。測りおとしは必ずしも小径木のみとはかぎらず、筆者の経験でも後のチェックのさいに「こんな大きな木が」と思われるような木の欠測が発見されたことがある。

使用する器具の不良の結果生ずる誤差のうち最大のものは輪尺誤差で、これはおもに輪尺の遊動脚にガタがきていて、幹にあてたさいに尺度とのなす角が正しく直角にならないためにおこる誤差である。これも常に過少な測値を与える誤差となる。巻尺による幹周の測定から直径を求める方法は、輪尺によるよりも誤差を少なくする。一般に幹の横断面は正円ではないので、巻尺により断面を正円とみなして断面積を求める場合には、多少とも過大な結果が得られることになる。しかしふつうの毎木調査の場合には、胸高直径よりも樹高の測定のはうにはるかに大きな誤差を伴うので、直径の測定にあまり気をつかうのは得策ではない。測りおとしをなくすことと、1~数年の間隔をおいた測定によ

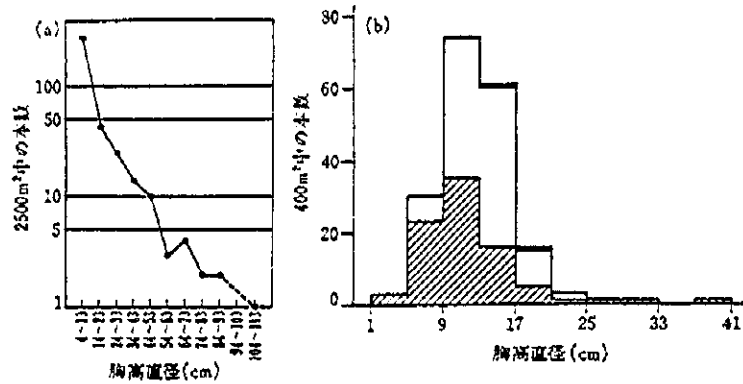


図 3.3 林分の胸高直径分布図

- (a) 大隅半島の照葉樹林 (北沢ら, 1959)<sup>2)</sup>  
 (b) 北八ヶ岳のシラビソ-オオシラビソ林。白抜き部分がシラビソ、斜線部分がオオシラビソ、縦線部分はダケカンパ、黒はそのほか (木村, 1963)<sup>3)</sup>

って立木の肥大成長を求めるさいには輪尺よりも巻尺を選ぶことの2点に注意すれば十分であろう。

毎木調査の結果は、図 3.3 のように棒グラフまたは折線グラフで図示する。このようなグラフから、その森林の大まかな様子を読みとることができる。図 3.3 (a) は大隅半島のイヌノキの優占する照葉樹林で得られたものである。このように小さな木の個体数が圧倒的に多く、大きな木など減少するような森林は択伐林型の森林とよばれ、複雑な林冠構造をもつ広葉樹の天然林に多い。同図 (b) は八ヶ岳のシラビソ-オオシラビソの天然林において得られたものである。このように胸高直径があるモードを中心にして分布しているような森林は一斉林型の森林とよばれ、比較的樹木の大きさがそろっていて林冠の構造も単純である。同様の人工林がこのタイプの森林の代表であるが、図 3.3 (b) のように天然林にもみられる。

全立木の胸高断面積の合計の林地面積に対する比は、その森林の繁茂の程度をあらわすよい指標とされている。十分に繁茂した森林では、この値は広葉樹林で 0.5% 程度、針葉樹林で 0.7% 程度になることが知られている。

また、胸高断面積はその木の樹冠の占める面積とも比例関係があるので、林

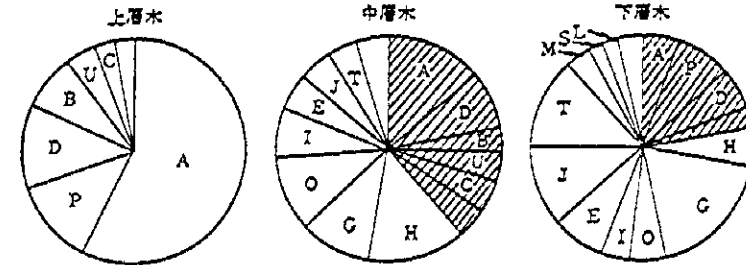


図 3.4 大隅半島の照葉樹林の林冠各層における樹種の優占度。上層および中層木については胸高断面積比で、下層木については個体数比で示す。以下の記号は図 3.7 と共通。斜線部に上層に出現する樹種の若木。A:イヌノキ、B:アカガシ、C:エズリハ、D:ウラジロガシ、E:ツキミ、F:モチノキ、G:アオガシ、H:サザンカ、I:マブツバキ、J:マブニツケイ、K:エズミヤチ、L:ミズバエ、M:モッコク、N:バリバリノキ、O:ナカキ、P:スダジイ、Q:イヌマキ、R:カクレミノ、S:ハイノキ、T:ヒサカキ、U:タブノキ (北沢ら, 1959)<sup>2)</sup>

分の胸高断面積合計の樹種間への配分状態は、しばしば各樹種の優占度を示す指標として利用される。図 3.4 はこの配分状態を円グラフであらわした一例であり、図 3.3 (a) が得られたと同じ林分の結果である。この図から、この森林は上層木の胸高断面積の半分以上をイヌノキが占め、スダジイ、ウラジロガシがこれに続くこと、中層木には特別に優占する樹種はなく、イヌノキの若木とサザンカ、アオガシ、ナカキなどが混じることなどが読みとれる。

### C. 立木のマッピング、樹冠投影図、森林断面図

森林の構造や形態的諸性質を示す資料は、生産量の推定のために必ずしも直接に必要というわけではないが、その森林のもつ性質を第三者に伝える方は、数値化された資料よりもはるかに強いといえよう。そのような意味で、樹冠投影図や森林断面図の作成は是非試みたい作業である。

まず調査区をテープで 5m×5m あるいは 10m×10m の小区画に区切り、1本1本の立木の根もとの位置を巻尺で計りながら方眼紙上にマッピングする。樹種によって、黒丸、白丸、二重丸などとマークを変える。マッピングの縮尺は 1/100 程度が最適である (図 3.5)。

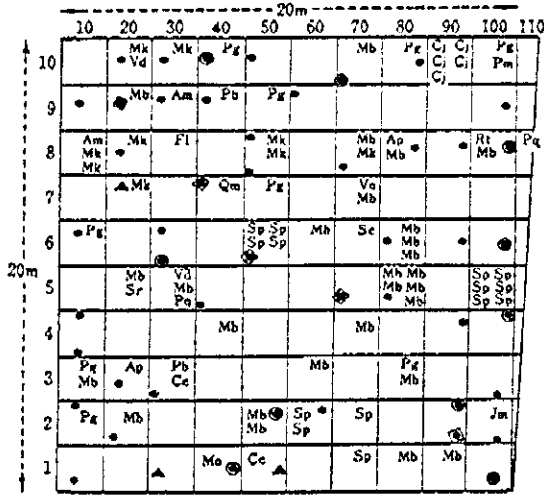


図 3.5 調査区の一例。39 年生のカラマツ植栽林。●：カラマツ、◎：カラマツ試料木、⊙：照度測定のために置いたカラマツ、▲：立枯れたカラマツ。広葉樹の下層木は以下の記号で示す。Am：イタヤカエデ、Ap：ヤマモミジ、Cc：クリ、Cj：ムラサキツツクサ、Fl：アオダモ、Jm：オニグルミ、Mk：コブシ、Mo：ホオノキ、Mb：タラ、Pb：イヌザクラ、Pg：クワミズザクラ、Pm：ニヤマザクラ、Pq：ニガキ、Qm：ミズナラ、Rt：ヤマウルシ、Sr：ニワトコ、Sp：ヤブシ、Sc：ナナカマド、Vd：ガマズミ、Vo：カンボク（佐藤，1970）<sup>4)</sup>

樹冠投影図をかくにあたっては、隣接する個体の幹や樹冠との平面的関係、樹冠相互の垂直的關係に十分注意する。樹冠はつねにその木の根もとの上をおおうとは限らないので、どの樹冠がどの個体のものかまぎれないようにしなければならぬ。樹冠の上下関係は、実線、破線、点線などを使って、一目でわかるように書き分ける（図 3.6b）。

森林断面図をつくるには、調査区内に長さ 20~30m、またはそれ以上、幅 5m または 10m（すべて立木の樹高や密度などで異なってくる）のベルトを設置し、このベルト内の樹木を横から観察し記録する。かき方は精粗いろいろあり、精密にかこうとすると相当の時間が必要である。しかし、やや正確なス

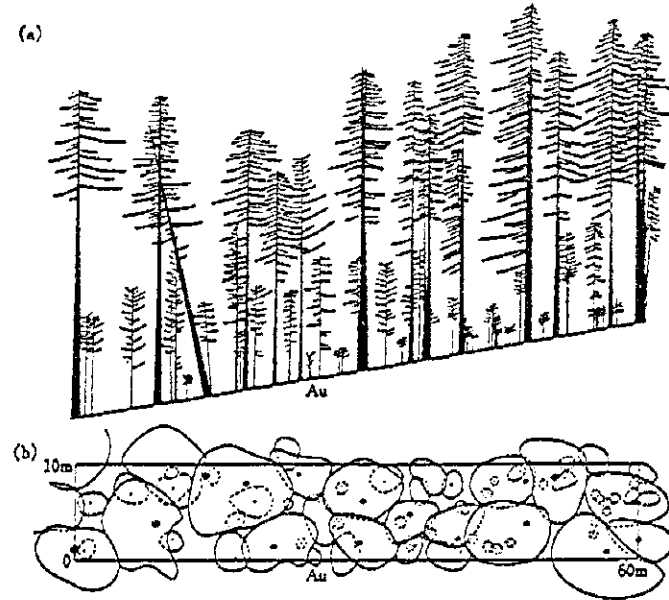


図 3.6 北海道のエゾマツトドマツ林（西手井ら，1960）<sup>4)</sup>  
 (a) 森林断面図。Au：オガラバネ、ほかはすべてエゾマツとトドマツ。  
 (b) 林冠投影図。最上層の樹冠を実線で、下層のそれを点線で示す。

ケッチ程度のものでないよりはるかによい（図 3.6a、図 3.7）。森林断面図をかく場合に必ず注意して測定する事項は、それぞれの木の樹高、枝下高（一番下の生きている枝のついている高さ）、樹冠の広がり（枝ぶり）などである。

D. 試料木の選定と伐木調査

試料木の数やとり方は、試料木から得られた値を単位土地面積あたりに換算する方法（後述）によって異なる。試料木には、幹の折れや二又などのない正常な木を選ぶ。毎木調査の結果を整理し、胸高直径と樹高の関係をグラフにかき（樹高曲線という）、平均的な木を選ぶとよい。また林のへりのほうの木はさけるべきで、いわゆる周辺効果によって葉量や枝量に過大な値が出る恐れがある。

伐倒した試料木についてただちに測定しなければならない項目は、以下の通

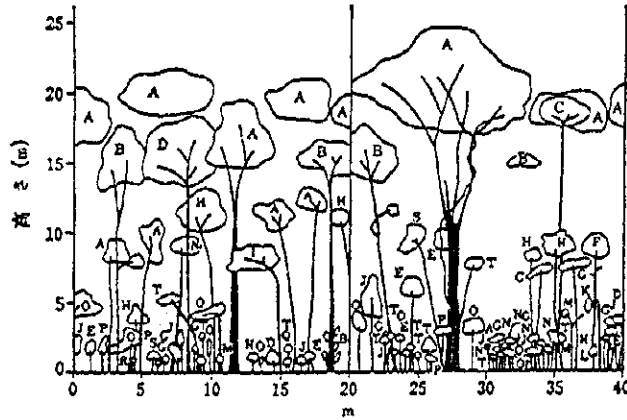


図 3.7 大隅半島の闊葉樹林の森林断面図。3m 幅の帯状区中の樹高 1.5 m 以上の木すべてを記す。記号は図 3.4 と共通 (北沢ら, 1959)<sup>2)</sup>

りである。

- a) 樹高
- b) 枝下高
- c) 樹冠の直径
- d) 生枝下直径
- e) 葉の生重量, 当年葉は区分して重量を計る
- f) 枝の生重量, 当年伸長した部分は区分して重量を計る
- g) 幹の生重量

手順としては、まず a~d の測定を行う。b~d は、現存量や生産量の計算に直接は必要としないかもしれぬ値だが、後々種々の考察を行うさいに参考になる関係を示してくれる。つぎに枝葉をつけたままの木の幹を、地表 (0m)、地上 0.3m、1.3m、以下 2m 間隔で切り分ける。これは胸高の 1.3m をすべての基準にしているためである。木の樹高と調査の目的によっては、幹を切り分ける間隔を 1m と短くしたり、4m あるいは 8m と長くすることもある。間隔を長くするのは、用材としての利用を考慮しなければならない場合がある。切り分けたものについて、層ごとに幹、枝、葉に分ける。幹と枝の区別

のはっきりしない広葉樹では、一番まっすぐに長く伸びている部分を幹とする。枝と葉はさらに当年生の部分と古い部分 (可能な樹種では年枝によりさらに細かく) を分け、それぞれの区分ごとに重量を計る。葉のついたままの枝の全量を計り、一部をとって葉と枝に分け、この割合を使って全体の枝と葉の量を求めることも行われる。これらの区分ごとの試料と、幹や枝の切断面からとった厚さ 2~5 cm の円板の重量を計り、もち帰って年輪を読んだり (後述) 葉面積を計ったりした後乾燥し、乾重量を計る。乾燥のさいの注意や乾重量の計り方は、草原の章を参照されたい。葉の単位重量あたりの葉面積 (比葉面積) や含水量、枝の成長率などは林冠内の層位によって系統的に変化するので、これらの試料は層位別にとらねばならない。なお、はかりの使用できない大きな木の幹の重量は、両切断面の面積と長さを計り、両断面の平均値に長さを掛けて容積を計算し (式 3.8)、重量に換算する。この場合には容積を計るための試料 (さきの円板が利用できる) が必要である。幹や枝の切断のさいにのこぎりくずとして失われる木材はかなり目につくが、実際に計ってみるとわずかな量で、ふつうは気にする必要はない。

根の調査は大変な労力を必要とするので省略されることが多いが、測定する場合には根株を掘りおこし (テルホールなどの抜根用の用具を必要とすることが多い)、太さで区分して重量を測り、一部乾燥用の試料をとる。細根は林分内に 1m×0.5m ほどの小区画をつくり、掘り出して単位面積あたりの値を得るようにする。根からも肥大成長測定用の円板を採取することもある。

#### E. 土地面積あたりへの換算

土地面積あたりの現存量を求める場合、調査区にあるすべての立木を伐り倒して、根も掘り上げ、重量を計り合計すればよいことはわかりきっているが、このような方法はふつう行われない。この作業はあまりにも労力と時間がかかるばかりでなく、多くの場合ほかの事情もこれをゆるさない。また皆伐面積が小面積であれば森林を十分に代表する値が得られず、労力のわりに得られる結果の値が低い。このように皆伐が実際的でないために、切り倒した試料木についての種々の測値と毎木調査の結果とから、森林全体の現存量を得る方法が

行われる。試料木についての値を林分あたりに換算する方法はいろいろある。

(1) 標準木法：毎木調査の結果を整理し、その森林の立木を代表する標準木を選びだし、これを試料木として伐採する方法で、これはさらにいくつかの方法がある。

その1つは林学で単級法とよばれているもので、毎木調査の結果から全立木の平均の胸高断面積を計算し、これに最も近い木の数本を試料木として伐り倒す方法である。略算的には平均直径をもってこれに代用することもある。平均直径を使う場合には平均断面積よりも小さな木になることは明らかだが、その差は実際にはきわめて小さい。試料木の各測値の平均値( $\bar{w}$ )にその林の単位土地面積あたりの立木数( $N$ )をかけるか、あるいは試料木ごとの値( $w$ )の合計に単位土地面積あたりの胸高断面積合計( $G$ )と試料木の胸高断面積( $g$ )の合計との比を掛けて単位土地面積の林の値( $W$ )を求める(実際には胸高断面積ではなく直径の平方を使えばよい)。すなわち

$$W = N \cdot \bar{w} \quad (3.1)$$

または

$$W = \sum w \cdot \frac{G}{\sum g} \quad (3.2)$$

この方法は最も簡単だが、木の大きさの幅が大きい森林では誤差が大きくなる。

もうひとつの方法は、その調査区にある立木の大きさの全範囲にわたって、いろいろな大きさの木を選んで試料木とし、それぞれの値( $w$ )の合計に単位土地面積の林の胸高断面積合計( $G$ )と試料木それぞれの胸高断面積( $g$ )の合計との比を掛けて、単位土地面積あたりの値( $W$ )を求める方法で、やはり式3.2であらわされる。この場合の具体的な試料木の選びかたとしては、各直径階級に属する立木本数に比例して各直径階級から標準木を選ぶ方法(ドラウト Draudt 法)、全立木を本数を等しくするいくつかの直径階級に分け、それぞれの直径階級で断面積平均木を算出しそれを標準木とする方法(クーリヒ Vrich 法)、各直径階級の胸高断面積合計がほぼ等しくなるように直径階級に分け、おの

おのから標準木を求め、その後の計算も各直径階級ごとに行って最後に全林分の合計を求める方法(ハルチヒ Hartig 法)などがある。一般に単級法よりもこれらの方法のほうが精度が高い。

(2) 回帰式による方法：同じように調査区内の立木の大きさの全範囲にわたって、いろいろな大きさの木を試料木として選び、これについてのいろいろな測値( $w$ )と、毎木調査のさいに立木について測定されたある値( $x$ )との間の関係式  $w=f(x)$  を求める。この関係式として、 $x$  に胸高直径( $D$ )を用い、 $w$  をその2次式として表現することが古くから行われている。すなわち

$$w = a + bD + cD^2 \quad (3.3)$$

$a, b, c$  はそのときどきに試料木から得られる林分固有の常数である。

近ごろは回帰式として相対成長式

$$w = ax^b \quad (3.4)$$

を採用することが多く、この方法を相対成長法とよぶ。この場合  $x$  としては多く胸高直径( $D$ )、またはその平方( $D^2$ )、ときにはそれと樹高との積( $D^2H$ )が用いられる。胸高直径を用いた場合はこの式は

$$w = aD^b \quad (3.5)$$

となる。 $a, b$  はやはり試料木から得られる定数である。この式の両辺の対数をとると

$$\log w = \log a + b \log D \quad (3.6)$$

となり、 $w$  と  $D$  との関係は両対数グラフで直線としてあらわされ、 $b$  はそのこう配となる(図 3.8, 図 3.9)。

ある森分で得られた定数  $a, b$  がほかの林分にもあてはまるならば、一変この定数をきめればあとは毎木調査の結果だけから林分の現存量を知ることができるので、きわめて便利である。しかし  $a, b$  の値は林齢、密度、立地条件などのちがう林分相互の間ではかなり変化する。幹量、枝量、根量については、胸高直径  $D$  にもう1つの変数として樹高  $H$  を加え

$$w = a(D^2H)^b \quad (3.7)$$

とすると林分間の差がほとんどなくなり、1つの回帰式であらわせるようにな

る。しかし樹高の測定誤差は、胸高直径のそれよりもはるかに大きい。また葉については、やはり林分ごとに測らないと正確に近い値は得られない。生枝下直径（または生枝下断面積）と葉量との間の相対成長関係は一番安定していることが知られているが、毎木調査のさいに生枝下直径を測ることはふつうできないので、この方法はあまり実用的でない。

いずれにしても、1つの林分で得られた回帰式を使ってほかの林分の現存量

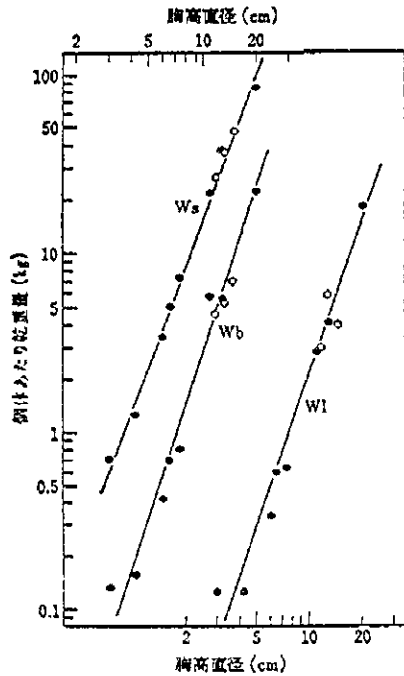


図 3.8 北八ヶ岳の亜高山帯針葉樹林で得られた胸高直径と個体部分との間の相対成長関係。Ws: 幹重量, Wb: 枝重量, Wl: 葉重量, ●: オシラビン, ○: シラビン (木村, 1963)<sup>2)</sup>

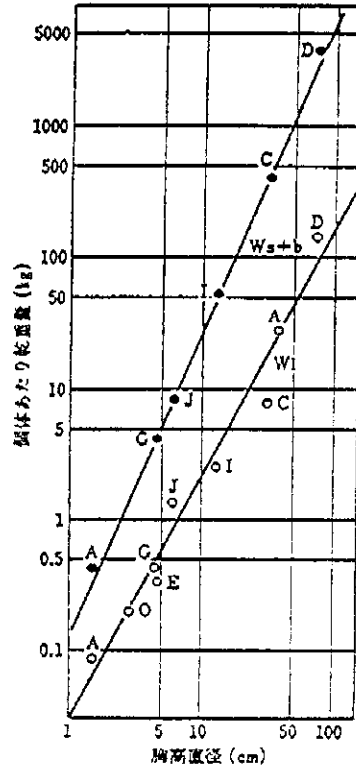


図 3.9 大隅半島の照葉樹林で得られた胸高直径と個体部分との間の相対成長関係。Ws+b: 幹枝重量, Wl: 葉重量, ●: オシラビン, ○: シラビン (北沢ら, 1959)<sup>2)</sup>

を推定することは、かなりの危険を伴う。労力がかかるが、1つ1つの林分について伐倒作業をして回帰式を決めたほうが安全である。少なくとも最大木を含む数本の立木を伐倒して、ほかの林分で得られた既知の回帰式が適用できるかをたしかめる必要がある。

なお葉量については、最大に近い木に葉量の頭打ちがあらわれ、1林分のなかでも  $D$  や  $D^2H$  との単純な相対成長関係が成り立たない場合があることが知られている。大きな木についての推定値の適不適は、林分全体の現存量の推定値を大きく左右するので、この点の注意が必要である。実用上は、このような場合とくに複雑な回帰式をたてないでも、グラフ上に近似曲線をかきそれを読みとれば十分である。

このような相対成長関係は、同一林分に生育する同じような生活型をもった樹木であれば異種間にも成立することが、いろいろな森林で確かめられている(図 3.8, 図 3.9)。したがって多種類の樹木から構成され、しかも大木から小径木まで木の大きさの幅が大きい天然林などに適用するには、最もすぐれた方法であるといえよう。

この方法の理論的な問題点としては、植物体の部分とその和との問題がある。たとえば胸高直径とある部分の重量  $w_1$ 、胸高直径とはかの部分の重量  $w_2$  の間にそれぞれつぎのように相対成長関係が成り立つとした場合

$$w_1 = aD^b$$

$$w_2 = a'D^{b'}$$

胸高直径と  $w_1$  と  $w_2$  を加えた量との間の関係は

$$w_{1+2} = w_1 + w_2 = aD^b + a'D^{b'}$$

となり、 $b=b'$  でないかぎり相対成長関係は成立しないことになる。したがって、いろいろな部分間やその和などの間の関係をすべて相対成長式で回帰するのは、ほんとうはおかしい。胸高直径—旧葉量、胸高直径—当年葉量、胸高直径—全葉量との関係には相対成長式は使えない。しかも本来どの量との量との関係は相対成長を満足し、どの量との量との関係はそうではないということが、理論的にあるわけ

70 第3章 森林の生産力測定法

のものでもない。相対成長式はこのような弱点をもっているが、もともと回帰式  
の選択は測値との適合の良否によってなされる性質のものである。相対成長式  
による回帰が近時多く採用されるのも、それがほかの形の回帰式にくらべて  
理論的にすぐれているからではなく、実用上適合がよく適用範囲も広いからで  
ある。

F. 換算方法の比較

9. 所のダケカンパ林について、標準木法（ウーリヒ法）により林分の幹の  
乾重量（ $w_s$ ）を推定した値と、この標準木から相対成長式

$$\log w_s = 0.0013 + 0.8528 \log D^2 H$$

を誘導して（ $w_s$  の単位は kg,  $D^2 H$  は  $\text{cm}^2 \cdot \text{m}$ ），この式を用いてそれぞれの  
林分の幹重量を推定した値とを表3.1に示す。両推定値は5%ほどの差をもっ  
ている。しかし、これだけではどちらの推定値がより真の値に近いのか判断す  
ることはできない。

一定面積の森林を皆伐して林分現存量を直接に測定し、一方で伐倒前の毎木  
調査をもとに、伐倒した個体のうちから標準木を選び、標準木法による推定あ  
るいは相対成長法による推定を行ってみれば、真の値との比較が可能である。  
このような測定例を表3.2に示す。この結果からも、どの方法による推定値が  
皆伐によって得られた真の値に一番近いかを決定するのは困難である。どの方

表 3.1 ダケカンパ林の幹の乾重量の推定値の比較（大内・宮崎，1969）<sup>a)</sup>

調査林 No.	平均林齢 (年)	平均直径 (cm)	平均樹高 (m)	本 数 (本/ha)	林分幹乾重量の推定値 (t/ha)	
					標準木法に よる	相対成長式 による
1	7	0.92	1.9	64,400	6.89	9.95
2	11	2.38	4.7	24,000	26.75	27.07
3	12	3.47	5.3	15,200	33.03	34.93
4	13	4.06	6.4	10,800	40.28	46.03
5	13	4.43	6.6	11,600	43.19	45.33
6	19	4.47	6.3	10,600	39.20	41.44
7	20	4.58	6.8	10,400	39.80	40.83
8	21	5.04	7.0	8,800	45.45	43.36
9	22	5.42	7.5	7,600	51.76	48.41

表 3.2 いろいろな方法での現存量推定値の比較

方 法	幹 t/ha	枝 t/ha	葉 t/ha	地上部 <sup>a)</sup> t/ha	表面積 ha/ha	
22 年生ダケカンパ林（佐藤，1970） <sup>b)</sup>						
皆伐木合計	50.83	8.92	2.77	62.52	5.55	
試料木：平均木	断面積比 本 数	51.61**	7.71	2.69	62.01	4.53
		50.71	7.58	2.66	60.91	4.45
いろいろな 大きさの木	断面積比 $\alpha D^2$	49.78	8.80	2.75	61.08	5.87
		51.11	8.49	2.77	64.15	5.68
		$\alpha(D^2 H)^2$	51.55	8.33	2.73	63.90
15 年生アカマツ林（佐藤，1968） <sup>b)</sup>						
皆伐木合計	41.90	6.33	4.57	52.80		
皆伐木全体について $\alpha D^2$	43.35	7.01	4.97	56.31		
試料木 平均木	本 数	43.49	5.90	4.37	54.37	
		断面積比	42.45	7.21	5.00	54.67
いろいろな 大きさの木	$\alpha D^2$	43.12	7.15	4.80	59.02	

<sup>a)</sup> 1つ1つの木の地上部現存量から；幹、枝、葉の推定値の合計ではない。

<sup>b)</sup> 太字は皆伐木の合計との差が5%以内のもの。

法も優劣がつけられないのならば、いろいろの大きさの試料木をとり、その胸  
高断面積と全林分の胸高断面積合計の比を用いる式3.2の方法が、計算の手間  
のうえでは簡単である。式3.4の  $b$  は実際の測定によると2~3の場合が多い  
が、上の方法は  $b=2$  としたものに当たる。 $b$  の値を2とすると、大きな木で  
は過小な、小さな木では過大な値が出ることになるが、これが相殺されるので  
あろう。

結論としては、立木の大きさの変化の幅が比較的小さい同齢林あるいはそれ  
にちかい一斉林型の森林の場合には、胸高断面積比を用いる方法で十分であり、  
立木の大きさのばらつきの大きい択伐林型の森林では、相対成長法によるほう  
が無難であるといえよう。

3.2 枯死・脱落量の推定

2.3 に枯死・脱落量推定のためのいくつかの方法を紹介した。このうち森林  
においておもに使用されている方法は、リタートラップ法である。林冠から脱



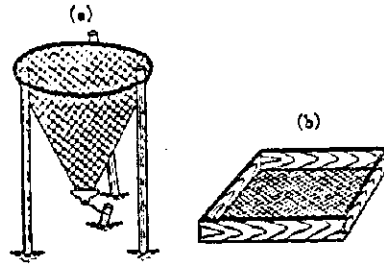


図 3.10 リタートラップ2種

- (a) 大型、筆者らの使用しているものは、図のように底は細かいリターを取りやすいため開けてあり、大型の紙クリップでとめてある。  
 (b) 平型、地表面に直接おく。

落する落葉落枝（リター litter とよぶ）を、一定面積の網様のもので捕え、単位面積あたりに換算する。リタートラップは、ワクに水に強くて水切れのよい目の細かい網の袋と取りつけたもので、ふつうワクには太い針金か木材を、袋には網戸用のナランネットなどを使う。地上 1m くらいの高さにワクを固定し、網の底は軽く地面にとめる。ワクの面積は  $0.5 \sim 1 \text{ m}^2$  である（図 3.10, 3.11）。必要なトラップの数はトラップごとの値のばらつきによって決まり、林相や回収間隔、季節によって異なるが、ワクの面積の合計は少なくとも調査区の面積の 1%、トラップの数は 10~20 個はほしい。設置方法は林床にランダムに置くか、あるいは一定間隔におく。調査区内に設けた小区画ごとに 1 つずつという置きかたもある。一定期間ごとにトラップにはいったリターを回収し、葉、枝、樹皮などに分け、さらにできれば樹種ごとに分けて重量を測定す



図 3.11 林内に設置されたリタートラップ。林はコナラ、クヌギの雑木林（写真、木村）

る。式 1.3 の方法で生産量を計算する場合には、当年の枝、葉をそれ以外の部分と区別しなければならないが、一般的には非常に困難である。

回収の間隔は 1 ヶ月以内が望ましい。落ちたリターはトラップ内で多少分解され重量を減ずるが、回収の間隔が長すぎなければあまり気にする必要はない。しかし、ある種の塩類（とくに K 塩）の溶脱は分解による重量減よりもはるかに早くおこるので、塩類循環の研究などの分析用の試料としては落下直後のリターを用いるなど十分に注意する必要がある。

落枝量はこのようなリタートラップによっては精度のよい測値が期待できない。大枝の落下が空間的に非常に不規則であり、しかも益的にはこれが落枝のうちのかかなり大きな部分を占めるからである。そこで林床に数 m 四方程度の面積をいくつかつくり、そこに落ちた枝を毎回きれいに回収する方法がとられる。この小区画の合計面積は、少なくとも調査林分の面積の 10% をおおうほどにする（図 3.12）。

このようにしてリタートラップや落枝回収区によって測定される量は、葉や枝の林冠からの落下量であって、その期間の枯死量ではないことに注意しなければならない。葉はふつう枯れるとすぐに落ちるので、落下量と枯死量とはほぼ一致するとみなしてよいが、枝は枯れてもなかなか落ちない。枯れた枝は数ヶ月あるいは数年も樹冠に付着して、あるとき突然に落ちてくる。したが

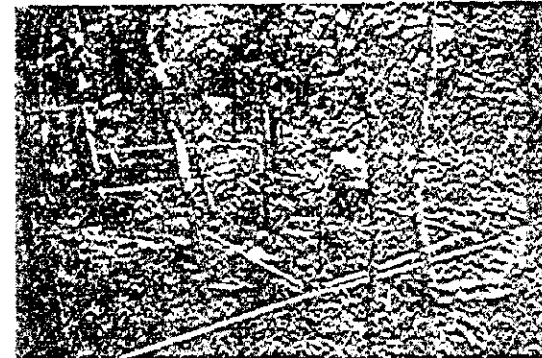


図 3.12 落枝測定用の小区画（写真、木村）

って、落下量の季節変化は枯死量の季節変化とはほとんど無関係であって、むしろ風などの物理的環境に左右される。したがってまた、落枝量は年による変動が激しく、正確な値を得るためには数年つづけて測定を行う必要がある。

ある期間内の落下量と、生きている木についたまま枯れている枝、あるいは立ち枯れている木の量のその期間内の変化量を合計すれば、その期間内の枯死量が求められるわけだが、後者の測定は実際にはほとんど不可能に近い。したがって、年という単位をとれば後者は前者との比較において無視しうるとみなし、落下量をもって枯死量とするのがふつうである。しかしこの場合にも、立ち枯れた幹の量の変化は別に推定する方法を考える必要がある。できれば数年以上にわたって調査区を連続観察し、枯死の経過を知るようにつとめたい。

なお、ここで枯死・脱落という言葉をずっと使用してきたが、実際に林冠からの落下物を観察してみると、生きている葉、あるいは生きている葉をつけた小枝の落下が無視できないほど多いことがわかる。風の作用などで生きた枝が折れて落下してくるのである。生きた大枝の落下もある。これらと、死んだ葉や枝の脱落とは、樹木にとって生理的意味合いもちがひ、塩類の含有量なども異なっている。しかしふつうこの量も含めて枯死・脱落量とよんでいる。

### 3.3 動物による被食量の推定

2.5 にのべた3つの方法は、いずれも森林に対しても適用できる。前節のリタートラップによる枯死・脱落量の調査のさいに、このトラップにはいる食葉性の虫の糞を測定し、これから虫の摂食量を求める方法が最も一般的である。この目的のためには、ふつうのリタートラップよりも網目の細かいトラップ（黄トラップ）を使用することが望ましいが、大形の鱗翅目幼虫の糞などは網戸用のサランネット製のリタートラップでも十分に捕えることができる（図3.13）。虫糞は水にぬれるとくずれやすいので、注意を要する。採取の間隔もリター量測定の場合よりは短くしたい。

糞量から摂食量を算出するためには、当該の植食動物を飼育し代謝測定を行わねばならない。鱗翅目幼虫などの場合はふつうつぎのようにして行う。ガラ

スシャーレかプラスチックの容器を用い、容器内の湿度を保つために底に湿らせたろ紙をしく。幼虫と食草（その幼虫が摂食している樹木の葉）を、それぞれ生重量を測ってなかに入れ、摂食させる。食草のほうはあらかじめ一部をとって乾燥し、含水率を求めておく。24時間あるいは48時間ほど摂食させたのち、再び幼虫の体重、食べ残した葉の生重量、乾重量、糞の乾重量を測る。この測定値からこの間の摂食量の計算ができ、また摂食量と糞量と



図3.13 リタートラップで集められた虫糞。夏日、図3.11のリタートラップ(0.5m<sup>2</sup>)1個に2週間間に捕えられた糞。鱗翅目幼虫特有のタワラ形の糞塊がみえる(写真、木材)

の対比ができる。これをくり返すことによって、幼虫の成長量、摂食量、糞量を経時的に測ることができ、詳しくは動物の物質代謝に関する分冊を参照されたい。樹木の葉を食べる鱗翅目幼虫の場合、糞量はふつう摂食量の50±10%程度（どちらも乾重量で対比させて）である。

葉の食痕調査による被食量の推定は、2.5 にのべたと同様の方法で行うことができる。

材部に潜入する虫による被食量の推定はきわめてむずかしい。現存量調査の目的で伐倒した樹木の樹皮や材部を、そのつもりで注意ぶかく観察し推定する以外にない。

鳥類、哺乳類などによる被食量の推定もまたむずかしい。これらの推定が必要な場合には、彼らの個体数センサスと摂食量の測定を行わねばならないので、その方面の専門家の協力にたよるしかない。

### 3.4 幹の成長量の測定——樹幹解析——

樹幹解析（樹幹析解ともいう）とは、樹木を伐倒し、幹のいくつかの位置から横断面を得て、それらにおける年輪を調査することによって幹の過去の成長

の経過を知ろうとする方法である。森林の生産量調査のためには最近1年間の成長量がわかればよいので、ふつう5年前または10年前の年輪だけを調べ、その時点と調査時点との間の成長量をもとめ、その結果から最近1年間の成長量を計算する。しかしここでは、林学で行われている常法をざっと紹介しておく。

3.1 D にのべたように伐倒木の幹の各高さから円板を採取する。採取する部位がちょうど分枝などで年輪測定に不適当な場合には、位置をかえて新しい横断面をつくるが、その場合には必ずその高さを記録しておく。採取した円板は

表 3.3 円板測定表

高さ m	半径 方向	半 径 cm						
		皮つき	皮なし	-5	-10	-15	-20	-25
0.0	1							
	2							
	3							
	4							
	計							
	直径							
0.3	1							
	2							
	3							
	4							
	計							
	直径							
1.3	1							
	2							
	3							
	4							
	計							
	直径							

年輪測定面でないほうの面に、個体番号、測定面の高さを記入する。測定面は年輪を読みやすいように、のみ、ナイフ、かんなどだけでけずり、年輪の中心を通る最大直径と、やはり中心を通りそれに直行する直線とを鉛筆で記入する。この4方向の直線にそって幹の外側から、5年前、10年前、15年前……の年輪に鉛筆でしるしをつけ、また全年輪数を読む。この年齢間隔は10年と大きくすることもあれば、成長の早い木では1年ごとにすることもある。採年輪が存在することもあるので、4方向で数えた年輪が同一の輪になっているかどうかを確かめる。成長がおそく年輪のつまった木の場合は、ルーペや実体顕微鏡の助けも必要である。

つぎに精密なものさしを各直線にあて、年輪中央から樹皮の外までの長さ、樹皮を除いた材部の外縁までの長さ(皮つき半径、皮なし半径)、5年前、10年前……の年輪までの長さを読む。4方向でこの測定を行い、表3.3のような

円板測定表に記入する。4方向の測値は平均し、各年輪をその平均半径をもった円で近似する。この結果を一定の方法で図示したものを樹幹解析図というが、これは現在および過去のいろいろな時点における幹の縦断面のかたちを示すものである(図3.14)。作図のさいに、ある高さの断面に現われ、その1つ上の断面には現われなくなる年輪は、すぐ外側の両断面に現われている年輪の直線と平行とみなして頂点を決める。また、平行に引くと上の断面に現われてしまうような年輪の場合は、その頂点をちょうど上の断面の高さとする。図をかいて、各年輪での幹曲線は互いにほぼ平行し、間隔が急変しているところはないか、現在あるい

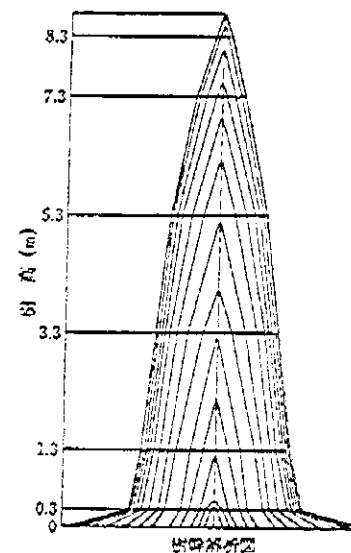


図 3.14 樹幹解析図。ふつう直径は高さに対して25倍に拡大してかく。年輪は5年あるいは10年単位

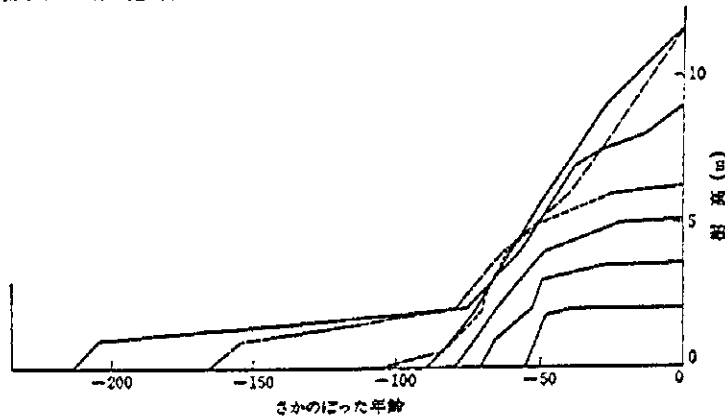


図 3.15 樹幹解析によって得られた過去の樹高成長曲線。図 3.3 b) に示した林分よりとった試料木のうち 7 本について得られたもの (木村, 1963)<sup>2)</sup>

は過去の幹型に不自然な形が現われないかなどを検討し、年輪測定のおよまりの結果ではないかを吟味する。

各円板に現われている年輪の数は、樹木がその高さに達して以後の経過年数であるので、伐倒時から過去へと時間軸を逆にとればそのまま樹高成長曲線としてプロットすることができる (図 3.15)。逆に 0m の円板の年輪数から各円板の年輪数を差し引いて、樹木の年齢と樹高との関係を示す通常の成長曲線をつくることもできるが、一般には 0m の断面を正確につくることはむずかしく、またその断面の年輪数が樹木の年齢と完全に一致するという保証もない。

つぎに材積 (材の容積) の計算をする。各横断面の間ごとに、皮つき材積、皮なし材積、5 年前の材積、10 年前の材積……を求める。計算は、上下の断面積が得られている部分は平均断面積の円柱と仮定し、断面積をそれぞれ  $g_1$ 、 $g_2$ 、長さを  $l$  とすると

$$V = \frac{g_1 + g_2}{2} \cdot l \quad (3.8)$$

の式で行い、梢端部の材積は円錐に近似し、基部断面積を  $g$ 、高さを  $l$  とすると

$$V = \frac{g}{3} \cdot l \quad (3.9)$$

の式で計算し表 3.4 のような材積計算表に記入する。各時期の各高さの材積を合計すれば個体全体の皮つき材積、皮なし材積、5 年前の材積、10 年前の材積……を求めることができ、これをもとに伐倒時からさかのぼった材積成長曲線を描くことができる。

表 3.4 材積計算表

高さ m	皮つき				皮なし				-5			
	直径	断面積	長さ	材積	直径	断面積	長さ	材積	直径	断面積	長さ	材積
0.0												
0.3												
1.3												
3.3												
5.3												

材積を乾重量に換算するには、材の容積重を用いる。試料材の容積の測定は、メスシリンダーなどを用いて水の排除量を調べる方法、つり下げ式のバネばかりなどを用いて水中での重量を調べる方法などで行う。材の容積重は同じ種類の樹木の間でも 10~15% の変動があり、また同一の幹の内部においても、基部と先端部あるいは中心部と周辺部とで異なって、やはり 10~15% ほどの変動がある。したがって、一部の試料の測値から全体を計算する場合には、最大この程度の誤差を覚悟しなければならない。正確さを求めるならば、1 本 1 本の伐倒木について、幹のいろいろの高さから円板または扇形の試料をとって容積重を求め、その高さの幹材積により加重平均するのが最善である。しかし林分全体にかかわる量を推定するのが最終目的である場合は、大部分の木については胸高直径だけ、あるいはこれに加えてあまり精度が高くない樹高の測値しかないので、伐倒した試料木についてのみいくらか精密な測定を行ってもあまり意味はないというもう 1 つの問題がある。

この節の最初にのべたように、最近1年間の幹の生産量を知るためだけには、伐倒時の幹の重量と5年前あるいは10年前の幹の重量とが求められればよい。この場合に、最近1年間の成長量を  $\Delta w_t$ 、現在の重量を  $w_t$ 、 $t$ 年前の重量を  $w'_t$  とすると、幹重の直線的な成長を仮定すると  $\Delta w_t$  は

$$\Delta w_t = \frac{w_t - w'_t}{t} \quad (3.10)$$

で求められ、またその木が成長最盛期にあって指数関数的な成長をしているとみなせる場合は

$$\Delta w_t = w_t(1 - e^{-r})$$

ただし  $r = \frac{1}{t} \ln\left(\frac{w_t}{w'_t}\right)$  (3.11)

で求められる。どちらの式を採用したほうが実際の値に近いかは、その樹木の最近の材積成長曲線などから判断することになる。

この節でのべた樹幹解析による幹の成長量の求めかたは、1年に1つの年輪がはっきりときさまれることが前提となっている温帯・亜寒帯の樹木について開発された方法であって、年輪ができなかったり不規則であったりする熱帯の樹木などには使えない。このような場合には、調査区内のすべての木について3~5年またはそれ以上の間隔で胸高直径の成長を測定し、その資料と伐倒木に関する測値とから成長量を算定する必要がある。

樹皮の成長量は無視することが多いが、算定する場合にはふつう材部と成長率が同じであると仮定する。これに加えて古い樹皮の脱落に対する補正を行えば、より正しい値に近づくことになる。

### 3.5 地上部生産量の推定

#### A. 幹の生産量

毎木調査の結果と伐倒木に関する種々の測値とから単位土地面積あたりの諸量を計算する基本的方法は、すでに3.1 Eで現存量の場合について説明した諸法がそのまま利用できる。すなわち、伐倒木について樹幹解析の方法を使って

最近1年間の成長量を求めたのち、これを単位土地面積あたりに換算するには、種々の標準木法、あるいは相対成長法を用いる。図3.16は単木の胸高直径と、その幹の最近1年間の成長量との間にある相対成長関係\*を示したもので、このような関係と調査林分の胸高直径分布とから、調査時に生きている全立木の成長量を推定し、合計すればよい。

なお、幹の場合にはとくに、 $t_1$ を1年というように短くとった場合には、 $t_1$ 時点で生きていて  $t_2$ ではすでに枯死してしまった個体の  $t_1$ 内での成長量

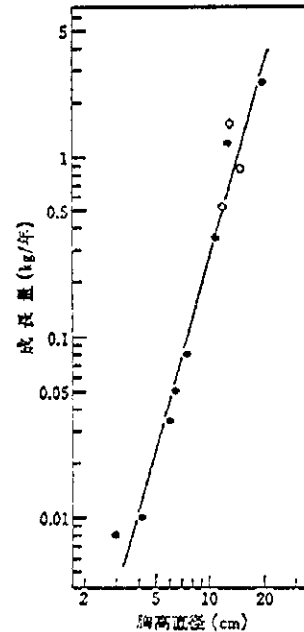


図 3.16 北八ヶ岳の亜高山帯針葉樹林で得られた胸高直径と幹の最近1年間の成長量との間の相対成長関係。図3.8の試験木より得られたもの(木村, 1963)<sup>2)</sup>

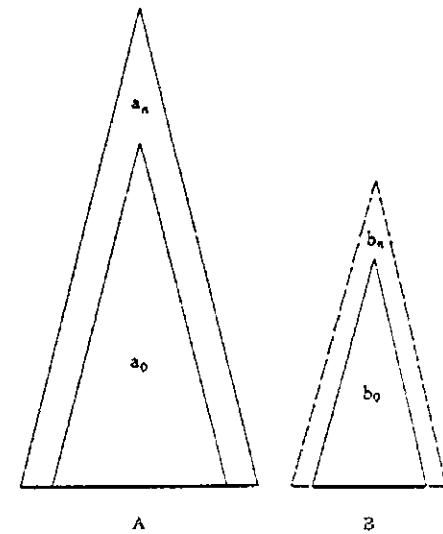


図 3.17 幹の生産量の測定原理。 $t_1$ 時点で生きている個体を、 $t_2$ まで生きのびる個体群 A と、 $t_2$ までには枯れてしまう個体群 B に分けて考える。 $t_1$ での A の現存量が  $a_0$ 、B のそれが  $b_0$  である。 $t_1 \sim t_2$  間の A の成長量が  $a_1 - a_0$ 、B のそれが  $b_1 - b_0$  であるが、 $t_2$ には  $b_1$ 、 $b_2$ は枯死してしまっている。したがって、 $t_1$ の現存量は  $a_0 + b_0$ 、 $t_2$ のそれは  $a_1 + b_1$  である。

\* 植物体の部分と全体との間、あるいは部分と部分の間に成り立つ本来の相対成長関係とは意味がちがう。

## 82 第3章 森林の生産力測定法

はほとんど無視するので、上の合計をそのまま林分の1年内の幹の生産量とみなしても大きな間違いとはならない。この事情を模式的に図 3.17 に示す。この図はすでに 1.2 で説明した生産量測定の一般的原理を、樹木の幹の場合にあてはめたものである。いま  $t_1$  時点で生きている立木を、 $t_2$  まで生きのびる個体群 (A群) と、 $t_2$  までに枯れてしまう個体群 (B群) とに分けて考えることにする。 $t_1$  時点での A 群の幹の現存量を  $a_0$ 、B 群のそれを  $b_0$  とする。 $\Delta t$  の間に A 群の幹は  $a_n$  だけ成長する。B 群の幹も  $b_n$  だけ成長するが、 $t_2$  までに  $b_0$  もろとも枯死してしまふ。したがって、 $t_1$  の林分の幹の現存量 ( $W_{t_1}$ ) は  $(a_0+b_0)$  で、 $t_2$  のそれ ( $W_{t_2}$ ) は  $(a_0+a_n)$  である。 $\Delta t$  内の現存量の増加  $\Delta W_t$  は

$$\Delta W_t = W_{t_2} - W_{t_1} = (a_0 + a_n) - (a_0 + b_0) = a_n - b_0$$

である。また、この間の幹の生産量  $P_w$  は式 1.2 により、動物による被食量は無視すれば

$$P_w = \Delta W_t + L_w = (a_n - b_0) + (b_0 + b_n) = a_n + b_n \quad (3.12)$$

となり、これは式 1.3 の内容と同じものである。幹の場合には、一般に個体丸ごとの生死しかないので、このように測定上の手続きが簡単になり、そしてさらに、 $b_n$  は無視することができる量なので、 $a_n$  を  $\Delta t$  における幹の生産量とみなすことができるのである。ただし、被陰などによる「自然死」ではなく、突然の風折、風倒による枯死木の場合には、 $b_n$  を無視することができないはいうまでもない。

## B. 枝の生産量

枝の生産量の推定は、幹に比較するとはるかにむずかしい。なかで容易なのは当年に伸長した部分の枝の測定であり、伐倒木についてこれだけは必ず重量の測定をしたい。広葉樹のように年枝がはっきりしない樹木でも、外観を綿密に観察して当年伸長部分だけははかと区分するようにする。各枝の当年伸長部の重量と枝のつけ根の太さとの間には、あまりはっきりした関係が得られないことが多い。それは、太い枝は比較的林冠の下層にあり、当年枝の量が必ずしも多いとはかぎらないからである。しかし、木ごとに合計した当年枝の重量は

胸高断面積に比例したり、胸高直径との間に相対成長関係が認められることが多い。この関係を利用して林分あたりの当年枝の生産量を求めることができる。

肥大成長をも含めた枝の生産量の推定はきわめてむずかしく、いろいろと煩雑な方法が試みられているが、いずれも労力がかかりかつ精度がおちるのはやむをえない。これまでに行われてきた方法を大別すると以下ようになる。

(1) 伐倒木の各層ごとに枝の試料をとり、枝の太さによって階級分けし、それぞれの試料のつけ根の断面積成長率を求め、それぞれの階級全体の乾重量に掛けて乾重増加量を求める方法。枝の成長率は林冠の上層から下層に向かって小さくなる傾向があり (図 3.18)、また木によっても異なるので、層ごとに、また木ごとに求める必要がある。木ごとにまとめた枝の成長量は、木の胸高断面積に比例したり、胸高直径との間に相対成長関係が認められることが多いので、これらの関係を使って林分全体の値を計算する。

(2) 枝の試料をとり、幹とまったく同じ方法で年輪を読むことにより1年間の成長量を算出する。枝の成長量はその枝の重量やつけ根の直径と密接な関係があるので (図 3.19)、この関係を利用して1本の木の全枝の成長量を求めることができる。木ごとにまとめた枝の成長量を林分の値に換算する方法は (1) と同じである。(1) および (2) の方法は基本的には式 1.3 による生産量の推定方法なので、年間の真の枝生産量を得るためには、ここで得られた値に当年枝の枯死量を加えてやらねばならない。枯死量を脱落量と等しいと仮定し、さらに枝トラップで測定される脱落枝のうち当年伸長した部分の枝の量 (さらに厳密には古い枝の当年の肥大成長の量も) を求め、加算する必要がある

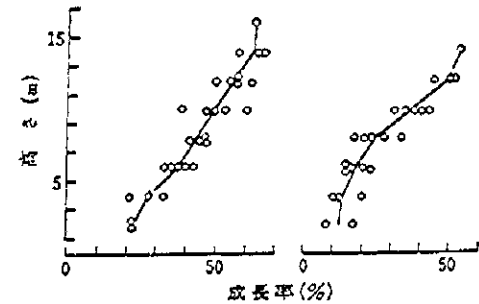


図 3.18 メタセコイアの枝の成長率の林冠内での変化。  
左: 直径 1 cm 以下の枝、右: 直径 1 cm 以上の枝 (佐藤, 1973)<sup>10)</sup>

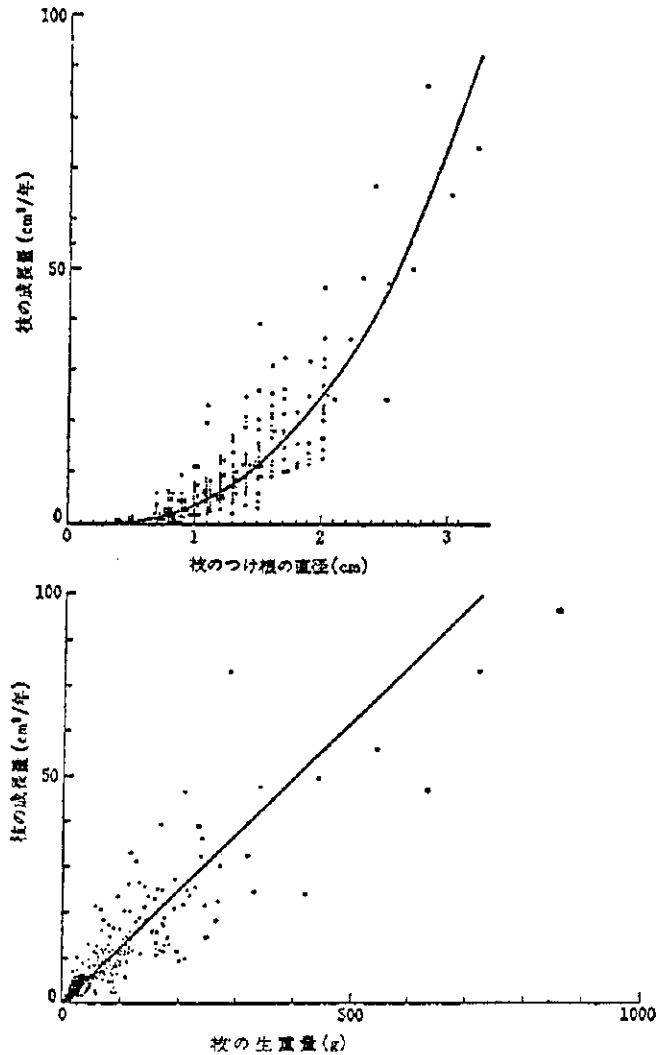


図 3.19 スギの枝の成長量とつけ枝の直径(a)および枝重量(b)との関係  
(佐藤・原田, 1966)<sup>10)</sup>

る。

(3) 枝の年齢と重量との関係を求め、それから枝の年間成長量を算出する。枝の年齢は、枝のつけ根の年輪を数えることによって得られるが、枝の年輪は幹よりもずっと数えにくいのがふつうである。規則正しい分枝や、各年にできる頂芽鱗片の付着跡がつくる節などで年枝が区分できる樹種ならば、枝の先端から年枝を数えていけばよい。また一般に枝の年齢は幹からの分枝部以上の幹の年齢と同じなので、主軸の枝階がはっきり区分できたり、頂芽鱗片の付着跡などから、幹について外観から経過年が数えられる場合は、それから枝の年齢を知ることができる。一般に針葉樹、とくにマツ、ソミ、トウヒの諸属の木は外部から比較的容易に幹や枝の年齢を数えることができる。経験的に、枝の重量の対数値と枝の年齢との間に、おおまかな直線関係が成り立つことが多いので、この関係を利用して1年間の枝の成長量を得ることになる。しかし、枝の年齢と重量との関係は相当に不規則なのがふつうなので、この方法による生産量の推定はかなり荒いものになる。

(4)  $t_1$  時点における伐倒木の樹幹解析によって  $t_2$  時点でのその木の胸高直径あるいは胸高直径と樹高を求め、現在の木の枝量とそれらとの関係を示す式 3.5 あるいは式 3.7 をそのまま用いて  $t_1$  におけるその木の枝量を推定し、現在の量との差を成長量とする方法。この方法は  $t_1$  時点においても  $t_2$  時点で得られた式 3.5 あるいは式 3.7 の定数が同じであり、また  $t_1 \sim t_2$  間に個体の枯死はないという前提のうえに成立するものであるが、この前提を確かめることは不可能に近い。しかし労力的にいままでのべた方法とは比較にならないほど容易なので、よく用いられている。林分の値への換算は、ほかの方法と同様である。(3) および(4)の方法は基本的には式 1.2 による方法なので、期間の枝の全枯死量を加えてやらねば真の生産量とはならない。この補正は一般には、枝の枯死量と脱落量とを等しいと仮定し、枝トラップで得られた値を利用することになる。

ところで、考える期間  $t_1 \sim t_2$  に枯死する個体が存在する場合は、この方法の適用には若干の問題がある。比較的容易でよく使われる方法なので、もう少し

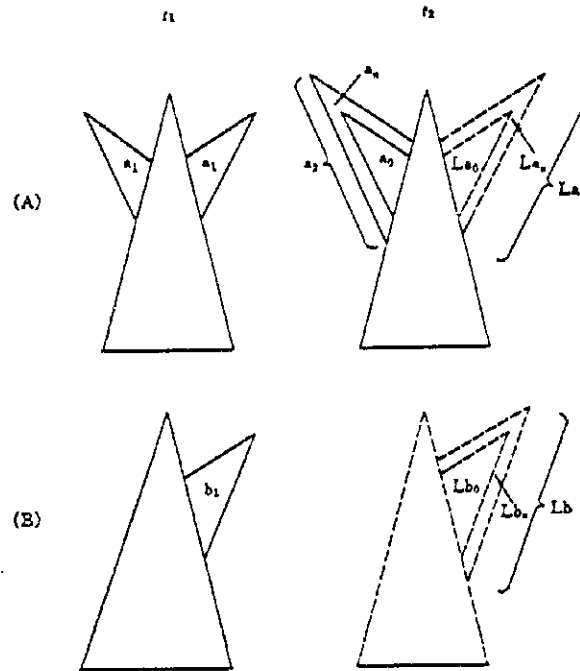


図 3.20 枝の生産量の測定原理。 $t_1$ 時点で生きている個体を、 $t_2$ まで生きのびる個体群 A と、 $t_2$ までに枯れてしまう個体群 B に分けて考える。A でも一部の枝は枯死する。 $t_1$ での A の枝の現存量が  $a_1$ 、 $a_1$  のうち  $t_2$ まで生きのびる枝が  $a_2$ 、 $t_2$ までに死んでしまう枝が  $L_{d1}$ 、 $t_1 \sim t_2$ 間に成長し、 $t_2$ で生きている枝量が  $a_2$ 、死んでしまう量が  $L_{d2}$  である。また B での B の枝の現存量が  $b_1$ 、 $t_1 \sim t_2$ 間の成長量が  $L_{b2}$  であり、 $t_2$ では B の枝はすべて枯死する。したがって、林分の枝の現存量は  $t_1$ では  $a_1 + b_1$ 、 $t_2$ では  $a_2 + 0 = a_2$  である。なお、図では煩雑さをさけるため幹の成長は省略してある。

詳しくこの方法の限界を検討してみよう (図 3.20)。

以下の説明では被食量は無視することにする。まず  $t_1$  で生きている立木を、 $t_2$  まで生きのびる個体群 (A 群) と、 $t_2$  までには枯れてしまう個体群 (B 群) とに分けて考える。 $t_1$  時点での A 群の枝の現存量を  $a_1$ 、B 群のそれを  $b_1$  とする。 $t_1 \sim t_2$  の間に A 群の枝量は  $a_2$  となるが、 $a_2$  には、すでに  $t_1$  時点にも

存在した部分  $a_0$  と  $t_1$  の間に伸長および肥大成長した部分  $a_n$  とが含まれている。またこの間の A 群の枝の枯死量  $L_a$  は、 $t_1$  時点に存在していた枝の枯死量  $L_{a_0}$  と、 $t_1$  の間に成長して枯死した量  $L_{a_n}$  との合計である。つまり

$$\begin{aligned} a_2 &= a_0 + a_n \\ a_1 &= a_0 + L_{a_0} \\ L_a &= L_{a_0} + L_{a_n} \end{aligned}$$

B 群のほうは、 $t_1$  時点の枝量を  $b_1$  とする。 $t_2$  時点では枝は存在しない。 $t_1$  の間に成長した枝 ( $b_n$ ) も  $t_2$  には枯れている。つまり

$$\begin{aligned} b_2 &= 0 \\ b_1 &= L_{b_0} \\ L_b &= L_{b_0} + L_{b_n} \end{aligned}$$

$t_1$  時点での林分の枝の現存量  $W_{b_1}$  は  $(a_1 + b_1)$  であり、 $t_2$  時点でのそれ  $W_{b_2}$  は  $a_2$  である。また、この間の枝の全枯死量  $L_{W_b}$  は  $L_{a_0}$ 、 $L_{a_n}$ 、 $L_{b_0}$ 、 $L_{b_n}$  の合計である。

式 1.2 により、この間の林分の枝の生産量 ( $P_{W_b}$ ) は、

$$\begin{aligned} P_{W_b} &= W_{b_2} - W_{b_1} + L_{W_b} \\ &= a_2 - (a_1 + b_1) + L_{a_0} + L_{a_n} + L_{b_0} + L_{b_n} \\ &= a_2 - a_1 + L_{a_0} + L_{a_n} + L_{b_0} \end{aligned} \tag{3.13}$$

となる。

ところで、上に説明した方法によって計算される林分の枝の成長量は、 $t_2$  時点で生きている木についてのみ測定されるので、 $(a_2 - a_1)$  である。したがって、真の枝の生産量を得るためにこれに加算すべき枝の枯死量は、この間の全枯死量  $L_{W_b}$  でなく、これから  $b_1 (=L_{b_0})$  を除いた量でなければならない。落枝トラップによって測定される落枝量が枯死量をあらわすものと仮定しても、その先その落枝を  $L_n$  と  $L_0$  に分けること、さらに  $L_0$  を  $L_{a_0}$  と  $L_{b_0}$  とに分けることはまったく不可能である。したがって、期間中に無視しえないほどの枯死個体がある場合には、この方法はそのままでは使えないことになる。

(5) 枝の成長率は幹の成長率に等しいと仮定し、幹の現存量、枝の現存量



表 3.5 枝の生産量を直接調べた値 (A) と幹の成長率を枝の現存量に掛けて推定した値 (B) の比較 (t/ha) (佐藤, 1973)

樹種	林齢	A	B	B/A
スギ	29	2.0	0.83	0.42
アカマツ	15	2.7	1.1	0.40
トドマツ	26	4.0	1.9	0.48
ヒノキ	31	1.4	0.65	0.45
カラマツ	39	3.3	0.91	0.28
マテコイア	17	4.3	1.5	0.35
ヤマナラシ	40	0.79	0.37	0.47
クヌギ	46	4.9	1.2	0.24
ウダヒカンバ	47	1.04	0.43	0.41

という大前提のもとに、枝トラップで得られたその間の枝の脱落量をもって枝の生産量とする方法。式 3.13 において、 $a_2 = a_1 + b_1$  とおいた場合になる。この方法は安定した種相林に対して適用するかぎり合理的にみえるが、枝トラップによる測定値は年によってかなり変動するので、少なくとも5年以上にわたる測定が継続されねばならない。そしてこの、年によってかなり変動するという事実自体が、もともとの大前提の成立をあやぶめているわけである。もともと安定した種相林という概念は、本来個々の林分に適用されるものではなく、より大面積をおおう群落についてのもので、全体としては安定した種相群落であっても、局部的にみればかなり大きな変動を内包することを忘れてはならない。この点を考慮に入れて、対象とする林分へのこの方法の適用の妥当性を十分検討する必要がある。

### C. 葉の生産量

葉の生産量の測定は、ふつう枝よりは容易であり、精度もあがる。その理由は、葉の寿命が枝より短く、落葉樹なら1年以内、常緑樹でも1~10年ほどであること、年枝などで葉の年齢が定めやすいこと、枝で取り扱いがきわめて面倒であった古い枝の肥大成長に相当する常緑樹の古い葉の重量増は、量的にはわずかで測定も比較的容易であること、枯れるときは1枚単位で枯れ、枯れた葉はふつうすぐに樹冠を離れることなどである。葉の生産量測定の方法は、

ならびに樹幹解析の結果求めた幹の生産量の3量から枝の生産量を計算する方法。この方法は実測値に比べてつねにかなり少ない枝の生産量を与えるとの指摘があり(表 3.5)、適用には注意を要する。

(6) 林分全体の枝の量と、林冠にとどまっている枯死枝の量とが、 $t_1 \sim t_2$  間に変化をしない

大別するとつぎのようになる。

(1) 落葉樹の場合、存在する葉はすべてその年に生産されたもので、生産量の測定が最も容易である。生育末期に林冠に存在する葉量を 3.1 にのべた方法で測定し、これにそれまでに枯死・脱落した葉量、被食された葉量をやはりすでに説明した方法によって測定し加算すれば、1年間の葉の生産量を得られる。枯死・脱落量、被食量についての補正を行わなければ、ふつう 20%以上の過少評価がみこまれる。葉の枯死にさいして、葉から枝や幹に物質の回収がおこるので、この量を測定して(方法は草原の章参照)生きた葉の現存量から差し引かねば、真の葉の生産量は得られないようにみえる。しかし、ふつうの伐木調査では、試料木の葉量の測定と枝や幹の重量の測定とが同時になされるので、草木の場合に注意したような葉から枝や幹への回収物質の二重測定が行われるおそれはない。したがって森林全体の年間生産量を得る目的のためだけなら、この補正は不必要である。森林における栄養塩類の循環などを問題にしていく場合には、この回収現象を無視するわけにはいかない。

常緑樹の場合でも、葉が完全に1年間しかついでいない種類では、落葉樹と同様の取り扱いができる。

(2) 葉が1年以上の寿命をもつ常緑樹であっても、年枝によって当年生の葉と古い葉との区分ができるようなものでは、その区分に従って当年生の葉のみを測定すればよい。ただしこの方法は式 1.3 に基づくもので、現存量測定時点までの枯死・脱落量、被食量の補正は当年葉のそれのみについてなされる必要がある。当年葉の枯死・脱落量は、リタートラップに捕獲された落葉を当年の葉と古い葉とに区分できれば測定可能だが、かなりむずかしい。生育期間の初期には新葉と古葉の区分も容易だが、生育期間の経過とともに次第に困難になってくる。針葉樹の場合には、当年の年枝に残る葉の脱落跡の数から、当年の葉の脱落量を推定することが可能である(後述, p. 91)。当年の葉の被食量は林冠からの枝のサンプリングにより当年葉に残る食痕を調べる方法が採用できる。リタートラップで得られる質量からの被食量の推定法は、当年の葉と古い葉との被食の区分ができないので、適切ではない。

古い葉は、全体としては枯死・脱落のために重量が減ずるが、個々の生きている葉には多少とも重量増がおこることが多い。この量を測定し、上のようにして得られた当年の葉の生産量に加算する必要がある。古い葉の重量増は、単位葉面積あたりの重量増、あるいは葉1枚（1本）あたりの重量増として測ることができる。

(3) 枝の場合の方法(4)が、そのまま葉にも適用できる。前提はやはり、生産量を求める期間 $t_1$ ~ $t_2$ に枯死個体がないこと、胸高直径あるいは胸高直径の平方と樹高の積と葉量との間に求められる相対成長関係が、この期間中に変化しないことの2つである。そして、この2番目の前提は確かめようのない前提である点が、この方法の弱点であることも、枝の場合と同様である。この点はやむをえないとしても、1番目の前提がある。期間内に無視しえない量の葉をもつ個体の枯死がおこるような場合、枝で検討したのと同じ理由でこの方法は使えない。しかし、多少の枯死木があっても、ふつう枯死直前の樹木は葉量がきわめて少ないので、この方法を適用するさいの無理は枝の場合よりは少ない。葉の年齢区分が不可能で方法(2)が使えない常緑樹などに適用するには、有力な方法であるといえよう。

(4) 林冠に存在する葉量が1~数年の間には大きな変化をしないという前提のもとに、リタートラップで測られる期間の全落葉量をもって葉の生産量とすることができる。もちろん被食量は別に測定して上の値を補正しなければならない。また落葉量は著しい季節変化を行うので、調査期間は年単位で行う。この方法は、これを枝に適用する場合と比較すれば無理が少ないが、それは、林冠の葉量は枝量よりも立木密度そのほかの違いに対して安定する性質があるためと、葉は枝とちがって枯ればふつうすぐに落下するためである。この方法は物質回収後の枯死葉の量を測っているもので、緑葉の直接測定を主とする(1)~(3)の方法とは異なった結果を与えることに注意しなければならない。両者を比較するさいには、物質の回収に関する補正が必要である。また、一方でこの方法で葉の生産量を求め、一方で枝や幹の生産量を求めて合計する場合には、枝や幹の生産量測定の時期は落葉期後でなければならない。常緑樹の場

合は適切な時期が定めにくい。

(5) 葉が何年にもわたって生きのびる樹木の場合には、やはり林冠の葉量が大きな変化をしないという前提のもとに、葉の平均寿命と現存量とから1年間の生産量を求める方法がある。モミ属、ツガ属、トウヒ属などの針葉樹に適用しうるが、これらの樹木はまた年枝がはっきりしていて葉の年齢を調べやすい。林冠から枝をサンプリングし、それぞれの年枝に付着している葉の数と、葉の脱落した跡の数をかぞえれば葉の生存率が得られ、生存曲線をかくことができる(図3.21)。この生存曲線から葉の平均寿命を求める。

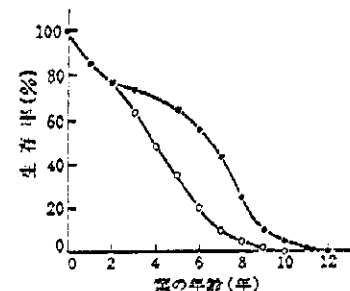


図 3.21 葉の生存曲線。図 3.3 (b) に示した葉分で得られたもの ●: オウラビン, ○: ツラビン (木村, 1963)<sup>1)</sup>

### 3.6 地下部生産量の推定

根の生産量をうまく測定する方法は、まだ見いだされていない。とくに根の枯死・脱落量、被食量を測定することはまったくできない。したがって現在までに提出されている根の生産量に関する数値は、多くは十分に検証できていない仮定を含む推定値である。また、多少とも根のある推定値を得るために必要な根の現存量の調査も、きわめて労力と時間のかかる調査なので、やむをえず根の調査が断念されている場合も多い。

これまで、つぎのような方法に基づいて推定が行われている。

(1) 枝の方法(1)に準ずる。すなわち、掘りおこした根を太さによって階級分けし、それぞれの試料の断面積成長率を求め、それぞれの級全体の乾重量に掛けて重量の増加量を求める方法である。この方法は最も直接的であるが多量の労力を必要とする。また、根の年輪は地上部とくらべると明瞭でないものが多く、とくに細い根では年輪調査がほとんど不可能な場合も多い。

(2) 枝の方法(4)に準じ、単木の根の重量と胸高直径などとの間で得ら

れる相対成長関係が、生産量を考える期間には変化をしないと仮定して根の成長量を計算する。(1)、(2)の方法とも根の枯死・脱落量に関する補正が必要なわけだが、この補正値を求めるのが不可能なので、ふつう補正値を適当に仮定するか、あるいは未補正の数値をそのまま根の生産量としている。

(3) 枝の方法(6)に準ずる。林分あたりの根量に変化がないと仮定し、期間の間に枯死した個体の根の量をもって林分の根の生産量とする。枯死した個体の根の量は、その個体の根を掘りおこして直接測定するか、あるいは根量と胸高直径、根量と胸高断面積などの間に見いだされる関係から推定する。

### 3.7 森林の生産力測定の実例

#### ——イスノキを主とする照葉樹林の場合——

イスノキを優占種とする森林は、九州の南部を中心に分布している丘陵地の照葉樹林である。筆者らは1958年から数年間にわたって、九州南部の森林群集を調査する機会をもったが、とくに1958年の秋には、地元営林署の伐採事業に便乗して、このタイプの森林の生産力の測定を行うことができた。結果は2つの報文(北沢ら, 1959<sup>1)</sup>、木村, 1960<sup>11)</sup>)にまとめられているが、その概要をここに紹介することにする。この実例は、わが国におけるこの種の調査のうちかなり初期のもので、方法の検討も十分でない時期のものであり、また時間や労力の制約もあって、今日からみると至らない点が多岐にわたるものだが、欠点を指摘しつつ説明するのにかえって都合がよい。

#### A. 毎木調査

調査地点は大隅半島荒西山の山腹の、海拔500mほどの南向き緩斜面で、森林の唯一の優占種はイスノキであり、これにスダシイ、アカガシ、ウラジロガシ、タブノキなどが混存して林冠の上部をつくりあげている。林冠はよく閉鎖されており、林床の光条件は相対照度1.6~4.0%、平均は2.5%と非常に暗い。この森林の断面図は、すでに図3.7として示したもので、幅3m、長さ20mのベルト状コドラート中の、樹高1.5m以上の木全部をかいたものが、2つつづけて書いてある。この図はかなり模式的なもので、数本ずつについて

樹高や枝下高を測高器で測定し、ほかはそれを基準にして目測によって作図したものである。図にみるように、この森林の上層木の樹高は25mに達し、13m~25mの間に明瞭な林冠の上層がある。5m以下の林冠下層もかなり明瞭であるが、5~13mの中層は閉鎖した明瞭な層にはなっていない。

毎木調査用のコドラートは10m×50mの大きさのものを5つ、斜面に平行あるいは直角に設置した。したがって調査コドラートの全面積は2,500m<sup>2</sup>である。コドラート内の胸高直径4cm以上の木すべてについて、輪尺によって胸高直径の測定を行った。また、この調査区内に10m×10mの小コドラート5個を設置し、そこでは胸高直径1~4cmの下層木の種類別本数を測定した。これら毎木調査の結果は、すでに図3.3 a、図3.4として紹介したものであり、説明も当該箇所の本文を参照していただきたい。

#### B. 伐木調査と現存量の推定

伐木調査は10月中~下旬に行われた。森林のなかからいろいろな胸高直径の木9本を選び、切り倒して葉の重量を測定した。また、そのうち6本については、幹枝材の重量を測った。この実例のさいの試供木9本という数は、少なすぎる。最少でも十数本の試供木をとりたい。幸いこの例の場合には、後述のように少数の試供木からでもかなりよい相対成長関係の回帰が得られたが、その後の経験によるといつもそうとはかぎらない。また、図3.3 aにみるように、この調査区内の最大の立木の胸高直径は100cmを超えていたが、実際にこの林分で伐倒した試供木のうちの最大のものは、胸高直径72cmのウラジロガシであった。木が大きくなると、伐倒および各種の測定作業は等比級数的に労力を必要とするようになるが、万難を排して調査区内の最大木を試供木に含めるようにしたい。これは、前述(p. 69)のように、最大木の付近でとくに葉量と胸高直径あるいは胸高断面積との関係が単純な関係からずれる(葉量の頭打ち——単純な関係から期待されるよりも葉量が少なくなる)場合が多く見いだされているからである。この付近の関係が確かめられないと、大個体の葉量の推定値にかなりの誤差がみこまれ、それが大個体であるだけに群集全体の葉量の推定値を決定的に左右してしまう。この実例の場合には、最大の個体

## 94 第3章 森林の生産力測定法

を含めて胸高直径 30 cm 以上の大きな個体を、最低でも数本は試供木として追加すべきであった。いずれにしても、この例の場合はいろいろな制約の結果試供木の数は9本に限られ、しかもそのうち幹枝材の重量測定を行えたのはわずかに6本であった。

つぎに伐倒木の葉量の測定であるが、大きな木の場合、樹冠部のすべての葉を集めて重量を測定する仕事は大変に労力があるばかりでなく、この作業に長い時間がかかると葉からの水分の蒸散の結果質量が軽くなり、誤差の原因にもなる。この実例のさいには樹冠から葉をつけた小枝をナイフで切り落として集め、この全重量を測定し、ついでその一部をサンプルとしてとり小枝と葉とを分別するという方法をとった。このような場合にはサンプルの数を複数とし、サンプリング誤差が推定できるよう心がけるべきである。葉量の少ない中程度以下の木では全量測定を行った。これらの葉は、各試供木ごとに一部をとって葉面積を測り、また一部は実験室に持ち帰って乾燥重量を測定し、これらの値から全体の葉面積、葉の乾重量を計算した。

幹枝材の重量は、現地で生重量を直接測定できたものはこれを行ったが、測定用具の関係でこれが不可能であった巨大な幹材については、適当な長さで切り分けた丸太材について式 3.8 に従って容積を求め、一部の材のサンプルで容積重を求めることによって生重量を、またそのサンプルの含水率を求めることによって乾燥重量を計算した。このような方法も可能であるが、ふつうはできるだけ現地で生重量を直接測定できるように、対象に応じた秤量用具を用意すべきである。

以上のようにして得られたものが、表 3.6 に示す諸数値であり、この数値から、すでに図 3.9 に示したような試供木の胸高直径と葉量、胸高直径と幹枝量との間の相対成長関係の成立が確かめられた。この例の場合、胸高直径 ( $D$ ) の対数と葉の乾重量 ( $w_L$ ) の対数との間の相関係数は 0.974 で、 $D$  を cm、 $w_L$  を kg であらわすと、相対成長関係の回帰式は

$$\log w_L = 1.89 \log D - 1.58 \quad (3.14)$$

となった。また  $D$  (cm) と葉面積 ( $F$ , m<sup>2</sup>) との間の回帰式は

表 3.6 大隅半島の阿蘇樹林における試供木のデータ (北沢ら, 1959)<sup>a</sup>

樹種	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	葉の乾重量 (kg)	葉面積 (m <sup>2</sup> )	幹枝の乾重量 (kg)
ウラシロガシ	72	21	141	972	3530
イスノキ	38	—	27.5	163	—
エズリハ	31	16	7.52	55.2	400
ヤブツバキ	13	10	2.51	17.5	51.3
ヤブニッケイ	6	5.5	1.32	10.1	8.05
シヤミ	4.7	—	0.326	3.01	—
アオガシ	4.5	—	0.425	4.77	4.03
サカキ	2.8	—	0.189	1.90	—
イスノキ	1.5	3	0.085	0.505	0.42

$$\log F = 1.82 \log D - 0.61 \quad (3.15)$$

であった。さらに、 $D$  の対数と幹枝材の乾重量 ( $w_{S+B}$ ) の対数との間の相関係数は 0.998、 $w_{S+B}$  をやはり kg であらわすと、回帰式は

$$\log w_{S+B} = 2.34 \log D - 0.87 \quad (3.16)$$

となった。

このような関係と、図 3.3 a に示したこの調査林分の立木の胸高直径分布とから、林分全体の葉量、葉面積、幹枝重量を計算すると、葉量 (乾重) は 11.4 ton/ha、葉面積は 8.75 ha/ha、幹枝重 (乾重) は 310 ton/ha となった。これが以上のような方法で推定されたこの森林の地上部現存量である。

なおこの実例では、試供木のデータからは上述の大個体における葉量の頭打ち現象が認められなかったため、単純な相対成長関係を適用した。大個体の試供木が少なかったために頭打ち現象がつかめなかったのか、あるいはこの調査区に存在する程度の大個体ではこの現象があらわれないのかは不明である。もし頭打ち現象が存在していて、これを見いださなかったのであれば、上の群落葉量の推定値は過大評価となっている。

この森林の林冠は前述のように3層からなっているとみなせる。この3層の林冠を構成している上層木、中層木、下層木のそれぞれについて、葉量、葉面積、幹枝量がどのように配分されているかをみると、表 3.7 のようになった。

この実例の場合、根の測定はまったく行われなかった。表 3.7 では根の重量

表 3.7 大蔵半島照葉樹林の現存量 (木村, 1960)<sup>11)</sup>

	現存量乾量 ton/ha				葉面積指数
	葉	幹+枝	幹+枝+根	合計	
上層木	8.52	273	342	351	6.54
中層木	2.38	35.4	44.3	46.6	1.83
下層木	0.50	3.2	4.0	4.5	0.38
合計	11.40	312	390	401	8.75

は地上部の幹枝重量の 25% であると仮定して計算し、これを加算してある。このような仮定を行う場合には、本来ならばその仮定を採用した何らかの根拠を示しておくべきであろう。この実例の場合には、そのような根拠をまったく示していないが、その後根の量の実測値も多少は蓄積されてきているので、今日ではたとえ個々の調査においては根量の実測が不可能であっても、なにがしかの根拠に基づく推定値を提出することが可能である。このような場合に必要

なことは、提出された数値が実測によるものか、間接的な推定値であるのか、そして後者であるならば、どのような根拠に基づく推定値なのかを、第三者にわかるように明確にしておくことである。

常緑広葉樹では、14年生の若いコジイの森林で、15m<sup>2</sup>のコードラート内の全立木を伐採して根量の直接測定をした結果が報告されている(只木, 1968)<sup>12)</sup>。それによると、根の量は地上部の幹枝量の20%であった。またこの調査のさいに、幹の地きわ直径と根量との間にきれいな相対成長関係が成立することが見だされている

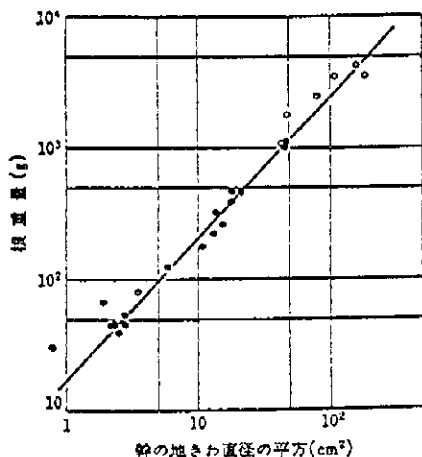


図 3.22 九州のコジイ林で得られた地きわ直径の平方と根重量との間の相対成長関係。●は1本の幹をだす根、○は複数の幹をだす根。後者の場合その根株から出る複数の幹の直径の平方が加算されている(只木, 1968)<sup>12)</sup>。

(図 3.22)。

### C. 生産量の推定

まず葉の生産量であるが、この森林を構成する照葉樹の葉の寿命は1年であるとみなして、測定された現存量をそのまま1年間の生産量とみた。この推定法では、いくつかの問題点が未検討のまま残されている。まず照葉樹の葉の寿命の問題である。葉の寿命が上で仮定したよりも長く、たとえ1年以上であったとしても、現存量の測定のなされた10月中～下旬までには旧葉がすべて脱落し、残っている葉はすべて当年の葉であるならば問題はない。しかし、この時点で一部の旧葉が生きて残っていて、当年葉とともに重量を測定されていたとすれば、現存量をそのまま1年の生産量とみなすのは過大評価である。照葉樹の葉の寿命は、樹種によりまた環境によってかなりまちまちであって、春の新葉の展開期に旧葉がほとんど完全に枯死・脱落し、寿命がちょうど1年であるような樹種もあるが、いっぽうにはほぼ2年近く葉をつけている樹種もあり、多くのものはこの中間である。また同一個体の葉でも、陽葉は寿命が長く陰葉は長い傾向がある。したがって、この実例の場合でも、伐倒調査の行われた時期には少なくとも一部の旧葉が残存していた可能性が高い。上の推定値はこの点からみると若干の過大評価となっていると思われる。さきに3.5C(2)において説明したように、年枝を基準とする新葉と旧葉との区分が必要なケースであった。つぎに第2の点であるが、当年葉の展開した春から、伐倒調査の行われた秋までの間に、当年葉の枯死・脱落あるいは植食動物による食害があったならば、伐倒時の葉量にこの量を推定加算してやらなければ、明らかに過少な年間生産量を与えることになる。照葉樹についてはあまり実測例がみあたらないが、落葉広葉樹の場合この量が無視できないことは、すでに説明した通りである。このように、この実例における葉の年間生産量の推定法は、過大評価と過少評価の両要素を含んでいる。先に3.5Cで説明したように、今日では森林の葉の生産量の推定には、もう少し詳細な検討が要請されている。

つぎに幹枝材の生産量の推定である。この例では基本的には幹と枝を合計した量について3.5A, 3.5B(4)で説明した方法に基づいて生産量の推定を

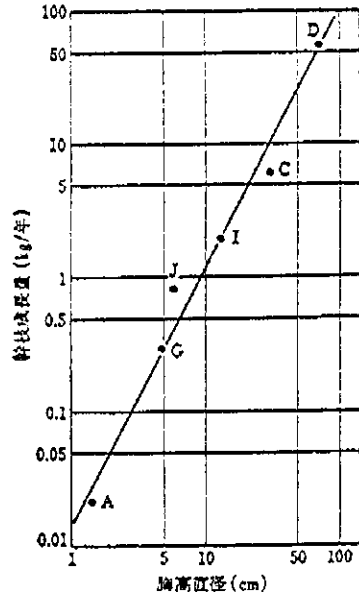


図 3.23 大隅半島の照葉樹林で得られた胸高直径と幹枝の最近1年間の成長量との間の「相対成長」関係。図 3.9 の試験木について得られたもの。○=マ字記号は調査をあらわし、図 3.4 と同じ(木村, 1960)<sup>11)</sup>

行った。すなわち伐倒木の胸高断面の年輪の調査から、その木の 10 年前の胸高直径を求めた。年輪から直接求められるのは 10 年前の皮なし直径なので、調査時の皮つき直径と皮なし直径の比から 10 年前の皮つき直径を計算した。つぎに式 3.16 に示した胸高直径と幹枝重との関係が 10 年前にも同様に成立していたと仮定し、10 年前の試験木の幹枝重量を推定し、現在の値との差を 10 年間の成長量とし、この値から 1 年間の成長量を求めた。このようにして得られた試験木の年間成長量と試験木の調査時の胸高直径との間には、図 3.23 に示すような「相対成長」関係が見いだされた。この関係と森林の胸高直径分布とから、調査時の全立木について成長量を計算し、これを合計したものを森林の幹枝の年間

生産量とした。結果は 7.37 ton/ha・年 となった。

この方法にも、すでに説明してきたことからわかるように、いくつかの問題点が含まれている。第 1 に、何回ものべたことだが、調査時の試験木から求められた相対成長関係がそのまま過去（この例の場合は 10 年前）にも成り立っていたという保証はないという点である。これはこの方法をとる以上仕方がない。第 2 に、この方法は調査時点で生きている立木に関しての成長量を得る方法なので、厳密にはこれをそのまま群落の生産量とすることはできない。3.5 A で説明したように、幹だけの生産量についてこの方法を適用するのならば、生ずる誤差はそれほど大きくないと推測できる。しかし枝をも含めた適用のさ

表 3.8 大隅半島照葉樹林の生産量(木村, 1960)<sup>11)</sup>

	純生産量 ton/ha・年			
	葉	幹+枝	幹+枝+根	合 計
上層木	8.52	5.73	7.16	15.68
中層木	2.38	1.37	1.71	4.09
下層木	0.50	0.27	0.34	0.84
合 計	11.40	7.37	9.21	20.61

いは、3.5. B(4) で説明したような枝の枯死量に関する補正が必要である。したがって上の幹枝材の生産量の推定値は、明らかに過少評価となっている。

根の生産量は、現存量の場合と同様に、やはり幹枝の生産量の 25% と仮定し、1.84 ton/ha・年 という値をだした。現存量を 25% と仮定した以上、やむをえない推定法であるが、幹枝の生産量の過少評価はこの数字にも影響を及ぼしている。

以上のようにさまざまな欠陥をもつ推定法であったが、この森林の葉、幹枝、根の年間生産量を推定し合計したところ、20.61 ton/ha・年 という値となった。真の値はおそらくは ±30% ほどの範囲にあるであろうという、かなりあらい推定値である。また、この森林を構成する上層木、中層木、下層木のそれぞれについて、上の年生産量がどのように配分されているかをみたものが表 3.8 である。

### 3.8 森林における生産力の季節変化

1 章の一番最後にのべたように、ふつう森林の生産力の測定は 1 年を単位としてなされている。少なくとも収穫法の面からは、1 年のうちで生産力がどのように季節変化をするかという問題には、まだほとんど手がつけられていない。これは、草原の場合と異なり、森林では季節をおった現存量の連続測定がきわめてむずかしいことによる。この困難さの意味は 2 つある。ひとつは、前述のような方法による森林の現存量の測定を、1 年のうちに何回も季節をお

て行うのは、たいへんに労力のいる作業だということにある。そして第2に、より重要な点だが、たとえ労力の問題が解決できたとしても、そのような作業の結果森林の各器官の現存量の季節変化のありさまを有意に示すようなデータが得られるという期待が、ほとんどもてないということにある。森林の場合には、何十年にもわたって蓄積された巨大な現存量に比して、1年間に变化する量がきわめて小さく、対象とする群落の局地的な変異の幅のなかに埋没してしまう程度を出ないのがふつうである。したがって、現存量の連続測定を基礎にした「草原型」の方法が比較的容易に適用できるのは、おそらくよくそろった小さな稚樹の群落などに限られるだろう。この節では筆者ら(木村ら, 1968<sup>13)</sup>; 木村, 1969<sup>14)</sup>)が北八ヶ岳の亜高山帯にみられた天然生のシラビソ-オオシラビソの稚樹群落で行った「草原型」にちかい成長解析の研究から、この分冊のテーマに関連する部分を抜き出して紹介し、参考に供したいと思う。

#### A. 調査方法

調査地点は北八ヶ岳の縞枯山の南西斜面、海拔 2,340 m のところで、亜高山帯の上部に相当し、年平均気温は  $-0.3^{\circ}\text{C}$  ほど、生育期間は長く見積もっても5月~11月の7ヶ月ほどの場所である。縞枯山では、その名の通り立木が縞状に枯れており、その林床には密生した稚樹の群落が形成されている。この稚樹は比較的一様に地表面をおおっているが、それでもよく観察すると高密度の部分や低密度の部分があり、全体としては稚樹は一極の塊状分布をしている。このような群落の場合、対象の不均一さを無視して無作為にコドラートを設置し現存量調査をつづけていっても、得られる値のふれ幅が大きくなって、季節的な傾向がはっきりとつかめない場合が多い。したがって、この場合も、十分にうっ閉して高密度で、調査年の生育期間の開始時の樹高が 80 cm ほどの稚樹のコロニーのみを選び、その中心部のみを調査の対象とした。このように、不均一な対象から任意にある一定の条件をそなえた部分だけを取り出す操作を層わけ(層化)とよぶ。野外の対象に面した場合に、しばしば必要となる操作である。なお、この稚樹の年齢は最高のもので約 15 年であった。

1回の調査時に、上のような条件をそなえた稚樹のコロニー2ヶ所を選び、

その中心部 50 cm $\times$ 50 cm の現存量を測定した。この大きさのコドラート内の稚樹は、大小合わせて 15~20 本であった。コドラート内のすべての稚樹を根を含めて採取し、当年、1年および2年以上の葉と枝、茎、根を区分して生量を測定し、一部を実験室に持ち帰って乾重量を求めた。また、一部の試料は現地で 80% のエチルアルコールに投入煮沸して、のちのべる貯蔵炭水化物の化学分析に供した。この群落の生産構造図を図 3.24 に示す。

#### B. 年間生産量

季節をおった現存量調査の結果得られた当年の葉および枝の成長曲線は、図 3.25 に示すようになった。これによると、当年生の器官が成長を開始するのは6月中旬以降であり、葉は8月末までに成長を完了するが、枝の成長は10月末までつづくことがわかる。

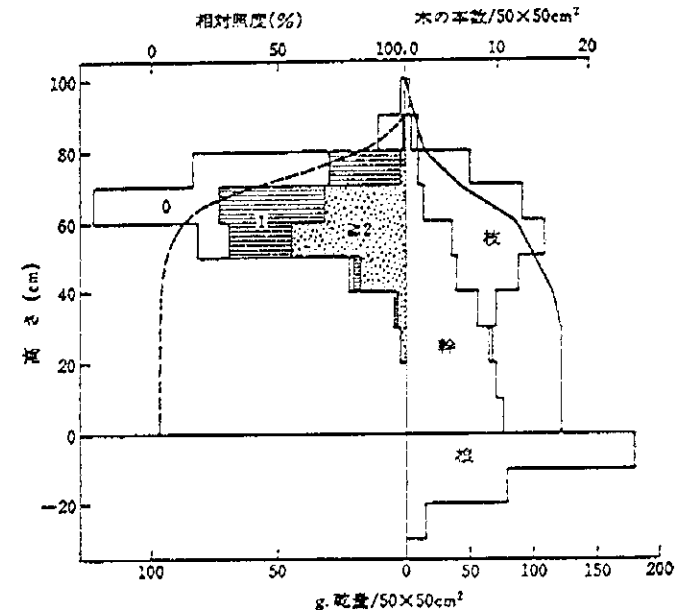


図 3.24 シラビソ-オオシラビソ稚樹群落の生産構造図。当年葉の成長が終わった時期のもの。0, 1, 2 はそれぞれ当年葉, 1年葉, 2年以上の葉をあらわす(木村ら, 1968)<sup>13)</sup>。

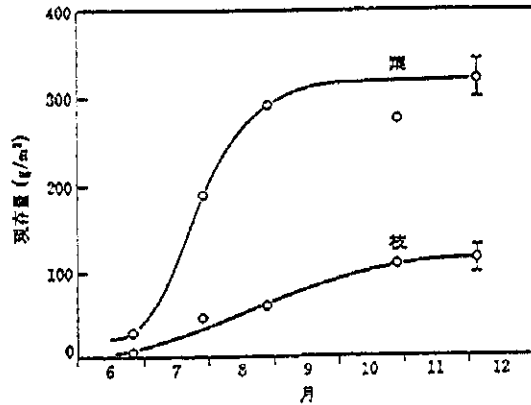


図 3.25 シラビソ-オオシラビソ雑樹群落における当年葉、当年枝の成長曲線。当年葉の成長は8月末までで終わり、当年枝は10月末まで成長をつづける(木村ら, 1968)<sup>12)</sup>

表 3.9 シラビソ-オオシラビソ雑樹群落の現存量(乾重量)の変化ならびに年間純生産量(g/m²)。変動係数は生育期間終了時の各器官現存量に対するもので、50cm×50cmのコードラート10個の測値よりえられたもの。2, 1, 0はそれぞれ2年以上、1年および当年生の器官を意味する(木村ら, 1968)<sup>12)</sup>。

	開始時*	生育期間	終了時	変動係数(%)	増加量	未補正純生産量**
幹	872	.....	979	22	107	107
枝	501	.....	595	12	94	94
枝	E/2	563	494	18	31	31
			100	24		
			0***	13		
葉	E/2	548	394	6.7	-154	16
			170...枯死	11		
			0	6.7		
葉	E/2	300	312	11	12	12
			318	6.7		
			0	318		
葉	E/2	0	366	48...枯死	318	366
			318	6.7		
			0	6.7		
合計	2,780	.....	3,300	20	520	740

\* 生育期間開始時の現存量は、終了時の現存量、年増加量、枯死量の値から計算されたもの  
 \*\* 貯蔵物質の動きに対して未補正な年間純生産量  
 \*\*\* 出発時の芽の重量は1年枝に含まれている  
 \*\*\*\* 次年の芽の重量を含む

生育期間の終了した12月に、前のような条件をそなえたコードラート10個の調査によって、1年間のこの雑樹群落の成長量、生産量を求めた。その結果をまとめたものが表3.9である。以下表の数値が得られた過程を説明していく。生育期間の終わった段階での幹の重量は979g(乾重量/m²、以下同様)で、年輪解析の結果生育期間の開始期の重量は872gと推定されたので、この年の成長量は107gである。このうち当年伸長部の重量は12gで、残りは肥大成長による増分であった。この生育期間内に枯死した2,3の小個体の成長量はまったく無視できるので、この107gがそのまま群落の幹の生産量である。

枝の成長量は、当年伸長した枝が111g、1年以上の枝の肥大成長量が31gであった。この肥大成長量は、枝のサンプルの年輪を読む方法(3.5.B(2))によって推定された。枝の枯死・脱落量、被食量は無視できるものとみて、上の値をそのまま枝の年生産量とみなした。

葉の枯死・脱落量の推定は、年枝ごとの葉の生存率を調べる方法によって行った。葉の生存曲線は図3.26に示すようになった。この図から、当年の葉は生育期間の終わるまでに約15%ほどが枯死・脱落することがわかる。この枯死・脱落が、当年葉が完全に成長したのちにおこったと仮定すると、失われた

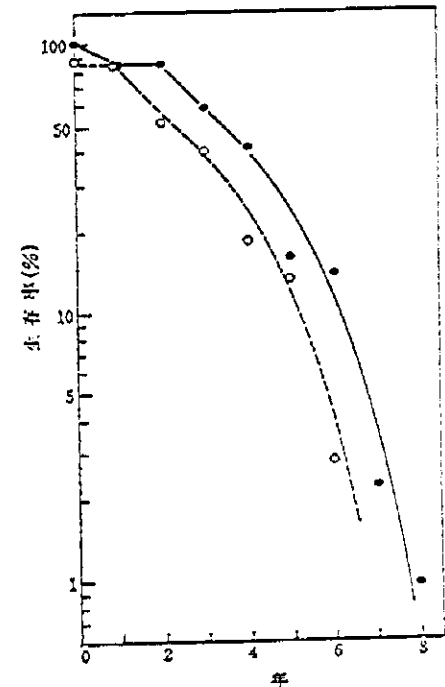


図 3.26 シラビソ雑樹の針葉の生存曲線。●は当年葉の成長が終わった直後のもの。○は生育期間終了後、この間に生存曲線はほぼ1年分平行移動することがわかる(木村ら, 1968)<sup>12)</sup>。



量は 48 g である。生育期間の終了時の当年葉の現存量は 318 g であったが、当年葉の生産量はこの 48 g を加算した 366 g となる。また図 3.25 からわかるように、1 年葉はほとんど脱落しない。そして 2 年、3 年の葉の枯死率は約 31% である。それ以上古い葉の枯死率はより高くなる傾向がみられるが、量的には 2 年、3 年の葉が圧倒的に多いので、この 31% という枯死率を 2 年以上の葉全体にあてはめた。その結果 2 年以上の葉の枯死量は 170 g と推定された。もっとも、ここでやっている年生産量の推定の手続きは式 1.3 によるものなので、1 年以上の旧葉の枯死・脱落量は直接必要な項目ではない。生産量推定の項目として必要なものに、旧葉の重量増加がある。シラビソの針葉はほぼ 1.3 g 乾重/100 cm<sup>2</sup> の面積重をもつが、年齢の異なる葉でこの面積重を比較してみると、1 年にはほぼ 0.05 g/100 cm<sup>2</sup> ずつ増加している。この数値から、1 年の葉で 12 g、2 年以上の葉で 16 g という旧葉の生産量が推定された。個々の椎樹の個体全体の重量と根の重量との間には、図 3.27 に示すような

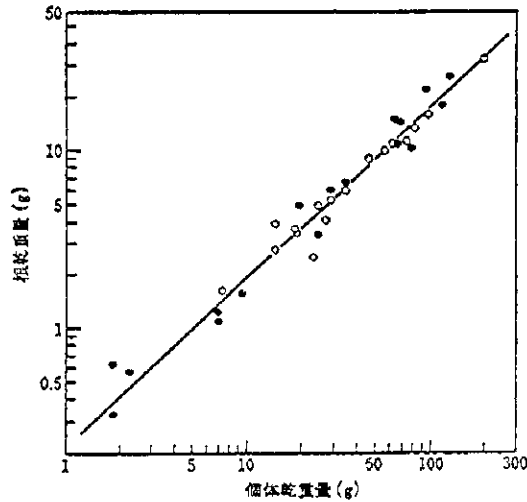


図 3.27 シラビソ椎樹の個体乾重量  $W$  と根の乾重量  $W_r$  との間の相対成長関係。●：生育期間前，○：生育期間後。両者は共通の回帰式  $W_r = 0.214 W^{0.900}$  であらわされる(木村ら, 1968)<sup>12)</sup>。

相対成長関係が成り立ち、この関係は生育期間の前後で変化せず、また相対成長の係数はほぼ 1 であったので、根の現存量に対する成長量の比は、木全体の現存量に対する成長量の比と同じであるとみなすことができた。その結果、根の成長量を 94 g と推定し、これをそのまま年生産量とおいだ。

以上にざっと紹介した計算は、前節までに説明してきた 1 年を単位とする生産量の推定方法をそのまま用いたものであって、とくに目新しいものはない。

### C. 季節的な生産過程

多年生植物の成長と物質生産の季節的な過程をみていく場合には、越年生の器官に貯蔵されている貯蔵器官の動態に十分に眼をむける必要があることは、すでに 2 章で詳しく説明したとおりである。樹木の場合、ふつう塊茎や塊根などという特定の貯蔵器官はなく、貯蔵物質は幹、枝、根などの栄養器官に蓄えられているが、イネ科植物の地下茎と異なって肥大成長をする器官なので、これら器官の容積重の変化から貯蔵物質の蓄積や消費を量的に知ることはできない。したがって、これらの器官の貯蔵物質の含量の変化は、化学分析によって調べる必要がある。

先きのべたように、季節をおった現存量調査のさいに、これら諸器官の試料の一部をアルコールに投入煮沸して保存しておき、のちにこれから可溶性の炭水化物の定量を行った。化学分析の方法などについては別の分冊にゆずり、ここでは結果だけを要約して紹介していく。

なお、最初のことわっておくが、化学分析によって植物に再利用が可能な貯蔵物質をそれ以外の物質と区別して定量することは、一般的にはできない。以下に可溶性炭水化物とよぶものは、植物体細胞を熱エチルアルコール、熱水、熱希塩酸で順次抽出して溶出する炭水化物を定量したものの合計であるが、これらの分画のなかには植物にとって再利用できない炭水化物の一部なども当然含まれていて、いっしょに定量されている。したがって、このような方法で問題にできるのは、定量された物質の含量や絶対量が季節的に変化をするさいの、その変化量だけであって、含量や存在量の絶対値を問題にするのはほとんど無

意味である。また、いろいろな種類の単葉から構成されている多様な炭水化物をひとまとめにして定量しているので、得られる結果は少なめに見積っても10%ほどの誤差を含んでいる。

まず、各器官における可溶性炭水化物の含有率の季節変化を示したものが図3.28である。含有率はかなり大きな季節変化を示すが、変化の傾向は各器官とも大体共通して、6月中旬まで含有率は増加し、ついで8月末まで減少し、9月以後再び増加する。すでに図3.25にみたように6月中旬までは当年の器官はまだ成長を開始しない。したがって、新植物体の成長量をもって生産量とみなすとすれば、この時期の生産量はゼロということになる。しかし、こ

の図にみるように、この時間に、冬季の休眠からさめて光合成能力を回復した旧葉によって、植物体中に急激な炭水化物の蓄積がおこっている。この蓄積量はこの時期の生産量と考えねばならないことは明白である。なお、ここでみたような成長開始前の貯蔵物質の蓄積の過程は、越冬葉を欠く落葉樹や草本植物では認められない。

つぎに6月中旬から8月末までの炭水化物の減少であるが、この時期は図3.25でみた当年の植物体、とくに新葉の急速な成長期に一致している。つまりここでも2.7で説明したのと同様に、新しい植物体の成長量の一部は旧植物体中に含まれている貯蔵物質の消費によってまかなわれていることがわかる。したがって、この時期の新植物体の成長量を、そのままこの時期の生産量とみなすのは正しくない。さらに、9月以降は葉の成長はとまり、材部器官の成長がわずかにおこるのみだが、この時期に旧葉やその他の器官にかなりの貯蔵物質の蓄積がおこっている。この蓄積量もまたこの時期の生産量の一部として加算されなければならない。

このような貯蔵物質の変化をも加えて群落の生産量を推定するためには、上のような炭水化物の含有率の季節変化の数値をまず群落の単位面積あたりの量に換算しなければならない。この換算にはどうしても若干の仮定をおくことが必要となる。まず植物体現存量の季節変化に関する仮定であるが、すでに表3.9に示した生育期間前後の各器官の現存量がもとなる。また当年の葉および枝の成長曲線は図3.25にあたえられている。それによると、葉の成長は6月中旬にはじまり、8月末までに完了する。以後は葉の重量増はない。当年枝の成長はやはり6月中旬にはじまり、8月末までに年間成長量の60%が達成され、あとの40%は10月末までにおこる。この新葉の成長のありさまが、そのまま旧葉の重量増にあてはまり、新枝の重量成長のありさまがそのまま旧材部器官の肥大成長による重量増にもあてはまると仮定する。つまり、旧葉もまた6月中旬～8月末に年間の全重量増がおこり、旧材部器官の肥大成長も6月中旬にはじまり、8月末までに表3.9に示した年間値の60%が、10月末までに残りの40%が達成されると仮定する。このように仮定された旧器官の成長

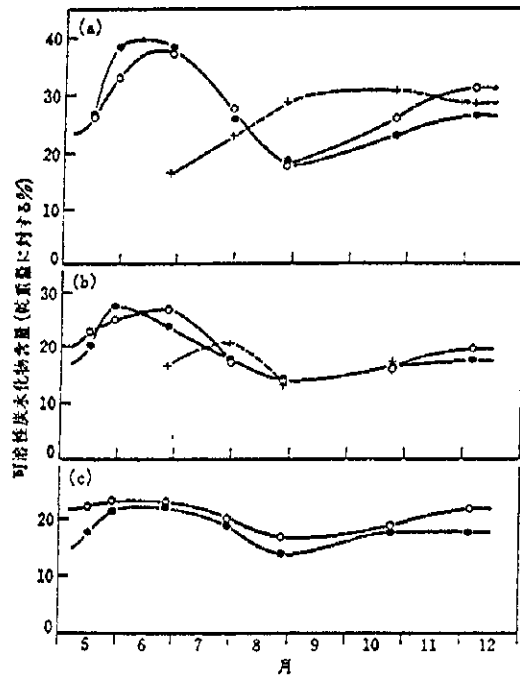


図 3.28 シラビソ推測の各器官における可溶性炭水化物含有率の季節変化。(a):葉, +:当年, ○:1年, ●:2年以上の葉。(b):枝, 記号は(a)と同様 (c):○:幹, ●:根(木村, 1969)<sup>14)</sup>

## 108 第3章 森林の生産力測定法

のありさまは、なかに含有される貯蔵物質の増減による重量変化とは関係のない「容器」の成長のありさまと解すべきものである。

つぎに旧葉の枯死・脱落量の季節変化であるが、これもこの群落については実測されていないので、生育期間中に一律に枯死・脱落がおこると仮定する。

このような仮定によって、生育開始時点、6月中旬、8月末、10月末、生育期間終了時の群落の旧器官の現存量を計算できるので、それと図 3.28 の炭水化物含有率の数値とから、可溶性炭水化物の群落単位面積あたりの絶対量を計

算することができる。その結果を示したものが図 3.29 である。

じつは、このような計算方法はきわめて近似的なもので、含有炭水化物の変動量についての系統的な過少評価を含んでいる。なぜならば、可溶性炭水化物の増加や減少がほかの物質との相互転換の結果ではなく、生産や消費の結果であるならば、その増減に伴って植物体自体の重量も変化をはずすからである。含有率が上がれば基準となる植物体の重量もよめる。したがって植物体の重量変化を考慮しないで、含有率の増加だけから増加量を計算すれば、増加量は過少に評価される。含有率の減少の場合も同様で、減少量が過少評価される。含有率の変化から増減の絶対量を計算する場合には、本来なら当然これを考慮に入れた補正がなされなければならない。先に紹介したオナベグマの貯蔵炭水化物の季節変化(図 2.13)の場合、地下茎や根において、定量された炭水化物以外の物質の絶対量は季節変化をしないという仮定を入れて、炭水化物の含有率の変化から含有量の変化が計算されている。この節で説明している研究例の場合には、このような系統的な過少評価に対して特別な補正を行わなかったが、それは、先にのべたように炭水化物の定量値にかなりの誤差がみこまれているうえに、計算の基準となる各器官の季節的な現存量の値自体が、上のようにかなりの仮定のもとに推定されているので、仮定の積み上げを避けたためである。より精密な研究のさいには、この問題への適切な配慮が必要であることを忘れてはならない。

図 3.29 の結果をまとめて、単位地表面積あたりの全植物体中の可溶性炭水化物量の変化を示したものが図 3.30 である。この2つの図から、つぎのようなことがわかる。一般的な変化の傾向は含有率の変化と同様であり、可溶性炭水化物は6月中旬まで増加し、以後8月末まで減少し、その後再び増加する。生育期間の初期の炭水化物の蓄積量は全植物体で約  $160 \text{ g/m}^2$  であり、そのうちの90%が旧葉に蓄積される。6月中旬～8月末までの旧器官中の炭水化物の消費量は  $320 \text{ g}$  に達するが、この約半分は旧葉中の炭水化物である。9月以降炭水化物は旧器官中に約  $170 \text{ g}$  再蓄積され、生育開始期とはほぼ同じレベルに回復する。それに加えて当年生の器官への蓄積があり、群落全体として炭水化

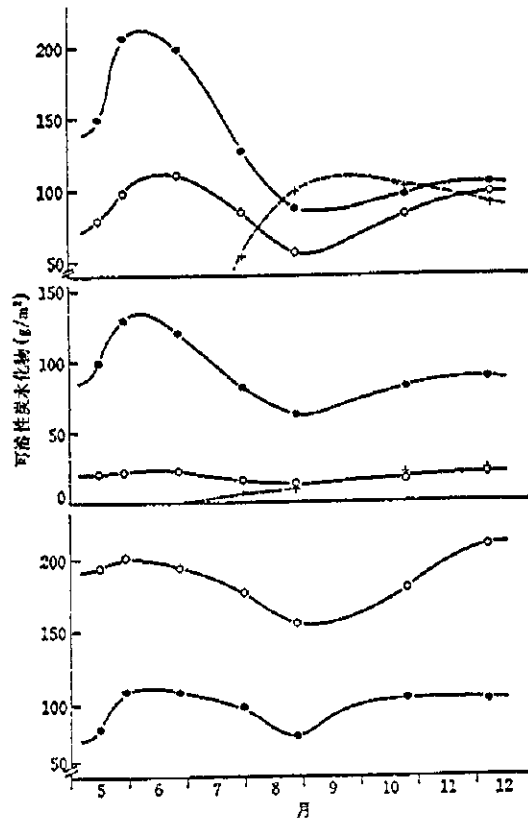


図 3.29 シラビソ稚樹の各器官における可溶性炭水化物量の季節変化。記号は図 3.28 と同じ(木村, 1969)<sup>14)</sup>

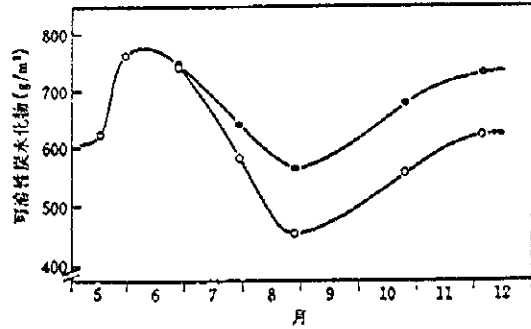


図 3.30 シラビツ稚樹群落における可溶性炭水化物量の季節変化。○：旧器官，●：当年器官（当年葉＋当年枝）をも含めた全植物体（木村，1969）<sup>14)</sup>

物は約 120 g 増加する。このような貯蔵物質の動きをみると、多年生の葉をもつ針葉樹の場合には、葉が貯蔵器官として重要な役割を果たしていることがわかる。

以上のようにして得られた器官の成長量と貯蔵物質の変化とをまとめたものが表 3.10 である。この表における未補正純生産量とは、旧器官については、式 1.2 で定義されている純生産量ではなく、貯蔵物質の「容器」の生産量であることに注意していただきたい。それに反して新器官（当年葉、当年枝）の生産量は、実測された現存量の増加量であるので、表中には新器官内にみられる貯蔵物質の蓄積量の項目は必要でないことになる。この量は新器官の生産量のなかに含まれているわけである。表 3.10 にみられるとおり、生育期間の開始期

とみられる 5 月初めより 6 月中旬までは、器官の成長のみならず、物質生産の産物はすべて貯蔵物質として旧器官内に蓄積される。6 月中旬～8 月末までの期間は、最も盛んに器官の成長がみられる時期であるが、この期間には一方では蓄積されていた貯蔵物質の消費がおこる。この期間に消費される貯蔵物質の量は、その年の 6 月中旬までに蓄積される量の 2 倍に達することから、前年に蓄積された貯蔵物質もこのときに消費されていることがわかる。9 月～11 月には器官の成長は低下し、成長量を上回る量が貯蔵物質として再び旧器官内に蓄積される。表 3.10 の最右欄は、このようにして計算された純生産量を 1 日あたりであらわしたものである。純生産量は夏季にやや高い傾向があるが、器官の成長量の著しい季節変化と比較すると、その季節変化はあまり顕著ではない。

以上の数値は、いままでの説明からわかるように、あまり精度の高いものとはいえない。しかし木本群落の場合でも、季節現象にまで足をふみ入れれば、貯蔵物質の動態を無視しては生産量の推定ができないことがわかる。またこの研究の結果、針葉樹などの常緑葉が冬季に容量の大きい貯蔵器官として働いていること、さらにこの越冬した旧葉の光合成によって、新器官の成長開始前に、冬季に蓄えられていた量に加えて多量の貯蔵物質が蓄積され、これが引きつづく新器官の急速な成長をささえていることがわかる。この調査のなされた地点では、針葉樹の春の成長開始は落葉樹や草本植物にくらべて 1 ヶ月以上もおくれている。落葉樹や草本が新葉を急速に展開している時期に、針葉樹はまだ冬の休眠からさめていないように、外観上はなんの変化も示さない。しかしこの時期に、多量の越冬した旧葉によって、生産活動はすでに活発に開始されているのである。

木本植物の季節的な成長と物質生産の過程の研究は、対象の性質上きわめてむずかしい今後の課題である。このような粗雑な研究例でも、今後この面の研究を進めていくうえでながしかの参考にもなろうかと考えて紹介したわけである。

表 3.10 シラビツ-オオシラビツ稚樹群落の生産量とその季節変化（木村，1969）<sup>14)</sup>

期 間	未補正純生産量 (g/m <sup>2</sup> )				計	旧器官内の貯蔵物質 (g/m <sup>2</sup> )	純生産量 (g/m <sup>2</sup> )	1 日あたりの純生産量 (g/日)
	旧器官		新器官					
	旧材部器官	旧葉	新枝	新葉				
5 月 ～ 6 月中旬 (1.5 ヶ月)	—	—	—	—	—	160	160	3.5
6 月中旬～8 月 (2.5 ヶ月)	139	28	67	366	600	-320	280	3.7
9 月 ～ 11 月 (3 ヶ月)	93	—	44	—	137	170	307	3.3
生育期間合計	232	28	111	366	737	10	747	3.5

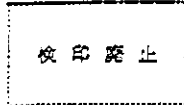
参考文献

- 1) 大隅真一・北村昌美・菅原 聡・大内幸雄・梶原幹弘・今永正明：森林計測学，(1971)，養賢堂。
- 2) Kimura, M.: *Jap. Jour. Bot.*, 18, 255-287 (1963).
- 3) 北沢右三・木村 允・手塚泰彦・倉沢秀夫・坂本 充・吉野みどり：資源科学研究所彙報，49, 19-36 (1959).
- 4) 佐藤大七郎：*Jour. Jap. For. Soc.*, 52, 154-158 (1970).
- 5) 四手井綱英ほか：森林の生産力に関する研究，第1報，北海道主要針葉樹林について，(1960)，国策パルプ工業株式会社。
- 6) 大内幸雄・宮崎 深：日林中部誌，17 (1969)，文献(1)より引用。
- 7) Satoo, T., in: *Analysis of temperate forest ecosystems* (Reichle, D. E., ed) *Ecological Studies*, 1, 55-72, (1970), Springer Verlag.
- 8) Satoo, T., in: *Symposium on primary productivity and mineral cycling in natural ecosystems* (Young, H. E. ed) 52-80. (1968), Maine University Press.
- 9) 佐藤大七郎：陸上植物群落の物質生産 1a, 生態学講座 5-a, (1973), 共立出版。
- 10) 佐藤大七郎・扇田正二：東大演報，62, 117-146 (1966).
- 11) Kimura, M.: *Misc. Rep. Res. Inst. Nat. Resources* 52-53, 36-47 (1960).
- 12) Tadaki, Y.: *Jour. Jap. For. Soc.*, 50, 60-65 (1968).
- 13) Kimura, M., I. Mototani, & K. Hogetsu: *Bot. Mag. Tokyo*, 81, 287-296 (1968).
- 14) Kimura, M.: *Bot. Mag. Tokyo*, 82, 6-19 (1969).

著者紹介

木村 允	昭和31年 東京都立大学理学部生物学科卒業
	専攻 植物生態学
	現在 東京都立大学理学部助教授
	理学博士
著書	作物の光合成と物質生産 (共著，養賢堂)
	生態学大系Ⅱ上 植物生態学(七) (共著，古今書院)
	植物の生産過程 (共著，共立出版)
訳書	生態系の構造と機能 (監訳，築地書館)

生態学研究法講座 8  
陸上植物群落の生産量測定法  
定価 1100 円



© 1976

昭和51年7月25日 初版1刷発行  
昭和53年10月10日 初版2刷発行

著者 木村 允  
発行者 南 條 正 男  
東京都文京区小日向4丁目6番19号  
印刷者 藤 本 元  
東京都文京区水道2丁目1番8号

NDC 468

東京部文京区小日向4丁目6番19号  
発行所 電話東京 947 局 2511 番(代表)  
郵便番号112 振替 東京 1-57035 番

共立出版株式会社

印刷・製本総合印刷 製本・中綴製本

Printed in Japan

3345-438081-1371

社団法人  
自然科学書協会  
会員

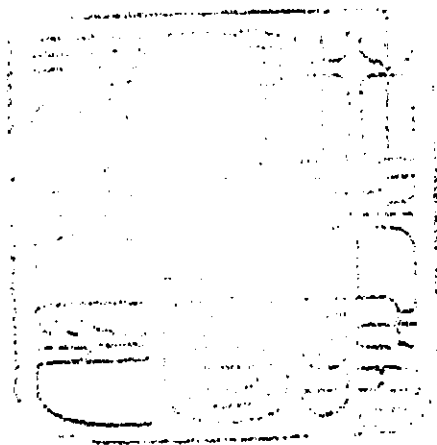


IBP HANDBOOK No. 2

運輸部  
購入  
昭 44.6. 5

Methods for Estimating the  
Primary Production of Forests

P. J. NEWBOULD



© INTERNATIONAL BIOLOGICAL PROGRAMME 1967

*This book is copyright. It may not be reproduced by any means in whole or in part without permission. Application with regard to copyright should be addressed to the publisher*

FIRST PUBLISHED 1967

--40--

INTERNATIONAL BIOLOGICAL PROGRAMME

7 MARYLEBONE ROAD, LONDON NW1

BLACKWELL SCIENTIFIC PUBLICATIONS

OXFORD AND EDINBURGH

*Printed and bound in Great Britain by*  
WILLMER BROTHERS LIMITED  
BIRKENHEAD

# Contents

Foreword.....	vii
Preface.....	ix
<b>1 Objectives.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Forest Type and Site Selection .....</b>	<b>3</b>
2.1 Forest types .....	3
2.2 Site selection .....	3
2.21 Size of areas .....	4
2.22 Existing research plots .....	5
2.23 Replication .....	5
<b>3 Basic Concepts and Terms .....</b>	<b>6</b>
3.1 Definitions and the basis of the method .....	6
3.2 Two basic concepts.....	7
3.3 Sampling techniques .....	9
3.4 Time scale .....	10
<b>4 The Estimation of Tree and Shrub Production .....</b>	<b>12</b>
4.1 The estimation of biomass change .....	12
4.2 Census of the sample area .....	13
4.3 Recurrent measurements on the sample plot .....	14

iv

## Contents

4.4 Conversion of volume to dry weight .....	16
4.5 Selection of trees for destructive sample .....	16
4.6 Estimating biomass and growth increment in destructive samples.....	17
4.61 Trunk.....	18
4.62 Branches .....	19
4.63 Leaves .....	21
4.64 Estimation of root biomass.....	23
4.65 Attempts to estimate root production .....	23
4.7 Correlation between destructive and non-destructive sample .....	25
4.71 Method 2 .....	28
4.8 Shrub production .....	28
<b>5 The Estimation of Other Components of Ecosystem Production .....</b>	<b>29</b>
5.1 Production by ground vegetation .....	29
5.11 The individual plant method .....	29
5.12 The harvested quadrat method .....	29
5.13 Location of samples.....	29
5.14 Size of quadrat.....	29
5.15 Frequency of sampling .....	30
5.16 Harvesting.....	30
5.17 Interpretation of results .....	30
5.2 Climbing plants.....	30
5.3 Epiphytes .....	31
<b>6 Litter Fall .....</b>	<b>32</b>
6.1 Leaves and similar litter .....	32
6.2 Micro-litter.....	34
6.3 Macro-litter .....	34
<b>7 The Minimum Programme and Additional Measurements .....</b>	<b>36</b>
7.1 Characteristics of the photosynthetic system .....	36
7.11 Leaf area index.....	36
7.12 Stratified leaf area index.....	37

*Contents*

v

7.13	Chlorophyll .....	38
7.14	Canopy photosynthesis .....	38
7.2	Leaf losses .....	38
7.3	Chemical and calorific analysis and mineral cycling .....	40
7.4	Climate .....	41
8	Results.....	43
8.1	Data-recording .....	43
8.2	Units .....	43
8.3	Errors .....	45
8.4	Calculations .....	46
8.5	Commitment .....	46
8.6	Publication.....	46
	Acknowledgements.....	48
	References .....	50
	Further Reading.....	56
	Index .....	61



## Foreword

The Handbook series of IBP has a specific purpose. It is for volumes which are urgently needed by biologists around the world who wish to participate in the programme. Some volumes, such as No. 1 *Guide to the Human Adaptability Proposals*, deal with a whole section of IBP; others, such as this and a number of others in active preparation (see back cover), deal with methods of research in a comparatively narrow branch of the programme. Some of these handbooks, like this one, are brief, written by one scientist, who has been selected by the international section concerned and has consulted many specialists in the process of drafting. Other volumes will be larger, with chapters written by a number of different specialists under the guidance of a general editor.

It must be emphasized that the methods described in this and other handbooks are *recommended* for the purpose of IBP, not *agreed*. To obtain universal agreement on any particular method, if it could be achieved at all, would take a long time. Moreover, it might retard rather than advance biology, because the methodology in a great many subjects within IBP is evolving rapidly. The methods described in these handbooks are recommended to scientists who themselves do not think they have better methods. They provide some guarantee that the results obtained by their use all over the world will be comparable.

A further point of importance is that all IBP handbooks are to some extent provisional. Those concerned with methodology in particular may need alteration as a result of practical experience and distribution to numerous specialists. Indeed it is hoped that revised and more definitive editions of these books will be called for before the conclusion of IBP in 1972.

The author, P.J. Newbould, has just been elected to the Chair of Biology in the new University of Coleraine in Northern Ireland. He took his first

degree at Oxford, his doctorate in London with W.H. Pearsall. For a number of years past, as lecturer in botany at University College, London, he has been in charge of the Conservation Course. This is organized in consultation with the Nature Conservancy of the United Kingdom, in order to train postgraduate students in the sciences which underlie conservation and the rational use of biological resources. Since IBP commenced, Professor Newbould has taken a prominent part in Section PT, both nationally within the UK, and internationally.

E. B. WORTHINGTON  
IBP Central Office  
7 Marylebone Road  
London, N.W.1

*August 1967*

## Preface

This methodological outline for estimating the primary production of forests and woodlands as part of IBP is based on preliminary documents circulated to more than seventy scientists directly concerned with such studies and incorporates many of their comments. The current version undoubtedly could be improved further but revision can be a never ending process. Rather than trying to produce a polished and generally acceptable version which might not have been ready before the end of IBP it was decided to publish at this stage and to issue corrections and revisions later. Suggestions for these should be sent to the author at the address below.

*The New University of Ulster,  
Coleraine, Co. Londonderry,  
N. Ireland.*

*P. J. Newbould.*

## 1

## Objectives

The outline of the PT programme in IBP News 9 states: 'General investigations of primary production should be made at a global network of sites'. This Handbook suggests some of the methods that can be used in forests and woodlands to fulfil this aim. Forests and woodlands are here taken as synonymous and the term woodland is generally used. Woodlands include all vegetation in which trees (more than 5 m tall) play a predominant part. These methods would also be applicable to the tree component of vegetation in which the trees have a minor role.

The actual investigations to be carried out within this theme will vary from place to place; precise objectives and the availability of sites, funds and manpower will determine which methods are to be used in any particular investigation. Objectives may include the provision of primary production estimates as a basis for complete ecosystem studies, comparisons (within woodlands) between species, geographical regions, management techniques and comparisons between woodlands and other types of vegetation or systems of agriculture. In general it is difficult to set up meaningful comparisons without proper experimental design. It is essential in these comparisons to reduce the number of independent variables to the absolute minimum, for example by comparing one species over a range of climate but with similar management regimes and soil types.

Woodland production has been measured by foresters for many years, and their current methods are outlined in several textbooks of forest mensuration (Prodan 1965, Husch 1963, Pardé 1961, Ferat 1958, Spurr 1952). In general they tend to concentrate upon the economic product, stem wood. Studies of biological production are concerned with the whole dry matter production of the trees, shrubs and ground vegetation. The total dry matter production in any ecosystem is a measure of its efficiency of energy fixation. It also represents the energy input to the system; this energy will subsequently be dissipated by the respiration of all the organisms

in the ecosystem, the plants themselves, the consumers including carnivores and the decomposers.

This Handbook does not aim to describe the standard mensuration techniques used by foresters; local advice and tables describing the growth of the main tree species will normally be available in each country (e.g. Bradley, Christie & Johnston 1966). What is required is to convert the foresters' production from timber volume to dry weight and to add to it estimates of the production located in the non-useful parts of the tree and in other parts of the ecosystem. The methods for doing this are indicated in this Handbook.

Complete standardization of methods is undesirable and impracticable but wide adoption of certain general principles will help to make the results of different investigations comparable. This Handbook is intended only as a guide from which appropriate methods can be selected and is especially for the use of institutions where productivity studies are not currently in progress. Reference is made to papers which contain further details of suitable methods.

## Forest Type and Site Selection

### 2.1 Forest types

The number of forest types chosen for study in a given geographical area may depend upon the amount of funds and manpower available. It is however hoped that all representative or major types of forest found within the area, either natural or artificial, will be covered as far as possible. At the outset it is important to distinguish between two situations. The annual production of uneven-aged 'climax' woodland, although varying from year to year, probably fluctuates about some comparatively steady mean. Current production of a woodland stand, measured over 3-5 years, provides a value genuinely representative of that site and stand.

By contrast an even-aged woodland shows a regular change in production, which increases to a maximum value and then gradually declines (Ovington 1957). Here the most realistic value for annual production is the mean production over a whole rotation or the whole life-span of the stand. This implies making measurements on an age sequence of even-aged stands.

It is important in each region to compare the best available approximation to natural climax woodland with the main types of plantations. It may also be useful for intercontinental comparisons of production to choose plantations of such widely cultivated genera as *Pinus* (especially *P. radiata*), *Larix*, *Eucalyptus*, etc. It is always important to understand as much as possible of the ecology of the system being studied, especially the seasonal changes in activity.

### 2.2 Site selection

It may be useful to envisage four sorts of areas as shown in Fig. 1.

1. *Sample area*: initially used only for measurements which will not affect it. Climatic measurements and regular growth recording are carried out here. Ultimately it could be felled as a final sample or preferably conserved inviolate as a reference site (0.1-1 ha).

2. *Buffer area*: an area of at least two tree heights in width, around the sample area; not subjected to any disturbance which could affect the sample area.
3. *Measurement area*: large enough to permit felling of trees, digging of soil pits and root trenches; so far as possible felling should not exceed 5% of the trees to minimize effect on sample and buffer areas (1-10 ha).
4. *Study area*: acts mainly as a large scale buffer zone; may be necessary for the associated study of mammals and birds (10-100 ha).

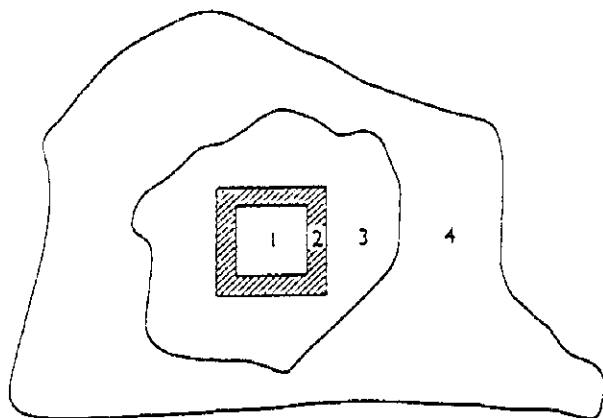


Figure 1. The site: 1, sample area; 2, buffer area; 3, measurement area; 4, study area.

The methods used depend upon the degree of destructive sampling permissible; often one must make non-destructive measurements on a considerable number of trees (perhaps all those in 1) while cutting down a smaller number of trees (from 3) for dry weight determination. Felling should be so organized (possible with reference to the prevailing wind direction) that it does not markedly affect the climate of the sample and buffer areas. The sample area is usually regular in shape, but need not be square. The study and measurement areas need not be regular.

2.21 The size of the areas depends upon the sites available, the size of the trees, the structural complexity of the woodland, its general heterogeneity,

the accuracy required and the manpower available. No vegetation is homogeneous but the heterogeneity of 1 and 3 should be kept as small as possible while in 4 which may be used for related ecosystem investigations, as for example on vertebrates, more heterogeneity can be accepted. Heterogeneity may involve species composition, age and height structure of the woodland and site conditions, e.g. slope, soil and climate, often indicated by the ground flora. The smaller areas should as far as possible constitute a representative sample of the larger areas (i.e. 1 of 3, and 3 of 4).

The minimum sizes shown above are barely adequate and are intended for areas where woodland sites are small and few and far between. Probably in uneven-aged or mixed woodlands the sample area should not be less than 0.5 ha. In tropical rain forest the areas might have to be as much as five times as large as the maximum sizes given above. Where adequate areas cannot be found, it may be necessary to use measurement areas which are not adjacent to the sample areas, but which are within the same region and are as closely comparable as possible. In some cases more than one sample and measurement area may be located within the same study area, either as replicates, or as an experiment involving different tree species or management regimes.

2.22 Existing research plots should be used wherever possible. In particular it would be of immense value to locate these studies in or adjacent to a mensuration plot on which long term recurrent girth measurements have been made on numbered trees. This will allow much more precision in the estimation of wood production which is the major component. It may also make it possible to relate, (with care and suitable reservations) the total dry matter production (via mensuration data and volume tables where available) to other stands in the same region. The extent to which the stand sampled is thought representative of larger areas of woodland should be stated, giving corroborative detail if possible.

2.23 Replication is highly desirable where comparisons are to be made between stands. In some cases it may be impracticable due to site heterogeneity and shortage of manpower. Replication of non-destructive measurements (girth, height, etc.) may be simpler than replication of destructive measurements and may serve to indicate the amount of variation involved. Subdivision of the sample area and the measurement area will provide additional information on the variability of the stand.