

競争密度効果を基にした幹材積収獲予測

只 木 良 也⁽¹⁾

ま え が き

立木密度の問題は、古くから関心をもたれ研究されてきたが、いまなお論議がくり返されて、決定的な解決をみるにいたっていないようである。とくに植栽本数から間伐、主伐本数に及ぶ林分の本数管理の問題は、育林上の重要点でありながら、系統的数的に示されることが少なく、経験的判断によっていることが多い。

植物群落の各個体の生育が進み、個体相互間にいわゆる競争が起こると、群落内の個体の成長が悪くなることは古くから知られており、林業においては直径成長が悪くなることであらわされている。

同じ生育段階で、一定面積上に生育する個体数の多少は、競争の激しさを計る尺度となるが、植物の生育密度と生産量の関係についても、古くから研究されてきた。そして1953年以降、吉良を中心とする研究グループ^{4) 5) 13) 14)}は、この問題について一般的で明快な法則性を草本植物を用いて見だし、競争密度効果式を誘導した。この法則性は、木本植物の場合にもよく適合すること、また木本植物の幹材のみの場合にもほぼ似た傾向で適合することが、その後の研究^{2) 10) 11) 12) 19)}で明らかになった。

そして、こうした法則性を用い、競争密度効果の時間的経過を図に示すことによつて、林分の立木密度と幹材生産をあらゆる場合について表示しうる可能性を生じた。そこで、吉良らの法則性を基礎とする幹材積生産予測法を試案として提示し、あわせて2, 3の応用例を示すこととした。

この報告作製にあたっては、種々便宜を与えられた林業試験場九州支場長片山佐又技官、適切な指導と助言をいただいた京都大学四手井綱英教授、大阪市立大学吉良竜夫教授、同篠崎吉郎講師に感謝の意を表する。またこの報告に使用した林分調査資料を収集された各担当者、とくに九州支場造林研究室長尾方信夫技官はじめ室員各位にもあわせて感謝する。

1. 幹材積に関する 3/2 乗則線 (特性曲線)

植物群落が高い生育密度で放置しておかれると、群落の成長にともない個体数が減少することは古くから知られており、自然間引 (Natural thinning) と呼ばれ、また LYSENKO は自己間引 (Self thinning) の語を用いている。

単位面積上の植物体の現存量が増加するにしたがつて、個体相互間の競争が激しくなり、その結果劣勢個体が枯損にいたり本数が減少するのであるが、植物種によつて、それぞれの現存量に対して保持しうる最大密度がきまつている。吉良ら⁴⁾は立地条件や生育段階とは無関係に、植物群の平均個体重 (w) と最大密度 (ρ) との関係が

$$w = k\rho^{-a} \dots\dots\dots (1)$$

であらわせることを草本植物の同種群落であきらかにした。 k , a は種によつて固有な常数で、 a は普通

(1) 九州支場造林研究室員・農学博士

3/2 に近い値をとるので、(1) 式は 3/2 乗則と呼ばれている。

この関係は、林木ではまだあまり求められていないが、地上部重 (w_T) について例を示すとアカエゾマツ、エゾマツ、トドマツ²¹⁾について

$$w_T = 6.133 \times 10^7 \cdot \rho^{-1.67} \dots\dots\dots (2)$$

ヤチダモ²²⁾について

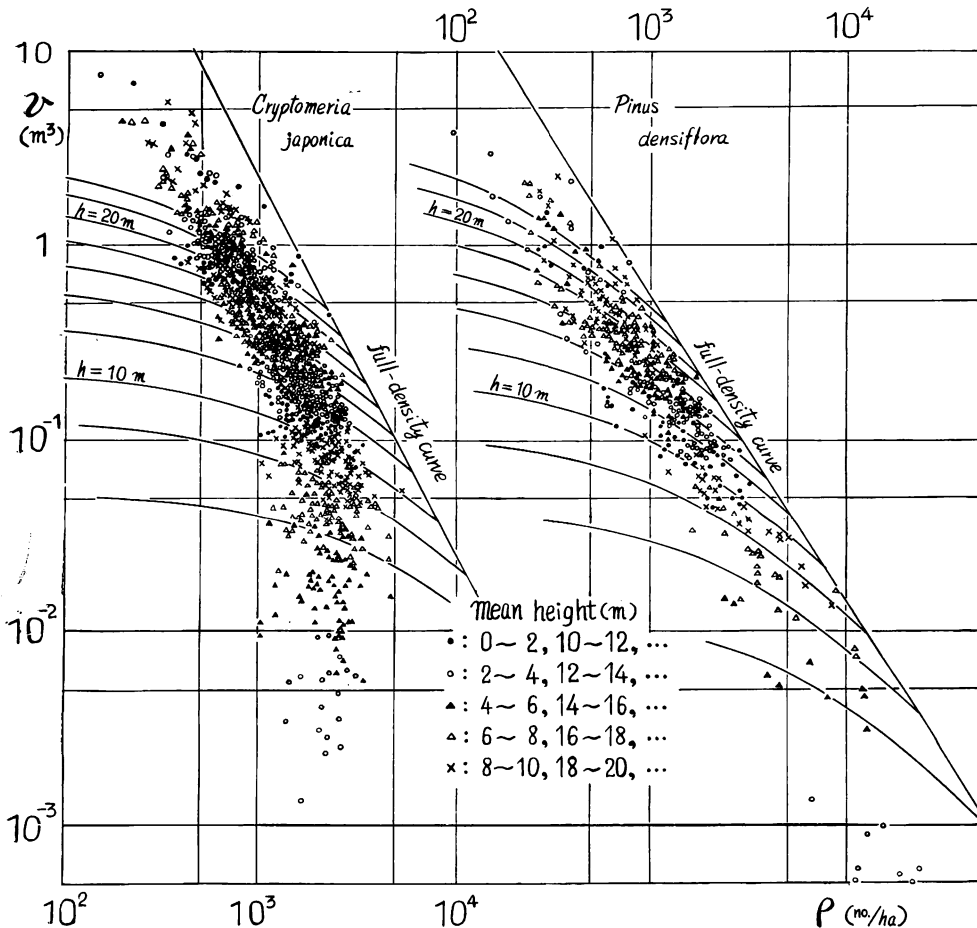


Fig. 1 スギとアカマツの立木密度 (ρ) と平均幹材積 (v) の関係における
3/2 乗則線 (特性曲線) と等平均樹高線

The full-density curves and equivalent-height curves on the relation between stand density (ρ) and mean stem volume per tree (v) in *Cryptomeria japonica* and *Pinus densiflora*. The diagrams were drawn up mainly using the data of preparation of yield tables⁸⁾. The full-density curves show the upper limits of stand density in regard to arbitrary mean stem volume and are given by following equation.

$$v = k' \rho^{-a'} \dots\dots\dots (4)$$

where both a' and k' are specific constants presented in Table 1. The equivalent-height curves are applied the reciprocal equation of density effect¹³⁾, i. e.

$$\frac{1}{v} = A\rho + B \dots\dots\dots (7)$$

where A and B are constants determined by the mean height in place of growth stages.

$$w_T = 1.35 \times 10^7 \cdot \rho^{-1.5} \quad \dots\dots\dots (3)$$

であつた。 w_T は kg , ρ は ha あたりの立木本数である。

林業にあつては、全個体重、あるいは地上部重よりも幹材積が重要な意味をもつ。幹材積は、全個体または地上部の中で占める割合が多いので、幹材積と最大密度との関係は全個体または地上部重のそれと類似のものとなる。

この関係は無間伐林における自然枯死経過から、また概略の関係曲線は現実林分調査の最高密度の林分を結んで得られる。いま林野庁収穫表調製業務研究資料⁸⁾の標準地調査データを用いて、スギ、アカマツについて地方差を考えず立木密度と平均幹材積の関係をプロットすると Fig. 1 のようになり、それぞれの上限を結んで各平均幹材積に関する最大密度を得た。

幹材積に関する 3/2 乗則線は (1) 式の w の代わりに平均幹材積 (v) を用いて

$$v = k' \rho^{-a'} \quad \dots\dots\dots (4)$$

で示され、曲線の両対数軸上での勾配を示す a' の値と (1) 式の a の値との間にあまり大きな差はみられない。いろいろな樹種についての k' , a' の暫定的に求めた値を Table 1 に示す。

a' の値は 1.5~2.0 の間にあるが、一般的な傾向として、いわゆる陽性の樹種ほど小さいようで、代表的陽性樹種と思われるカンバ属やカラマツでは $a'=1.5$ であり、これより a' の小さい樹種はあらわれない。 k' についても陽性樹種ほど小さいようである。また、アカマツ, *Pinus strobus*, *P. monticola* の a' , k' とよく似た値を示しており、マツ属共通の線が得られる可能性を示している。

REINEKE⁷⁾ はこうした最大本数線を平均直径を変数としてモミ属、マツ属数種についてあらわし full-density の語を与えた。MACKINNEY ら^{*}は Loblolly pine について、また坂口⁹⁾はスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツについて類似的表示によつて最大本数線をきめている。

このように、林分が保持しうる最大本数線を決定することは、林分の本数管理を検討するときに重要な

Table 1. 幹材積に関する 3/2 乗則線 (特性曲線) 式: $v = k' \rho^{-a'}$ の常数

Constants in the formulae representing the full-density curve on the relation between stand density (ρ) and mean stem volume (v): $v = k' \rho^{-a'}$ (v : m^3 , ρ : No./ha).

樹 種 Species	k'	a'	原データ Original data
<i>Cryptomeria japonica</i> (スギ)	1.527×10^6	1.94	8)
<i>Chamaecyparis obtusa</i> (ヒノキ)	1.517×10^5	1.74	8)
<i>Picea glehnii</i> (アカエゾマツ)	} 1.484×10^5	1.67	21)
<i>Abies sachalinensis</i> (トドマツ)			
<i>Pinus densiflora</i> (アカマツ)	4.232×10^4	1.59	8) 11)
<i>Pinus strobus</i>	4.686×10^4	1.66	15)
<i>Pinus monticola</i>	2.489×10^4	1.55	3)
<i>Larix leptolepis</i> (カラマツ)	1.046×10^4	1.50	6) 8)
<i>Fraxinus mandshurica</i> (ヤチダモ)	5.495×10^4	1.64	22)
<i>Betula</i> spp. (シラカンバ・ダケカンバ・ウダイカンバ)	1.144×10^4	1.50	20) 23)
<i>Castanopsis cuspidata</i> (シイ)	2.416×10^4	1.53	18)

* STAHELIN¹⁶⁾による。

意味をもつ。一般に人工林では最大本数よりかなり低い立木密度で管理され、林分の成長にともなつて間伐による密度引き下げを行なっている。

Fig. 1 に示したような平均幹材積に関する最大密度線——吉良ら⁴⁾によれば、樹種の特性を示すものとして、“林分密度の特性曲線”の名を与えており、本報告では以後“特性曲線”と呼ぶことにする——は、ある一定の立木密度に関し林分が保有しうる最大の幹材積、あるいは一定の幹材積に関して林分が保持しうる最高の立木密度限界を表わすものであるから、現実の林分の保育がどれくらいの立木密度で行なわれているかを検討するために特性曲線は不可欠なものである。

また Fig. 1 は日本各地のいろいろな立地の、いろいろな取り扱いをされてきたいろいろな林齢の林分が混合して示されているが、もつとも点の密集しているあたりを通つて特性曲線とほぼ平行の曲線が得られる。これは平均管理曲線⁴⁾と呼ばれ、平均的な本数管理を示すものと考えられる。

林野庁の日本各地の収穫表⁸⁾の立木密度と平均幹材積の関係を同じような図にしてみると、その本数管理経路はいずれも特性曲線とほぼ平行に示され、立地差もあまり顕著なものでないようである。

2. 等 平 均 樹 高 線

Fig. 1 には、四手井¹²⁾の行なつたように、平均樹高 2 m ごとに点をうちかえた。これは立木密度によつて影響をうけることがすくなく、かつ林齢や立地を総合的に表現しうるものとして平均樹高を用いて、その林分の生育段階あるいは林齢にとらわれない林分の大きさをあらわそうとするものである。地位、林齢、その他の生育条件が違つても、同一平均樹高をもつ林分は、密度効果検討上、相対的な林分の大きさをあらわすうえにおいて同一生育段階と解釈するわけである。同一平均樹高を同一生育段階と考えると、同一平均樹高における立木密度と平均幹材積の関係は、競争密度効果式によつて表現でき、立木密度が高いほど平均幹材積は小さい。ここでは競争密度効果の逆数式をあてはめた。

同一生育段階の平均個体重 (w) と単位面積あたりの個体数 (ρ) との関係を KIRA ら⁵⁾は

$$w = k\rho^{-a} \dots\dots\dots (5)$$

で示した。 k , a は生育段階ごとに異なる常数で、 a は 0 から 1 まで変化するが、密度効果のあらわれない低密度区では $a=0$ で

$$w = k' \dots\dots\dots (5')$$

となり、同一生育段階でも密度効果は (5) 式の競争現象のあらわれる範囲と、(5') 式の競争現象のあらわれない範囲に分かれる。

(5), (5') 式は経験的に求められたもので競争密度効果の冪乗式と呼ばれているが、その後 w の成長が一般 logistic 曲線であらわされることなどを前提として w と ρ の関係が

$$\frac{1}{w} = A\rho + B \dots\dots\dots (6)$$

で示されることが SHINOZAKI ら¹³⁾によつて理論的に導かれた。 A , B は生育段階によつて決まる常数で、逆数式と呼ばれるこの式によつて、無競争密度までを含めて 1 本の曲線で示すことができる。

3/2 乗則線の場合と同様に w の代わりに平均幹材積 (v) を用いてもほぼ似た関係が (5) (6) 式について成立するが*、ここでは、無競争状態を考えに入れて逆数式を用いた。したがつて Fig. 1 に示した等平

* w と v で全く同じ関係にはならない。たとえば (5) 式の場合 v では収量一定 ($a=1$ の状態) にはならないようである。

均樹高線はそれぞれ

$$\frac{1}{v} = A\rho + B \quad \dots\dots\dots (7)$$

で示されるわけである。A, B は平均樹高によって変化する常数となるが、その具体的な値の決定は次のようにして行なつた。図上に暫定的に引いた、それぞれの平均樹高についての逆数式曲線と特性曲線との交点の v 、あるいはある一定の ρ に対する v と、平均樹高との間の関係を対数関数として、特性曲線上の、またはある一定の ρ に対する v を求めた。これらの点を組み合わせることによつて常数は決まる*。

こうして決めた等平均樹高線の適合度は、平均樹高が大きくなるほど、特に平均樹高 20 m を越すと悪くなるようである。これは図中の各点を示すそれぞれの林分の過去の取り扱いが異なっていることや、樹高成長が悪くなつてくることなどが原因していると考えられる。

3. 幹材積生産予測の計算方法

上述のようにして、特性曲線と、競争密度効果線とみなした等平均樹高線とを組み合わせることによつて、林分のあらゆる立木密度に対する幹材成長の模式図を、地位、林齢を考えに入れずに描くことができる。つまり、平均樹高をもつて地位、林齢をあわせ表現しているわけで、それぞれの等平均樹高線に到達する年齢の大小は地位の上下を示している。逆に、特定の地位における林齢と平均樹高の関係を知れば、等平均樹高線は林齢におきかえられ、Fig. 1 は、ある地位におけるあらゆる立木密度を含んだ逐年の平均的な成長過程の模式図になる。

いま ha あたり幹材積合計を V とすると

$$V = v\rho \quad \dots\dots\dots (8)$$

であるから (7) 式を書きあらためると、

$$V = \rho / (A\rho + B) \quad \dots\dots\dots (9)$$

となり、等平均樹高線の常数 A, B を知れば、林分の現存幹材積 V は ρ から計算で簡単に求められる。

Fig. 2 には、林分中の幹材積の小なるものから順に除いた場合の、残存木の ρ と v の関係を示したが、この場合の $\rho \sim v$ 関係は、密度効果の逆数式——ここでは等平均樹高線上の変化となる。間伐によつては、小径木から伐られるのが普通であるから、Fig. 2 のような現象は間伐前後 $\rho \sim v$ 関係を同一等平均樹高線上の変化と解釈して解析しうる可能性を示している。

この関係は、厳密に小個体から除かなくても、一般に間伐で行なわれている程度の除きかたでも、大体において成立するようで、現実の間伐経過を検討してみると現行の B 種間伐でも C 種間伐でも、傾向としてはほぼ満足されるようである。また、この現象は植物群落の個体重の出現頻度が時間の経過とともに L 型分布化するということから、理論的にも証明できるようである (篠崎・穂積、未発表)。

上述のような関係を応用すると間伐収穫も計算できる。いま平均樹高 h_x m で間伐が行なわれ、立木密度が $\rho_1 \rightarrow \rho_2$ 、林分の材積が $V_1 \rightarrow V_2$ に変化したとし、 h_x のときの等平均樹高線の常数が A_x, B_x であるとする (9) 式から

* 常数 A, B は次のようにするとさらに簡単に求められる¹⁴⁾。逆数式曲線の B-pt. (Base point)——曲線の両対数軸上の切線勾配は 0→1 に変化するが、その勾配の 1/2 になる点——を求め、その点の座標を (ρ_B, v_B) とすると、

$$A = \frac{1}{2v_B\rho_B}, \quad B = \frac{1}{2v_B}$$

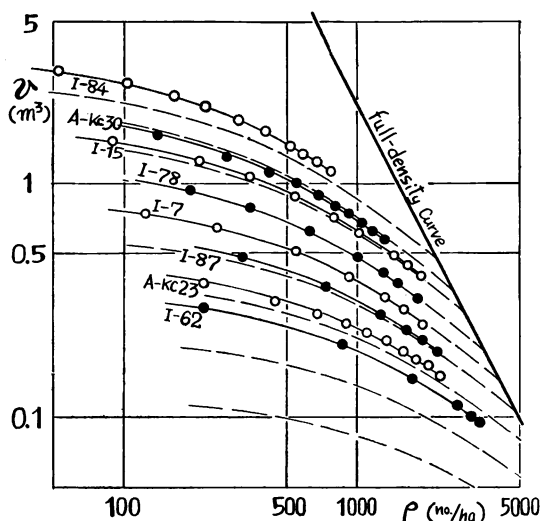


Fig. 2 小個体から順に除去した場合の残存木の立木密度 (ρ) と平均幹材積 (v) の関係

The changes of the relation between stand density (ρ) and mean stem volume (v) of remained trees in the cases of removing in order of smaller individual. The $\rho \sim v$ relations vary on the same C-D (competition-density) curve based on the reciprocal equation. This phenomenon may be proved from the fact that the frequency curve of stem volume is apt to form L-shaped distribution (SHINOZAKI et al. unpublished).

I: 茨木地方スギ, Stands of *Cryptomeria j.* in IBARAKI district⁸⁾.

A: 天城地方スギ, Stands of *Cryptomeria j.* in AMAGI district⁸⁾.

$$V_1 = \rho_1 / (A_x \rho_1 + B_x) \dots\dots\dots (9')$$

$$V_2 = \rho_2 / (A_x \rho_2 + B_x) \dots\dots\dots (9'')$$

となり、間伐収穫 V_t は

$$V_t = V_1 - V_2 \dots\dots\dots (10)$$

で示されるわけである。

以上のようにして、それぞれの時点の間伐前後および主伐時の立木密度が示されると、平均樹高を媒介として主間伐合計材積の概略は計算によつて求めるのである。

4. 今市スギ保育形式比較試験地の収穫予測¹⁷⁾

収穫予測の実例として、今市スギ保育形式試験地をとりあげてみた。植栽本数、間伐の開始時期、間伐後に残すべき立木本数、間伐の繰返し期間、主伐の時期と伐期残存本数のちがいによる各種の施業方針を保育形式と呼ぶ⁹⁾が、保育形式比較試験とは、同じ場所で、いくつかの異なつた保育形式のもとに林分を育てて、伐期までにどのような材が、どのくらい生産されるかを比べることを目的として、林野庁の委託により林業試験場の企画設計にもとづいて全国的規模で着手された試験である。

今市試験地は 前橋営林局管内今市営林署部内にスギを用いて 1961 年 4 月に 設定されたが、その設定内容は設定担当の安藤技官¹⁾によつて報告されている。試験設計を転載すると Table 2 のようになる。

Table 2. 今市保育形式試験地試験設計（安藤¹⁾より転載）

Schedules of stand density control at IMAICHI experimental plot.

	植付本数 Planting number (No./ha)	伐期本数 Main crop number (No./ha)	間伐開始年 Age of the first thinning (年 yr.)	間伐回数 Thinning times	間伐率 Thinning ratio (%)
A'	1,500	無 間 伐 Non-thinning			
A	3,000	無 間 伐 Non-thinning			
B ₁		1,100	14	3	27
B ₂		1,100	21	2	37
C ₁		1,700	14	3	16
C ₂		1,700	21	2	20
D	6,000	無 間 伐 Non-thinning			
E ₁		1,100	14	3	40
E ₂		1,100	21	2	51
F ₁		1,700	14	3	30
F ₂		1,700	21	2	39
G	10,000	無 間 伐 Non-thinning			
H		1,100	14	3	47
I		1,700	14	3	39

注：伐期；35 年

Remark: Final cutting; 35 years old

Expected mean height: 14 years old → 8 m

21 years old → 11 m

28 years old → 14 m

35 years old → 17 m

該当試験地の $\rho \sim v$ 模式図を作るために、林野庁収穫表調製業務研究資料⁸⁾第 14 号、北関東、阿武隈地方スギ林分収穫表調製説明書の標準地データを用いて $\rho \sim v$ 関係図を描くと Fig. 3 のようになる。

図の示す意味は Fig. 1 のとおりであるが、この図では該当地方のデータのみで描いた。また、その特性曲線は、Table 1 に示したとおりの全国スギ一般について求めたものを用いた。

設定報告によると、この試験地の地位は中位であり、14, 21, 28 年生のとき測定あるいは間伐が行なわれ、35 年生で主伐することに設計されている。そこで、地位中の場合の 14, 21, 28, 35 年生の平均樹高を Fig. 3 に用いたものと同じ資料を用いて検討すると、それぞれの林齢について、平均樹高は 8, 11, 14, 17 m 程度が予測されるから、Fig. 3 からこの試験地に必要な部分だけを取りだして Fig. 4 のような模式図を描いた。

図には Table 2 に示した 14 とおりの保育形式モデルのうち、4 種の無間伐と B₁, F₁ の計 6 種のモデル例をあわせて示した。

この図にはいくつかの仮定が含まれている。まず自然枯死による本数減少経過であるが、自然枯死は前述の特性曲線の上でのみ起こる現象でないことはいうまでもなく、Fig. 4 の D や G モデルの場合に示したような特性曲線に接する曲線で示されるようである。この自然枯死経過についてはまだよくわかっていないが、逆数式、すなわち (7) 式の曲線型とは同型で v 軸と、 ρ 軸を交換した型、すなわち

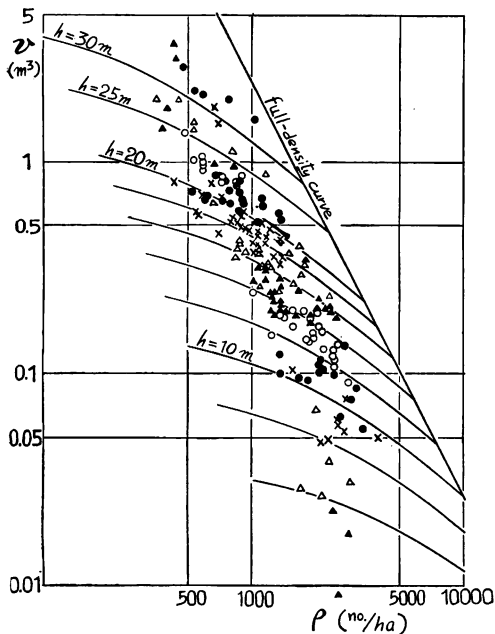


Fig. 3 北関東阿武隈地方スギ林の立木密度 (ρ) と平均幹材積 (v) の関係における特性曲線と等平均樹高線

The full-density curve and equivalent-height curves on the relation between stand density (ρ) and mean stem volume (v) of *Cryptomeria japonica* in KITAKANTO-ABUKUMA district. —See the explanations of Fig. 1. The full-density curve was the same as shown in Table 1.

$$\frac{1}{\rho} = Av + B \quad \dots\dots\dots (11)$$

で表わされるようである*。いま筆者ら¹⁹⁾のアカマツ模型間伐試験や SPURR ら¹⁵⁾の *Pinus strobus* の間伐試験の無間伐区のデータを用いて、自然枯死経過の $\rho \sim v$ 関係を図にすると Fig. 5 となり、(11) 式の関係がほぼ満足されていることがわかる。

つぎに、間伐木は幹材積の小さい個体から順次所定本数だけ選ばれるものとし、間伐の前後を通じて $\rho \sim v$ 関係は Fig. 2 に示したような同一逆数式——ここでは同一等平均樹高線上の変化と仮定する。小個体から順に除けば、平均樹高は当然大きくなるはずであるが、ここで用いている等平均樹高線は、林齢の代用であるから、平均樹高の変化は問題としない。

以上のような仮定と、Table 2 のそれぞれのモデルについて植栽本数と伐期本数、間伐開始年と間伐回数を基礎として、毎回の間伐率が一定となるよう各年齢における間伐前後の本数を決めた。Table 2 とは間伐率、伐期本数でごくわずかの差を生じたが、問題とするほどのものではない。

* SHINOZAKI ら¹⁴⁾の C—D 曲線の第VI型である。

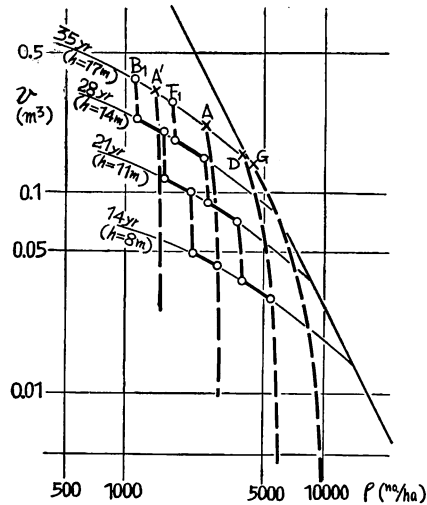
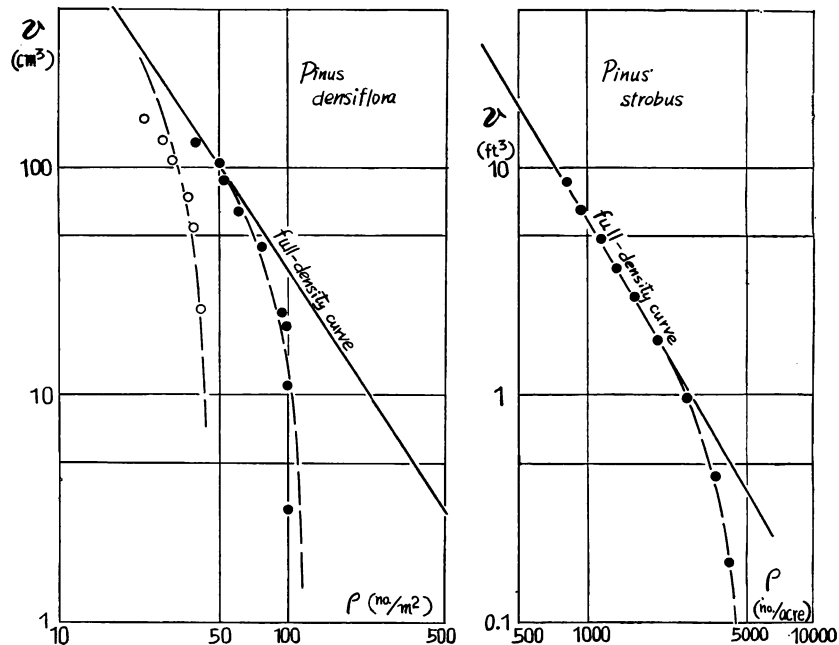


Fig. 4 今市保育形式試験地の $\rho \sim v$ 模式図と本数管理経路の数例

The $\rho \sim v$ diagram and courses of several models at IMAICHI stand density control experiment plot. This diagram was the necessary part excerpted from Fig. 3, according to the design of experiment shown in the Table 2. Broken lined parts show the $\rho \sim v$ relations caused by natural thinning.—rf. Fig. 5.

Fig. 5 $\rho \sim v$ 関係における自然間引経路の例

The examples of natural thinning on the relation between stand density (ρ) and mean stem volume (v) in artificially unthinned stands. The left picture shows $\rho \sim v$ relations on young stands of *Pinus densiflora*¹⁹⁾ and the right one on *Pinus strobus*¹⁵⁾. The solid lines express the full-density curves explained in Fig. 1. The broken lines show the changes of $\rho \sim v$ relations before reaching to the full-density curve. It seems that the broken lined parts are given by following equation.

$$\frac{1}{\rho} = Av + B \dots\dots\dots (11)$$

where A and B are constants and are decided so that the curve may osculate the full-density curve (Type VI of C-D curve by SHINOZAKI et al.¹⁴⁾).

このような設計のもとに、幹材積収穫を 14 のモデルについて第 3 章で述べたとおりの計算によつて推定した結果、Table 3 のような収穫予測となつた。

この結果からは、次のように考えることができる。

1. 伐期幹材積は、伐期における立木密度が高いほど大きい。
2. したがつて 無間伐の 4 モデルでは、植栽本数が多いほど、伐期本数も多く、伐期材積は大きくなる。ただし、伐期に特性曲線に到達しているならば、植栽本数にかかわらず伐期の立木本数も材積も等しくなる。
3. このモデル計算に用いた設計の範囲においては、同一植栽本数では、無間伐のモデルが伐期材積においても、間伐を行なつたモデルの主間伐合計と比較しても材積は多くなる。
4. 同一植栽本数、同一主伐本数でも、間伐開始がおそい方が主間伐合計材積は大きくなる。
5. 同一植栽本数、同一間伐回数では、伐期本数が多いほど主間伐合計は大きい。

Table 3. 今市保育形式試験地収穫予測 (試験設計は第2表参照)

Pre-estimations of stem volume yields at IMAICHI experimental plot

(Schedules of stand density control are shown in Table 2).

		間伐 Thinnings				主伐 Main crop	合計 Total yield
		14 (年, yr.)	21 (年, yr.)	28 (年, yr.)	計 Sum		
数 Number of trees (No./ha)	A'	—	—	—	—	1,400	1,400
	A	—	—	—	—	2,460	2,460
	B ₁	750	550	400	1,700	1,100	2,800
	B ₂	—	1,000	620	1,620	1,090	2,710
	C ₁	380	320	270	970	1,720	2,690
	C ₂	—	530	410	940	1,700	2,640
	D	—	—	—	—	3,820	3,820
	E ₁	2,110	1,220	720	4,050	1,100	5,150
	E ₂	—	2,530	1,180	3,710	1,110	4,820
	F ₁	1,570	1,040	700	3,310	1,680	4,990
	F ₂	—	1,880	1,080	2,960	1,720	4,680
	G	—	—	—	—	4,210	4,210
	H	3,850	1,900	970	6,720	1,080	7,800
	I	3,030	1,760	1,030	5,820	1,710	7,530
材積 Stem volume (m ³ /ha)	A'	—	—	—	—	445	445
	A	—	—	—	—	529	529
	B ₁	17	27	40	84	405	489
	B ₂	—	39	57	96	403	499
	C ₁	8	12	17	37	478	515
	C ₂	—	18	25	43	476	519
	D	—	—	—	—	581	581
	E ₁	26	42	64	132	405	537
	E ₂	—	55	89	144	406	560
	F ₁	17	28	40	85	475	560
	F ₂	—	35	55	90	478	568
	G	—	—	—	—	590	590
	H	29	52	80	161	402	563
	I	20	34	53	107	477	584

6. 同一伐期本数, 同一間伐回数では植栽本数が多いほど主間伐合計は大きい。

7. しかしながら, この試験設計の範囲では, 植栽本数を一定にすれば, その主間伐合計の各モデルの差は 10% 以内の差であつて, 間伐の経路にはあまり大きな影響をうけないといえる。

以上を要するに, 特性曲線に近づけて本数管理が行なわれるほど, 伐期材積, 主間伐合計材積とも多くなる傾向があるといえるようである。しかし, その傾向は決して著しいものではなく, ごく概括的にいうならば, 極端な疎植や強間伐が行なわれないかぎり, 主間伐合計量は本数管理経路によつてあまり影響をうけないといえる。

もちろん、極端に特性曲線に近づけて、頻繁に間伐すれば、主間伐合計材積は無間伐の伐期材積より上まわるであろうことは想像にかたくない。つまり、高立木密度で弱間伐をくり返すことによって、特性曲線上での枯死による損失を抑制し、損失量となるべき量のいくらかを間伐量として計上するのである。しかし、この差もごくわずかなものであると考えられる。

5. 九州地方スギ林の収穫予測

林野庁収穫表調製業務研究資料⁸⁾第11号、熊本地方スギ林分収穫表調製説明書の標準地データ（品種はメアサ）と、昭和36年度熊本営林局造林技術推進協議会の林分調査データおよび九州支場造林研究室の過去の調査を基礎として、Fig. 1, 3のような $\rho \sim v$ の関係を九州地方のスギについて描くと、Fig. 6 となる。

図中の特性曲線は Table 1 に示した全国スギ一般のものを用いた。

九州地方では、スギの品種の分化が進んでいて、この図中にもメアサ、ヤブクグリ、アヤスギ、ホンスギ、アカ、キウラ、ヒノデ、ヤイチ、ナガエダ、キジン、ヤマグチ、トヤマなどの品種が含まれている。しかし、この現実林分調査資料からは、低立木密度管理の既肥地方のアカが、図の低密度寄りにやや偏るのを除くと、品種による差はほとんど認められない。この図には、林齢の概念が除かれているから、品種ごとの成長の遅速も、もちろん表現されていない。したがって、 $\rho \sim v$ の関係について、全品種を総合して検討しうる可能性を示している。

等平均樹高線の決め方は、既述のとおりであるが、ここでは等平均樹高線は、地位、林齢のほか、に品種までをあわせて表現しているものと理解したい。

そこで、Fig. 6 と同じ資料を用いて、品種ごとに林齢と平均樹高の関係を図に描き、同一林齢に対する平均樹高の分散を3等分して一応の地位区分を行なつたところ、上述の品種は3グループ程度に類別できることがわかつた。これについて詳しくは別に報告される予定であるが、いま地位“上”の場合について、3つの品種グループの林齢と平均樹高を図にすると Fig. 7 のようになる。こ

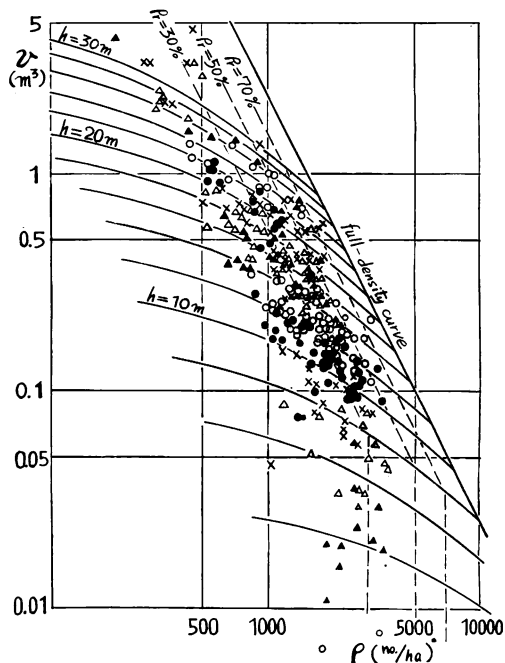


Fig. 6 九州地方スギ林の $\rho \sim v$ 関係における特性曲線と等平均樹高線

The full-density curve and equivalent-height curves on the $\rho \sim v$ relation of *Cryptomeria japonica* in KYUSHU district.—See the explanations of Fig. 1. The full-density curve was the same as shown in Table 1. The broken lines express the management base lines of density control models.

	(planting-density)	management base line
model I	3,000/ha	30%
model II	5,000/ha	50%
model III	7,000/ha	70%

The management base lines show with relative density (ρ_r) which is defined the ratio of a stand density to the full-density read on the same equivalent-height curve.

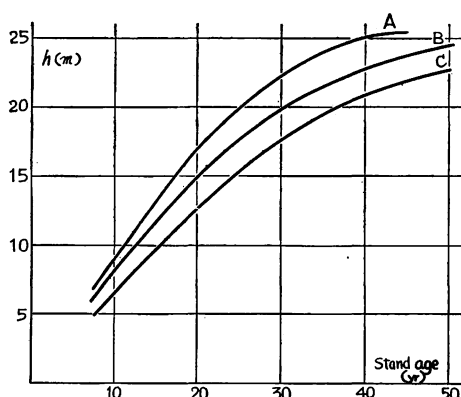


Fig. 7 九州地方スギ品種別の林齢と平均樹高 (h) の関係 (地位上の場合)

Aグループ: ヤブクグリ, (ウラセバル, クモトオシ, ヒノデ, キウラ, ヤイチ)

Bグループ: アヤスギ, ホンスギ, アカ, (ナガエダ, キジン, ヤマガチ, トヤマ)

Cグループ: メアサ

The relations between stand age and mean height (h) on each cultivar-group of *Cryptomeria japonica* in KYUSHU district (the best site). In KYUSHU district, there are many cultivars of *Cryptomeria j.*, but they may be divided into three groups from the viewpoint of height growth.

A group: Yabukuguri (Urasebaru, Kumotooshi, Hinode, Kiura, Yaichi)

B group: Ayasugi, Honsugi, Aka (Nagaeda, Kijin, Yamaguchi, Toyama)

C group: Measa (): scarce date

も年齢が無視されているため、ほとんど認められない。

そこで相対密度 30%, 50%, 70% 沿いの本数管理で、植栽本数がそれぞれ ha あたり 3,000 本, 5,000 本, 7,000 本の 3 モデルを考えた。このモデルの本数管理は、Fig. 6 に破線で示したような経過となる。

次に、間伐は平均樹高 8m のときに開始し、以後平均樹高 2m 成長ごとに行なうものとした。等平均樹高線と、管理曲線 (図の破線) の交点の立木本数が主副林木合計本数で示され、次の平均樹高 2m 増加のときの管理曲線上の立木密度が主林木本数ということにする。したがって、その差が副林木ということになる。

以上のようにして、モデルごとに各等平均樹高線上の主副、主、副林木本数を決め、前述の計算方法によつて材積を計算した。なお、この計算は平均樹高 22m までについて行ない、本数減少は設計どおりの間伐によるもののみとし、枯損は全く考えにいていない。こうして Table 4 のような収穫予測表ができる。

なお、表には Fig. 7 の関係から、それぞれの平均樹高に達するのに必要な年数を品種グループごとに地位“上”の場合についてのみつけ加えた。この欄は一応の目安として示したものであるが、地域により、地

のような手段によつて、Fig. 6 の等平均樹高線は、ある地位における、ある品種の林齢としてみる事ができる。

さて、 $\rho \sim v$ の関係において、図中のある点の立木密度と、その点と同一等平均樹高線の特性曲線上の密度との比、換言すればある林分の密度と、その林分と同一平均樹高をもつ十分な密度 (full-density) の林分の密度との比を百分率であらわしたものを相対密度 (ρ_r) と呼ぶとすると、それぞれの等平均樹高線上のある一定の相対密度の点を結ぶことによつて、いつも特性曲線に対してある一定の密度、すなわち、十分な密度に比べて常に一定の密度を保っている線が求められる。

林分の保育は、一般に特性曲線よりかなり低い密度で行なわれていることは Fig. 1 から明らかであるが、疎にすぎず、また極端に密にならぬような本数管理が望ましい。したがって十分な密度に対して、常にある一定の密度で管理する基準が示されると便利であるが、その意味で相対密度の一定な線を決めておき、その線沿いに本数管理をすることは有効な手段といえよう。

現行の収穫表を $\rho \sim v$ の関係になおして検討してみると、ほとんどのものが相対密度一定の線に近い本数管理になつていて、また、地位による差

Table 4. 九州地方スギ樹高変数暫定収穫表

The tentative yield tables of *Cryptomeria japonica* in KYUSHU district, respected the mean height as the variable.

	Model I							Model II							Model III							林 齢 Stand age (yr.) (地 位 上) (The best site.)		
ρ_0	3,000							5,000							7,000									
ρ_r	30							50							70									
h	M+T		M		T		Y	M+T		M		T		Y	M+T		M		T		Y	A	B	C
	ρ	V	ρ	V	ρ	V		ρ	V	ρ	V	ρ	V		ρ	V	ρ	V	ρ	V				
8	3000	193	2259	173	741	20	193	5000	225	3765	208	1235	17	225	7000	242	5271	228	1729	14	242	9	10	13
10	2259	258	1768	234	491	24	278	3765	302	2947	282	818	20	319	5271	326	4126	309	1145	17	340	11	13	16
12	1768	323	1442	298	326	25	367	2947	379	2403	358	544	21	416	4126	410	3364	392	762	18	441	14	15	19
14	1442	390	1188	361	254	29	459	2403	458	1981	434	422	24	516	3364	495	2773	475	591	20	544	16	18	22
16	1188	464	1033	439	155	25	562	1981	548	1721	527	260	21	630	2773	594	2409	576	364	18	663	19	22	26
18	1033	534	890	504	143	30	657	1721	627	1484	602	237	25	730	2409	677	2078	656	331	21	764	22	26	31
20	890	612	782	582	108	30	765	1484	720	1304	695	180	25	848	2078	779	1826	758	252	21	887	25	30	37
22	782	693	698	663	84	30	876	1304	816	1163	790	141	26	969	1826	883	1628	861	198	22	1012	29	37	45
摘要 Note	奥地長伐期用 For inaccessible forests, long rotation.							一 般 用 For general use.							里山短伐期用 For accessible forests, short rotation.							A. B. C: 品種グループ (Fig. 7 参照) Cultivar-group (cf. Fig. 7)		

ρ_0 : 植栽本数 Planting number (No./ha)
 ρ_r : 相対密度 Relative density (%)
 h : 平均樹高 Mean height (m)
M: 主 林 木 Main crops
T: 副 林 木 Thinnings

M+T: 主副林木合計 Total standing crop
 ρ : 立木本数 Tree number (No./ha)
V: 幹 材 積 Stem volume (m^3/ha)
Y: 総収穫量 Total stem yield (m^3/ha)

競争密度効果を基にした幹材積収穫予測 (只木)

位により、あるいは品種によつて、平均樹高と林齢の関係が変われば、この欄だけを書きあらためて、該当林地の収穫表とすることができる。

この表を検討すると、平均樹高 22m でモデルⅠとモデルⅢでは、本数が 130% 増で総収穫量 15% 増ということになる。また、モデルⅠの平均樹高 22m と、モデルⅢの 20m における総収穫量はほぼ等しいから、この段階でいうならば、A グループの品種を用いれば 4 年、C グループの品種ならば 8 年の伐期短縮が、密植高密度管理で実現しうる可能性を示している。さらに、A グループの品種でモデルⅢの管理を行なつた場合、25 年で得られる総収穫量をあげるのに、C グループの品種でモデルⅠの管理を行なうとすると 45 年必要となるわけである。

ただし、ここで注意すべきは、検討している資料が、いわゆる立木全幹材積であつて利用材積でないということである。高密度管理になると、平均幹材積は小になり、間伐木の径級も下がることを考えに入れなければならない。

モデルⅠの管理は、現行の熊本地方スギの収穫表に近いものであるが、モデルⅡにくらべるとその収穫量はかなり劣っている。モデルⅡとモデルⅢとでは収穫量にはあまり大きな差はないが、Ⅱの方が立木密度が低いために単木材積が大きい利点を考えにいれ、なるべく単位面積あたりの材積を大きく、またなるべく単木材積も大きいのが、一般的にいつて望ましい収穫の状態であるから、この 3 つのモデルのうちでは、モデルⅡがその目的に近いものといえよう*。したがつて、モデルⅡを一般用とすると、モデルⅠは長伐期を前提として奥山用、モデルⅢは全幹利用可能な里山用の収穫表ということができるかもしれない。

6. 合理的短期育成技術の確立に関する試験・九州地方スギ収穫予測

昭和 37 年度から、標記のような試験が林野庁・林業試験場の共同で実施されている。

この試験は、伐期の合理的な短縮を目標として、早生樹品種を地位条件の良好なところで用い、機械による植穴掘り、施肥を行なうもので、九州地方ではスギについて、クモトオシ、ヤブクグリ、ウラセバル、アカ、キジン、ハライガワの 6 品種を用いることになつている。植栽本数は ha あたり 2,500 本、5,000 本の 2 とおとし、伐期は 30 年と決められているので、これに従つた具体的な本数管理案を前述のような方法を用いて試作してみた。

まず 6 品種のうち、クモトオシ、ヤブクグリ、ウラセバルの 3 品種は、Fig. 7 の A グループに、アカ、キジン、ハライガワの 3 品種は B グループに入ることが予想され、また地位の良好なところで施肥を行なうことを考え、林齢と平均樹高の関係は Table 4 の A、B グループのものをそのまま用いた。伐期 30 年で A グループでは平均樹高 22m、B グループでは 20m が予想される。

つぎに、本数管理基準線は Table 4 モデルⅡのと通りの相対密度 50% を使用、間断年数は樹高成長 2m ごとでは 2~3 年ごとになり、毎回の間伐収穫もわずかになるので、5,000 本区では平均樹高 8, 12, 16m のときの計 3 回、2,500 本区では 14m のとき 1 回とし、伐期本数は両者とも同じになるように考えた。また、自然枯死については前述の (11) 式の関係を用いた。以上の関係を $\rho \sim v$ 模式図で示すと Fig. 8 のようになる。なお、この図の作製基礎資料は Fig. 6 のものと同様である。その本数管理経過と、予測計算によつて求めた幹材積を表にして示すと Table 5 となる。

* 類似の予測計算法によつて種々の間伐モデルを想定して間伐と総収穫の関係を検討したが（京大演報, 34, 1963）, 単位面積あたり、単木あたりの量を勘案して、相対密度 50% 管理程度がよいようである。

Fig. 8 $\rho \sim v$ 関係図を用いた本数管理案作製の例（九州地方スギ6品種）

The examples of arranging the schedules of stand density control with $\rho \sim v$ diagram. In KYUSHU district, planting densities (ρ_0 : 2,500, 5,000/ha) and the age of final cutting (30 years old, A and B cultivar-groups are expected 22 m and 20 m in mean height respectively at the best site) were planned with six cultivars of *Cryptomeria japonica*. Then, the schedules of stand density control were arranged as the diagram to produce greater stem volume per ha in greater individual size as much as possible.—rf. Table 5.

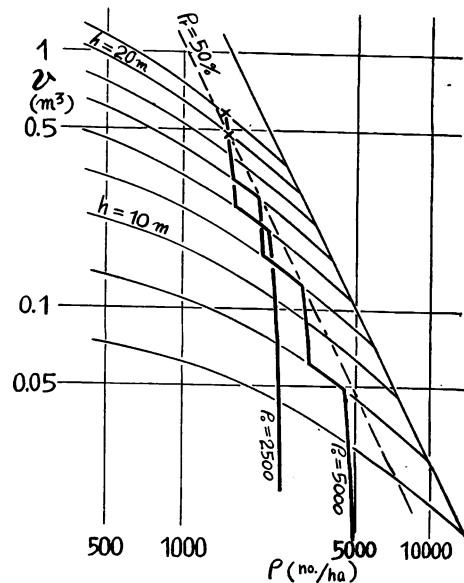


Table 5. “合理的短期育成技術の確立に関する試験”九州地方スギ林本数管理案

The tentative plans of schedules of stand density control, when the planting density and the age of final cutting were planned with *Cryptomeria japonica* in KYUSHU district.

平均樹高 Mean height (m)	$\rho_0=5,000$						$\rho_0=2,500$						林 齡 Stand age (yr.) 地位上 The best site	
	間 伐 前 Pre-thinning		間 伐 量 Thinnings		間 伐 後 Post-thinning		間 伐 前 Pre-thinning		間 伐 量 Thinnings		間 伐 後 Post-thinning		A	B
	ρ	V	ρ	V	ρ	V	ρ	V	ρ	V	ρ	V		
8	4550	219	1350	22	3200	197	2400	177					9	10
10	3100	286					2300	260					11	13
12	2950	379	900	39	2050	340	2250	351					14	15
14	2020	436					2200	447	620	44	1580	403	16	18
16	1980	548	440	39	1540	509	1540	509					19	22
18	1510	605					1510	605					22	26
20	1480	720					1480	720					25	30
22	1430	835					1430	835					29	

ρ_0 : 植栽本数 Planting number (No./ha)

ρ : 立木本数 Tree number (No./ha)

V: 幹材積 Stem volume (m^3/ha)

A: 品種グループ, クモトオシ・ヤブクグリ・ウラセバル。
Cultivar-group, Kumotooshi • Yabukuguri • Urasebaru.

B: 品種グループ, アカ・キジン・ハライガワ。
Cultivar-group, Aka • Kijin • Haraigawa.

あ と が き

収穫の予測ということは、非常にむずかしいことだと思われる。林地においては、その樹品種のもつ内的要因、環境その他の外的要因が複雑に絡みあつていて、必ずしも予測どおりにはならないものであろう。

しかし、ここでは現在までにわかっている範囲での立木密度と幹材生産の法則性を用いて、立木密度問題として幹材収穫を理解して、ごく概括的に収穫予測を行なう方法を提示してみた。ただし、現在のところでは幹材積という面のみでの予測であつて、材の品質その他を数字で表示するには資料が不足している。

この方法では、一応あらゆる立木密度のあらゆる生育段階を表示することができ、本数管理計画にしたがつた収穫予測はもちろん、具体的な本数管理の設計が行なえる。また、収穫表調製の手段としても十分利用できるものと思われる。

ただ、地位、林齢、さらには品種までも、平均樹高によつて表現せしめることには今後もうすこしその妥当性を検討する必要があるかもしれない。

平均樹高は立木密度によつて影響をうけることがすくないといわれているから、立木密度問題として検討されるこの予測法においては、平均樹高をもつて生育段階をあらわすことは決して誤りではなからう。また、林分の保持すべき本数は、決して林齢によつて決めるべきものではなく、その林分内の樹体の大きさに応じて定められるべきであるから、平均樹高をもつて林分が保持すべき本数を決め、間伐の基準とするのは妥当なことである。

もちろん、ここに提示した予測計算法は、今後なお検討を加えて改革しなければならないものである。とくに、本数管理の基準となるべき特性曲線がまだ暫定的なものであり、また特性曲線に至るまでの自然枯死の起こり方も確認するには資料が不足している。これらの確定のための研究も促進しなければならないが、現在の段階で判明している法則性を用いて、立木密度の問題として収穫予測計算法を提示したしいである。

要 約

吉良らの競争密度効果式は、草本植物を用いて見いだされたが、その後の研究によりこの法則性は、木本植物、あるいは木本植物の幹材積にも、ほぼ似た関係が成立することがわかつたので、この競争密度効果式を用いる林分の材積収穫予測法の試案を示した。

ある一定の平均幹材積の林分が保持しうる最大密度を結んだ線——特性曲線と、同一生育段階を表現せしめる等平均樹高線群とを組み合わせることによつて、あらゆる生育段階を含んだ立木密度と平均幹材積の模式図ができ上がる (Fig. 1)。

等平均樹高線は密度効果の逆数式をあてはめたので、林分材積 V と立木本数 ρ の関係は

$$V = \rho / (A\rho + B)$$

で示され、常数 A, B を決めることによつて ρ から V の計算が可能である。

また、小個体から順に除く場合、その残存個体の平均幹材積と立木密度の関係が同一密度効果線上の変化となるので (Fig. 2)、ここでは間伐前後の平均幹材積と立木密度の関係を同一等平均樹高線上の変化とすれば、上記の式の ρ だけを変化させて、間伐前後および間伐によつて除かれる幹材積量が計算でき

る。このような方法で間伐時、主伐時について計算で幹材積を求めうる。

このような計算方法によつて、今市のスギ保育形式比較試験地の設計 (Table 2) にしたがつて、主間伐合計量を予測した (Fig. 3, 4, Table 3)。

次に九州地方スギについて同様の方法によつて、植栽本数と本数管理経路を変えた疎・中・密の3種の収穫予測表を平均樹高を変数にして試作した。この表では地位、林齢を2次的に考えた (Fig. 6, 7, Table 4)。

さらに短伐期モデル林造成に用いられる6品種のスギについて、その具体的な本数管理指針の試案と収穫予測を示した (Fig. 8, Table 5)。

文 献

- 1) 安藤 貴: スギ保育形式比較試験今市試験地設定報告, 山脈, 12, (1961) 7, p. 10~21.
- 2) COOPER, F. C.: Equations for the description of past growth in even-aged stands of Ponderosa pine. Forest Science, 7, (1961) p. 72~80.
- 3) FOILES, M. W.: Effect of thinning a 55-year-old Western white pine stand. Jour. Forestry, 54, (1956) p. 130~132.
- 4) 吉良竜夫(編): 密度・競争・生産, みやま, (1957) 8, p. 13~24, 9, p. 9~18, 11・12, p. 34~45.
- 5) KIRA, T., H. OGAWA and N. SAKAZAKI: Intraspecific competition among higher plants; I. Competition-yield-density interrelationship in regularly dispersed populations. Jour. Inst. Polytech. Osaka City Univ., D4, (1953) p. 1~16.
- 6) 帯広営林局: 帯広営林局内カラマツ林林分収穫予想表, (1957)
- 7) REINEKE, L. H.: Perfecting a stand-density index for even-aged forests. Jour. Agr. Res., 46, (1933) p. 622~638.
- 8) 林野庁・(林業試験場): 収穫表調製業務研究資料, 1~23, (1952~60)
- 9) 坂口勝美: 間伐の本質に関する研究, 林試報, 131, (1961) p. 1~95.
- 10) ———・土井恭次・安藤 貴・福田英比古: 本数密度からみたアカマツ天然生幼齢林の解析, 同上, 93, (1957) p. 1~25.
- 11) 佐藤大七郎・中村賢太郎・扇田正二: 林分生長論資料 1. 立木密度のちがう若いアカマツ林, 東大演報, 48, (1955) p. 65~90.
- 12) 四手井綱英: 林分密度の問題, 林業解説シリーズ, 86, (1956)
- 13) SHINOZAKI, K. and T. KIRA: Intraspecific competition among higher plants. VII. Logistic theory of the C-D effect. Jour. Inst. Polytech. Osaka City Univ., D7, (1956) p. 35~72.
- 14) ——— and ———: Ditto X. The C-D rule, its theory and practical uses. Jour. Biology, Osaka City Univ., 12, (1961) p. 69~82.
- 15) SPURR, S. H., L. J. YOUNG, B. V. BARNES and E. L. HUGHES: Nine successive thinning in a Michigan white pine plantation. Jour. Forestry, 55, (1957) p. 7~13.
- 16) STAHELIN, R.: Thinning even-aged Loblolly and Slash pine stand to specified density. Jour. Forestry, 47, (1949) p. 538~540.
- 17) 只木良也: 今市スギ保育形式比較試験地の収穫予想, 山脈, 12, (1961) 12, p. 6~15.
- 18) ———・尾方信夫・高木哲夫: 森林の生産構造に関する研究Ⅲ, コジイ幼齢林における現存量の推定と生産力についての若干の解析, 日林誌, 44, (1962) p. 350~359.
- 19) ———・四手井綱英: 林木の競争に関する研究Ⅲ, アカマツ幼樹を用いた小型林分での機械的な間伐試験, 同上, 44, (1962) p. 129~139.

- 20) ———・————・酒瀬川武五郎・荻野和彦：森林の生産構造に関する研究Ⅱ，シラカンバ幼齡林における現存量の推定と生産力についての若干の解析，同上，43，(1961) p. 19～26.
- 21) 四大学（北大・東大・京大・大阪市大）合同調査班：森林の生産力に関する研究Ⅰ，北海道主要針葉樹林について，(1960) 国策パルプ.

参考資料（未公表）

- 22) 白井一成：ヤチダモ林の生産構造の解析，京大林，学士論文，626，(1958)
- 23) 四大学（北大・東大・京大・大阪市大）合同調査班：北海道のカンバ属の林について——1959年調査資料.

The Pre-estimating of Stem Yield based on the Competition-Density Effect.

Yoshiya TADAKI

(Résumé)

The competition-density effect was found by KIRA et al.⁵⁾¹³⁾ with herbaceous plants, and possibilities of its application to woody plants has been recognized.

This being so, the author introduced the tentative plan of pre-estimating the stem volume yield in even-aged stands based on the rules of competition-density effect.

The full-density curve (natural thinning curve) on mean stem volume, which shows the upper limit of stand density in regard to arbitrary mean stem volume, is expressed by the following general equation.

$$v = k' \rho^{-a'}$$

where v and ρ denote the mean stem volume per tree and the stand density respectively. Both a' and k' are specific constants, the former usually taking the value $3/2 \sim 4/2$ (Table 1).

When growth factors other than stand density are equally supplied, after a certain period of growth, the relation between mean stem volume (v) and stand density (ρ) is given by the reciprocal equation of density effect.¹³⁾

$$v = 1/(A\rho + B)$$

where A and B are constants determined by the growth stage.

Here, assuming that the mean height of stand expresses the growth stage or conditions of stand, and that stands having uniform mean height are assumed on the same growth stage, equivalent-height curves on the $\rho \sim v$ relation expressed with the reciprocal equation can be employed in place of C-D (competition-density) curves.

Then, combining the full-density curve and equivalent-height curves, the diagram of stem volume related to stand density in all cases is made up (Fig. 1). And using this diagram, or in other words, under the rules of competition-density effect, stem volume of a stand having arbitrary mean height and stand density can be calculated.

As the relation between stand density and mean stem volume after thinning in the case of removing in the order of smaller individual varies on the same C-D curve based on the reciprocal equation (Fig. 2), stem volume of a stand after thinning can be calculated in some cases of removing arbitrary per cent of tree number in order of smaller stem volume.

Supposing that a stand is thinned at h_x m height, constants of the reciprocal equation are A_x and B_x at h_x m height, and stem volume and tree number are reduced $V_1 \rightarrow V_2$ per ha and

$\rho_1 \rightarrow \rho_2$ per *ha* by thinning, V_1 , V_2 and V_t (yield by thinning per *ha*) are shown by the following:

$$V_1 = \rho_1 / (A_x \rho_1 + B_x)$$

$$V_2 = \rho_2 / (A_x \rho_2 + B_x)$$

$$V_t = V_1 - V_2$$

Some examples using this method are presented below.

At IMAICHI stand density control experiment plot (north part of KANTO district), the experiment with Sugi (*Cryptomeria japonica*) was designed as Table 2. The $\rho \sim v$ relation in this district and $\rho \sim v$ diagram in this plot with the courses of density control on several models were shown in Fig. 3 and Fig. 4 respectively. The pre-estimates of stem volume yield with the method mentioned above are tabulated in Table 3.

The results were as follows: the yield in the final cutting was increased when the final stand density was higher: the total yield i. e. sum of final and intermediate (by thinning) yield was increased with fewer thinning times on the models of the same planting- and final-density, with higher final-density on the models of the same planting-density and thinning times, and with higher planting-density on the models of the same final-density and thinning times. But on the total yield, in the range of this design of experiment, differences among models having the same planting-density may be said to be less remarkable.

In KYUSHU district, $\rho \sim v$ relation of Sugi was shown in Fig. 6. On this diagram, three-coursed density control were settled, i. e. planting-density of 3,000, 5,000 and 7,000 per *ha* and management base line of 30, 50 and 70 per cent of relative density respectively, defined as the ratio of a stand density to the full-density read on the same equivalent-height curve. And according to the pre-estimating method mentioned above, yield tables of low, medium, and high density control were prepared, in which the mean height of stands was taken as the single variable, and the site, the stand age, and the cultivar were understood to be represented with the mean height (Table 4).

Moreover, when the planting-density and the age of final cutting are planned, using $\rho \sim v$ diagram, the schedule of stand density control can be decided beforehand. On six cultivars of Sugi in KYUSHU district, which were employed to make up model stand in a short cutting period, its tentative plans of stand density control and pre-estimates of stem yield were presented (Fig. 8, Table 5).

This pre-estimating method herein mentioned, can be applied not only for pre-estimating the stem yield, but also for arranging the schedule of density control numerically and preparing the yield table. It goes without saying that this method must be further discussed and improved in the future.