

芦生演習林における森林情報のデータベース化とその利用

福嶋 義宏・酒井 徹朗・大畠 誠一・小橋 澄治・神崎 康一

Data base of forest information and its
utilization in the Ashiu Experiment
Forest of Kyoto University

Yoshihiro FUKUSHIMA , Tetsurou SAKAI ,
Seiichi OOHATA , Sumiji KOBASHI and Kouichi KANZAKI

要 旨

芦生演習林で1964～1965年に調査された、ほとんどが天然生の林分から成る計63プロットの全3,073本の毎木調査結果がデータベース化され、そのデータを使って芦生演習林の森林の特徴と変量相互間の関係が調べられた。その結果、1) 全木ではスギの出現本数頻度が最も高かったが、上層木だけで見ればその比率は低下する。上層を構成する広葉樹で卓越するのはブナ、ミズナラである。2) 単木材積を大きい順に並べると、順位の高い樹種は出現頻度の低いカツラで、以下ブナ、ミズナラなどの広葉樹が続き、スギは出現頻度に比して材積の大きい個体は少ない。3) 森林蓄積量の多いプロットは、標高が700m以上で斜面部位が谷部や末端部を除く箇所であるが、蓄積量の少ないプロットは流域内に散在している。その原因として人為的な影響が考えられる。4) プロットの全木に占める上層木の材積割合は82.5%である。5) 上層木について針葉樹冠の占める割合を変数として、全樹冠面積率とプロット蓄積量の関係を調べた結果、特に針葉樹冠面積率が20%以上のプロットでは、全樹冠面積率が上がればプロット蓄積量が増加する傾向が認められる。6) 上層を占める樹木を針葉樹、ブナ、ミズナラ、その他広葉樹に区分して胸高直径と樹高、樹高と樹冠幅、胸高直径・樹高と樹冠幅、材積と樹冠幅の関係式が求められた。

1. はじめに

今日、山地の森林に対しては、単に木材を生産するだけの場としてではなく、総合的な生物資源の生産場として、あるいはリクリエーションや環境などの公益的な諸機能を発揮する場としての役割が国内外の様々な空間スケールで求められてきている。その用途を意識した森林情報の収集と解析には、これまでの樹木計測の手法を基礎としながらも、新たな手法の導入を積極的に図る必要がでてくる。

筆者らは京都大学芦生演習林を対象の場として、昨年度、50m間隔のメッシュマップ上に流域地形と林相のデータベースを構築した¹⁾。その第2段階として、今回は過去の広域的な毎木調査結果をデータベース化し、多角的なその利用の可能性を探索した。

2. 調査地域の概況と調査の方法・調査項目

芦生演習林は由良川の源流域に位置し、その面積は約4,200 haである。毎年12月から3月までの冬期間は降雪があり夏期は多雨で、林内は天然生の樹木が多く残り、その樹種も豊富である。

調査データは、1964～1965年にかけて、当時の芦生演習林教官・技官の手によって演習林内にランダムに定められた計63地点の正方形プロット(0.1ha)についての結果である。樹木に関する調査内容は直径10cm以上の全木について、樹種、上層・下層木の区別、胸高直径、樹高、生枝下高、樹冠の直径等であり、プロット概況については、その位置、標高、斜面傾斜、斜面方位、斜面上の部位などである。結果的に、ほとんどのプロットが天然生の林分であると判断される。この調査の解析の結果は既にWada et al.²⁾等に報告されている。同一時期に広範な範囲からデータを取った点では画期的で、このデータは最近でも安藤・川那辺³⁾によって、直径-樹高関係、斜面部位、標高と材積の関係について報告されている。

図-1は演習林内の林班区分を表わした図上に調査地点位置を示している。全調査樹木本数(直径10cm以上のみ)は3,073本で、そのうち上層木は1,246本である。なお、全プロットの内、1地点はスギの造林地であり、他の1地点は広葉樹林ではあるが、上層・下層の区分がなかったので、上層グループからは除外している。後に示す図-10において、前者はプロットNo.61に、後者はNo.63に相当する。

今回、元のデータ(これを一次情報とする)をデータベース化し、また昨年構築した⁴⁾地形・林相のデータベースを意識して、できるだけ多角的な二次情報抽出をおこなった。

表-1 樹種名のローマ字・学名対応表

ローマ字	学名
SUGI	<i>Cryptomeria japonica</i>
MIZUNARA	<i>Quercus mongolica</i>
BUNA	<i>Fagus crenata</i>
MIZUME	<i>Betula grossa</i>
TOCHI	<i>Aesculus turbinata</i>
KOHAUCHIWA	<i>Acer Sieboldianum</i>
AKASHIDE	<i>Carpinus laxiflora</i>
GONZETU	<i>Acanthopanax sciadophylloides</i>
URAJIRO	<i>Quercus salicina</i>
KURI	<i>Castanea crenata</i>
INUSHIDE	<i>Carpinus Tschonoskii</i>
KUMASHIDE	<i>Carpinus japonica</i>
AOHADA	<i>Ilex macropoda</i>
SOYOGO	<i>Ilex pedunculosa</i>
ASAHI	<i>Acer mono var dissectum</i>
KATURA	<i>Cercidiphyllum japonicum</i>
AKAMATU	<i>Pinus densiflora</i>
KARAMATU	<i>Larix Kaempferi</i>
SHIRABISO	<i>Abies Veitchii</i>
SHII	<i>Castanopsis cuspidata</i>
UBAMEGASHI	<i>Quercus phillyraeoides</i>
TSUBAKI	<i>Camellia japonica</i>

3. 樹種の出現頻度

図-2は各樹種ごとの出現本数が40本以上であった種の頻度を全調査木と上層木について表示している。なお、樹種名の表示はすべてローマ字であるが、学名との対応は表-1のとおりである。全調査木では、スギの出現頻度が圧倒的に高く37%を占める。次いでブナが13%となるが、続くアカシデ、ミズナラが6%で、以下ミズメ、トチノキ、コハウチワカエデ、ゴンゼツ、ウラジロガシ、クリ、イヌシデ、クマシデ、アオハダ、ソヨゴが3%以下となる。しかし、上層を形成する樹木ではスギの比率は29%に低下しており、逆に、ブナが20%に、ミズナラが10%に増大する。他の広葉樹種の比率も全般的に高くなってい

る。地上からはスギの天然木が目立つが、空中写真からの総観では広葉樹種が顕著であるという傾向を裏づけている。さらに、図-3は上層木だけについて、標高650mを境界として、それより下とそれ以上で出現頻度が3%以上の樹種についてだけ、その頻度を表わしている。なお、下部では本数は430本、上部では816本である。下部ではスギの他、アカシデが顕著で、他にブナ、ミズナラ、トチノキ、ミズメ、ウラジロガシ、クリ、イヌシデと種類は多い。一方、上部での傾向は図-2の上層木の頻度と類似しており、下部と比較すると、アカシデが抜け、コハウチワカエデが入る。これは前者が低標高に多く分布しており、後者が高標高に分布していることを意味している。

4. プロット別の樹木一次統計結果

プロットごとの一次統計量について眺める。図-4は各プロットの胸高断面積合計のプロット面積に占める比率の頻度分布を表わす。分布幅は0.1~0.6% (10~60m²/ha) で、その最大頻度は0.3%である。図-5は上層木の平均樹高の頻度分布を表わす。最大値は28mであり、最多頻度は14m、その平均高は16mである。4mの林分は人為的な攪乱があったことを想像させる。

5. 樹幹材積の推定法

胸高直径(以下Dと称し、単位はcm)と樹高(以下Hと称し、単位はm)から樹幹材積(以下Vと称し、単位はm³)を推定する。2通りの方式を考える。第一は芦生演習林の天然生の調査木から導かれた和田式⁵⁾であり、第二は芦生演習林の調査結果は含まれていないが、IBP調査^{6,7)}の結果から著者の1人である大畠が定めた推定式(以下ECOL式と称する)である。いずれも針葉樹と広葉樹は別々の推定式を使う。和田式は広葉樹に対してはDだけの関数で樹高データは使わない。以下それぞれの式形を示す。

和田式は

$$\text{針葉樹: } V = a D^b H^c \quad (1)$$

$$\text{広葉樹: } V = a D^b \quad (2)$$

ECOL式は

$$V = a (D^2 H)^b \quad (3)$$

で、針広を問わず式形は同一である。なお、a, b, cはパラメータで、その値は表-2に示される。ECOL式では、パラメータ同定に用いられたデータは針葉樹についてはアカマツ(千葉)、カラマツ(長野)、スギ(千葉)、シラビソ(長野)であり、広葉樹ではブナ(新潟)、シイ(熊本)、ウバメガシ(三重)、ツバキ(三重)である。図-6, 7はこれらのデータのD²Hと材積(V)の関係を針葉樹、広葉樹別に示す。いずれも常用対数表示であり、ここではVの単位はm³ × 10⁻³である。

図-8は和田式とECOL式で得られた単木の材積を各プロットごとに積算して林分蓄積量(m³/ha)とし、その頻度分布をみた。両式でわずかに分布のピークが

表-2 樹幹材積推定式のパラメータ

		a	b	c
和田式	針葉樹	6.7967 × 10 ⁻⁵	1.9797	0.8002
	広葉樹	1.0748 × 10 ⁻⁴	2.4307	
ECOL式	針葉樹	6.1906 × 10 ⁻⁵	0.9496	
	広葉樹	5.6724 × 10 ⁻⁵	0.9506	

異なるが、平均蓄積量は和田式によれば $V_M = 229.5 \text{ m}^3/\text{ha}$ 、ECOL式では $V_M = 235.1 \text{ m}^3/\text{ha}$ とほとんど変わらない。ECOL式はVとD、Hの関係が一般的であるので、以下の議論はすべてECOL式によるVを使用する。

6. 単木の幹材積

図-9は単木材積の高い順に、第1位から50位まで示している。特に目立つ点は第1位、2位を占める樹木の材積が他に抜きんでいることである。この樹種はこれまで本数頻度では表われなかったカツラである。カツラはその立木本数は少ないが、大木となれば単木材積が他の樹種のそれをはるかに上回っている。なお、立木本数の多いスギはこの順位の中ではわずかに4本だけで、それも上位では3位に1本入るだけである。他に針葉樹は19位にツガがあらわれるだけで、圧倒的に多いのがミズナラ、ブナである。他の広葉樹種としては上位にトチノキ、ミズメがあり、下位にはアサヒカエデ（現在ではイタヤカエデと同種とされる）が入っている。

図-10は上層・下層、針・広葉樹別に、プロットごとの材積 (m^3/ha) を表わしている。上層木の割合が多いのは当然として、その上層木の中では広葉樹が顕著である。

図-11は演習林の水系網を表わした地図中にプロット蓄積量を3ランクに分けて示している。蓄積量の少ないプロットは流域内に散在しているようであるが、多いプロットは、北西部から東南のラインを想定すると、その最も北東側に集中しているようである。芦生演習林は、演習林開設以前にも東北部には木地屋集落跡が認められた点や、開設前やその後の森林処理が、主として南西方向の由良川下流から進められており、全体としては天然生の林ではあるが、部分的には人為的な攪乱を受けていることなどを考慮すれば、人為の入り難かった部分に蓄積の多い林分が残っていると解釈することができる。さらに、このプロット蓄積量を標高と斜面上の部位の2変数の関係で示したのが図-12である。SLOPE CODEは斜面部位をコード化(1:谷, 2:山脚, 3:山腹, 4:肩, 5:尾根)したものである。総観的に見れば、蓄積量の多い部分は標高700m以上で、斜面部位はコード3以上にあることが分かる。

7. 間接的な樹木計測の可能性

任意地域、例えば集水域などを想定した森林蓄積量、あるいは個々の樹木の直径や樹高などの情報を必要とする時、時間と労力の点で、従来方式の毎木調査法をそのまま適用することには無理がある。特に、天然生の林分では樹高計測が困難となる場合が往々にしてあるし、樹木の平面位置の特定はさらに難しい。従って、今後は空中からの樹木計測法の確立が不可避となろう。以上の観点からプロット単位と単木単位に分けて、森林データ変量間の相互関係を調べた。

7.1 プロット単位の上層木変量間の関係

空中からの調査で判明するのは、上層木についてだけである。いま、各調査プロットの全木材積 (VOLT, m^3/ha) と上層木材積 (VOLUP, m^3/ha) の比較を図-13に示す。この関係を

$$\text{VOLUP} = a \text{ VOLT} \quad (4)$$

とすれば、かなり良好な直線性が見られる。パラメータaの値は表-3のように、全木材積の約8割が上層木材積で占められることが分かる。1点だけ外れる点もあるが、実際上ではこのようなプロットは見分けがつかであろう。詳細にみれば、全材積が多くなれば上層木の材積が増加する傾向は認められる。逆に言えば、上層木材積が増加してくれば、それ以下の層の占める材積割

合が低下する傾向で、この点は考慮しておく必要がある。

図-14は上層木だけについて、樹冠面積率(CR)と林分蓄積量の関係を、針葉樹種の樹冠率別に見ている。本来樹冠面積率の上限は1であるが、地上調査からは上層木といえども各樹木の樹冠が重層していることを反映して、1以上の値が表われている。この点は空中からの計測との対応を考える上では問題が残る。全般に樹冠面積率が増加すると、プロット蓄積量が増える傾向が認められる。あるいは、樹冠面積率が増大すれば、蓄積量の変動が大きくなるとみなした方が正しいかもしれない。しかし、針葉樹種面積率が20%以上のポイントだけに着目すれば、明確な増加傾向が認められる。全プロットについてこの関係式を

$$V = a + b \cdot CR \quad (5)$$

とおいた場合のパラメータは表-3に示される。針葉樹、広葉樹の樹冠の区別は写真上の濃淡色から比較的容易におこなえるから、このような対応関係は今後、画像データから材積推定の可能性を示唆するものである。

なお、今回の林分情報と前報⁸⁾の林相コード(針広混交率とその疎密度)との対応を見たが、ほとんどのプロットが広葉樹混交率20%以上の密度最大のコード番号位置に相当した。この結果は芦生演習林が、上層木でみれば広葉樹種が卓越するという前報の結果を肯定してはいるが、樹冠面積率から林分の疎密度区分をするという作業がたいへん難しいことを意味している。

7. 2 上層木の単木変量間の関係

調査された上層を形成する全木から、(1)針葉樹、(2)ブナ、(3)ミズナラ、(4)その他広葉樹に4区分して、その直径(D)、樹高(H)、樹冠幅(C)、単木材積(V)の関係を調べた。

一般にDとHの関係は相対成長式として

$$1/H = a/D + 1/H_{max} \quad (6)$$

と記述される。ここで、aとH_{max}はパラメータである。(6)式を

$$D/H = a + bD \quad (7)$$

と変形すれば

$$b = 1/H_{max} \quad (8)$$

である。最小二乗法によって得られた(7)式のパラメータは表-3に示される。図-15(1)~(4)は用いたHとDの関係である。実線で示すのが得られたパラメータを使った計算値である。かなりの散らばりは見られるが、実線はそれぞれ全体的な傾向をよく表わしている。

樹冠幅と樹高についても相対成長関係のアナロジーを考えると、

$$1/C = a/H + 1/C_{max} \quad (9)$$

と記述される。ここで、aとC_{max}はパラメータである。(9)式を

$$H/C = a + bH \quad (10)$$

表-3 各変量間の関係式のパラメータ

パラメータ	a	b
(4)式	-	0.825
(5)式	49.896	116.237
(7)式の(1)	1.2839	0.02372
(2)	0.85186	0.03405
(3)	0.94678	0.04211
(4)	1.0995	0.03709
(10)式の(1)	1.4338	0.1189
(2)	1.3639	0.02861
(3)	0.9651	0.03975
(4)	1.4915	0.02165
(12)式の(1)	3.3090	0.1967
(2)	2.8531	0.05083
(3)	2.5419	0.1179
(4)	2.7449	0.07108
(14)式の(1)	356.6	2.2902
(2)	46.274	2.6964
(3)	94.869	2.4535
(4)	87.628	2.2757

と変形すれば

$$b = 1 / C_{\max} \quad (11)$$

である。(10)式のパラメータは表-3に示される。図-16(1)~(4)は用いたCとHの関係である。実線で示すのが得られたパラメータを使った計算値である。D-H関係に較べてそのばらつきは大きい、それなりの傾向を表わしている。

つぎにDとC, Hの関係を

$$D/C = a + bH \quad (12)$$

と仮定して、求めたパラメータが表-3に示される。(12)式が成り立てば、

$$D = C(a + bH) \quad (13)$$

で、胸高直径Dが推定できる。図-17(1)~(4)は計測値のDと計算値のDの関係を示している。針葉樹種に関してはたいへん良好な結果であるが、広葉樹種ではDが大きくなると、測定されたDに較べて、(13)式で推定された値が過小となる傾向がみられる。広葉樹種では本式の適用に問題が残るが、針葉樹種では実用可能であろう。このような関数関係から、(12)式にCの値を与えて(7)式と連立させれば、両式ともDとHの2個の未知数を含むが、最終的には2次方程式の根としてDとHが求められる。

さらに、Cから単木材積を推定する場合は、D, Hを別々に算定するよりも、 D^2H との関係を調べる方が直接的である。いま、

$$D^2H = aC^b \quad (14)$$

として求めたパラメータは表-3に示される。広葉樹種に較べて、針葉樹種はaのオーダーが1桁高いことが分かる。実測値との比較は図-18(1)~(4)に示される。横軸と縦軸のスケールが各図で異なっているので判断が難しいが、近似式としてはよく傾向を表わしている。針葉樹種では、1点だけ飛び離れたポイントがあり、この意味は現時点では不明である。しかし、「その他広葉樹」で2点のみ D^2H の高い点があるが、これは図-9で見たカツラの大木である。これらの例外を除けるとすれば、(14)式の関係で樹冠長から単木ごとの材積を見積もることは可能であろう。

8. おわりに

本研究の実行には平成元年度の京都大学教育研究学内特別経費(代表者 神崎康一教授)の補助を受けていることを付言するとともに、関係者に謝意を表す。本報告で使用したデータは一部を除き、京大大型計算センターのシステムを使って処理した。特に、各種の統計処理と図形出力はSAS Graphicsを用いている。

引用文献

- 1) 福嶋義宏・小橋澄治・川村 誠・酒井徹朗・和田茂彦: 芦生演習林の地形・植生情報のデータベース化. 京大演報. 61. 110~115, 1989
- 2) Wada S., Yoshimura K., Ueda S. and Kanzaki K.: A selection of a set of variables to identify the type of forest as a place of work - A study by factor analysis -. Mem. Coll. Agri. Kyoto Univ. 98. 1~60, 1970
- 3) 安藤 信・川那辺三郎: 冷温帯下部天然生林の更新技術II - 天然生林の林分構造および蓄積の標高, 地形の違いによる変化 -. 京大演報. 56. 67~80, 1984
- 4) 前出 1)
- 5) 和田茂彦・川村 誠: 芦生演習林の林況について 未発表

- 6) 4 大学合同調査班：物質循環面より見た森林生態系の生産力（資料1），1961
- 7) 4 大学合同調査班：物質循環面より見た森林生態系の生産力（資料2），1962
- 8) 前出 1)

Résumé

The forest information investigated at sixty-three plots in the Ashiu Experiment Forest of Kyoto University, in 1964–1965, was included in the data base. Most of plots were composed of natural forest. The relationships of the variables each other, such as tree species, tree diameter at breast height, tree height, crown width, were analyzed.

The results are as follows:

1. The number of *Cryptomeria japonica* is the highest in the Ashiu experiment forest, but the ratio of it for total tree numbers decreases in the trees occupied the upper layer. The ratios of tree numbers of both *Fagus crenata* and *Quercus mongolica* increase in the upper layer.
2. The stem volume of each tree is sorted in descending, and is arranged from top to the fiftieth. It shows that *Cercidiphyllum japonicum* occupies the No.1 and No.2 position despite a low frequency in the total tree numbers. A lots of *Fagus crenata* and *Quercus mongolica* are included in the list, but *Cryptomeria japonica* is sparsely included in the list in spite of the majority in the frequency of tree numbers.
3. The plots possessed the more wood volume are located in the higher points than 700 meter a.s.l. and in the middle to upward of hillslope, but those possessed the less wood volume are dispersed in the whole area.
4. The wood volume of the trees in the upper layer is 82.5 percent of the whole trees, in average.
5. The wood volume for the whole crown ratio by the ratio of the needle-tree crown shows that it increases in proportion to the crown ratio more than 20 percent, the ratio of the needle-tree crown.
6. Tree species in the upper layer are classified in four groups such as the needle tree, *Fagus crenata*, *Quercus mongolica* and the residual broad-leaved tree. And the relationships between the diameter at breast height, tree height, crown width and wood volume each other were analyzed, and those parameters were determined.



図-1 森林調査地点の位置

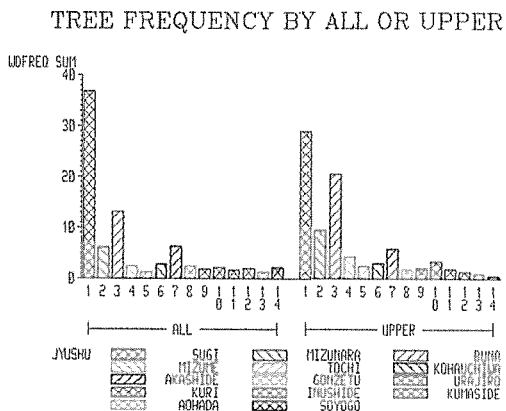


図-2 全木と上層木の樹種別本数頻度分布

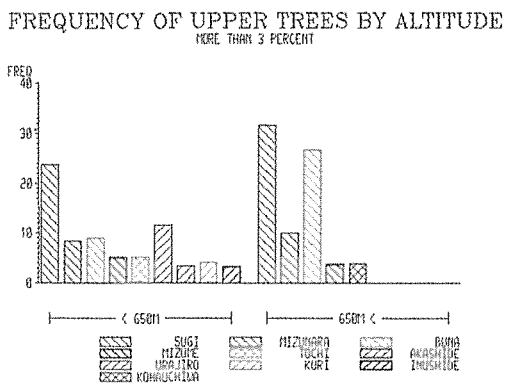


図-3 上層木の標高別・樹種別本数頻度分布

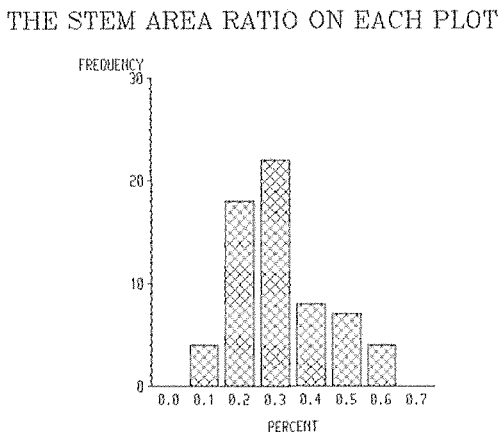


図-4 各プロットの胸高断面積率頻度分布

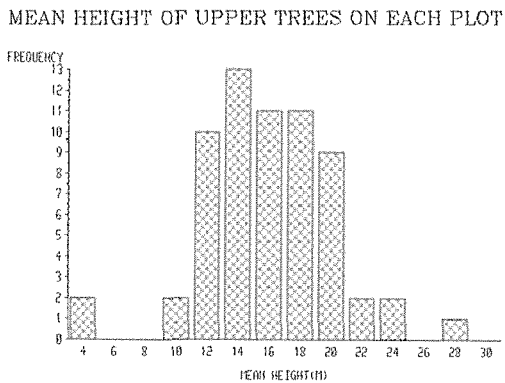


図-5 各プロットの上層木平均樹高頻度分布

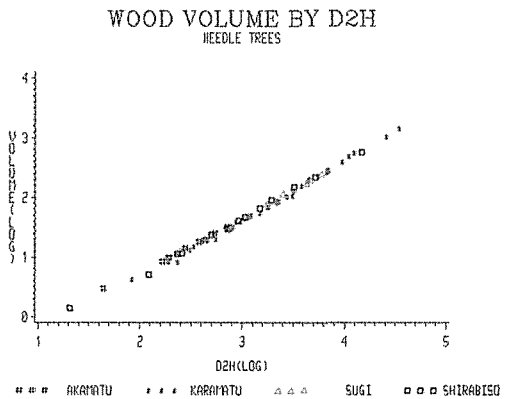


図-6 IBP調査結果による針葉樹のD²H-幹材積関係

WOOD VOLUME BY D2H
BROAD-LEAVED TREES

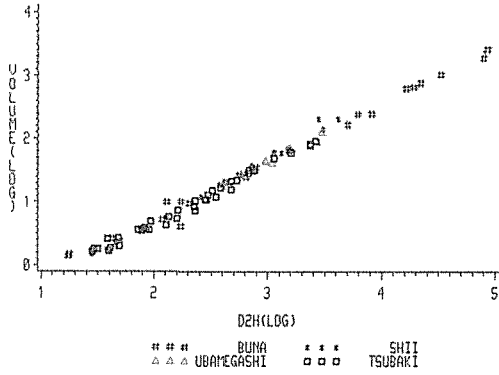


図-7 IBP調査結果による広葉樹のD²H-幹材積関係

WOOD VOLUME ON EACH PLOT

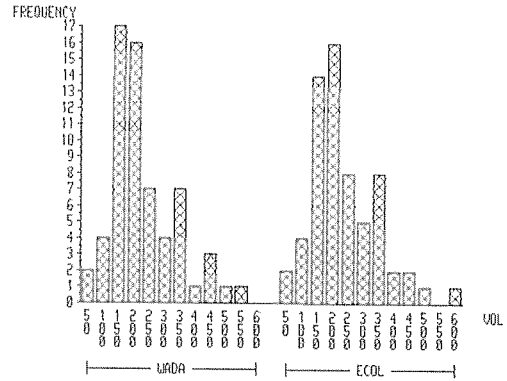


図-8 和田式とECOL式によるプロット蓄積量の頻度分布

THE ORDER OF MAX. VOLUME

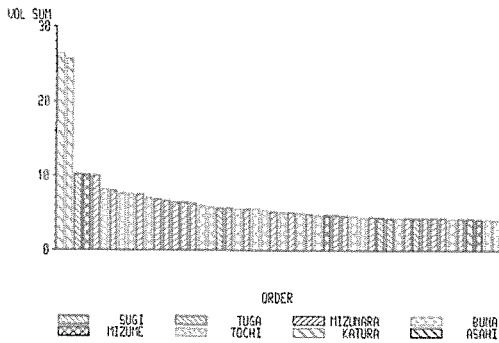


図-9 単木幹材積の順位とその樹種 (50位まで)

WOOD VOLUME ON EACH PLOT

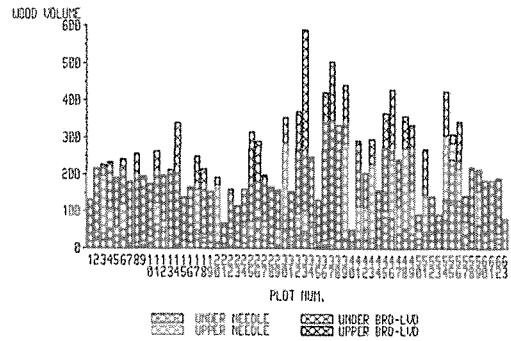


図-10 プロットごとの上下層・針広別蓄積量

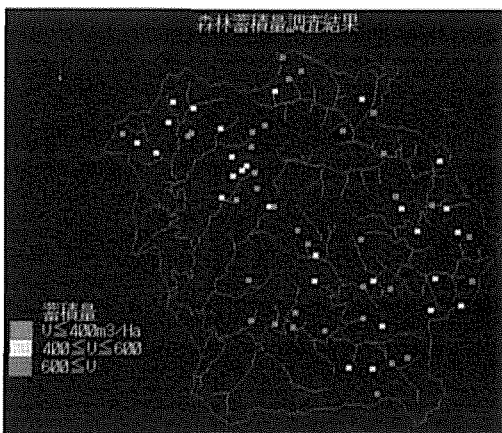


図-11 流域内におけるプロット蓄積量の相違

WOOD VOLUME BY ALTITUDE AND SLOPE POSITION

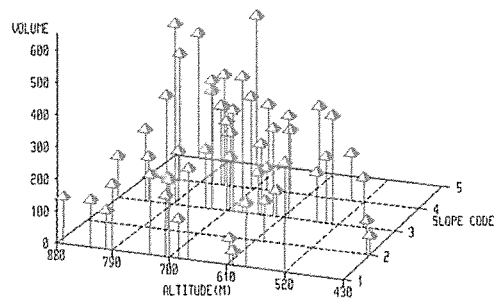


図-12 標高と斜面部位別のプロット蓄積量

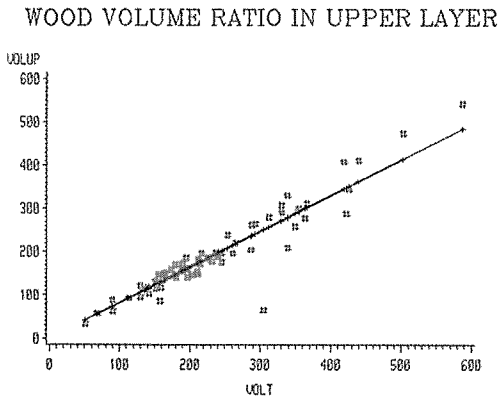


図-13 各プロットの全木と上層木蓄積量の関係

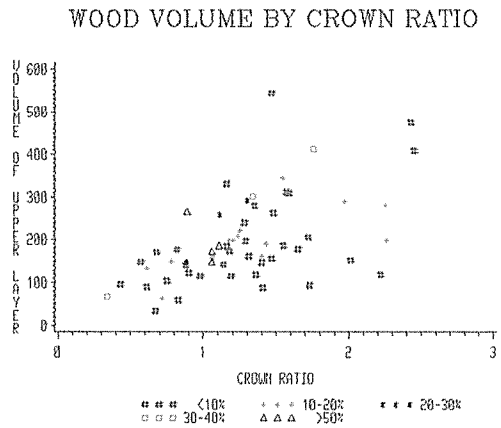


図-14 針葉樹樹冠面積率の全樹冠面積率と上層蓄積量の関係

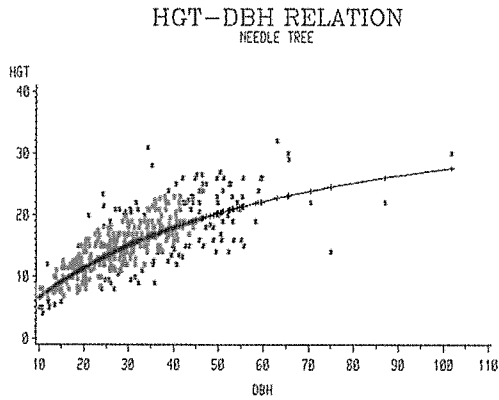


図-15 (1) 上層木の胸高直径と樹高の関係 (針葉樹)

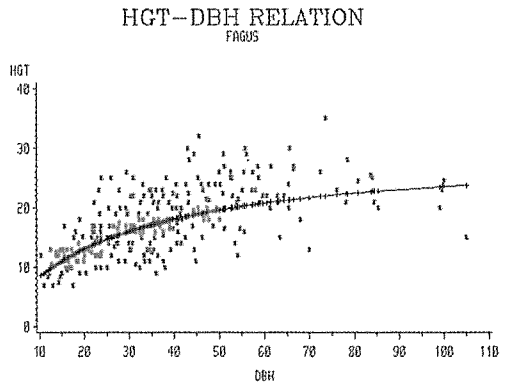


図-15 (2) 上層木の胸高直径と樹高の関係 (ブナ)

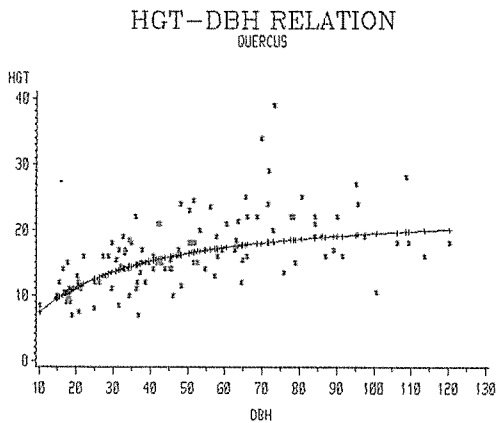


図-15 (3) 上層木の胸高直径と樹高の関係 (ミズナラ)

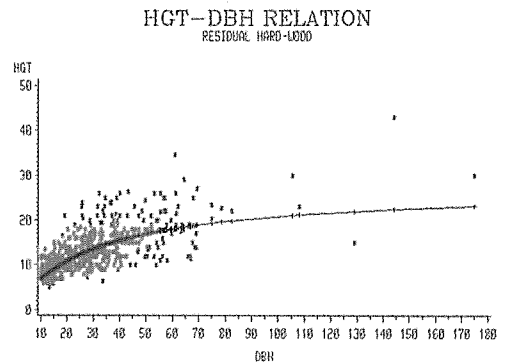


図-15 (4) 上層木の胸高直径と樹高の関係 (その他広葉樹)

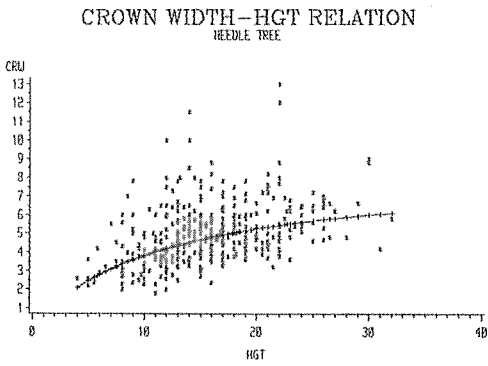


図-16 (1) 上層木の樹高と樹冠長の関係 (針葉樹)

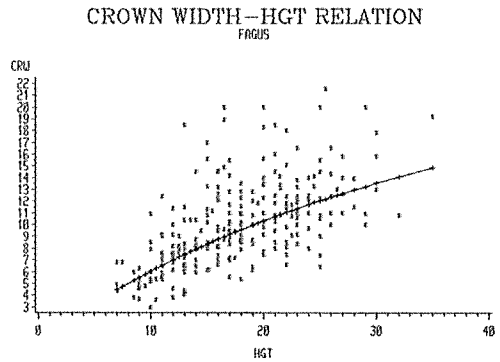


図-16 (2) 上層木の樹高と樹冠長の関係 (ブナ)

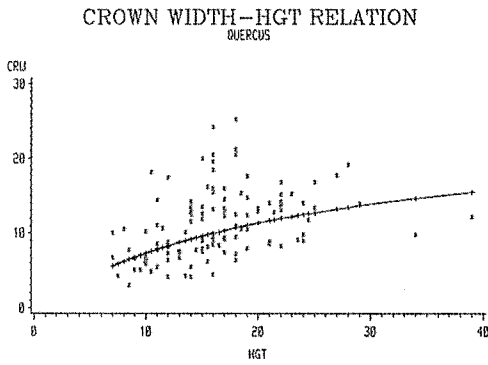


図-16 (3) 上層木の樹高と樹冠長の関係 (ミズナラ)

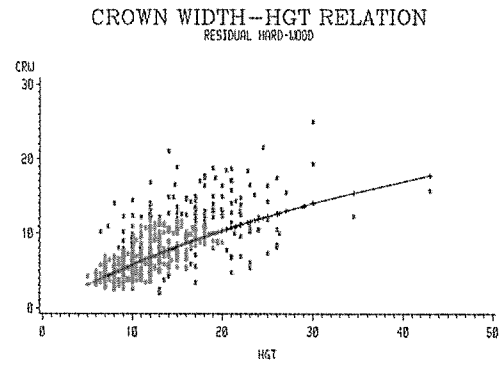


図-16 (4) 上層木の樹高と樹冠長の関係 (その他広葉樹)

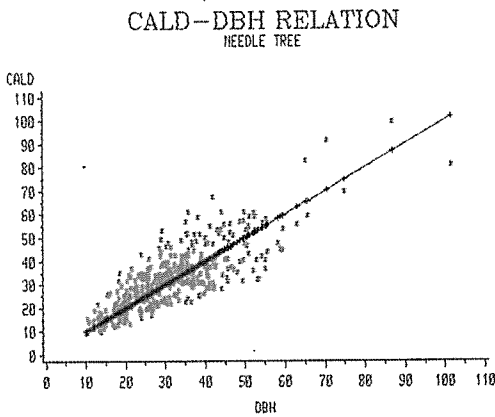


図-17 (1) 上層木の胸高直径と樹冠長の関係 (針葉樹)

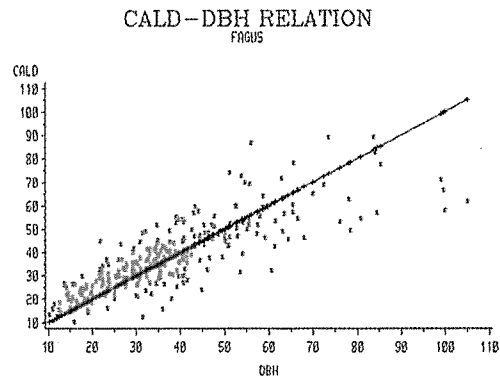


図-17 (2) 上層木の胸高直径と樹冠長の関係 (ブナ)

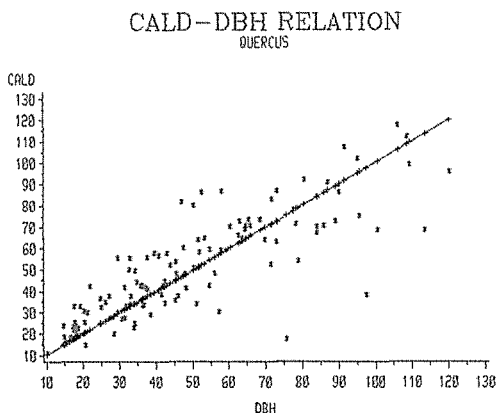


図-17 (3) 上層木の胸高直径と樹冠長の関係 (ミズナラ)

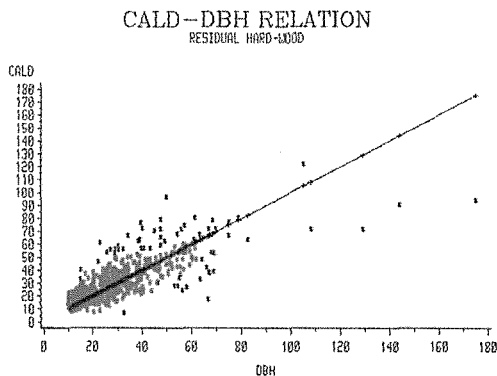


図-17 (4) 上層木の胸高直径と樹冠長の関係 (その他広葉樹)

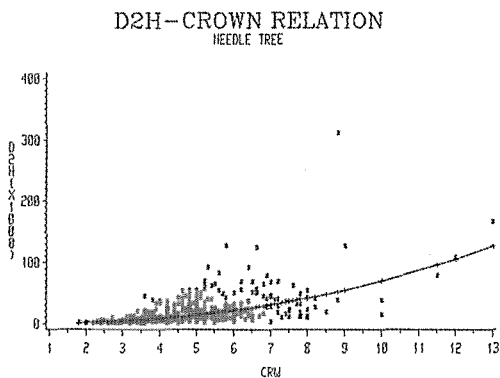


図-18 (1) 上層木のD²Hと幹材積の関係 (針葉樹)

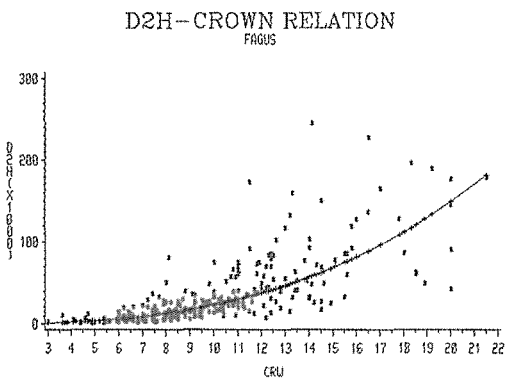


図-18 (2) 上層木のD²Hと幹材積の関係 (ブナ)

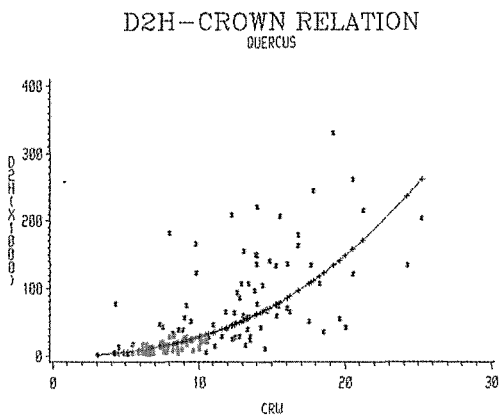


図-18 (3) 上層木のD²Hと幹材積の関係 (ミズナラ)

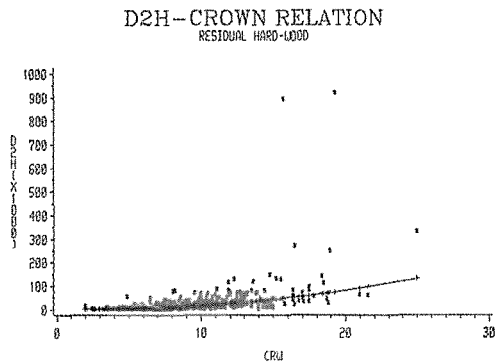


図-18 (4) 上層木のD²Hと幹材積の関係 (その他広葉樹)