

航空写真および土じょう調査を応用した
森林の測定ならびに地位指數調査法

I 試験担当者

経営部経営第二科長	西沢正久
"測定研究室員	川端幸蔵
"	篠袋次郎
"	神戸喜久
"	西川匡英
"	椎林俊明
"航測研究室長	中島巖
同室員	長谷川訓子
"	樋渡幸男
"	大貫仁人
土じょう部土じょう第三研究室長	真下育久

II 試験目的

経営計画編成に必要な森林の情報を精度よくしかも省力的な方法で提供することは現在要望されている重要な課題の一つであらう。われわれは己に環境因子および土じょう因子から地位指數を推定する方法⁽¹⁾を明らかにしたが、これは伐採跡地で最適な造林樹種を選定する場合に有力な手段となるであらう。しかも現在この方法は各営林局で採用されプロック別に地位指數を推定するスコア表が作成されている。この場合のもととなる地位指數曲線の作成法について検討を加えると共に、航空写真および最小限の地上調査の資料を利用して現実林の林分構造を推定し、将来の収穫量を予測する経営計画編成に必要な人工林の情報を提供するシステムを確立することが本研究の目的である。

III 試験の経過とえられた成果

この研究は昭和41年度に調査が開始され、昭和45年度に完了したもので、カラマツ人工林およびスギ人工林を対象にしている。前者は前橋営林局草津管内草津事業区の2426.16haのカラマツ人工林に対して昭和39年度より航空写真を併用した森林調査法の研究で収集していた資料の補足調査を昭和41年度に実行し、後者については東京営林局水建管内飯尾事業区の439.36haのスギ人工林に対して昭和42年度より昭和45年度にわたり資料を収集したものである。

1. 資料の収集

1-1 カラマツ

2426.16 ha のカラマツ人工林の令級別面積は次の通りである。

令級	I (10~19年)	II (20~29年)	III (30~39年)	IV (40年以上)	計
面積 (ha)	198.95	209.50	155.04	1862.67	2426.16

各令級ごとに小班のカードを作りその累積面積をもとにして確率比例抽出によつて調査される小班を抽出し更にその小班に割当てられたプロット数を基本図上に画いた100m×100mの格子点から抽出し調査点とした。3年にわたり調査された令級別プロット数は次の通りであつた。

令級	I	II	III	IV	計
調査プロット数	13	11	10	95	129

基本図上に選定された調査点を航空写真上に移写し、調査点に近い写真上ではつきりした地点から測量して現地で調査点を確認した。調査点の中心から半径5.64m (0.01ha)、半径11.28m (0.04ha)、半径15.96m (0.08ha)の同心円のプロットをとり、プロット内の立木の胸高直径を山側一方差しの2mm括約で輪尺で測定し、樹高は0.01ha円内の立木に対してブルーメライス測高器を用いて0.1m単位で測定し、その他の円内の樹高は比較目測によつた。また0.01ha円内の立木の胸高位置で生長錐を用いて皮内直徑、5年前直徑、10年前直徑を調査した。円形プロット法とプロットレス法を比較するため中心点および中心点から東西南北に10m離れた点を中心としてレラマコープを用いて断面積定数4でカウントされる立木の番号を記帳し、この木がプロット外にあれば直徑、樹高を測定して記録した。また0.01ha円形プロット内で環境調査および土じょう調査も実行した。41年度はプロット数を増すため簡易調査とし、中心点より15本を近いもの順にとりそれらの木の胸高直径を中心点の方向に2mm括約で輪尺で測定し、樹高はブルーメライス測高器で4~5本m単位で測定し他は比較目測した。また中心点と樹木との距離を5cm括約で測定するとともに上層木と下層木の分類も行なつた。また中心点でレラスコープを用いて断面積定数4でカウントされる立木を記帳した。上記

15本以外でカウントされる立木は直径、樹高を測定した。この年度には地位指數曲線を作成するための資料として19割の樹幹解析を行なつた。

1-2 スギ

対象地域を森林立地学の面から生長状態の違うといわれている3つの地区 (B₁ : 濃口地区, B₂ : 新開地区, B₃ : 旧開地区) に分けた。つぎにこの地域でスギの生長環境の区分としては標高800mを界にして異なるとみられているため、800m以下 (H₀) と800m以上 (H₁) とにわけた。更にこの6つの区分の中で更に令級を3つ (A₁ : 8~29年, A₂ : 30~49年, A₃ : 50年以上) にわけ、各令級の中から暫定地位S₁, S₂, S₃の3つに分けてそれらの中から標木をとることにした。この暫定地位は大井天龍地方スギ林林分収穫表の地位区分によつた。標本抽出の方法はB₁, B₂, B₃ごとに個々に行なつた。まづ各地区で1ha (100m×100m) の枠を対象林分に設け、基本図上に格子点を定め、そのうちから標高、令級のそれぞれ該当する候補格子点を写真上へ移写し、写真判読によつて平均上層高を求め、収穫表により暫定地位を決めた。令級、暫定地位、標高別に写真上に現地調査の候補点をそれぞれ数点づつ選んだ。このようにして選定されて42~45年の間に調査されたプロット数は第1表の通りであつた。参考のため各プロットの面積もせてある。

現地調査を行なつて写真上で決められた候補点が上の各因子の条件を満たしておれば、それが調査点となり、満たしていないときには別の調査点に移された。調査点が決まればその点を中心にして11.28m (A₂ およびA₃ 令級の場合) または5.65m (A₁ 令級の場合) の円形プロット内の毎木調査、土じょう断面調査、写真判読に必要な環境調査および地位指數曲線作成に必要な樹幹解析調査を行なつた。

現地調査法は次の通りであつた。

円形プロット内の4cm以上のスギに対して、胸高直径 (2mm単位)、樹高 (0.1m単位)、中心点から樹木までの距離 (0.1m単位) を測定した。中心点ではレラスコープによる検査 (A₁ 令級では断面積定数1, A₂ と A₃ 令級では断面積定数4を用いる) を行ない、この検査は円形プロット調査と独立であり、検査された立木は胸高直径と樹高が測定された。円形プロット内の大、中、小3本の標本木について生長錐測定 (皮内、5年前、10年前直徑の測定) を行なつた。また写真判読のための調査は標本点の傾斜、方位、地形区分などを行ない、標本点の中心を写真に正確に射針した。標本点での土じょう調査は土層区分および厚さ、土性および石砾、土色、腐植、構造、堅密度、土じょう水分などを

第1表 水窪スギの調査点数

林齡	標高	地位	プロット			計		
			B ₁	B ₂	B ₃			
A ₁	H ₀	S 1	5	19	8 (2)	32 (2)		
		S 2	3	4	4 (2)	11 (2)		
		S 3			3	3		
	細計		8	23	15	46 (4)		
	H ₁	S 1	4	3	2	9		
		S 2		5	1	6		
		S 3			1	1		
	細計		4	8	4	16		
	小計		12	31	19	62 (4)		
A ₂	H ₀	S 1	3	4	9 (4)	16 (4)		
		S 2	3	4	3 (1)	10 (1)		
		S 3		7	2	9		
	細計		6	15	14	35 (5)		
	H ₁	S 1	4	10	6	20		
		S 2	3	3	7	13		
		S 3	3	1	2 (1)	6 (1)		
	細計		10	14	15	39 (6)		
	小計		16	29	29	74 (6)		
計			28	60	48 (10)	136 (10)		
樹幹解析本数			20	28	25	73		
面積 (ha)			124.19	194.38	120.79	439.36		

注) (1) () はサブプロット

(2) 林齡 30 ~ 49 年の A₂ は現実には B₃ に 0.51 ha あるが小面積のためプロットはとられなかつた。

記録した。なお 4 年間で収集された樹幹解析木の資料は全部で 73 本であつた。

2. 資料の整理

カラマツ、スギの調査資料は分析を行なうために次のようにとりまとめつつある。

- プロット内の立木の胸高直径と樹高から材積表で材積を求め、その合計材積をプロット面積で割つて ha 当り材積を計算する。
- プロットごとに平均直径、平均樹高、ha 当り断面積、ha 当り本数を計算し、プロットの林令と 0.01 ha 円内の最高樹高の関係から別に作成された地位指數曲線を用いてプロットの地位指數を計算する。

c. プロットレスサンプリングによつてカウントされた立木の情報を用いて平均直径、平均樹高、ha 当り断面積、ha 当り本数、ha 当り材積を計算し、カラマツについては 5 つの標本点の可能な組合せに対してそれぞれの平均も計算した。

d. 生長録を用いて調査された皮内直径、5 年前皮内直径、10 年前皮内直径の資料については 10 ~ 19, 20 ~ 29, ... のような 10 年を単位とする令級ごとに皮付直径の合計と皮内直径の合計の比である樹皮係数を求め、これを 5 年前、10 年前の皮内直径に乗じて 5 年前、10 年前の皮付直径に変換して、現在直径から 5 年前または 10 年前の皮付直径を計算する資料とした。これに現在の樹高曲線式を適用すると 5 年前、10 年前の直径に応する樹高がわかり、材積表からそれぞれの材積が計算されて、現在材積と過去材積からプロットの材積生長量計算が可能となる。

e. 樹幹解析木については直径原表をもとにして NEAC1240 のプログラムを用いて各年令ごとの直径、樹高、断面積、材積およびそれらの生長量を計算する。この資料のうち特に樹高は地位指數曲線の作成に使用する。

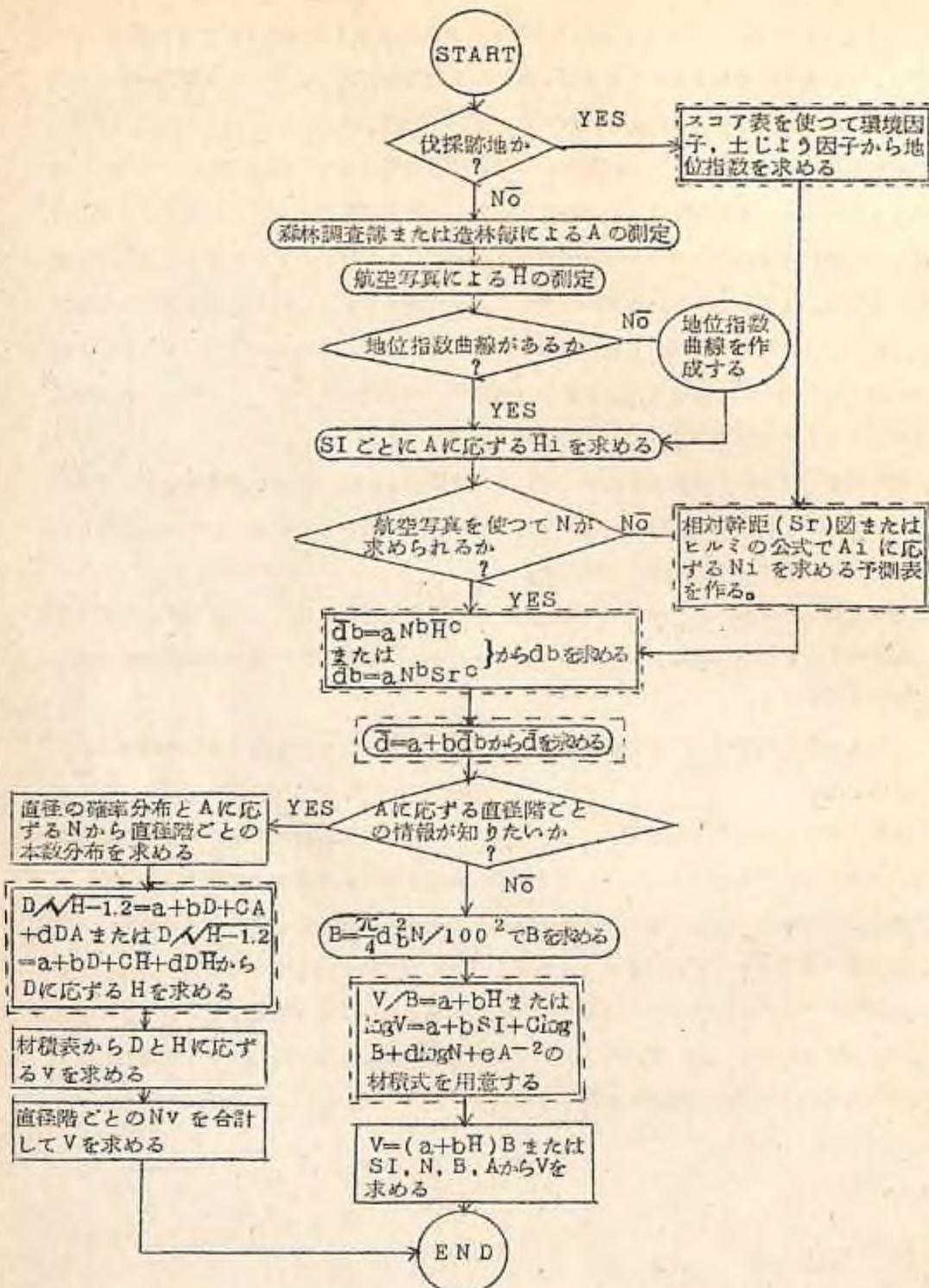
f. 航空写真上に刺針したプロットの中心点を中心として写真上に 0.025 ha と 0.05 ha の同心円を書き円内の樹高および本数の測定を行なう。またその付近の環境因子の判読の可能性も検討する。

g. 土じょう調査に関連した資料は多変量解析に使用することができるよう整理する。

3. 資料の分析

われわれの目的すなわち精度がよくしかも省力的な方法で森林經營計画に必要な情報を集めるシステムを立てるためには第 1 図のような流れ図を考えることができよう。

流れ図の中で破線で囲つてあるものは、現地で資料を収集するか、またはその地方の収穫表の標準地一覧表などの既往の資料をもとにしてあらかじめ準備しておくものである。これを流れ図の中のメインシステムに対してサブシステムと呼び、まづこのサブシステムに必要な情報の解析を行ない、ついでメインシステムを検討する。ここでは今までに資料の整理が終つたもののみについて検討した結果を概略的に説明したい。



注) H : 上層木平均樹高, A : 林令, N : ha 当り本数, Sr : 相対幹距 = $\frac{S}{H} \times 100$
 S : 平均幹距 = $100 / \sqrt{H}$, \bar{d}_b : 平均断面積直徑, \bar{d} : 平均直徑,
 B : ha 当り断面積, SI : 地位指数, V : ha 当り材積, D : 幅高直徑,
 H : 樹高

第1図 流れ図

3-1 サブシステムの検討

3-1-1 地位指数

現在環境因子、土じょう因子は整理中であるが、前述のように已に各管林局でプロツク別に数量化理論を用いて地位指数を推定するスコア表が作成されているので、それを利用すれば造林地の樹種の選定が可能とならう。しかし、地位指数の比較だけで樹種選定を行なうのではなく、流れ図のメインシステムによつて樹種ごとに林分構造の推移を予測してお互の比較の結果によつて最適樹種をきめるべきであらう。この方法についてもメインシステムの検討の中で述べる。

ここではスコア表のもととなる地位指数曲線について検討したのでそれについて述べよう。スギについては3つのプロツクについて生長曲線の違いを検討するために資料を整理中であるので、カラマツについて分析した結果を紹介する。カラマツについて、19本の樹幹解析を行なつたが、この樹高生長をもとにしてガイドカーブを作り、それをもとにして地位指数曲線を作成した。また128個のプロツトの林令と0.01ha内の最高樹高の関係を用いがガイドカーブを作り、それをもとにして地位指数曲線を作成し、樹幹解析による地位指数曲線とプロツトによる地位指数曲線を用いてそれぞれプロツトの地位指数を求めて比較した。ガイドカーブとしていろいろな式をあてはめたが、一番あてはめのよいものをガイドカーブとして採用した。その式は樹幹解析、プロツトについてそれぞれ次の通りであつた。

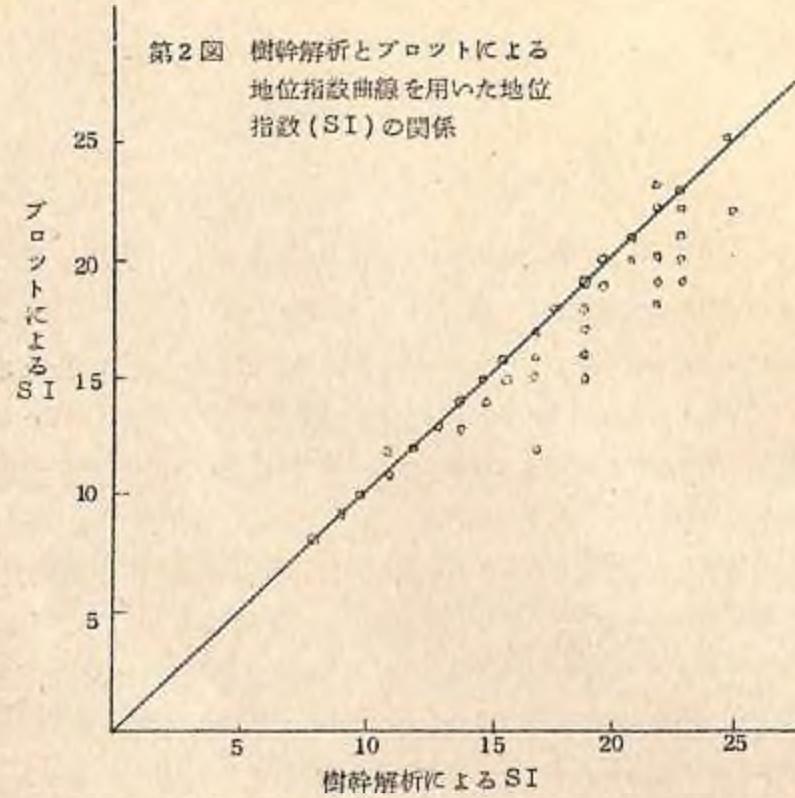
$$\text{樹幹解析: } H = 23.0265 - 21.6528 (0.863216) A$$

$$\text{プロツト: } \log H = 0.1954493 + 0.642520 \log A$$

ここに A は林令、 H はそれに応する樹高である。樹幹解析は19本、プロツトは全体の129個からサブプロツトのない1個を除いた128個をもとにして計算されたもの

である。

これらをもとにして作られた地位指數曲線を用いてプロットの地位指數を求め、横軸に樹幹解析による地位指數、縦軸にプロットによる地位指數をとつて両者の関係を表わしたグラフが第2図である。これによれば全体的にみて45箇にのつたものが多く、ほぼ同じ地位指數が求められるが、どちらかと云えればプロットによるものは高い地位指數



において樹幹解析によるものよりも低い地位指數を与えていることがわかる。しかし全般的に右上がりの傾向を示しているので絶対値はくい違うものも若干あるが、数個の例外を除いて相対的にはあまり違わないといえるであろう。したがつてこの分析結果によればわづか19本の樹幹解析木による単木の樹高生長をもとにした地位指數曲線をプロットによる林分の樹高生長量をもとにした地位指數曲線のかわりに用いても良いであろう。しかも前者による方法は樹高生長型の比較などにおいて変動の多い後者の方法よりも法則性をよく表わすことからも有効であらう。このことについては水産のスギの資料についても同様を検討を行ない更に確実なものとしたい。

3-1-2 林齢ごとのha当たり本数の推定

航空写真上で判読した本数と地上のha当たり本数の相関が高いものであれば、写真判読によつて林齢に応するha当たり本数を知ることができる。現在航空写真上にプロット原点を中心として0.025ha, 0.05haの同心円上の本数を判読して、プロットのha当たり本数の対比してその可能性を検討中である。このようない直接的な本数推定法とは別に収穫予想表のような間接的な本数推定法も考えられるのでこれについて検討した結果を述べよう。1957年ソ連のヒルミ⁽²⁾が森林の生物物理学的な考え方から立木本数の減少はある林齢に達すると自己疏開過程は終了し、自然疏開の速度の割合は0に等しくなるが、立木本数は一定の値Nに達するということをもとにして次の式を導いた。

$$N = \bar{N} \left(\frac{N_0}{\bar{N}} \right)^{1-\alpha} (t - t_0) \quad (1)$$

ここにNは時間tにおける立木密度、N₀は初期t₀における立木密度、N̄は限界密度、αは自然疏開の微分係数で地位には無関係な樹種により一定な定数で自己疏開係数と呼ぶ。

寺崎誠作⁽³⁾はこれを用いて樹木本数別収穫予想表を作成しているが、この理論を用いて無間伐林（自己疏開林分）および間伐林（管理モデル林分）の本数予測の方法を検討してみよう。ヒルミはマツ、トウヒ、およびナラの標準林分収穫表（自己疏開林分の生長過程を表わす）をもとにしてαおよびN̄を決定した。また寺崎誠作は収穫予想表をもとにしてそれらを決定している。ヒルミの(1)式の法則性は積極的な保育管理を加えない林分の生長について検討した結果得られたものであり、人為的な管理を行なつた林分は生長過程が非常に変化し、林齢ごとの本数減少に強く影響が与えられ、その場合には法則性が失われるので、保育管理を行なわないか、わずかの程度間伐を行なつて生育した林分がその目的に合致することを指摘しているが、この点収穫予想表をもとにしてα、N̄を決定することには疑問があろう。しかしこの問題については後でもう一度検討してみたい。いづれにしてもこのようない目的にかなつた収穫表があつた場合にαとN̄を求めるには次のようにして行なう。(1)式より

$$\log N - \log N_0 = a(t - t_0) + b \int_{t_0}^t \log N dt \quad (2)$$

$$\text{ここに } a = \alpha \log \bar{N} \quad (3)$$

$$b = -\alpha \quad (4)$$

を得る。t₀, t₁, ..., t_nが等間隔であり、それらに応する立木本数をそれぞれ

N_0, N_1, \dots, N_n とし、 n の数を偶数とする。(収穫表を用いる場合偶数でないときはあとをとする)。 (t_0, t_n) の中間の時間 t_m を選ぶと t_0, t_1, \dots, t_{m-1} より (t_0, t_m) の間がやはり偶数部分に区分される。(2)式を用いて次の2つの式を得る。

$$\begin{aligned} \log N_m - \log N_0 &= a(t_m - t_0) - b \int_{t_0}^{t_m} \log N dt \quad (5) \\ \log N_n - \log N_0 &= a(t_n - t_0) - b \int_{t_0}^{t_n} \log N dt \end{aligned}$$

ここに N_m は t_m に応する立木本数である。

$\int_{t_0}^{t_m} \log N dt$ および $\int_{t_0}^{t_n} \log N dt$ は Simpson 式を用いて次式で求めることができる。

$$\int_{t_0}^{t_n} \log N dt = \frac{h}{3} \{ \log N_0 + \log N_n + 4(\log N_1 + \log N_3 + \dots + \log N_{n-1}) + 2(\log N_2 + \log N_4 + \dots + \log N_{n-2}) \} \quad (6)$$

ここに h は時間間隔である。

したがつて(5)式は a, b を未知数とする二つの連立方程式であるから、これを解して a, b を求めれば、それらを用いて α, \bar{N} は次のようにして決定される。

$$\begin{aligned} \alpha &= -b \\ \log \bar{N} &= \frac{a}{\alpha} = -\frac{a}{b} \quad (7) \end{aligned}$$

α は地方および樹種によって一定であるが、 \bar{N} は地位によって変化し、良地位より悪地位になるにつれて多くなる限界本数を表わす。この α および \bar{N} がわかれば(1)式より N に応する N を理論的に求めることができる。ヒルミはマツの α は 0.019, \bar{N} は地位 Ia, II, III, IV, V, Va に応じてそれぞれ 239, 276, 297, 339, 444, 709, 834 であり、トウヒの α は 0.027, \bar{N} は Ia, I, II, III, IV, V に応じてそれぞれ 421, 506, 584, 748, 1000, 1316 であることを見出し、これらを用いて自己疎開林分の本数予測を行なつたら標準収穫表の本数によく一致することを例示している。寺崎試作は地位 2 等地の収穫予想表で名古屋営林局管内のヒノキは $\alpha = 0.0298$, $\bar{N} = 688$, スギは $\alpha = 0.0258$, $\bar{N} = 463$, カラマツは $\alpha = 0.047$, $\bar{N} = 434$ であることを示している。

現在われわれには自己疎開林分の α および \bar{N} を知る資料は何もない。したがつて参考のために国有林のスギの収穫表を用いて α および \bar{N} を計算⁽⁴⁾ したら α は 0.015~0.066,

$\bar{N} = 165 \sim 1015$ であった。いまわれわれにとつて必要なカラマツおよびスギに対してそれぞれ信州カラマツ、大井、天龍スギの林分収穫表から α および \bar{N} を求めたら次の通りであった。

信州カラマツ

地位	α	\bar{N}
特1	0.030	137
1	0.025	147
2	0.021	156
3	0.016	150
4	0.009	72

大井天龍スギ

地位	α	\bar{N}
1	0.058	618
2	0.061	737
3	0.066	1015

地位が悪くなるにつれて限界本数は多くなるべきであるが、信州カラマツは地位 3 等地からその関係が逆になつている。しかしこれらの α と \bar{N} を用いて(1)式を用いて林齢に応する本数を推定するとすべて収穫表の本数とよく適合している。例として大井、天龍スギの 2 等地の収穫表の本数とこの方法で推定した本数の比較を示そう。

林齢	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
収穫表	2994	2134	1564	1280	1110	999	926	870	838	808	783	763
推定値	2994	2072	1580	1293	1116	1001	923	870	833	807	788	774

したがつて α と \bar{N} を適当にきめれば(1)式を用いることによって自己疎開林分のみならず本数管理をされた林分の ha 当り本数の推定または予測することができるであろう。すなわち地方ごとに樹種ごとの自己疎開数(一般には管理係数と呼ぼう) α と限界本数 \bar{N} がわかつていれば地位ごとに林齢に応する ha 当り本数を知ることができる。この α および \bar{N} がわかつていない場合にどのようにしてこれを求めたらよいであろうか。ここに一つの方法を示してみよう。

平均幹距(S)と優勢木の平均樹高(H)の比の百分率を相対幹距(S_r)という。すなわち

$$S_r = \frac{S}{H} \times 100 \% \quad (8)$$

平均幹距は ha 当り本数を N とすると、正方形植えを仮定したときは

$$S = \sqrt{\frac{10000}{N}}$$

(9)

正三角形植えを仮定したときは

$$S = 1.0746 \sqrt{\frac{10000}{N}} \quad (10)$$

の関係がある。いろいろな林について S_r を検討した結果⁽⁴⁾、無間伐林では 10% 以下にはならず、弱度間伐、中庸度間伐、強度間伐の林分ではそれぞれ 13%、17%、21% の値となることがわかつた。普通いわれているように地位が密度に関係ないとすれば地位によつてその地方で到達する主林木の平均樹高を簡易調査または経験によつて知ることができ。たとえば北関東阿武隈のスギの収穫表から 100 年での主林木の平均樹高は地位によつてほほ次のようになることがわかる。

地位	I	II	III
平均樹高(回)	35	30	25

無間伐林であれば限界密度は地位ごとに上表の平均樹高に 0.1 を乗じて平均幹距 S を求め、(9)式から $N = (100/S)^2$ によつて推定できる。すなわち $\bar{N}_I = (100/35 \times 0.1)^2 = 81.6 \approx 82.0$, $\bar{N}_{II} = (100/30 \times 0.1)^2 = 111.1 \approx 110.0$, $\bar{N}_{III} = (100/25 \times 0.1)^2 = 160.0$

弱度間伐林なら 0.1 の代りに 0.13, 中庸度間伐林から 0.17, 強度間伐林なら 0.21 を用いればよい。次に植栽本数に応じて 10 年生での残存本数を仮定する。たとえば 3000 本植栽を仮定して北関東阿武隈スギでは $t_0 = 10$ での $N_0(I) = 2860$, $N_0(II) = 2890$, $N_0(III) = 2920$ と仮定する。

ついで α を 0.01 から 0.005 間隔で増加させて 100 年の限界本数 \bar{N} が地位ごとに上記の値になるように上の t_0 , N_0 の値を用いてシミュレーションすると $\alpha = 0.09$ でこの条件を満足することがわかる。この α がこのような無間伐林での自己疎開係数でこのようにして推定された林齢ごとの ha 当り本数は次のようになる。

$\alpha = 0.09$, $\bar{N}_I = 820$, $\bar{N}_{II} = 1100$, $\bar{N}_{III} = 1600$ によつて求めた自己疎開林分の本数密度

地位	I	II	III
10	2860	2890	2920
15	1819	2036	2348
20	1363	1629	2043
25	1134	1413	1870
30	1008	1290	1767
35	935	1218	1705
40	892	1174	1666
45	865	1146	1642
50	848	1129	1627
55	838	1119	1617
60	831	1111	1611
65	827	1108	1607
70	824	1105	1604
75	823	1103	1603
80	822	1102	1602
85	821	1102	1601
90	821	1101	1601
95	820	1101	1600
100	820	1100	1600

間伐林についても同様な方法で、における N_0 がわかり限界密度 \bar{N} がわかれば適当な管理係数 α をシミュレーションにより求めることができ、林齢ごとの本数を予測することができるであらう。現実林で α , \bar{N} を簡易に求める方法はメインシステムの中でも一度検討してみる。

3-1-3 ha 当り本数および相対幹距または上層木平均樹高からの平均断面積直径の推定。

測樹学では昔から平均断面積直径と ha 当り本数との間には地位には無関係に一定の関係があるとして正常収穫表を作成する場合にこの関係を異状標準地の棄却に用いている。すなわち横軸に平均断面積直径、縦軸に ha 当り本数をとつて標準地の両者の関係をプロットすると逆丁字型の一定の関係がみられる。この一定の関係からかけはなれた標準地は異状な標準地として収穫表作成資料から除外していた。しかし現実林においては除外されるよりな標準地の直径と本数を示すものも存在するのであるから、両者の関係の中に密度と地位の両方に関係した尺度である相対幹距を加え、しかも後の ha 当り

断面積の計算に便利なように ha 当り本数(N)および相対幹距(S_r)から平均断面積直径(̄d_b)を求める式を次のようにした。

$$\bar{d}_b = a^1 N^b S_r^c \quad (11)$$

これは $\log \bar{d}_b = \log a^1 + b \log N + c \log S_r$
 $= a + b \log N + c \log S_r$

の形の重回帰式に変形される。草津カラマツの129個および水道のブロックを考えたいて146個(サブプロットも含める)のプロットについて上の関係を求めるときそれ次のようになつた。

草津カラマツ : $\log \bar{d}_b = 4.0565 - 0.60897 \log N - 0.76670 \log S_r$
 $(R=0.9643)$

水道スギ : $\log \bar{d}_b = 3.8662 - 0.66374 \log N - 0.39523 \log S_r$
 $(R=0.9588)$

いづれも重相関係数(R)は高い。参考のため $\log \bar{d}_b$ と $\log N$ の単相関係数はそれぞれ-0.8682および-0.9328であり、 $\log S_r$ との単相関係数はそれぞれ-0.4542および-0.2024であつた。またCのt検定ではtの値はそれぞれ17.80および9.32となり若しく有意で $\log S_r$ をいれることにより精度の向上がみられる。

(11) 式の S_r に(8), (9)をいれると

$$\bar{d}_b = (a^1, 100^2)^c N^{b-c/2} H^{-c} \quad (13)$$

すなわち

$$\log \bar{d}_b = (\log a^1 + 2c \log 100) + (b - c/2) \log N - c \log H$$
 $= (a + 4c) + (b - c/2) \log N - c \log H$

となり、草津および水道に対してそれぞれ

草津カラマツ : $\log \bar{d}_b = 0.9897 - 0.22562 \log N + 0.76670 \log H$

水道スギ : $\log \bar{d}_b = 2.2853 - 0.46613 \log N + 0.39523 \log H$

となる。

(12) または(14)を用いれば ha 当り本数(N)および相対幹距(S_r)または上層木平均樹高(H)がわかれば平均断面積直径(̄d_b)を求めることができ、第1図の流れ図をみてもわかるように、̄d_b と N がわかれば ha 当り断面積(B)を

$$B = \frac{\pi}{4} \bar{d}_b^2 N / 100^2 \quad (15)$$

によつて求めることができる。

3-1-4 平均断面積直径と平均直径との関係

第1図の流れ図を見てわかるように詳細な林分構造すなわち直径階ごとの情報が知りたい場合には算術平均直径(̄d)を知る必要がある。われわれは前の段階で平均断面積直径(̄d_b)を求めることができた。したがつて̄d_b から̄d を求める関係式を必要とする。草津カラマツの129個および水道スギの146個プロットの̄d と̄d_b の関係を用いて一次回帰式を作ると次のようになつた。

$$\begin{aligned} \text{草津カラマツ} : \bar{d} &= 0.280 + 0.9971 \bar{d}_b \quad (r=0.9984) \\ \text{水道スギ} : \bar{d} &= 0.403 + 0.9960 \bar{d}_b \quad (r=0.9993) \end{aligned} \quad \} (16)$$

いづれも非常に高い相関を示しており上式を用いると殆んど誤差なしに̄d_b から̄d を求めることができよう。

3-1-5 直径の標準偏差の推定

これはサブシステムの中のものではなくメインシステムの中の単なる計算手順であるがここで説明しておく。直径の標準偏差をδ、標本数をn、平均直径を̄d とすると

$$\begin{aligned} \delta^2 &= \frac{1}{n} \sum (d - \bar{d})^2 \\ &= \frac{1}{n} \sum d^2 - \bar{d}^2 \\ &= \bar{d}_b^2 - \bar{d}^2 \quad \left(\frac{\pi}{4} \bar{d}_b^2 \cdot n = \sum \frac{\pi}{4} d^2 \text{ であるから } \bar{d}_b^2 = \frac{\sum d^2}{n} \right) \\ \therefore \delta &= \sqrt{\bar{d}_b^2 - \bar{d}^2} \end{aligned}$$

したがつて̄d_b と̄d がわかれば(17)式でδを求めることができる。

3-1-6 林齢または地位ごとの樹高曲線の作成

直径階ごとの材積を求めるためには直径に応する樹高が必要である。樹高曲線は林齢または平均樹高によって変るであろう。草津カラマツおよび水道スギの資料から林齢および平均樹高の全体の範囲にわたるようそれぞれ216本および267本を抽出して直径(D)に応する樹高(H)を林齢(A)または上層木平均樹高(H)を用いて推定する重回帰式を次のようにして求めた。

○林齢(A)を用いる場合

$$\frac{D}{\sqrt{H-1.2}} = 1.324 + 0.26479 D + 0.012928 A - 0.0021947 DA \quad (R=0.9546)$$

$$\frac{D}{\sqrt{H-1.2}} = 1.109 + 0.24547 D + 0.019654 A - 0.0013345 DA \quad (R=0.9586)$$

○平均樹高(\bar{H})を用いる場合

草津カラマツ

$$\frac{D}{\sqrt{H-1.2}} = 2.15 + 0.23719D - 0.069963H - 0.0017929D\bar{H} \quad (R=0.9742) \quad \} \quad (19)$$

水窓スギ

$$\frac{D}{\sqrt{H-1.2}} = 1.789 + 0.25750D - 0.037669H - 0.0030787D\bar{H} \quad (R=0.9821)$$

平均樹高を用いた方が重相関係数は少し高いが、状況に応じていづれを用いても大した差はないであらう。

3-1-7 ha 当り材積の推定式の検討

直径階ごとの詳細な情報が知りたい場合は、直径の確率分布を正規分布と仮定すると、 \bar{D} および \bar{B} が林齡ごとにわかるので本数の確率分布がわかり、ha 当り本数がわかつてるので直径階別本数が計算され、(18) または(19) 式を用いて、直径に応ずる樹高がわかるので、材積表から材積が求まり、それに本数を乗じて合計すれば、ha 当り材積が計算される。

このような直径階ごとの情報を必要としない場合には、第1図の流れ図からわかるようにha 当り断面積(B)が(15)式のようにして求まると次の2つの方法でha 当り材積(V)を求めることができる。

a. $V/B = a + b\bar{H}$ を用いる場合

これは現実林分の材積のみを求める場合には有効であろう。この式はまだ草津カラマツおよび水窓スギの資料について検討を行なつていないが、茨城スギ収穫表の標準地一覧表の89個の主副林木合計の資料を用いて計算した結果

$$V/B = 0.458\bar{H} + 1.01$$

で、相関係数は0.988で、地位、密度には無関係に(勿論この式の中に地位の尺度として \bar{H} 、密度の尺度として B が含まれている)一定の関係が認められる。したがつて、 \bar{H} および B がわかれれば

$$V = (0.458\bar{H} + 1.01)B$$

として、ha 当り材積を精度より求めることができる。

b. $\log V = a + bS + C \log B + d \log N + e A^{-1}$ を用いる場合

この式は、現実林のha 当り材積を求めることができればかりでなく、地位(S)ごとに林齡(A)ごとに密度(ha 当り断面積 B やha 当り本数 N)を変化させることによつ

てどのようにha 当り材積が変化するか、すなわち管理林分の動きを知ることができ、しかもこの式は微分可能であるので、材積生長量の動きをこの式の係数を用いて知ることができるのである。草津カラマツ、水窓スギのそれぞれ129個、146個の標準地の資料を用いて、上の重回帰式を求めたら、次の通りであつた。

○草津カラマツ

$$\begin{aligned} \log V &= 1.04225 + 0.02174S + 1.08663 \log B - 0.16782 \log N \\ &\quad - 5.9124A^{-1} \end{aligned} \quad (20)$$

(R = 0.9931)

○水窓スギ

$$\begin{aligned} \log V &= 0.97400 + 0.010673S + 1.24557 \log B - 0.19977 \log N \\ &\quad - 2.8012A^{-1} \end{aligned} \quad (21)$$

(R = 0.9906)

いづれも重相関係数(R)は非常に高く、上式によつてha 当り材積が精度よく推定できることを示している。

以上サブシステムの中で必要な情報を提供する手段を概略的に説明したが、その中で環境因子、土じょう因子から地位指数を推定する多変量解析および航空写真からのha 当り本数の推定については、目下資料を整理中であるので、これらについては分析が終つてから別に報告したい。

3-2 メインシステムの検討

このシステムでは、現実林分の情報を提供する場合と、いろいろな施策をほどこした場合、すなわちある方法で管理された林分の将来の収穫量を予測する場合とにわけて説明しなければならない。前者については、ある程度実際的な数値で例示することができるが、後者については、目下計算中であるので、ここでは前者のみについて報告したい。以下の説明には、第1図の流れ図を参照されたい。

段階1、航空写真を用いて林相区分を行ない、森林調査簿、林相図、基本図などを参考にして、林小班の境界を確定する。森林調査簿または造林簿により、造林地の樹種、林齡(A)がわかり、航空写真の判読によつて上層木平均樹高(\bar{H})が測定される。

段階2、すでにサブシステムの中で作られている地位指数曲線のグラフ上で、 A に応ずる \bar{H} をプロットすると、その小班の地位指数(S)が求まり、その曲線により林齡(A_i)ごとに上層木平均樹高(\bar{H}_i)がどのように変化するかがわかる。伐採跡地については、サブシ

ステムで用意されている環境因子および土じょう因子のスコア表をもとにして、航空写真、地形図、地質図、土じょう図などを利用して、樹種に応ずる地位指数が求まり、地位指数曲線により前と同様に地位指数(S)に応ずる林齢(A_i)ごとの上層木平均樹高(\bar{H}_i)を知ることができる。

段階3、サブシステムの中で、ha 当り本数を推定するヒルミの方法で α 、 \bar{N} の決定法を一つあげたが、ここでは簡略調査による α 、 \bar{N} の決定法を述べよう。水星スギで幼齢および老齢林分でha 当り本数を調査したら、次の通りであつた。

年齢	ha 当り本数	年齢	ha 当り本数	年齢	ha 当り本数
10	3400	16	3000	80	900
10	3800	16	2600	80	700
11	3600	16	2400	81	800
15	3500	71	800	81	700
15	2500	71	1125	81	1000
15	2900	80	1000		

これを年齢ごとにとりまとめ、対数をとると次のようになる。

A	N	log A	log N
10	3600	1.0000	3.5563
11	3600	1.041	3.5563
15	2967	1.1761	3.4723
16	2667	1.2041	3.4260
71	963	1.8513	2.9836
80	867	1.9031	2.9380
81	833	1.9085	2.9206

log A を横軸、log N を縦軸にとつてプロットして、フリーハンドで直線を描くと第3図のようになる。この直線から各林齢ごとの本数を読みとり真数にもどすと次表を得る。

林齢	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
ha 当り本数	3758	2786	2270	1950	1718	1538	1413	1294	1175	1122	1059	1012	929	904	871

$t_m = 50$ として Simpson 式により、上表より

$$\int_0^{t_m} \log N dt = \frac{5}{3} \{ \log 3758 + \log 1175 + 4(\log 2786 + \log 1950 + \log 1538 + \log 1294) + 2(\log 2270 + \log 1718 + \log 1413) \} = 130438332$$

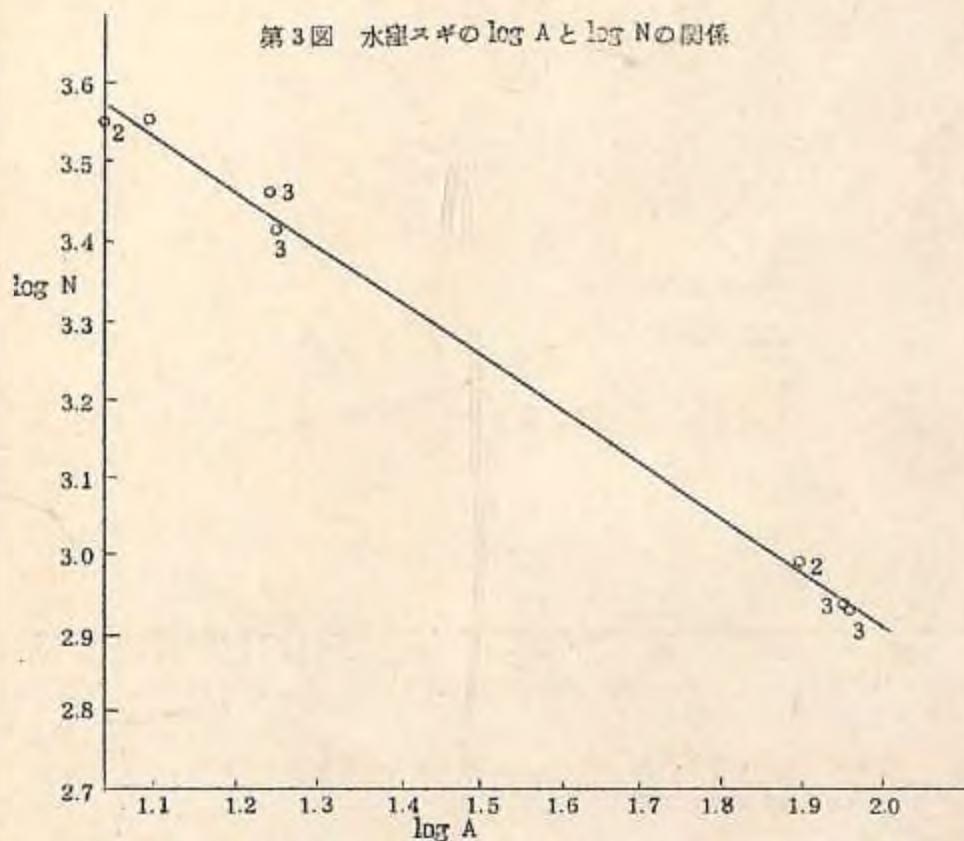
$$\int_0^{t_m} \log N dt = \frac{5}{3} \{ \log 3758 + \log 871 + 4(\log 2786 + \log 1950 + \log 904) + 2(\log 2270 + \log 1718 + \cdots + \log 929) \} = 220507073$$

したがつて(5式を用いて

$$(50-10)a + 130438332b = (\log 1175 - \log 3758)$$

$$(80-10)a + 220507073b = (\log 871 - \log 3758)$$

第3図 水星スギの log A と log N の関係



という連立方程式をたてることができ、これから

$$\begin{aligned} b &= -0.032045 \\ a &= 0.091874 \end{aligned} \quad \}$$

を得る。したがつて(7式から

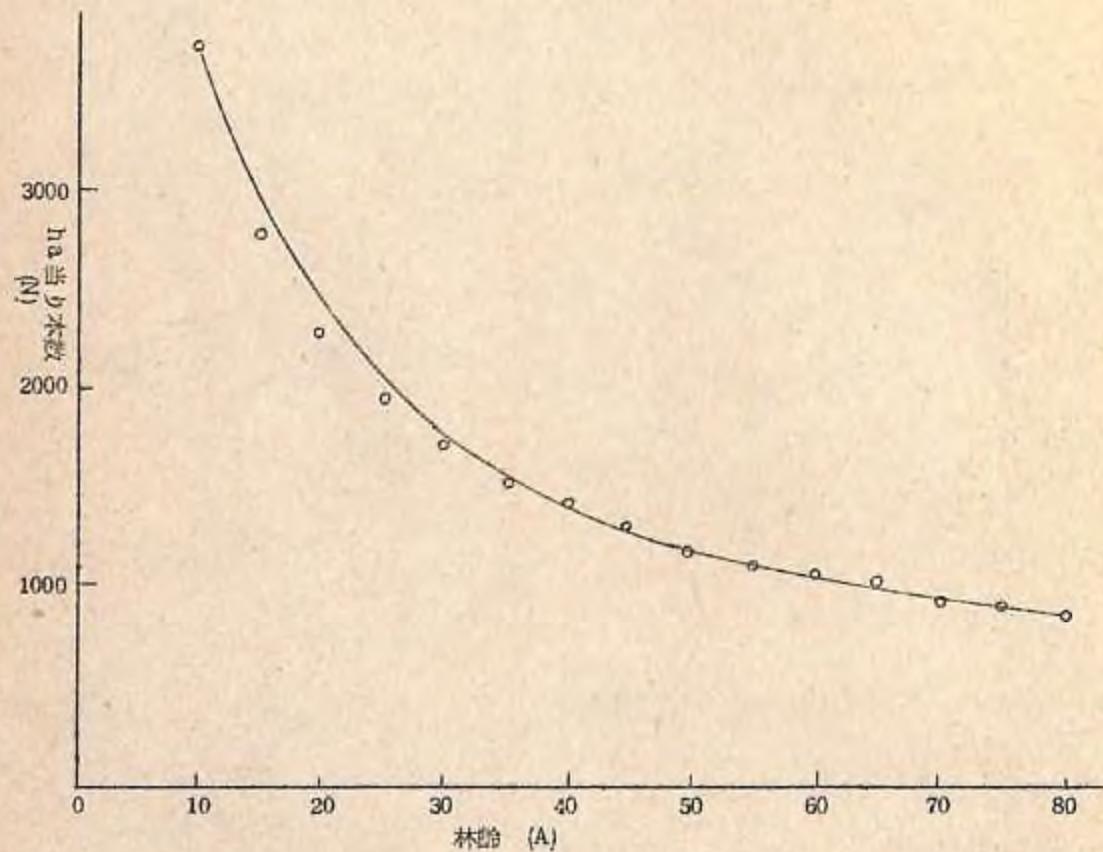
$$\alpha = 0.032045$$

$$\log \bar{N} = 2.867044 \quad \text{すなわち} \bar{N} = 736$$

を得る。この α および \bar{N} を用いて、(1式より

$$N = 736 \left(\frac{3758}{736} \right) e^{-0.032(t-10)}$$

によつてもに応する N を求めて、グラフに描いたものが第4図であり、非常によく適合していることがわかる。

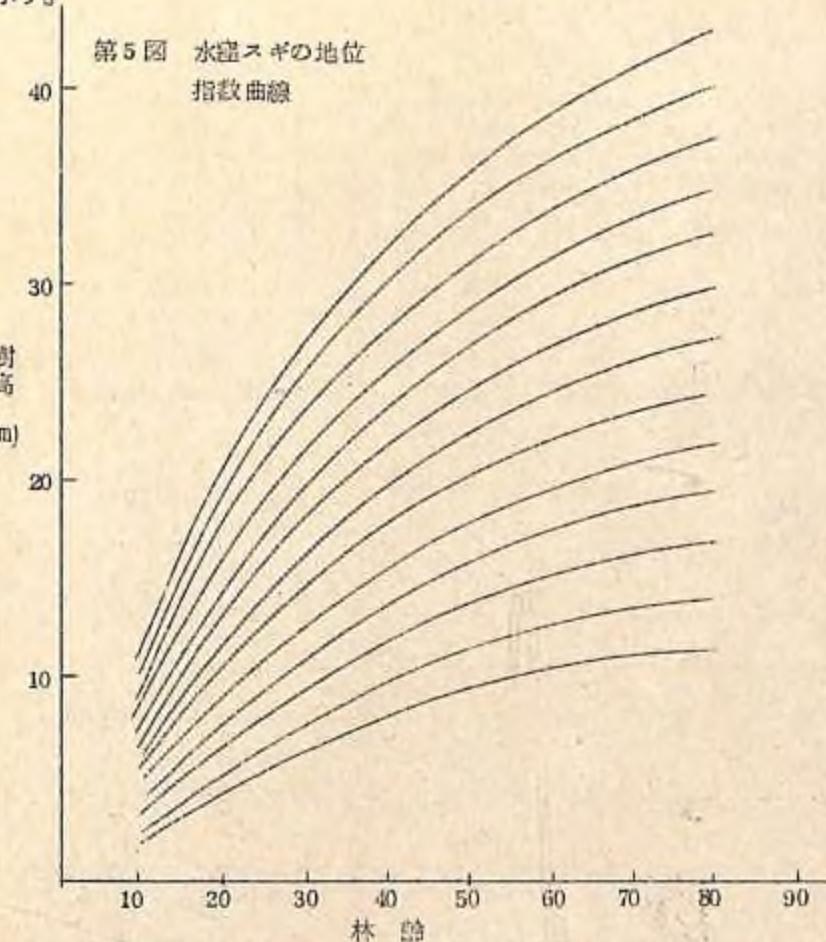


第4図 ヒルミの公式を いて推定した水道スギの林齢と ha
当たり本数の関係

以上の計算は、測定研究室の Y H P 卓上電子計算機で、プログラムを作つて行なつたものであり、データを入れれば自動的に結果が求められるようになつてゐる。

さていまわれわれが必要なものは α の値であり、水道スギの管理係数を0.032と仮定して、次のようにして地位、密度に応する本数の予想表を作成することができる。

水道スギの73本の樹幹解析木の樹高生長の値をもとにして作つた地位指数曲線を第5図に示す。



例として地位指数(S)は2.0, 1.6, 1.2の三つの段階でそれぞれに応じて密度の尺度である相対幹距(S_r)を疎(18%), 中(15%), 密(12%)として、それらに応ずる林齢ごとのha当たり本数予想表を作成する。 S_r の値を上のようにしたのは、たゞ80年近くの林分の S_r の値は1.0~2.0%の範囲を示しており、1.0~1.3%を1.2%, 1.4~1.6%を1.5%, 1.7%以上を1.8%として区分したものである。第5図の地位指数曲線から80年でのそれぞれのSに応する上層木平均樹高は、次の通りであることがわ

S	20	16	12
H (m)	27.2	22.0	16.7

これらの \bar{H} に S_r を乘ずると、平均幹距 S が求まり、(9式から) $N = (100/S)^2$ として ha 当り本数が計算される。80年を伐期とすれば、それが限界本数と考えられる。S と S_r に応ずる限界本数(N)の値は次のように求められた。

S の () 内は地位 I, II, III を表わす。

S	S_r (m)	18	15	12
20 (I)		939	601	417
16 (II)		1435	918	638
12 (III)		2490	1594	1107

次に初期本数 N_0 の値を仮定しなければならない。現在われわれには、これについての知認は何ももつてない。したがつていま 4000 本植栽を仮定し、15年生で地位 I, II, III に応じて、それぞれ残存率を 65%, 70%, 75% とするとも $t_0 = 15$ に応じて N_0 の値は次のようになる。

	I	II	III
N_0	2600	2800	3000

$\alpha = 0.032$ とすると、地位、密度に応じてヒルミの公式は次のようになる。

密度 地位	密	中	疎
I	$N = 939 \left(\frac{2600}{939} \right) e^{-0.032(t-15)}$	$N = 601 \left(\frac{2600}{601} \right) e^{-0.032(t-15)}$	$N = 417 \left(\frac{2600}{417} \right) e^{-0.032(t-15)}$
II	$N = 1435 \left(\frac{2800}{1435} \right) e^{-0.032(t-15)}$	$N = 918 \left(\frac{2800}{918} \right) e^{-0.032(t-15)}$	$N = 638 \left(\frac{2800}{638} \right) e^{-0.032(t-15)}$
III	$N = 2490 \left(\frac{3000}{2490} \right) e^{-0.032(t-15)}$	$N = 1594 \left(\frac{3000}{1594} \right) e^{-0.032(t-15)}$	$N = 1107 \left(\frac{3000}{1107} \right) e^{-0.032(t-15)}$

上の公式を用いて、 t_0 に応ずる N の値を計算したら次のような地位、密度に応ずる本数予

想表が作成された。

第2表 水窪スギ ha 当り本数予想表

地 位 密度 林齢	I			II			III		
	密	中	疎	密	中	疎	密	中	疎
15	2600	2600	2600	2800	2800	2800	3000	3000	3000
20	2237	2094	1984	2536	2374	2250	2918	2732	2589
25	1967	1741	1575	2332	2063	1867	2851	2523	2283
30	1763	1488	1294	2170	1830	1593	2794	2357	2051
35	1607	1301	1095	2041	1653	1392	2747	2225	1873
40	1483	1161	949	1938	1515	1240	2707	2118	1733
45	1387	1053	840	1854	1407	1124	2674	2031	1622
50	1309	969	758	1785	1321	1034	2646	1959	1533
55	1246	903	694	1728	1252	963	2622	1900	1461
60	1195	850	643	1681	1196	906	2602	1852	1402
65	1153	807	603	1642	1150	860	2585	1811	1354
70	1119	773	571	1610	1112	823	2571	1777	1314
75	1090	747	545	1583	1081	792	2559	1749	1281
80	1066	721	524	1560	1055	767	2549	1725	1254

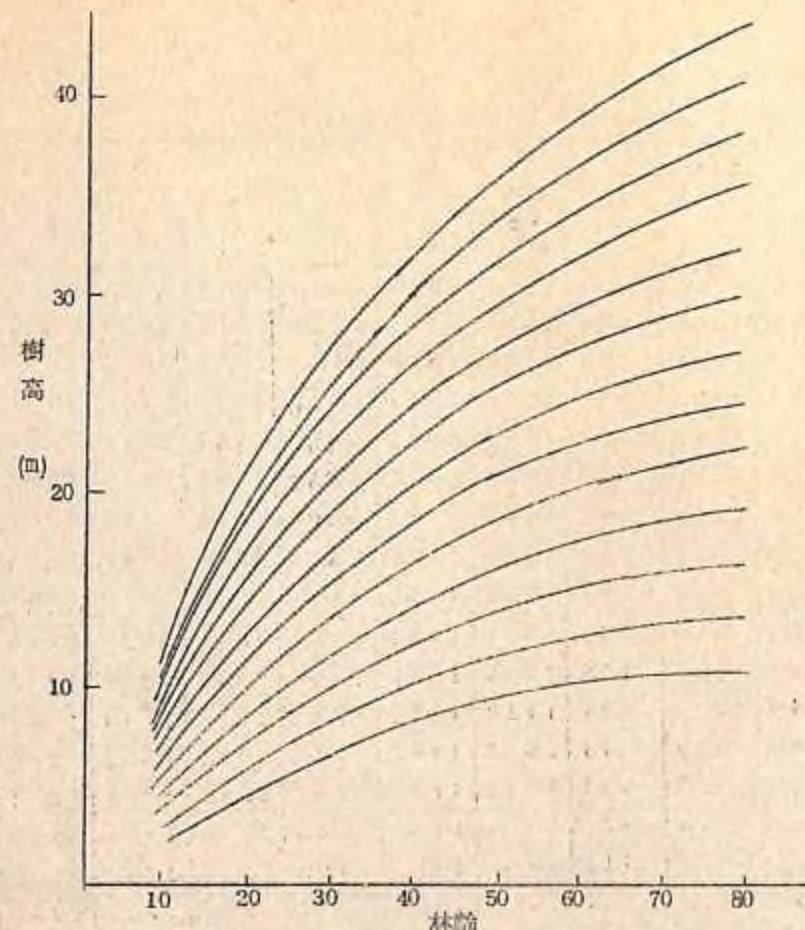
これと同じ方法でいろいろな地位指數、いろいろな相対幹距に応ずる ha 当り本数予想表を作ることができる。航空写真で判読した林分の上層木平均樹高により地位を判定し、疎密度を疎、中、密にわけることによつて、第2表から林齢に応ずる ha 当り本数を知ることができる。

カラマツについては、前述の信州カラマツ林林分収穫表から求めた α と \bar{N} を用いて、本数予想表を作成したが、以下の段階の計算例には、地位 I を用いるのでその予想表をここに示しておくる。

第3表 カラマツ林地位 I の ha 当り本数予想表

林 齢	10	15	20	25	30	35	40	45	50
ha 当り本数	2200	1595	1202	937	752	619	522	449	394

段階 4、第6図に草津カラマツの地位指數曲線を示す。



第6図 草津カラマツの地位指数组曲線

第4表 草津カラマツ地位I収穫予想表

A (年)	① H (m)	② N (本)	③ db (cm)	④ B (m²)	⑤ V (m³)	⑥ d (cm)	⑦ σ (cm)
1.0	6.79	22.00	7.5	9.7	27.6	7.1	2.20
1.5	10.36	15.95	11.1	15.4	75.7	10.8	2.73
2.0	13.42	12.02	14.4	19.6	129.5	14.1	3.12
2.5	16.05	9.37	17.5	22.5	179.8	17.2	3.48
3.0	18.33	7.52	20.4	24.6	225.0	20.0	3.76
3.5	20.31	6.19	23.0	25.7	260.2	22.7	4.00
4.0	22.00	5.22	25.5	26.7	292.9	25.1	4.27
4.5	23.47	4.49	27.7	27.1	317.1	27.3	4.45
5.0	24.76	3.94	29.7	27.3	336.8	29.3	4.61

第4表の①欄は地位Iすなわち地位指数组曲線に応する第6図から読みとられた上層木平均樹高Hが書かれており、②欄は第3表のha当り本数Nが書かれている。この段階では、(4式)の草津カラマツのN, Hから \bar{d}_b を求める式を用いて、①, ②欄H, Nから平均樹面積直径 \bar{d}_b を計算する。これが第4表の③欄に示されている。

段階5、②欄と③欄のNと \bar{d}_b を用いて、ha当り断面積B = $\frac{\pi}{4} \bar{d}_b^2 N / 100^2$ を計算する。これが④欄に示されている。

段階6、S = 22, ②欄のN, ④欄のBを用いてAに応するha当り材積Vを(20)式の重回帰式を用いて計算する。その結果は⑤欄に示されている。

この方法と同じ段階をふんで、他のいろいろな地位および密度に応じて林齢ごとのH, N, B, Vなどを求めることができる。すなわち航空写真または簡易調査で林分の上層木平均樹高により地位を求め、疎密度を分類することによって、林齢に応ずるすべての林分構成因子を以上の段階をふんで次々に求めることができる。

さて第1図の流れ図をみてわかるように、林齢に応ずる直径階ごとの情報が知りたい場合には、段階5から次の方法で推定してゆけばよい。

段階5、段階4で \bar{d}_b が求められたので、(16)式の草津カラマツの \bar{d}_b から \bar{d} を求める式を用いて、平均直径 \bar{d} を林齢に応じて求めることができます。これが第4表の⑥欄に示されている。

段階6、③欄の \bar{d}_b および⑥欄の \bar{d} を用いて、(17)式より直径の標準偏差 σ を求める。これが第4表の⑦欄に書かれている。

段階7、林齢ごとの⑥欄の \bar{d} と⑦欄の σ を用いて、正規分布を仮定して確率分布を求め、③欄のha当り本数Nに直径に応ずる確率をかけて直径階ごとのha当り本数を求める。これが第5表の①欄に結果のみが示してある。

段階8、(19)式の草津カラマツの樹高曲線式に直径(D), 第4表の林齢に応する①欄の上層木平均樹高Hを代入して、Dに応ずる樹高(H)を計算する。これが第5表の②欄に書かれている。

段階9、前掲カラマツ材積表を用いて、DとHに応ずる材積(V)を③欄に書く。

段階10、①欄のNに③欄のVを乗じたものが④欄に書いてある。これが直径階別の合計材積であり、これらを全部合計したらha当り材積となる。これが④欄の下に書かれている。備考欄に直径階別の情報が必要でない場合に前の段階6で求められたha当り材積が参考のために記してある。この数字と比較すると、ここで得られた結果は割合よく一致

第5表 草津カラマツ地位Iの直径階ごとの情報計算

A	D	① N	② H	③ V	④ N V	備 考
10	0	6				$\bar{d} = 7.14$
	2	60	2	0.0005	0.001	$\delta = 2.20$
	4	299	4	0.003	0.897	$N = 2.200$
	6	682	5	0.008	5.456	
	8	718	7	0.019	13.642	
	10	347	8	0.033	11.451	
	12	80	9	0.052	4.160	
	14	8	10	0.079	0.632	
計				36.238	V = 27.6	
15	2	3	2	0.0005	0.0015	
	4	24	4	0.003	0.072	$\bar{d} = 10.77$
	6	106	6	0.010	1.060	$\delta = 2.73$
	8	278	8	0.022	6.116	$N = 1595$
	10	437	9	0.037	16.169	
	12	418	10	0.058	24.244	
	14	232	11	0.087	20.184	
	16	79	12	0.123	9.717	
	18	16	13	0.169	2.704	
	20	2	13	0.208	0.416	
	計				80.6835	V = 75.7
	20					
20	4	2	5	0.004	0.008	
	6	11	7	0.012	0.132	$\bar{d} = 14.10$
	8	48	9	0.025	1.200	$\delta = 3.12$
	10	132	10	0.041	5.043	$N = 1202$
	12	243	11	0.063	15.309	
	14	302	12	0.095	28.690	
	16	252	13	0.134	33.768	
	18	142	14	0.182	25.844	
	20	54	15	0.240	12.960	
	22	14	15	0.289	4.046	
	24	2	16	0.363	0.726	
	計				127.726	V = 129.5
25	6	2	8	0.013	0.026	
	8	7	10	0.027	0.189	$\bar{d} = 17.17$
	10	27	12	0.049	1.323	$\delta = 3.48$
	12	72	13	0.075	5.400	$N = 937$
	計					

A	D	① N	② H	③ V	④ N V	備 考
	14	143	14	0.111	15.873	
	16	199	15	0.154	30.646	
	18	208	15	0.195	40.560	
	20	152	16	0.256	38.912	
	22	84	17	0.328	27.552	
	24	32	17	0.387	12.384	
	26	9	18	0.479	4.311	
	28	2	18	0.552	1.104	
	計				178.280	V = 179.8
30	8	1	11	0.030	0.030	
	10	5	13	0.053	0.265	$\bar{d} = 20.03$
	12	17	14	0.080	1.360	$\delta = 3.76$
	14	45	15	0.118	5.310	$N = 752$
	16	90	16	0.164	14.760	
	18	139	17	0.221	30.719	
	20	157	18	0.288	45.216	
	22	137	18	0.348	47.676	
	24	91	19	0.436	39.676	
	26	46	19	0.507	23.322	
	28	18	19	0.584	10.512	
	30	5	20	0.708	3.540	
	32	1	20	0.794	0.794	
	計				223.180	V = 225.0
35	10	1	15	0.060	0.060	
	12	4	16	0.091	0.364	$\bar{d} = 22.69$
	14	12	17	0.134	1.608	$\delta = 4.00$
	16	31	18	0.185	5.735	$N = 619$
	18	63	18	0.234	14.742	
	20	98	19	0.304	29.792	
	22	121	20	0.388	46.948	
	24	116	20	0.460	53.360	
	26	87	20	0.536	46.632	
	28	51	21	0.650	33.150	
	30	24	21	0.746	17.904	
	32	9	21	0.837	7.533	
	34	2	21	0.922	1.844	
	36	0	—			
	計				259.672	V = 260.2

A	D	① N	② H	③ V	④ N V	備 考
40	10	0	-			
	12	1	17	0.097	0.097	$\bar{d} = 25.10$
	14	3	18	0.142	0.426	$\delta = 4.27$
	16	10	19	0.195	1.950	$N = 522$
	18	25	20	0.259	6.475	
	20	48	20	0.320	15.360	
	22	75	21	0.408	30.600	
	24	94	21	0.484	45.496	
	26	93	22	0.593	55.149	
	28	78	22	0.683	53.274	
	30	51	22	0.784	39.984	
	32	27	23	0.922	24.894	
	34	12	23	1.017	12.204	
	36	4	23	1.117	4.468	
	38	1	23	1.221	1.221	
	40	0	-			
	計				291.598	$V = 292.9$
45	12	0	-			$\bar{d} = 27.32$
	14	1	20	0.158	0.158	$\delta = 4.45$
	16	3	21	0.216	0.648	$N = 449$
	18	9	21	0.272	2.448	
	20	21	22	0.352	7.392	
	22	40	22	0.428	17.120	
	24	61	23	0.534	32.574	
	26	77	23	0.621	47.817	
	28	79	23	0.716	56.564	
	30	67	24	0.861	57.687	
	32	46	24	0.965	44.390	
	34	26	24	1.065	27.690	
	36	12	24	1.170	14.040	
	38	5	24	1.278	6.390	
	40	2	24	1.367	2.734	
	42	0	-			
	計				317.652	$V = 317.1$
50	14	0				$\bar{d} = 29.34$
	16	1	22	0.226	0.226	$\delta = 4.61$
	18	3	23	0.298	0.894	$N = 394$

A	D	① N	② H	③ V	④ N V	備 考
	20	9	23	0.367	3.303	
	22	19	23	0.448	8.512	
	24	35	24	0.558	19.530	
	26	52	24	0.650	33.800	
	28	66	24	0.749	49.434	
	30	66	25	0.899	59.334	
	32	57	25	1.008	57.456	
	34	42	25	1.113	46.746	
	36	24	25	1.222	29.328	
	38	12	25	1.336	16.032	
	40	5	25	1.429	7.145	
	42	2	26	1.626	3.252	
	44	1	26	1.758	1.758	
	46	0	-			
	計				336.750	$V = 336.8$

していることがわかる。

プロットサンプリングとプロットレスサンプリングの対比については、報究報告⁽⁵⁾ですでに草津カラマツの資料で分析したものを使っているが、全体推定においては、プロットサンプリングとプロットレスサンプリングでは差がない値が得られることがわかつた。またサブシステムの中で用いられる回帰式を作るために必要な資料は、簡単なプロットレス法で求めて十分であろう。したがつて最小限の簡易調査または収穫表の標準地一覧表の資料を用いてサブシステムに必要な関係式を作つておき、航空写真の判読による地位と疎密度の情報を利用して、メインシステムの段階をふねば、われわれが経営計画が必要とする情報を省力的に精度よく求めることができるであろう。これらの流れは森林調査情報システムとして電算機の中に組むことが可能であり、しかも個々の林分の将来の収穫量の予測もでき、施業のやり方を考えた場合の収穫量の変化も予測することができるであろう。この管理された林分の動きについての解析法は現在検討中である。地位指数に関するサブシステム、航空写真判読の精度問題および生長量調査資料についても現在分析中であり、これらが完成したときに完全な一つのシステムとして報告したい。

参考文献

- (1) 西沢正久, 真下育久, 川端章藏: 数量化による地位指數の推定法。林試研報 176, 1970
- (2) ヒルミ著 高橋清訳: 森林の生物物理学理論, 新科学文献刊行会。1965
- (3) 植木本放別収穫予想表。名古屋管林局造林推進部議会, 立地部会資料 2, 1961
- (4) 造林事業における技術選択と投資配分の最適化に関する研究——昭和45年度中間報告——林試経営部, 1971
- (5) 神戸喜久, 西沢正久: プロットサンプリングとプロットレスサンプリングとの比較について。林試研報 231, 1970