

(研究資料)

林分形数表の作成方法について

葉 袋 次 郎⁽¹⁾Jirō MINAI : A Method of Preparation of the Stand Form Factor Table
(Research note)

要 旨 : プロットレスサンプリングによる森林調査法は、プロット法に比べて境界測量が不要なことで、調査木の数が比較的少なくすむなどの長所があり、画期的な林分測定として多くの研究者が、この理論を適用した森林調査法を開発している。大友栄松はこれらの成果をまとめると共に、STRANDが考案した線抽出法に工夫を加え、カウント木の樹高、直径を測定して形状断面積表、形状高表を求め、単木の合計により、林分材積を算出する方法を発表している。

しかしプロットレスサンプリングでは林分平均樹高と ha 当り断面積の積と林分材積の比で林分形数を求める方が単木の測定を行うより遥かに効率的であるので、関東地方アカマツ林分収穫表の標準地資料を用いて効果的な林分形数表の作製方法を検討したものである。

この研究の結果、林分形数は通常の林分測定因子である林齢、平均直径、平均樹高と対数による一次多項式で表わされ、ことに平均直径のみの場合は、3 因子を用いたのと変らぬ推定精度が得られ、平均樹高を用いるものがこれに次ぎ、ローライの平均樹高を用いたものもほぼ同様であった。

この平均直径、または平均樹高、ローライの平均樹高より求めた林分形数を用いて全資料の材積測定を行ったところ、地域、地位による偏りが表われたが、これは地域別、地位別の推定式を適用することで補正し得ることが明らかとなったので、この結果にもとづき、関東地方アカマツ林分に適用される林分形数表を作成したものである。

目 次

I ま え が き	129
II 林分形数による材積推定方法の概略	130
III 林分形数推定式の作成方針	131
IV 林分形数推定式に用いる林分構成因子の検討	131
V 平均直径による林分形数の推定式	135
VI 平均樹高による林分形数の推定式	137
VII ローライの平均樹高による林分形数の推定式	138
VIII 収穫表を利用した林分形数の推定方法	139
XI 林分形数表の作成	141
X む す び	143
IX 要 約	143

I ま え が き

省力的な森林調査法として、プロットレスサンプリング、とくにビッターリッヒ法は広く用いられるようになったが、林分材積だけを知りたい場合にはラインサンプリング、特にストランド法が最も簡便であ

ることはあまり知られていない。いま各方法による林分材積推定方法を述べると、次のようになる^{21)~23)}。

ビッターリッヒ法

- a) カウント木の直径と樹高を測定し、形状高表を用いて材積を算定する。
- b) カウント木の樹高の合計に断面積定数を乗じて求めた ha あたり円柱体体積合計に林分形数を乗じ林分材積を求める。

L1 法

カウント木の直径を測定し、形状断面積（材積/樹高）表を用いて材積を算定する。

STRAND 法

カウント木の直径の二乗和から求められる ha あたり円柱体体積合計に林分形数を乗じて林分材積を求める。

現在広く実行されているのは、ビッターリッヒ法の a) の方法であるが、林分材積を求めるにはカウント木の直径、樹高を測定する必要がある。これに対して L1 法や STRAND 法では直径測定のみでよいので、労力、経費の面からも好都合と考えられる。いずれにしてもプロットレスサンプリングの諸法を普及させるためには、材積推定に使用する表の作成方法を確立する必要があるが、L1 法で用いる形状断面積表の作成については、すでに橘渡の研究²⁴⁾があるので、ここでは、ビッターリッヒ法の b) および STRAND 法で使用する林分形数表の作成方法について検討した成果を述べることにする。

なお、ここで述べている林分形数は、ha あたり材積を各林木の円柱体体積の合計で除したものである。

最後に、この研究をすすめるにあたり、ご指導、ご援助をいただいた、元経営部長 大友栄松博士、測定研究室長 栗屋仁志博士および調査部図書情報室長 川端幸蔵技官に厚く謝意を表する。

II 林分形数による材積推定方法の概略

プロットレスサンプリングで用いられる各種の方法による林分材積の推定方法については、大友²⁵⁾が詳細に論じているので、ここでは林分形数による材積推定方法について簡単に説明する。

1. ビッターリッヒ法

林内にランダムに選ばれた点に立ち、所定の断面積定数 (BAF) に対応する角で周囲木の胸高直径を検視し、この角をはみ出す木 (カウント木) の樹高を測定し、次式で ha あたり材積を推定する。

$$V = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kj} h_j \right) \times BAF \times F_B \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 V = ha あたり材積、 n = 標本点数、 h_j = カウント木の樹高、 δ_{kj} = カウントされた時は 1、そうでない時は 0、 BAF = 断面積定数、 F_B = (2) 式で示される林分形数

$$F_B = \frac{V}{\sum_{i=1}^N g_i h_i} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 g_i = 単木の断面積、 h_i = 単木の樹高

2. STRAND 法

林内に一定長 $5\pi m$ の線分を設け、その線上を歩行しながら、その片側の木について一定角 ($63^\circ 30'$) で樹高を望み、その角をはみだす木 (カウント木) の胸高直径を測り次式で ha あたり材積を求める。

$$V = \frac{1}{10n} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kj} d_j^2 \times F_B \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 d_j = カウント木の cm 単位で表わした胸高直径

STRAND 法から発展した、L1 法では、形状断面積を用いて ha あたり材積を求める方法のほか、(3) 式と類似した次式で ha あたり材積を推定することもできる。

$$V = \frac{\pi}{2ln} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kj} d_j^3 \times F_B \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 l = 線分の長さ

なお線分の両側で検視した場合には、(4)式で求めた材積を1/2する。

Ⅲ 林分形数推定式の作成方針

前述したように、プロットレスサンプリングで林分材積を求めるために用いる林分形数 (F_B) は、林分の総材積を林分内の各単木の円柱体体積の合計で除したもので、従来の林分材積を胸高断面積合計と林分高との積で除したもの (F_A) とは異なっており、一般に前者は後者よりも小となっている⁶⁾。したがって、この研究では、単木資料の整った、かなり広地域にわたる標準地資料が必要であり、当场で調製を担当した関東地方アカマツ林林分収穫表の標準地のうち、第2次大戦後に収集した175標準地が、この条件にかなっているため、これを用いて、検討を進めることとした。

資料として用いた標準地の分布は、Fig. 1 に示すように、東京営林局および前橋営林局管内の国有林のほとんど全域にわたっており、とくにアカマツ林分の多い地域で比較的多くの資料が収集されている。

この研究では、各標準地ごとに、主副林木合計の値を用いて、(2)式により林分形数(F_B)を求め、森林調査の際、容易に求められる林分構成因子として、林齢、平均胸高直径、平均樹高を採りあげ、これらの因子とその組合せによる推定精度を比較し、精度が良く、できるだけ単純な形の林分形数表を作成することを目標とした。

IV 林分形数推定式に用いる

林分構成因子の検討

前述した、3種の林分構成因子と林分形数との関係は、Fig. 2~4に示すように、いずれも、各因子が大になるに従って林分形数が減少する傾向が見られ、両者の対数をとればほぼ直線的な減少傾向を示すことがわかった。なお、資料として用いた標準地は、東京、前橋の両営林局にまたがっており、使用されている立木材積表が異なっているので、各標準地の林分材積は、それが所属する営林局で使用している材積表で算出している。したがって、Fig. 2~4には営林局別に記号を変えて示した。曲線は、各林分構成因子と林分形数の平均的傾向を示したものである。

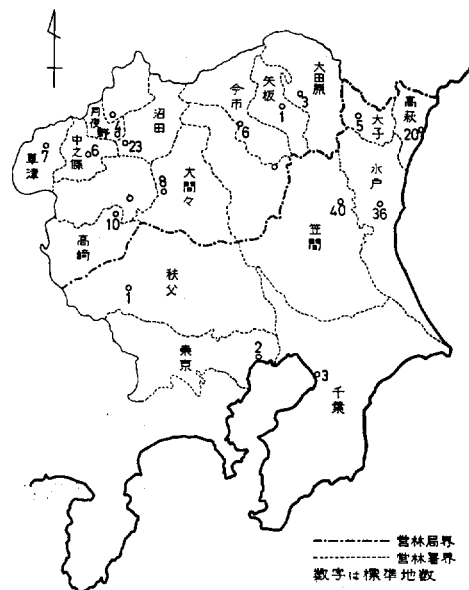


Fig. 1 関東地方アカマツ林 F_B 表資料収集地域図

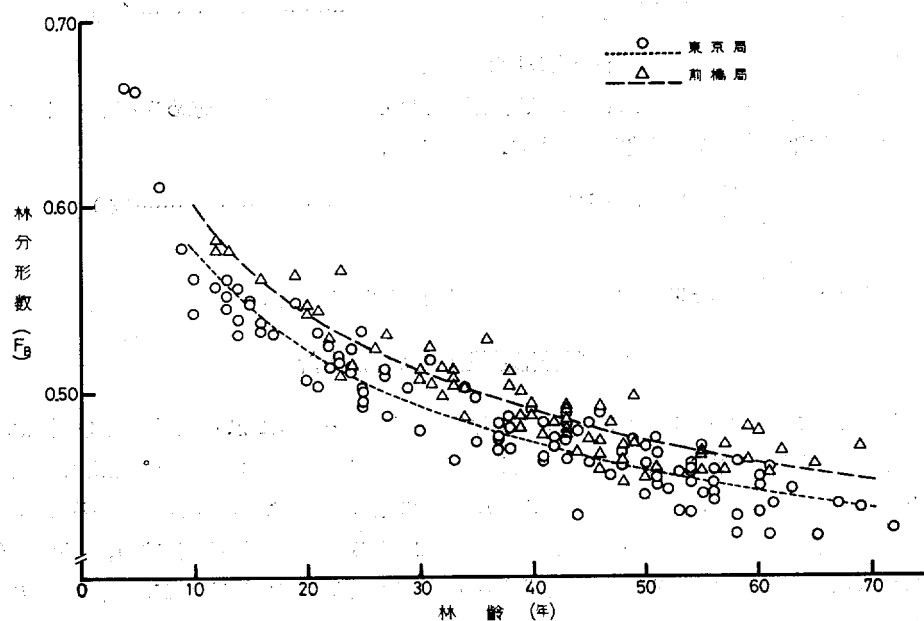


Fig. 2 林 齢 と 林 分 形 数 の 関 係

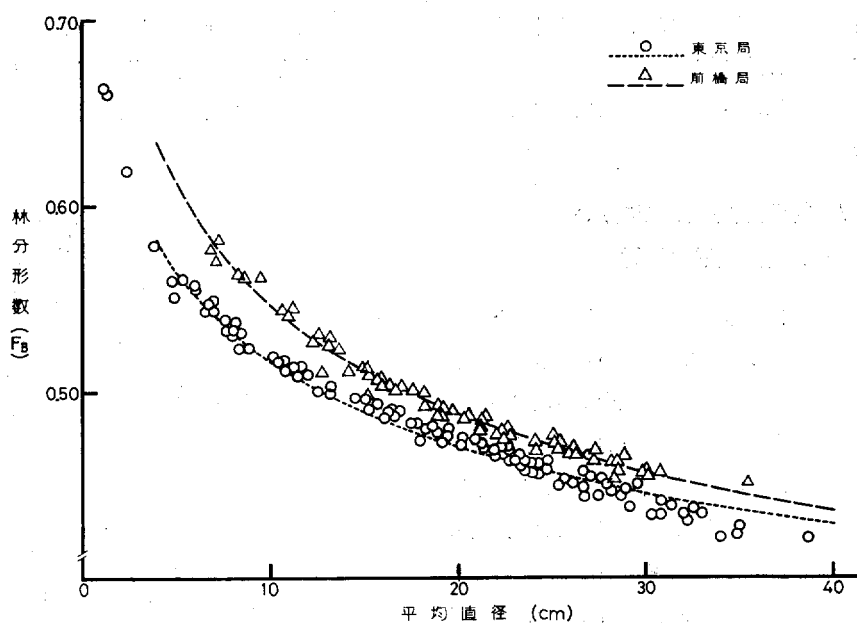


Fig. 3 平均直径と林分形数の関係

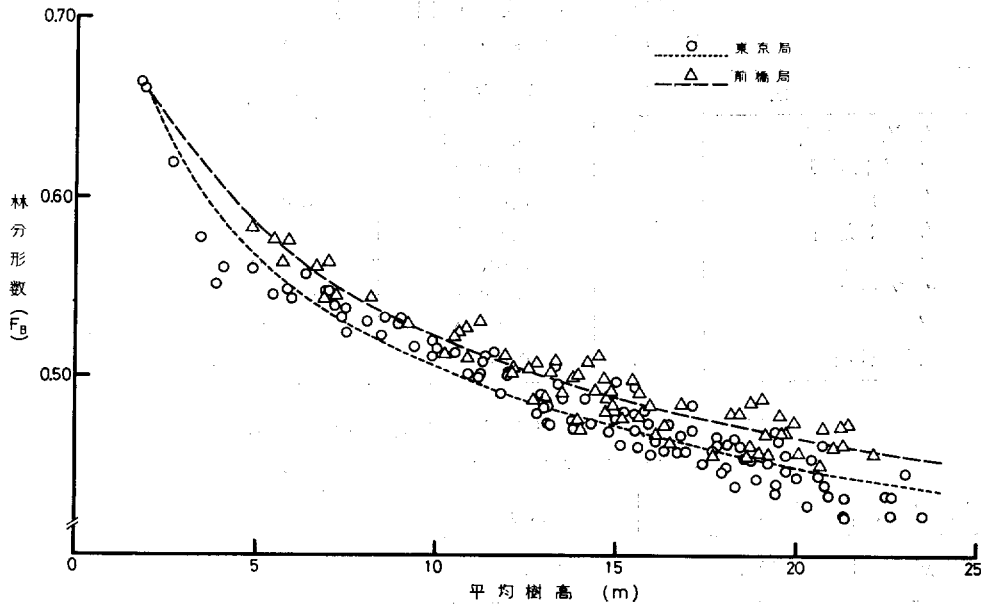


Fig. 4 平均樹高と林分形数の関係

Table 1. 林分構成因子と林分形数との相関係数
Correlation coefficients between stand construction factor and stand form factor

	$\bar{d}$	$\bar{h}$	林分形数 (F_B)
林 齢 (t)	0.9508	0.9299	-0.9266
平均直径 ($\bar{d}$)		0.9678	-0.9586
平均樹高 ($\bar{h}$)			-0.9394

注：各因子は対数値である。

これらの関係を、さらに詳しく検討するため、対数に変換した林分構成因子と林分形数との相関係数および林分構成因子間の相関係数を、全資料について求めると、Table 1 に示すように、構成因子と林分形数との相関はかなり高いが、構成因子間の相関も高いので、いずれの構成因子が適当か、このままでは判断できない。したがって3種の構成因子すべてを用いて、次式に示す林分形数の推定式について、回帰分析により、有効な因子を見出すための検討を行った。

$$\log F_B = b_0 + b_1 \log t + b_2 \log \bar{d} + b_3 \log \bar{h} \quad \dots (5)$$

ここで、 F_B = 林分形数、 t = 林齢、 $\bar{d}$ = 平均直径、 $\bar{h}$ = 平均樹高

$$\log F_B = F_B' \quad \log t = t' \quad \log \bar{d} = \bar{d}' \quad \log \bar{h} = \bar{h}'$$

とおいた、次式による回帰分析の結果、Table 2 に示すように、3種の構成因子は、いずれも有意であることが判った。

$$F_B' = b_0 + b_1 t' + b_2 \bar{d}' + b_3 \bar{h}' \quad \dots (6)$$

しかし、(5)式の重相関係数は0.96で、各構成因子ごとの相関係数とくに平均直径との相関係数とほとんど差がなく、(5)式および、各構成因子について、次式をあてはめて推定した標準地の林分形数に

Table 2. (6) 式 の 回 帰 分 析
Regression analysis of the equation (6)

要 因	自 由 度	平 方 和	平 均 平 方	F
$t', \bar{d}', \bar{h}$ に帰因	3	0.202022		
$\bar{d}', \bar{h}'$ に帰因	2	0.201605		
t' の効果	1	0.000417	0.000417	4.21*
$t', \bar{h}'$ に帰因	2	0.188937		
$\bar{d}'$ の効果	1	0.013085	0.013085	132.17**
$t', \bar{d}'$ に帰因	2	0.201616		
$\bar{h}'$ の効果	1	0.000406	0.000406	4.10*
原因不明	171	0.016866	0.000099	

Table 3. 許 容 誤 差 を 5% と し た と き の 精 度 の 検 定
Testing of accuracy (allowable error 5%)

推 定 式	(5)	(7)	(8)	(9)
χ^2	134.66	254.46*	143.71	206.4

注: χ^2 (自由度 175, 危険率 5%) $\div$ 206.6

円柱体体積合計を乗じて求めた ha あたり材積と、実測材積との差を後者で除した値、すなわち誤差の百分率を比較したところ、5% の誤差が許されるとするならば、Table 3 に示すように林齢を除いて、いずれの式も満足のゆく林分材積の推定値が得られ、3 種の林分構成因子を含む (5) 式と、平均直径のみによる (8) 式の推定精度はほぼ同じであることが判った。

$$\log F_B = b_0 + b_1 \log t \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\log F_B = b_0 + b_1 \log \bar{d} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\log F_B = b_0 + b_1 \log \bar{h} \quad \dots\dots\dots (9)$$

なお誤差の検定は、正規分布を仮定して、F. FRESE の χ^2 検定で行った。

$$\chi^2 = (196)^2 \sum \left(\frac{\hat{\theta}}{v} - 1 \right)^2 / p^2 = (196)^2 \sum \left(\frac{\hat{F}_B}{F_B} - 1 \right)^2 / p^2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

Table 4. (5), (8) 式によるクラス別の累積偏差
Aggregate deviation of the equation
(5), (8) for each classes (%)

局	地 位	(5)	(8)
東 京	1	-2.18	-2.18
	2	-1.29	-1.37
	3	-0.91	-1.20
前 橋	1	1.97	1.97
	2	2.39	2.56
	3	2.54	2.56
全 資 料		0.02	0.02

注: 累積偏差 = $\frac{\sum (F_B - \hat{F}_B)}{\sum F_B} \times 100$

ここで、 $\hat{\theta}$ = 推定材積、 v = 実測材積、 $\hat{F}_B$ = 推定林分形数、 F_B = 実測林分形数、 p = 許容誤差率

(10) 式で求めた χ^2 の値が、危険率 5%、自由度 175 の χ^2 表の値 (206.6) より小さい場合は許容誤差の範囲内で林分材積の推定ができると判断することになる。

この結果から、林分形数の推定式としては平均直径による (8) 式で十分と考えられるので、これらの式を用いて林分形数の推定方法を検討することとした。

（８）式による推定値の累積偏差を営林局および地位別に比較してみると、Table 4 に示すように東京営林局の資料に対しては、過大の推定値となり、地位の良いほど、この傾向が強まっている。これに対して前橋営林局の資料は、まったく逆の傾向を示している。なお参考のため載せてある（５）式の誤差の傾向は平均直径による影響が大きいので、（８）式と同じ傾向を示している。このような結果から、（８）式は全資料を込みにしてあてはめるより、営林局別、地位別の資料について、これらの式をあてはめ、差の認められない場合には、統合した推定式を求めるほうが、推定精度が向上するであろうと考えた。

V 平均直径による林分形数の推定式

IVで述べた（８）式を営林局、地位級によるクラス別の資料にあてはめて求めた回帰係数、定数および寄与率を Table 5 に示す。

６クラスのそれぞれについて求めた（８）式の間には Table 6 に示すように統合できるクラスはないことが判った。

しかし、営林局別の資料に、（８）式をあてはめた結果を、累積偏差および（１１）式で求められる百分率標準誤差で局別、地位ごとに比較したところ、Table 7 に示すように、ほとんど差はなく、また全資料に（８）式をあてはめたときのような局および地位級による偏りは目立たなくなった。

Table 5. 営林局、地位級ごとの資料に対する（８）式の係数と寄与率

Regression coefficients of the equation (8) for each classes
and their contribution

(%)

営 林 局	地 位 級	資 料 数	b_0	b_1	寄 与 率
東 京	1	28	-0.15525	-0.13406	98.3
	2	55	-0.14895	-0.13655	98.7
	3	24	-0.16612	-0.12113	98.1
前 橋	1	12	-0.11315	-0.15152	97.9
	2	35	-0.09919	-0.16278	99.1
	3	21	-0.08280	-0.17708	97.2
東 京 前 橋		107	-0.15363	-0.13323	98.2
		68	-0.09846	-0.16337	98.4
全 資 料		175	-0.14552	-0.13440	91.9

Table 6. クラスごとの（８）式の比較

Comparison between the coefficient of the equation (8)
for each classes

	クラス数	資料数	分散の一様性 の検定	回 帰 係 数 間 の 差 の 検 定			
				b_1	係数間平均平方	誤差平均平方	F
全クラス	6	175	$\chi^2=37.45^{**}$				
東 2~3	5	147	$\chi^2=9.00$	-0.14227	0.000372	0.000013	28.6^{**}
前 1~3							
東 2~3	2	79	$F=1.33$	-0.13344	0.000170	0.000015	11.3^{**}
前 1~3	3	68	$\chi^2=6.35^*$				
前 2~3	2		$F=2.11^*$				

Table 7. 資料グループ別の (8) 式による推定精度
Precisions of the equation (8) with different data groups (%)

局	地位級	局, 地位級別		局 別	
		累積偏差	百分率標準誤差	累積偏差	百分率標準誤差
東 京	1	0.00	1.69	-0.57	1.65
	2	0.00	0.92	0.15	0.94
	3	0.00	0.80	0.36	0.94
	全			0.00	1.22
前 橋	1	0.00	0.46	0.39	0.52
	2	0.00	0.69	0.00	0.67
	3	0.00	1.00	-0.20	1.07
	全				0.81

$$\text{百分率標準誤差} = \left[\Sigma \left(\frac{\hat{F}_B}{F_B} - 1 \right)^2 / (n-2) \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここで, n = 資料数

この結果から, 関東地方アカマツ林の林分形数 (F_B) を, 平均直径の関数として営林局別に (12) 式で求めることとした。

$$\left. \begin{array}{l} \text{東 京 局: } \log F_B = -0.15363 - 0.13323 \log \bar{d} \\ \text{前 橋 局: } \log F_B = -0.09846 - 0.16337 \log \bar{d} \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

この場合, 危険率 5% で許容誤差を, 2.5% としても, χ^2 の値は, それぞれ 97.7, 27.5 で, 対応する χ^2 表の値より小さくなるので, 局別に推定式を求めることで, 推定精度は 2 倍以上向上することとなった。(12) 式による推定林分形数 F_B と平均直径との関係を実測値と共に Fig. 3 に示した。また, 参考のため局別に求めた (7), (9) 式による推定値を Fig. 2, 4 にして示した。

なお, 対象林分の平均直径は, 毎木調査によるほか, カウント木の胸高直径, 樹高を測定することにより, 次式で求めることもできる。

$$\text{ビッターリッヒ法: } \bar{d} = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \frac{\delta_{kj}}{d_{jr}}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \frac{\delta_{kj}}{d_{jr}^2}}$$

Table 9. クラスごとの (9) 式の係数の比較
Comparison between the coefficient of the equation (9) for

	クラス数	資料数	分散の一意性の検定	回 帰 係 数 間 の 差 の 検 定			
				b_1'	係数間平均平方	誤差平均平方	F
全クラス	6	175	$\chi^2 = 13.96^*$				
東 京	3	107	$\chi^2 = 2.45$	-0.16625	0.000062	0.000101	$1/F = 1.64$
前 橋	3	68	$\chi^2 = 0.46$	-0.17654	0.000048	0.000067	$1/F = 1.39$
前橋 2~3	2	56	$F = 1.15$	-0.17533	0.000002	0.000069	$1/F = 35.40$

Table 8. 営林局，地位級ごとの資料に対する（9）式の係数と寄与率

Regression coefficient of the equation (9) for each classes and their contribution

(%)

営 林 局	地 位 級	資 料 数	b_0	b_1	寄 与 率
東 京	1	28	-0.12776	-0.16566	95.4
	2	55	-0.12638	-0.17022	91.4
	3	24	-0.14572	-0.15285	87.3
前 橋	1	12	-0.02197	-0.23343	73.1
	2	35	-0.10558	-0.17460	93.2
	3	21	-0.10799	-0.17734	88.7
東 京 前 橋		107	-0.12979	-0.16645	93.0
		68	-0.11839	-0.16360	89.7
全 資 料		175	-0.12810	-0.16287	88.3

$$L \quad 1 \quad 法 : \quad \bar{d} = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kj} \frac{d_{jc}}{h_j}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kj}}$$

ここで、 d_{jc} = 樹高が定角をはみ出す木の直径、 d_{jr} = 胸高直径が定角をはみ出す木の直径、 h_j = カウント木の樹高

VI 平均樹高による林分形数の推定式

平均直径の場合と同様に、営林局，地位級によるクラス別の資料に、（9）式をあてはめて求めた回帰係数，定数および寄与率を Table 8 に示す。

6 クラスのそれぞれについて求めた（9）式の比較をした結果，Table 9 に示すように東京局，前橋局 1 等地，前橋局 2，3 等地の 3 グループに分けられることが判った。

しかし，前橋局 1 等地の資料は僅か 12 であり，1 等地の資料に対する百分率標準誤差が 1.72% であるのに対し，2，3 等地の資料による（9）式を，1 等地に適用した場合，1.80% と僅かに低下するだけであり，全資料から求めた 1.84% より良くなるので，次式を用いて，平均樹高から林分形数を推定することもできる。

each classes

回 帰 定 数 間 の 差 の 検 定			
b_1''	定数間平均平方	誤差平均平方	F
-0.16645	0.000163	0.000109	1.50
-0.16360	0.000549	0.000066	8.29**
-0.17260	0.000038	0.000068	1/F = 1.79

東京局： $\log F_B = -0.12979$ -0.16645 $\log \bar{h}$ 前橋局： $\log F_B = -0.10979$ -0.17260 $\log \bar{h}$

.....(13)

対象林分の平均樹高を求めることは直径に比して面倒であり，カウント木の直径，樹高を測定し，次式によって求める

こともできるが、林分形数 (F_B) の推定精度は、Table 5 と Table 8 の寄与率の比較から判るように、平均直径を用いる場合に比べて、低くなっている。

$$\text{ビッターリッヒ法: } \bar{h} = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kj} \frac{h_j}{g_i}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kj} \frac{1}{g_i}}$$

$$\text{L 1 法: } \bar{h} = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{jk}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \frac{\delta_{jk}}{h_j}}$$

VII ローライの平均樹高による林分形数の推定式

平均直径、平均樹高による林分形数の推定式を用いて林分材積を推定するには、カウント木の直径、樹高を測定する必要があり、単木の fg 表あるいは fh 表を用いた場合に比べて内業が容易になるに過ぎない。しかし、プロットレスサンプリングのうち STRAND 法では、次のようにして、ha あたり円柱体体積合計と ha あたり断面積の比として求められる平均樹高、すなわちローライの平均樹高が、カウント木の直径測定のみで求めることができる。

すなわち II で述べたように、林内に設けた長さ $5\pi m$ の線上を歩行しながらその片側について断面積定数 1 のレラスコープでカウントされる木の直径 d_{rj} と線から木までの距離が、その木の樹高の 1/2 より近い木 (仰角 $63^\circ 30'$ をはみ出す木) の直径 d_{cj} を測り次式で算出する。

$$\bar{h}_L = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kjc} d_{cj}^2}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kjr} d_{rj}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここで、 $\bar{h}_L$ = ローライの平均樹高

この場合、林分内に設けた長さ l (m) の線上を歩行しながら、任意に定めた断面積定数のレラスコープでカウントされる木の直径 d_{rj} と樹高が $63^\circ 30'$ の仰角をはみ出す木の直径 d_{cj} を測り、次式で求めることもできる。

$$\bar{h}_L = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kjc} d_{cj}^2}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kjr} d_{rj} \sqrt{BAF}}$$

ここで、 BAF = 断面積定数

なお、ビッターリッヒ法では、次式に示すようにカウント木の樹高の和を、カウント木の本数で除して求めることができる。

$$\bar{h}_L = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kj} h_j}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^N \delta_{kj}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

各標準地について、円柱体体積合計を断面積合計で除してローライの平均樹高を求め、平均直径、平均樹高の場合と同様に次式を、営林局、地位級によるクラス別にあてはめた結果は、Table 10 のとおりで

Table 10. 営林局，地位級ごとの資料に対する（16）式の係数と寄与率
Regression coefficient of the equation (16) for each classes and their contributions

(%)

営 林 局	地 位 級	資 料 数	b_0	b_1	寄 与 率
東 京	1	28	-0.11816	-0.17181	95.8
	2	55	-0.11580	-0.17680	92.0
	3	24	-0.12800	-0.16586	90.0
前 橋	1	12	-0.02920	-0.22619	73.8
	2	35	-0.10519	-0.17226	89.87
	3	21	-0.09853	-0.18263	88.9
東 京 前 橋		107	-0.11871	-0.17354	93.7
		68	-0.11349	-0.16541	88.3
全 資 料		175	-0.11862	-0.16861	88.5

ある。

$$\log F_B = b_0 + b_1 \log \bar{h}_L \quad \dots\dots\dots(16)$$

Table 8 に示した平均樹高を用いた場合に比して，全体的に僅かながら推定精度は向上しており，とくに前述した調査上の利点と合わせて，林分形数は，平均樹高よりローライの平均樹高を用いるほうが効率的であると思われる。

クラスごとに求めた（16）式を比較したところ，Table 11 に示すように，平均樹高の場合と同様，東京局，前橋局 1 等地，前橋局 2，3 等地の 3 グループに分けられることが判った。さらに，平均樹高の場合と同様に，前橋局の場合，Table 12 に示すように地位 2，3 等地の資料から求めた（16）式の値が，全資料から求めた場合より推定精度が高く，地位級別の資料で求めたものに比してほとんど差がないので，前橋局の資料については，これを採用することとした。

したがって，林分形数はローライの平均樹高を用いて，次式で推定することとした。

$$\left. \begin{array}{l} \text{東 京 局 : } \log F_B = -0.11871 - 0.17354 \log \bar{h}_L \\ \text{前 橋 局 : } \log F_B = -0.10670 - 0.17247 \log \bar{h}_L \end{array} \right\} \dots\dots\dots(17)$$

この場合，平均直径の場合の約 1.5 倍，すなわち 4 % の誤差が許されるとするならば，（10）式で算出される χ^2 の値は 131.8 および 61.70 となり対応する χ^2 表の値より小となるので，危険率 5 % で，4 % 以内の誤差で林分形数ひいては林分材積の推定ができると考えられる。

VIII 収獲表を利用した林分形数の推定方法

平均樹高と h_a あたり断面積の積と材積との比として求められる林分形数 (F_A) をプロットレスサンプリングで推定される円柱体体積合計に乗じて林分材積を求める方法も考えられる。しかし，円柱体体積合計 ($\sum gh$) と断面積合計に平均樹高を乗じたもの ($G\bar{h}$) との間には次の関係がある⁶⁾。

$$\sum gh = G\bar{h} + n\sigma_{gh}$$

ここで， $\sigma_{gh}^2 = g$ と h の共分散， n = 標本数，

σ_{gh} は一般に正であるので

Table 11. クラスごとの (16) 式の比較
Comparison between the coefficient of the equation (16) for

	クラス数	資料数	分散の一様性の検定	回帰係数間の差の検定			
				b_1'	係数間平均平方	誤差平均平方	F
全クラス	6	175	$\chi^2=5.46$	-0.17383	0.000033	0.000093	$1/F=2.82$
東京	3	107	$\chi^2=3.41$	-0.17323	0.000027	0.000099	$1/F=3.67$
前橋	3	68	$\chi^2=1.45$	-0.17612	0.000053	0.000083	$1/F=1.57$
前橋 2, 3	2	56	$F=1.33$	-0.17495	0.000028	0.000088	$1/F=3.14$

Table 12. 資料グループ別の (16) 式による推定精度 (前橋)
Precisions of the equation (16) with different data groups
(Maebashi)

(%)

地位級	地位級別		地位 2, 3 等地		局 全 体	
	累積偏差	百分率標準誤差	累積偏差	百分率標準誤差	累積偏差	百分率標準誤差
1	0.0	1.71	1.79	1.75	1.24	1.88
2	0.0	2.27	0.46	2.23	0.15	2.94
3	0.0	1.97	-0.63	1.94	-0.84	2.46
全					0.00	2.21

Table 13. 営林局, 地位級ごとの資料に対する (18) 式の係数と寄与率
Regression coefficient of the equation (18) for each classes and
their contributions

(%)

局	地位級	b_0	b_1	寄与率
東京	1	0.10164	0.76153	97.8
	2	0.09891	0.76133	94.0
	3	0.17554	0.60901	84.9
前橋	1	0.04365	0.88685	80.2
	2	0.06464	0.84104	95.9
	3	0.14676	0.67300	85.3

Table 14. クラスごとの (18) 式の比較
Comparison between the coefficient of the equation (18) for

	クラス数	資料数	分散の一様性の検定	回帰係数間の差の検定			
				b_1'	係数間平均平方	誤差平均平方	F
全クラス	6	175	$\chi^2=7.15$	0.75385	0.000311	0.000092	3.38*
東京 1, 2	4	142	$\chi^2=4.85$	0.76668	0.000197	0.000090	2.19
前橋 2, 3	3	104	$\chi^2=0.489$	0.75701	0.000103	0.000101	1.02
東京 1, 2 前橋 3	2	47	$F=1.08$	0.84303	0.000005	0.000054	$1/F=10.8$

each classes

回 帰 定 数 間 の 差 の 検 定			
b_1''	定数間平均平方	誤差平均平方	F
-0.16861	0.001965	0.000091	21.59**
-0.17354	0.000114	0.000099	1.15
-0.16541	0.000401	0.000082	4.89*
-0.17247	0.000292	0.000087	3.36

の資料に次式をあてはめ、Table 13 に示す結果を得た。

$$F_B = b_0 + b_1 F_A \quad \dots\dots\dots(18)$$

クラスごとに求めた (18) 式間の比較を行うと Table 14 に示すように、3 グループにわけられた。したがって、グループごとに次式で林分形数 (F_B) を推定することとした。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{東京 1, 2 等地, 前橋 3 等地} : F_B = 0.10210 + 0.75701 F_A \\ \text{東 京 3 等 地} : F_B = 0.17554 + 0.60901 F_A \\ \text{前橋 1, 2 等地} : F_B = 0.06886 + 0.83386 F_A \end{array} \right\} \dots\dots\dots(19)$$

林分形数 (F_A) を求める簡便な方法として、林分収穫表の利用が考えられるので、各標準地の地位、林齢に対応する収穫表の ha あたり断面積、材積から林分形数 (F_F) を求め (19) 式により林分形数 (F_B) を推定してみた。この場合 15 年生以下の標準地の林分形数 (F_F) は異常な値となることが多かったのので、これを除いて F_B の推定値と実測値との比較を行った。その結果 Table 15 に示すように、いずれのクラスについても林分形数 (F_B) は、やや過小に推定され、百分率標準誤差も、平均直径から推定した場合に比べて大となった。プロットレスサンプリングでのカウント木の本数は少なく、測定時間も短くて済むので、収穫表を補間して使用するより、標準地資料を利用して、平均直径または、ローライの平均樹高による林分形数表を作成して使用することが望ましいと考えられる。

IX 林分形数表の作成

これまでの検討結果から、林分形数の推定式としては平均直径の関数で表わした、(8) 式が良好な結果を与えることが判ったので、この式を用いて関東地方アカマツ林分の林分形数表を作成した。なお推定精度は幾分低下するが、STRAND 法ではカウント木の直径、ビッターリッヒ法では樹高の測定値から簡単

に求められるローライの平均樹高を用いた、(16) 式による林分形数表も併せて作成した。

なお、(8) および (16) 式はいずれも対数式であるので、次式で求められる修正係数を加えた (21), (22) 式により Table 16, 17 に示す林分形数表を作成した。

each classes

回 帰 定 数 間 の 差 の 検 定			
b_1''	定数間平均平方	誤差平均平方	F
0.77020	0.000358	0.000093	3.85*
0.75701	0.000081	0.0000102	$1/F = 1.26$
0.83386	0.000039	0.000053	$1/F = 1.35$

Table 15. (19) 式のクラス別の推定精度
Precisions of the equation (19) for each classes

(%)

地 位 級	東 京 局		前 橋 局	
	累 積 誤 差	百 分 率 誤 差	累 積 誤 差	百 分 率 誤 差
1	-2.88	4.15	-4.02	5.28
2	-0.42	2.19	-2.72	3.47
3	-1.14	2.76	-3.46	4.25

Table 16. 林分形数表1 ((21)式による)
Stand form factor Table 1

平均直径	東 京 局	前 橋 局
(cm)		
4	0.5837	0.6356
6	0.5530	0.5949
8	0.5322	0.5676
10	0.5166	0.5472
12	0.5042	0.5312
14	0.4940	0.5180
16	0.4853	0.5068
18	0.4777	0.4971
20	0.4710	0.4887
22	0.4651	0.4811
24	0.4597	0.4743
26	0.4549	0.4682
28	0.4504	0.4625
30	0.4463	0.4573
32	0.4424	0.4525
34	0.4389	0.4481
36	0.4356	0.4439
38	0.4324	0.4400
40	0.4295	0.4363

Table 17. 林分形数表2 ((22)式による)
Stand form factor Table 2

平均樹高	東 京 局	前 橋 局
(m)		
4	0.5983	0.6160
5	0.5756	0.5927
6	0.5576	0.5744
7	0.5429	0.5593
8	0.5305	0.5466
9	0.5198	0.5356
10	0.5103	0.5259
11	0.5020	0.5174
12	0.4944	0.5097
13	0.4876	0.5027
14	0.4814	0.4963
15	0.4757	0.4904
16	0.4704	0.4850
17	0.4654	0.4799
18	0.4609	0.4752
19	0.4565	0.4708
20	0.4525	0.4667
21	0.4487	0.4628
22	0.4451	0.4591
23	0.4417	0.4556
24	0.4384	0.4522
25	0.4353	0.4491

$$\log f = \log \left(1 + \frac{n-1}{n} \left(\frac{1}{2} (\log_e 10)^2 S^2 \right) + \frac{(n-1)^2}{n^2(n+1)2!} \left(\frac{1}{2} (\log_e 10)^2 S^2 \right)^2 \right) \dots (20)$$

ここで、 f = 修正係数、 n = 標本数、 S = 対数による誤差の平均平方

平均直径による場合；

$$\left. \begin{array}{l} \text{東 京 局 : } \log F_B = -0.15361 - 0.13323 \log d \\ \text{前 橋 局 : } \log F_B = -0.09845 - 0.16337 \log d \end{array} \right\} \dots (21)$$

ローライの平均樹高による場合；

$$\left. \begin{array}{l} \text{東 京 局 : } \log F_B = -0.11860 - 0.17354 \log h_L \\ \text{前 橋 局 : } \log F_B = -0.10660 - 0.17247 \log h_L \end{array} \right\} \dots (22)$$

X む す び

プロットレスサンプリングでは、調査対象林分内に設けた標本点または一定長のラインの周囲にある林木を検視し、カウントされた林木の直径、樹高または両者を測定することで、各種の林分構成因子の推定が可能であるが、特に林分材積の推定をする場合、カウント木の立木材積を求めて林分材積を算出する代りに、直径（ラインプロット法）または樹高（その他）の測定値を用いて推定される円柱体体積（ $\sum gh$ ）に林分形数を乗じて求めるほうが実用的に簡便である。林分形数として収穫表に示されている林分材積と断面積合計の比（ F_F ）を用いると、偏った推定値が得られるおそれがある。平均直径による林分形数（ F_B ）の推定式は、満足のゆく結果を与えるが、収穫表に示されている地位別、林齢別の平均直径は現実林の値と一致しない場合があるので、カウント木の直径、樹高の測定値から推定した平均直径に相当する林分形数（ F_B ）を Table 16 より求めて林分材積を算出することが満足のゆく結果を与えるであろう。

また、若干精度は低下するがビッターリッヒ法を除いて、樹高測定を必要としないローライの平均樹高を利用することも測定時間を短縮するのに有効であろう。

XI 要 約

プロットレスサンプリングで、カウント木の樹高（ビッターリッヒ法）または直径（L1法、STRAND法）の測定値から推定される、円柱体体積合計を用いて、林分材積を求めるためには、林分形数（ $F_B = V/\sum gh$ ）を知る必要がある。林分形数と林分構成因子との関係を、関東地方アカマツ林分収穫表の標準地資料で検討したところ、林齢、平均直径、平均樹高の関数として、IVの項で述べた（5）式で表わせることが判った。

さらに、平均直径の関数とした（8）式を用いても、（5）式にはほぼ等しい推定精度の得られることから、これらの推定式を用いた林分形数表の作成方法を検討した。

全資料に（8）式を当てはめた場合地域、地位級によって偏りが見られるので、地域、地位級別で求めた推定式を回帰分析で比較したところ、クラスごとに異なる結果となったが、地域別に求めた推定式による場合とほとんど変わらない精度が得られたことから（8）式の係数を地域別に求めて林分形数表を作成することとした。

また、STRAND法で安易に求められる断面積を重みとした平均樹高（ローライの平均樹高： $h_L = \frac{\sum gh}{\sum g}$ ）を全林木の平均樹高の代りに用いた（16）式について、クラス間の比較をした結果、3クラスに分けられたが、地域別に求めた（16）式との差は、ほとんど認められなかったため、これも地域別に求めた係数を用いて林分形数表を作成することとした。

したがって、関東地方アカマツ林に適用する林分形数表を（21）および（22）式で作成した。

このような林分形数表が、主要樹種について作成されれば、プロットレスサンプリングの現地利用が一段と便利となり、森林調査の能率向上に役立つものと思われる。

引 用 文 献

- 1) 樋渡ミヨ子：林試研報，242，21～89，（1971）
- 2) 嶺 一三：測樹学，朝倉，150 pp.，（1952）

- 3) 大友栄松：林業統計，統数研，25～27，(1966)
- 4) ———：統数研集報，14(1)，8～15，(1966)
- 5) ———：日林誌，50，109～110，(1968)
- 6) ———：林試研報，241，31～164，(1971)