

競争密度効果式を用いて検討した 間伐と幹材積収穫との関係

—アカマツ林の場合—

只 木 良 也⁽¹⁾

吉良を中心とする研究グループ⁵⁾¹³⁾¹⁴⁾が、草本植物を用いて見いだした植物の生育密度と生産量についての法則性、いわゆる競争密度効果は、一般的かつ明快である。この法則性は木本植物の場合にも適合することは、佐藤¹⁰⁾のアカマツ人工林、坂口⁸⁾のアカマツ天然林などで認められ、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は、COOPER⁹⁾の Ponderosa pine 林、只木¹⁶⁾のアカマツ幼樹の小型林分、安藤²⁾のアカマツ天然林などで認められ、周²⁰⁾のスギ林をはじめ、いろいろな植栽密度試験の資料からも実証されているところである。

すでに四手井¹¹⁾は、この競争密度効果を林分の幹材積収穫を検討する上に重要な手段となる本数管理の問題と結びつけた考えを述べ、只木¹⁹⁾はいろいろな生育段階や立木密度を含めた幹材積収穫を予測する方法を試案として提示した。また只木¹⁷⁾はこの法則性を応用して、いろいろな間伐経路を想定した場合の主間伐合計幹材積を比較検討した。これらは競争密度効果の時間的経過を図示して、林分の立木密度と幹材積生産をあらゆる場合について表わそうとするものである。

今回は、ふたたびいろいろな間伐経過—坂口⁹⁾のいう保育形式—のモデルを想定してその幹材収穫を予測し、相互に比較した結果を報告する。前回のもの¹⁷⁾とは、枯損量を無視せず計算の中にとり入れた点と、供試例としてアカマツを用いた点で異なっている。

この報告作製にあたっては、林業試験場九州支場長甲斐原一朗博士、同支場造林研究室長尾方信夫技官からは種々の便宜を、京都大学教授四手井綱英博士、大阪市立大学教授吉良龍夫博士はじめその研究グループ各位からは、適切な指導や示唆をいただいた。ともに感謝するしだいである。

1. C-D 効果と 3/2 乗則

検討をすすめる上に必要な理論的根拠は、吉良⁵⁾⁶⁾¹³⁾¹⁴⁾の論文にゆだねることとし、ここでは最低限必要な法則性のみを概説する。

まず、生育密度だけが異なり、その他の生育条件、たとえば土地条件、生育段階などが均等である植物純群落においては、その平均個体重 (w) と生育密度 (ρ) ——単位面積あたりの個体数——との間には

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

という式が成り立つ¹³⁾。 A , B は生育段階によって異なる常数で、生育段階をあらわすものとして時間を用いると時間の函数となる。この式は C-D 効果 (競争密度効果, Competition-Density effect) の逆数

(1) 九州支場造林研究室員・農学博士

式 (reciprocal equation) と呼ばれており、競争、無競争の密度を全部含めて1本の曲線で示すことができる。また単位面積あたりの全個体重収量 (Y) は

$$\frac{1}{Y} = \frac{1}{w\rho} = A + \frac{B}{\rho} \dots\dots\dots (2)$$

で表わされる。

つぎに、上述の ρ 、つまり単位面積あたりの個体数の限界が問題になる。植物群落が成長することは、単位面積上の植物体の現存量の増加を意味するが、個々の植物体が大きくなるにしたがって、個体相互間の競争が激しくなり、その結果、劣勢個体が枯損し本数は減少する。したがって、 ρ には上限のあることが想像される。この上限は、植物種によってそれぞれの現存量に対して決っているものであって、吉良ら⁶⁾はこの上限を C-D 効果式と同様の w と ρ を用いて

$$w = k\rho^{-a} \dots\dots\dots (3)$$

であらわした。この式は立地条件や生育段階とは無関係であって、 k 、 a は植物種によって固有な常数である。 a は普通 $3/2$ に近い値をとるので (3) 式は $3/2$ 乗則と呼ばれている。

2. アカマツ林への適用

C-D 効果や $3/2$ 乗則をアカマツ林の幹材積のみの場合についてあてはめたのが Fig. 1 である。 w の代わりに平均幹材積 (v) を用いても、ほぼ同様の関係が成立することは、前述のごとくすでに認められているところである。

Fig. 1 は林野庁収穫表調製業務研究資料⁷⁾の標準地調査データを主体とし、これに河田ら⁹⁾、佐藤ら¹⁰⁾、坂口ら⁸⁾、安藤ら¹¹⁾、只木ら¹²⁾のデータをつけ加えて、それらの立木密度 (ρ) と平均幹材積 (v) の関係を図にしたものである。図の1点は1林分をあらわすが、平均樹高2mごとに印を変え、等平均樹高線を引いた。これは立木密度に影響されることがすくないといわれ、かつ林齢や地位条件を表現しうる平均樹高を用いて、林分の生育段階を分けようとしたものである。つまり、林齢や地位などの生育条件が異なっても、同一平均樹高をもつ林分同志は密度効果検討上、同一生育段階にあると解釈するわけである。したがって、図の等平均樹高線、換言すれば同一平均樹高をもつ林分同志の立木密度と平均幹材積の関係は C-D 効果式で表現することができるから、図の等平均樹高線は (1) 式の w を平均幹材積 (v) におきかえた型

$$\frac{1}{v} = A\rho + B \dots\dots\dots (4)$$

であらわした。 A 、 B はここでは平均樹高によって決まる常数となるが、その具体的な値の決定は次のようにして行なうことができる。C-D 効果の逆数式曲線の Base point——曲線の両対数軸上の接線勾配は ρ が小から大に変化すると $0 \rightarrow 1$ に変化するが、その勾配が $1/2$ になる点——を暫定的に各等平均樹高線について図上で求める。この Base point の座標値は平均樹高と対数函数関係をもつものとして修正し、Base point の座標を決定する。いまその座標を (ρ_B 、 v_B) とすると、 A 、 B の値は

$$\left. \begin{aligned} A &= 1/2 \ v_B \rho_B \}^{14)} \\ B &= 1/2 \ v_B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

で与えられる (Table 1)。

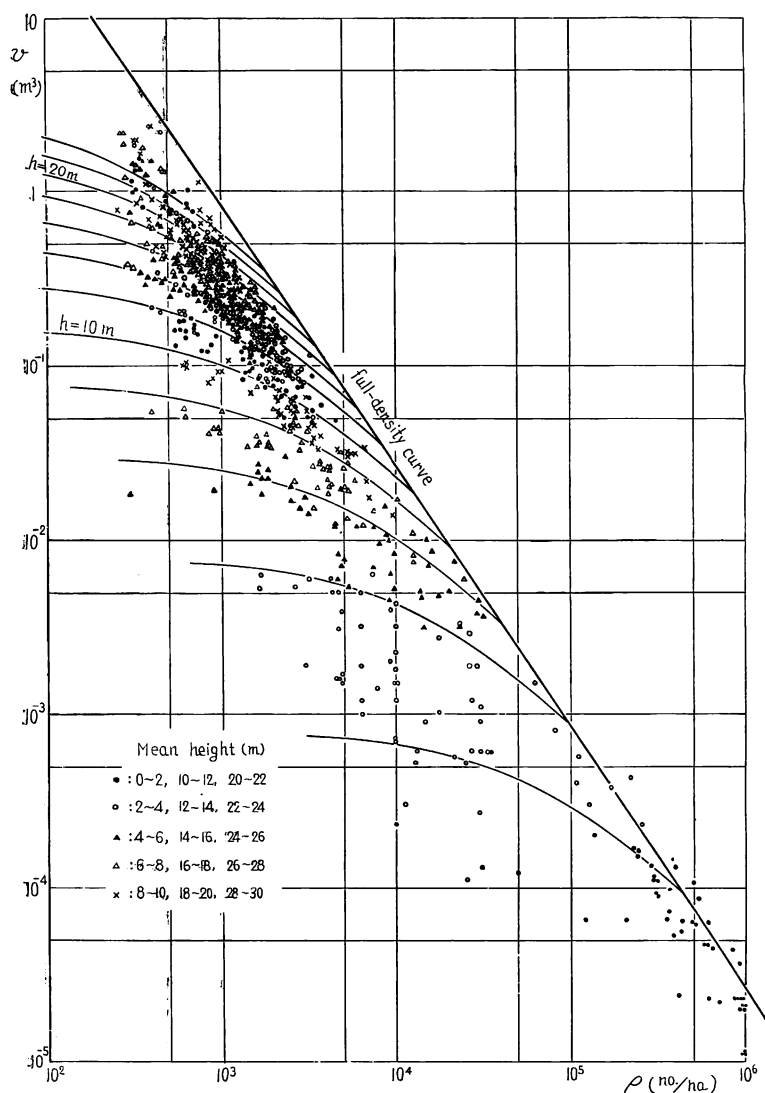


Fig. 1 アカマツ林の立木密度 (ρ) と平均幹材積 (v) の関係における特性曲線 (full-density curve) と等平均樹高線

The full-density curve and equivalent-height curves on the relation between stand density (ρ) and mean stem volume per tree (v) in *Pinus densiflora*. The diagram are drawn up using the data of preparation of yield table⁷⁾, KAWATA et al.⁴⁾, SATOO et al.¹⁰⁾, SAKAGUCHI et al.⁸⁾, ANDO et al.¹¹⁾, and TADAKI et al.¹⁶⁾. The equivalent-height curves are applied the reciprocal equation of density effect¹³⁾, i.e.

$$\frac{1}{v} = A\rho + B \quad \dots\dots\dots (4)$$

Where A and B are constants determined by the mean height in place of growth stage (Table 1). The full-density curve, which shows the upper limit of stand density in regard to arbitrary mean stem volume, is given by following equations.

$$\text{general equation } v = k'\rho^{-a'} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Pinus densiflora } v = 2.6 \times 10^4 \rho^{-1.5} \quad \dots\dots\dots (10)$$

Table 1. 等平均樹高線に関する逆数式の常数
Constants A and B in the reciprocal equations
used as the equivalent-height curves representing
the relation between ρ and v (Fig. 2).

平均樹高 Mean height (m)	常 数 Constant	
	A	B
4	0.01023	128.04
6	655	33.512
8	477	12.955
10	373	6.188
12	305	3.385
14	257	2.034
16	222	1.308
18	195	0.885
20	174	625
22	156	456
24	142	342

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悪くなるようであるが、これは、それぞれの点を示す林分の過去の取扱いが異なることや、平均樹高が大きくなるほど樹高成長が衰えてくることなどのためと考えられる。

Fig. 1 の右外側の線は、平均幹材積に関する $3/2$ 乗則線——吉良ら⁶⁾ は林分の立木密度に関係したさまざまな森林管理技術の基礎をなすものとして“林分密度の特性曲線”の名を与えており、本報告でも以後“特性曲線”，または“full-density curve”と呼ぶことにする——をあらわしている。その一般式は (3) 式の w を平均幹材積 (v) におきかえ

$$v = k' \rho^{-a'} \dots\dots\dots (6)$$

で示される。 k' , a' は樹種によって固有な常数である。

この特性曲線の持つ意味はすでにのべた¹⁷⁾¹⁹⁾が⁵⁾、アカマツの特性曲線について過去に

$$v = 4.232 \times 10^4 \rho^{-1.59} (v: \text{m}^3, \rho: \text{本/ha} \dots \text{以下同じ}) \dots\dots\dots (7)$$

と報告した^{12)16)~19)}。また人工稚樹群落から求めたものを

$$v = 5.147 \times 10^4 \rho^{-1.56} \dots\dots\dots (8)$$

と報告した¹⁶⁾。さらに安藤²⁾は、平均樹高 5 m 以下の稚樹群落から

$$\log v = -1.9252 \log \rho + 6.5197 \dots\dots\dots (9)$$

書きかえると

$$v = 3.309 \times 10^6 \rho^{-1.9252} \dots\dots\dots (9')$$

を求めている。

安藤²⁾は、幼齢期のアカマツ林は枝葉が交錯するのに対し、壮齢期以後の林分ではこうした現象がみられないという理由などから、幼齢期と壮齢期ではその特性曲線式が異なるのではないかというように推論しているが、枝葉の交錯の有無は、平均樹高の違いによる枝葉の垂直的配分の差が原因であって、アカマツの閉鎖林分の葉量自体は幼壮齢期でそんなに違わない¹⁷⁾はずであるから、これが特性曲線に差を生ずる原因とは考えられない。むしろ、式の値を v や ρ の極端に大きいものや小さいものを含めないで決定することや、壮老齢林は過去に間伐などが行なわれ特性曲線上にくるような密立した林分の存在がまれであることなどに原因があると思われる。

Fig. 1 は、(7)(8)(9)式を決定するのに使用された全部のデータを含んでいる。この図上で共通の特性曲線をつぎのように決めた。

$$v = 2.6 \times 10^4 \rho^{-1.5} \dots\dots\dots (10)$$

3. モデル計算の設計と必要な仮定

このようにして、C-D 効果線を用いてあらわした等平均樹高線と、特性曲線を決めると、アカマツ林分

の幹材積成長経過を地位や林齢を考えに入れずにあらゆる密度を含めて模式的にあらわすことができる。等平均樹高線は、地位、林齢をあわせて表現しているから、ある立地条件における平均樹高と林齢の関係を知れば、等平均樹高線は林齢をあらわす線として有効である。したがって、立木密度の人為的なコントロール、すなわち間伐の経過を図上で想定し、その材積生産を計算によって求めることも、いくつかの仮定を設けることによって可能となる。

只木¹⁷⁾はすでに、こうした方法を用いてスギ林の間伐度合や本数管理経路などを変えて約 450 種類のモデルを想定して主間伐量を計算で求めて検討した。今回はアカマツ林の場合について検討することにした。

主間伐量のモデル計算には、等平均樹高線や特性曲線が基準となるが、モデルの設計は Table 2 のとおりである。ここでは植栽本数 (ρ_0) 4 とおり、本数管理基準線 (ML) 4 とおり、間伐開始時 (hf) 3 とおり、間伐間隔 (I) 4 とおりを想定した。

本数管理基準線 (ML)——管理の基準を示す線であって、特性曲線と常にある一定の割合を保つよう決められている。(6)式の k' の値 (すなわち(10)式の 2.6×10^4) のみを変化させてあり、 $ML=50\%$ とは

Table 2. 間伐モデルの設計—Table 3 の記号参照
Schedules of thinning models.—See the notations of Table 3.

ρ_0	ML	hf	I	ρ_0	ML	hf	I
1500	10	8 12 16	2, 4, 8, 16 2, 4 2, 4, 8	6000	10	8 12 16	2, 4, 8, 16 2, 4 2, 4, 8
	30	8 12 16	— — 8, 16 2, 4 2, 4, 8		30	8 12 16	2, 4, 8, 16 2, 4 2, 4, 8
	50	8 12 16 (18)	— — — 16 — — — 4, 8 2		50	8 12 16	2, 4, 8, 16 2, 4 2, 4, 8
					70	8 12 16	— — 8, 16 2, 4 2, 4, 8
	無間伐 Un-thinned				無間伐 Un-thinned		
3000	10	8 12 16	2, 4, 8, 16 2, 4 2, 4, 8	12000	10	8 12 16	2, 4, 8, 16 2, 4 2, 4, 8
	30	8 12 16	2, 4, 8, 16 2, 4 2, 4, 8		30	8 12 16	2, 4, 8, 16 2, 4 2, 4, 8
	50	8 12 16	— — 8, 16 2, 4 2, 4, 8		50	8 12 16	2, 4, 8, 16 2, 4 2, 4, 8
	70	8 12 16	— — — 16 — — 2, 4, 8		70	8 12 16	2, 4, 8, 16 2, 4 2, 4, 8
	無間伐 Un-thinned				無間伐 Un-thinned		

主伐は $h=24m$ と固定する。

Final cutting is fixed at $h=24m$.

Table 3. 記号一覧
The notations.

植栽密度 Initial planting density	(本/ha) (no./ha)	 ρ_0
現在の立木密度 Present stand density	(本/ha) (no./ha)	 ρ
相対密度* Relative density*	(%) (%)	 ρ_r
管理基準線** Management base line**	(%) (%)	 ML
間伐開始時平均樹高 Mean height at the first thinning	(m) (m)	 hf
間伐間隔*** Interval of thinning***	(-m 樹高成長ごと) (every -m height growth)	 I
平均樹高 Mean height	(m) (m)	 h
平均幹材積 Mean stem volume	(m^3) (m^3)	 v
間伐幹材積合計 Total thinning yield of stem volume	(m^3) (m^3)	 V_t
幹材積現存量 Standing crop of stem volume	(m^3) (m^3)	 V

* : 任意の立木密度の, 同一等平均樹高線上の特性曲線上の密度に対する比率

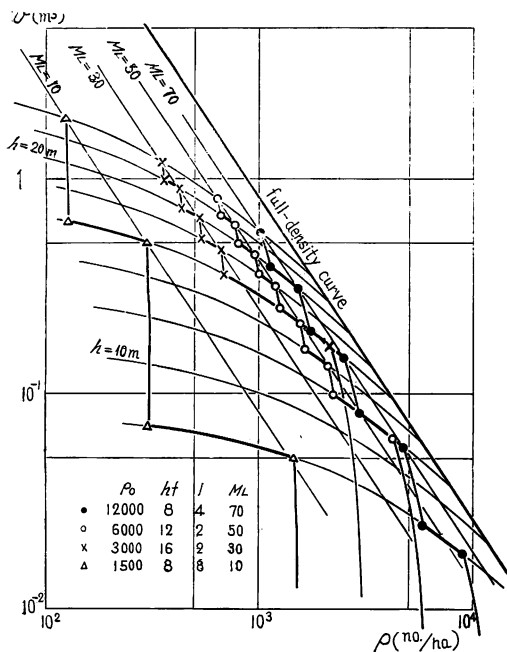
* : Percentage of actual stand density to full-density on the same equivalent-height curve.

** : 特性曲線との平行線, (6)(10) 式の k' の値に対する比率であらわす** : Parallel with the full-density curve and shown by percentage to k' in equations (6)(10).

*** : 一定樹高成長ごと

*** : Every certain meter height growth.

$$v = \frac{50}{100} \times 2.6 \times 10^4 \rho^{-1.5} = 1.3 \times 10^4 \rho^{-1.5} \dots\dots\dots (11)$$



をあらわしている。Fig. 2 にその関係を示しておく。この線に沿って間伐を行なうが、各間伐時の間伐後本数は次の間伐時の間伐前本数がちょうど所定の ML に達するよう、後述の枯損量を勘案して決められる。

間伐開始時 (hf) — 平均樹高 (h) をもって示した。

間伐間隔 (I) — h の成長をもって代用し、樹高 2 m ごととか 4 m ごとというように間伐が行なわれるようにした。

Fig. 2 ρ , v , h , ML の関係を示す模式図と間伐モデルの経路の例——Table 3 の記号参照。

The diagram concerning ρ , v , h and ML , and some examples of course of stand density control in thinning models. —See the notations of Table 3.

間伐木——間伐木は ML の項で述べたとおりの本数だけ、幹材積の小さいものから順次除かれるものとする。間伐前後の $\rho \sim v$ 関係は、C-D 効果逆数式——ここでは等平均樹高線上の変化となる¹⁷⁾¹⁹⁾。なお、間伐前後の h は変わらないものと仮定する。

枯損木——設計にしたがった間伐のほかに、枯損による本数減少も考えねばならない。枯損は特性曲線上のみで起こる現象でないことはいうまでもなく、 $\rho \sim v$ 関係をあらわすと Fig. 3 のような経過となり、特性曲線に漸近する曲線で示される。この経過には(4)式の曲線型とは同型で v 軸と ρ 軸を交換した型——SHINOZAKI ら¹⁴⁾のいう C-D 曲線の第VI型——すなわち

$$\frac{1}{\rho} = Av + B \dots \dots \dots (12)$$

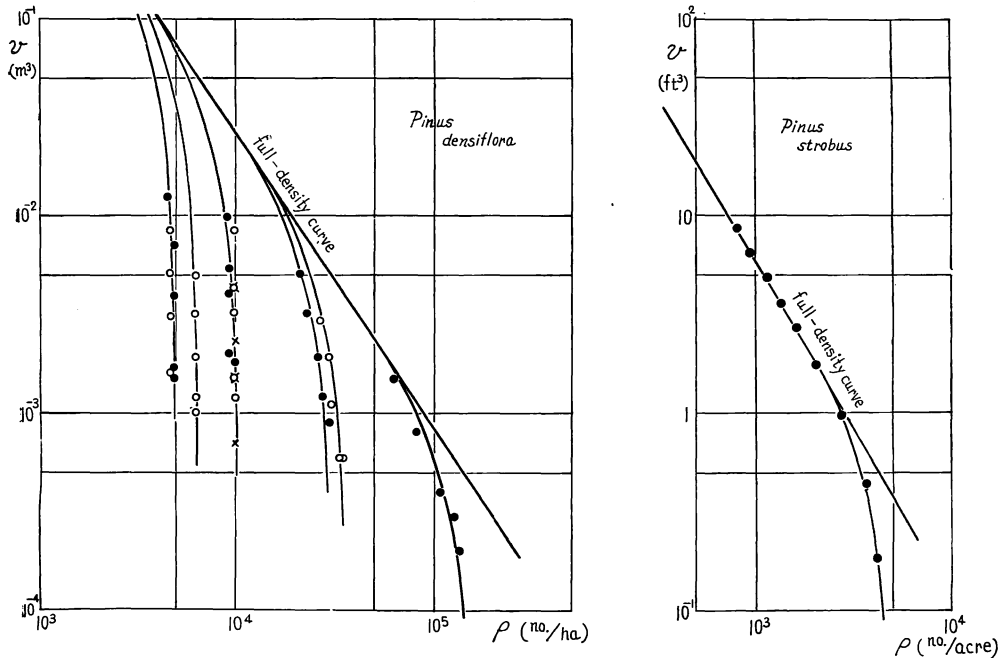


Fig. 3 $\rho \sim v$ 関係における自然枯死経過の例、左は安藤ら¹⁾、右は SPURR ら¹⁵⁾のデータより描く。

The examples of course of natural thinning (death) on the $\rho \sim v$ relation. The pictures were drawn from the data of ANDO et al.¹⁾ —left— and SPURR et al.¹⁵⁾ —right—. The $\rho \sim v$ relation before reaching to the full-density curve seems to be given by following equation (Type VI of C-D curve by SHINOZAKI et al.¹⁴⁾).

$$\frac{1}{\rho} = Av + B \dots \dots \dots (12)$$

Where A and B are constants and are determined by initial density and the full-density curve.

で特性曲線と接する型となる。 A, B はここでは特性曲線や初期本数によって決まる常数である*。

主伐—— $h=24\text{m}$ のときと決めた。これは、 hf, I との関連上決めたものである。たとえば、 $hf=8\text{m}$, $I=2\text{m}$ ごとならば、 h の 8m のとき第1回間伐、 h が $10\text{m}, 12\text{m}$, と 2m 成長ごとに間伐して 24m のときに主伐、また $hf=16\text{m}$, $I=4\text{m}$ ごとならば、 h の $16, 20\text{m}$ で間伐、 24m で主伐ということになる。したがって、 $hf=12$ で $I=8, 16\text{m}$ ごと、あるいは $hf=16\text{m}$ で $I=16\text{m}$ ごとなどの組み合わせは、 $h=24\text{m}$ 主伐に合致しないので除かれている。

以上のようにして無間伐のものも含めて123とおりの間伐モデルが設計された。そのうちのいくつかを Fig. 2 にあわせて示しておく。

4. 間伐モデルの幹材積収穫計算

設計にしたがって、各間伐モデルのそれぞれの h に対する間伐前後の ρ をまず決定した。

つぎに(2)式の関係を Y の代わりに ha あたりの幹材積 (V) を用いて書きかえ

$$V = \rho / (A\rho + B) \dots\dots\dots (13)$$

として、Table 1 の A, B の値を用い、間伐前後の V をそれぞれの h について計算した。前述の仮定を入れてつぎのように計算できる。いま $h_x\text{m}$ で間伐が行なわれ、立木本数が $\rho_{x1} \rightarrow \rho_{x2}$ に、林分の材積が $V_{x1} \rightarrow V_{x2}$ に変化したとし、 $h_x\text{m}$ に対する逆数式の常数が A_x, B_x であったとすると(13)式を用いて

$$V_{x1} = \rho_{x1} / (A_x \rho_{x1} + B_x) \dots\dots\dots (14)$$

$$V_{x2} = \rho_{x2} / (A_x \rho_{x2} + B_x) \dots\dots\dots (14')$$

となり、 ha あたりの間伐材積 (V_{tx}) は

$$V_{tx} = V_{x1} - V_{x2} \dots\dots\dots (15)$$

となる。こうした計算を各モデルの各間伐時点で行ない、 $h=24\text{m}$ の現存幹材積と、それまでの間伐量を合計して主間伐合計量とした。

5. そ の 結 果

計算の結果を Table 4 に示す。この計算では、立木密度が大きな因子となっており、その主間伐合計量 ($V+V_i$) や間伐量を検討するうえにも立木密度が主要因となるから、相対密度 (ρ_r) を検討の手段として取り上げた。 ρ_r とは、同一生育段階の比較で特性曲線への近づきかたをあらわすもので、ある林分

* いま (12) 式を両対数軸上で微分して導函数を求めると

$$\frac{d \log v}{d \log \rho} = \frac{-1}{1-B\rho}$$

となり、(6)式の a' が 1.5 ($3/2$) であるような特性曲線と ρ_f で接するとすると

$$\frac{-1}{1-B\rho_f} = \frac{-3}{2} \longrightarrow \rho_f = \frac{1}{3B}$$

(12)式で初期密度 ρ_0 を求めるために $v \rightarrow 0$ とすれば、 $\rho_0 = \frac{1}{B}$ となるから

$$\rho_f = \frac{1}{3} \rho_0$$

すなわち、特性曲線 (その a' の値が 1.5) に到達するときの v にくらべて、無視しうる程度に小さい v から出発した群落が特性曲線に到達した時の密度は初期密度の $1/3$ になっているわけである。

Table 4. 間伐モデル幹材積収穫計算結果—Table 3 の記号参照
Results of calculated stem volume yield on each thinning model. — See the notations of Table 3.

hf	I	ρ_0 (no./ha)	1500				3000				6000				12000			
		$ML(\%)$	10	30	50	70	10	30	50	70	10	30	50	70	10	30	50	70
8	2	$V+V_t$ (m ³) V_t (m ³) ρ_r (%)	424 187 4.2				458 221 4.2	598 180 13			489 252 4.2	629 211 13	654 142 24		512 275 4.2	652 234 13	678 166 24	673 103 40
	4	$V+V_t$ V_t ρ_r	402 165 2.9				436 199 2.9	590 172 8.8			466 229 2.9	620 202 8.8	652 140 17		490 253 2.9	644 226 8.8	675 163 17	674 104 30
	8	$V+V_t$ V_t ρ_r	360 123 1.5	527 109 4.8			394 157 1.5	561 143 4.8	610 98 9.4		424 187 1.5	591 173 4.8	641 129 9.4	649 79 17	448 211 1.5	615 197 4.8	664 152 9.4	673 103 1.7
	16	$V+V_t$ V_t ρ_r	301 64 0.64	464 46 2.0	537 25 4.0		334 97 0.64	498 80 2.0	571 59 4.0	604 34 7.3	365 128 0.64	529 111 2.0	602 90 4.0	635 65 7.3	388 151 0.64	552 134 2.0	625 113 4.0	658 88 7.3
12	2	$V+V_t$ V_t ρ_r	449 212 5.1	556 138 15			496 259 5.1	602 184 15	621 109 27		528 291 5.1	635 217 15	654 142 27	649 79 45	550 313 5.1	656 238 15	675 163 27	672 101 45
	4	$V+V_t$ V_t ρ_r	435 198 3.7	551 133 11			482 245 3.7	597 179 11	620 108 21		515 278 3.7	630 212 11	652 140 21	652 82 36	536 299 3.7	652 234 11	674 162 21	673 103 36
16	2	$V+V_t$ V_t ρ_r	489 252 5.4	559 141 16	573($hf=18$) 61 30		536 299 5.4	605 187 16	619 107 29	616 46 47	567 330 5.4	636 218 1.6	650 138 29	647 77 47	591 354 5.4	661 243 16	675 163 29	672 101 47
	4	$V+V_t$ V_t ρ_r	480 243 4.3	558 140 13	572 60 24		526 289 4.3	604 186 13	618 106 24	617 47 40	557 320 4.3	635 217 13	649 137 24	647 77 40	581 344 4.3	659 241 13	673 161 24	672 102 40
	8	$V+V_t$ V_t ρ_r	463 226 2.9	548 130 8.8	569 57 17		510 273 2.9	594 176 8.8	615 103 17	616 46 29	541 304 2.9	625 207 8.8	646 134 17	647 77 29	565 328 2.9	649 231 8.8	671 159 17	672 102 29
無 間 伐 Un-thinned		V ρ_r	570 58				608 86				620 100				620 100			

競争密度効果式を用いて検討した間伐と幹材積収穫との関係 (只木)

の密度をその林分と同一等平均樹高線の特性曲線上の密度との比率(%)で示したものである。換言すれば、ある林分の密度を、その林分と同じ平均樹高をもつ林分が保ちうる最高密度との比率であらわしている。

人為的な本数減少を行なわない林分は、林冠の閉鎖完了後、十分な閉鎖を保ちながら特性曲線に漸近するような形で生育していくのは Fig. 3 のとおりであるから、こうした場合の ρ_r は 100% に近づいていくはずである。したがって、特性曲線からどれくらい離れた管理を行なったかということが問題となるわけであるから、ここでは各間伐モデルについて、くり返される間伐のうち、もっとも特性曲線から離れた場合の ρ_r 、つまり間伐経過のうち最小の ρ_r が、そのモデルを代表する ρ_r 値ということに決めた。

いま、 ML , hf , I を無視して各モデルの ρ_r を横軸に、 $h=24m$ の $V+V_t$ を縦軸にとったのが Fig. 4 である。 ρ_r の小さい間、すなわち特性曲線からの離れ方がはなはだしいモデルでは、 ρ_r が小さいほど $V+V_t$ の小さい傾向がいちじるしい。しかし、 ρ_r がある程度以上大きくなると $V+V_t$ の増加は目だたなくなる。このような傾向の変わる ρ_r は 10~15% といえるようで、図には ρ_0 ごとに印を変えてプロットしてあるが、同じ ρ_r ごとに比較すると ρ_0 が大きいほど $V+V_t$ は大きくなる傾向がある。そしてその傾向は ρ_r の大きい方、とくに ρ_r が 10~15% より大きい方で顕著であって、この範囲では ρ_r と $V+V_t$ の関係はあきらかに ρ_0 ごとに差がある。簡単にいえば、 ρ_r が 10~15% より大きい範囲では、その $V+V_t$ は ρ_0 が大きいほど多くなるのは明らかであるが、同じ ρ_0 で比較すれば、相互間にはほとんど差は認められないといえるようである。つぎにもうすこし細部についてみてみよう。

主伐量 (V)——すなわち $h=24m$ における V は、 $h=24m$ という等平均樹高線、つまり同一 C-D 効果線上の比較となるから、 $h=24m$ のときの ρ が大きいほど大きくなる。各モデルのこのときの ρ は、

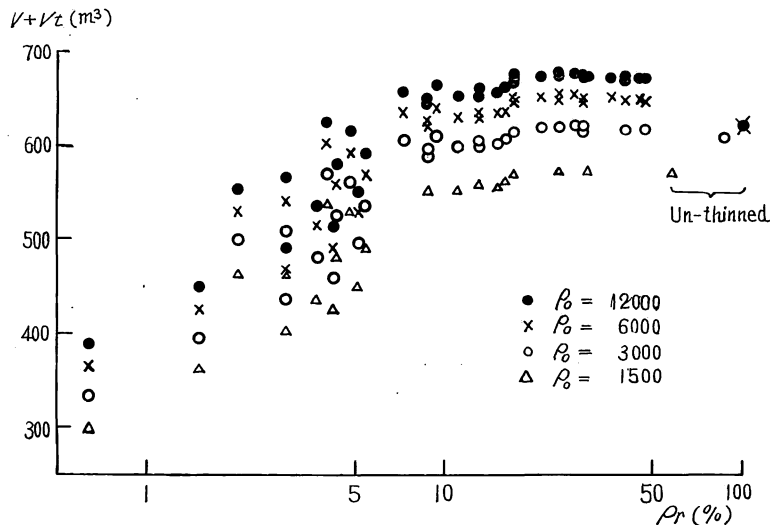


Fig. 4 植栽本数 (ρ_0) ごとの相対密度 (ρ_r) と主間伐合計量 ($V+V_t$) の関係

The relations between relative density and total stem yield ($V+V_t$) in each initial planting density (ρ_0). $V+V_t$ increased with higher ρ_r remarkably when ρ_r was under 10~15 percent. When ρ_r was over 10~15 percent, $V+V_t$ seemed to be different by ρ_0 but to be not particularly different by ρ_r .

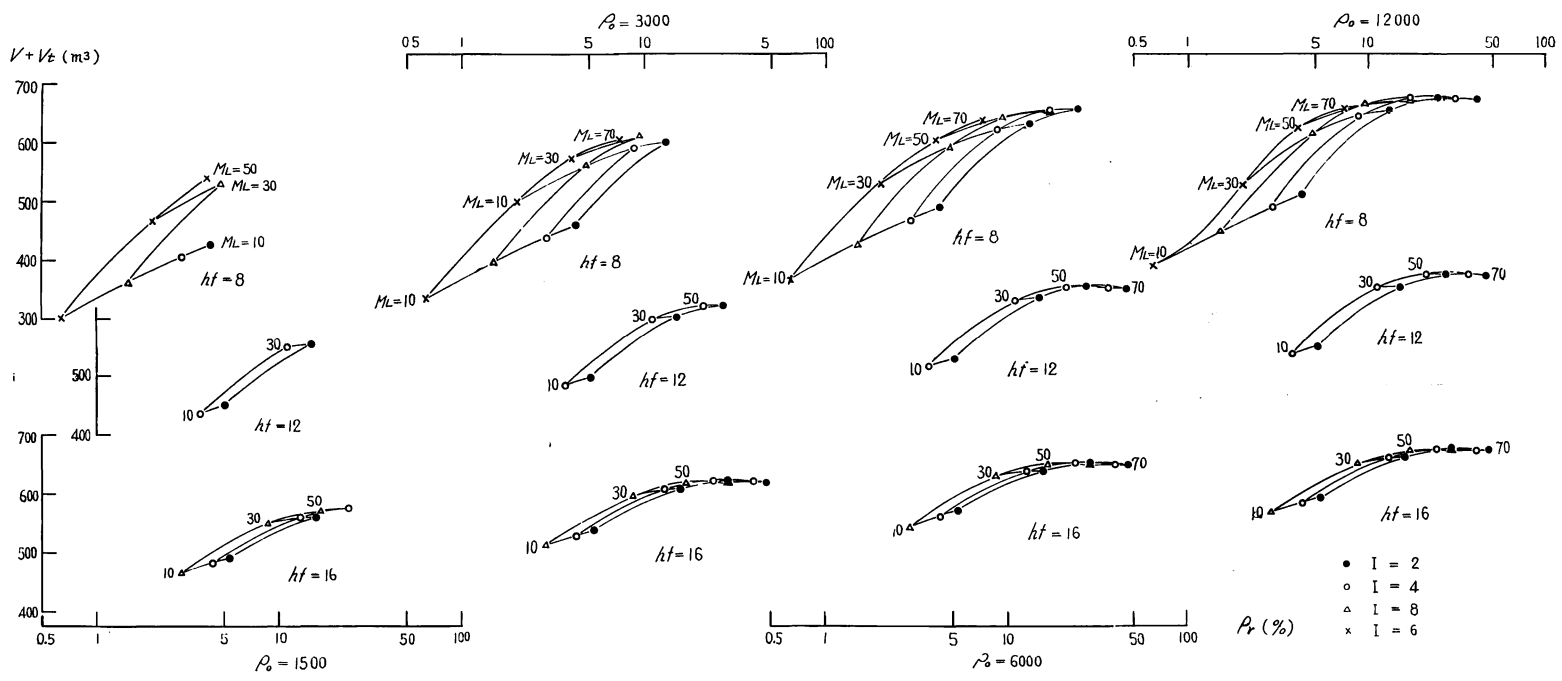


Fig. 5 ρ_0 , hf を一定にした場合の ML , I と $V+V_t$ の関係—— Table 3 の記号参照 $V+V_t$ concerning with ML and I , in which ρ_0 and hf were fixed.—— See the notations of Table 3. $V+V_t$ increased with shorter I and in nearer ML to the full-density curve. These tendencies were more remarkable below 15 percent of ρ_r .

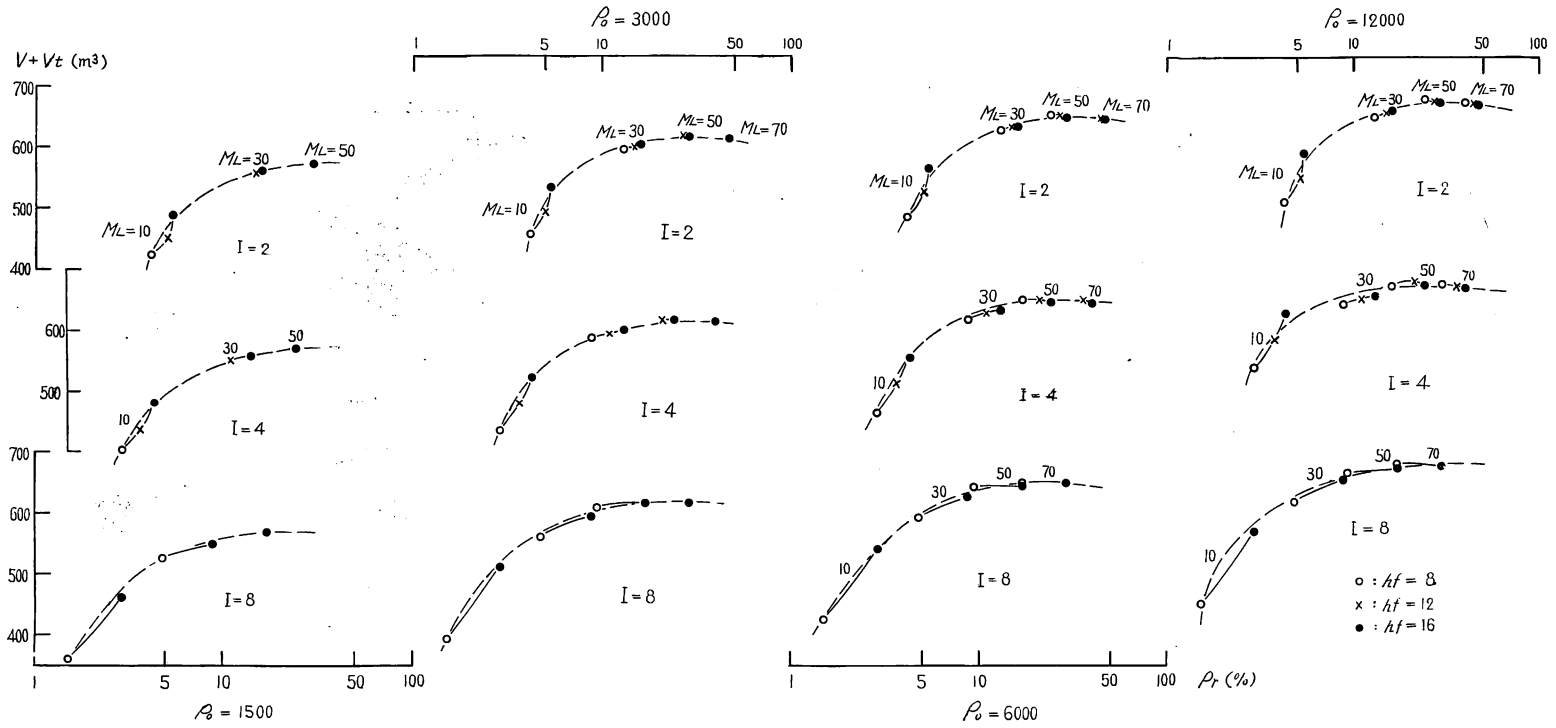


Fig. 6 ρ_0 , I を一定にした場合の ML , hf と $V+V_t$ の関係——Table 3 の記号参照
 $V+V_t$ concerning with ML and hf , in which ρ_0 and I were fixed.——See the notations of Table 3. $V+V_t$ increased with later hf and in nearer ML to the full-density. These tendencies were not remarkable over 15 percent of ρ_r .

それぞれの ML と $h=24m$ 等平均樹高線との交点となるよう設計されているから ML の値が大きいはど、すなわち、特性曲線に近い ML ほど ρ は大きく、したがって V も大きくなる。とくに無間伐のモデルが同一の ρ_0 のモデル群の中で ρ は最大になるから、主伐量だけを比較するならば無間伐モデルが最大となる。

I と $V+V_t$ —Fig. 5 から ρ_0, hf, ML をそれぞれ一定にした場合の I と $V+V_t$ の関係がわかる。 I が小さい方が ρ_r が大きく、 $V+V_t$ も大きくなる傾向があるが、この傾向は ρ_r が小さい方で顕著で ρ_r が15%以上ではほとんど差はないといえる。しかし、 ρ_r が15%程度より大きい範囲では、 $I=4m$ の $V+V_t$ が $I=2m$ のそれより大きくなっていく傾向が数例認められた。

ML と $V+V_t$ —Fig. 5, 6 で ρ_0, hf, I を固定した場合の ML と $V+V_t$ の関係をみると、 ML が大きくなることは ρ_r が大きいということ、 $V+V_t$ も大きくなる。しかし、 ρ_r が15%以上 ($ML=50, 70\%$ のものがほとんど) ではほとんど差はない。しかし $ML=70\%$ のモデルは、 $ML=50\%$ のものよりごくわずかながら $V+V_t$ は小さくなるようである。

hf と $V+V_t$ —Fig. 6 で ρ_0, I, ML を固定した場合の hf と $V+V_t$ の関係をみると、 hf が小さい(間伐開始が早い)方が ρ_r が小さく $V+V_t$ は小さい。しかし、 ρ_r が15%以上、つまり $ML=50, 70\%$ では、この傾向は逆になり、 hf が小さい方が ρ_r は小さいが $V+V_t$ が大きくなる傾向がごくわず

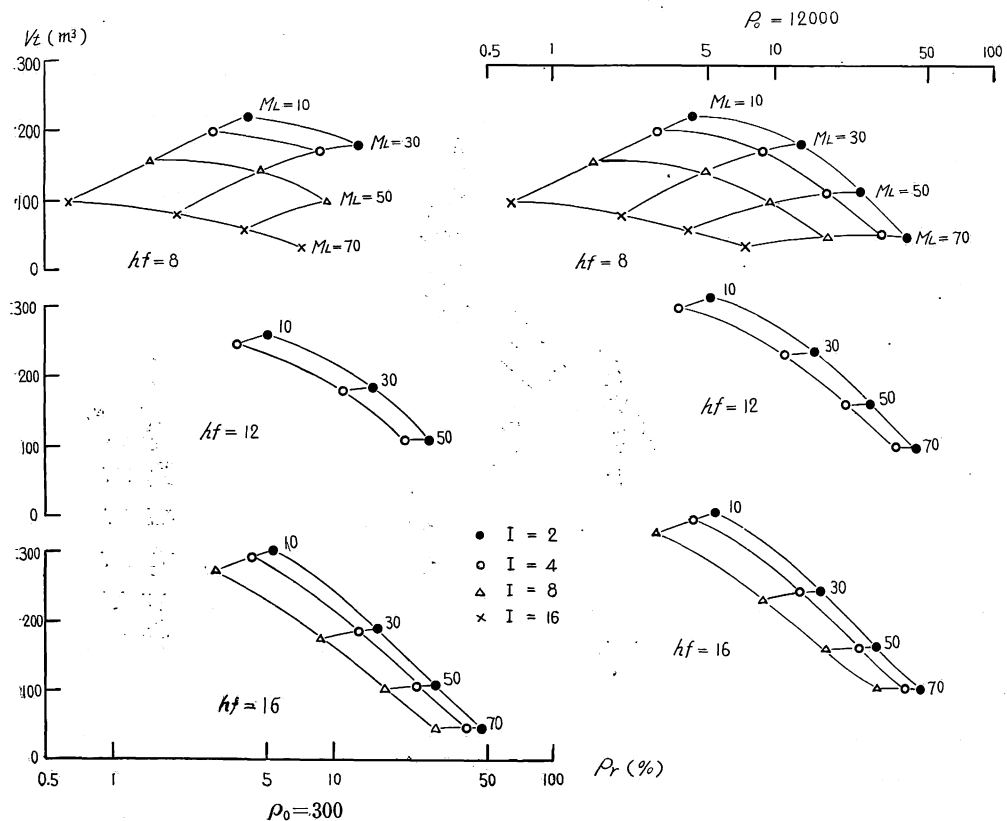


Fig. 7 ρ_0, hf を一定にした場合の ML, I と V_t の関係—Table 3 の記号参照
 V_t concerning with ML and hf , in which ρ_0 and hf were fixed. —See the notations of Table 3. V_t decrease with longer I and in farther ML to the full-density.

かに認められた。しかし、 $V+V_t$ の絶対値にはあまり大きな差はない。

ρ_0 と $V+V_t$ —— hf , I , ML 同一設計では、 ρ_0 が大きいほど $V+V_t$ は大きい。

以上を取りまとめると、 ρ_r が大きい方、つまり特性曲線に近づけて管理されるほど $V+V_t$ は大きくなる一般的な傾向がみられる。しかし、 ρ_r が15%以下と以上の2つの範囲に分けて検討する必要がある。 ρ_r が15%より小さい範囲では（これはほとんどが $ML=10\%$, 30% のもの） ML は大きい方が、 I は小さい方が、 hf は大きい方が $V+V_t$ は多くなる傾向が著しい。

ρ_r が15%より大きい範囲では、 $V+V_t$ に大きく関係するのは ρ_0 であって、 hf , I , ML の違いによる $V+V_t$ の差はごくわずかであり、ほとんど問題にならない。しかし、この範囲での傾向としては、 ML が小さい方で ($ML=50$, 70% の関係で)、また hf が小さい方で $V+V_t$ がごくわずかに大きくなる。また $I=4\text{ m}$ と $I=2\text{ m}$ の比較では $I=4\text{ m}$ の方が $V+V_t$ が大きくなる例もあるが、これらの差はいずれも $V+V_t$ の1%に満たない程度であるから、 ρ_r が15%より大きい範囲では $V+V_t$ は ρ_0 が一定ならば間伐経路には影響をうけず一定になるといえる（無間伐モデルは除く）。 ρ_0 ごとの $V+V_t$ 一定値を概数で比較すると $\rho_0=12000$ の場合を100%として、 $\rho_0=6000$, 3000 , 1500 の順に96, 92, 85%となっている。

間伐量合計 (V_t)——Fig. 5 に対応する場合を Fig. 7 に示したが、 ρ_0 , hf を一定とすると同一の I に対しては ML が小さくなるほど、また同一の ML では I が小さくなるほど V_t は大きくなる。しかし、 ρ_r が15%以上になるとその傾向は顕著でなくなり、 $I=2\text{ m}$ のモデルより $I=4\text{ m}$ のモデルの V_t がごくわずかに大きくなることもあるが、 $ML=50$, 70% で ρ_r が15%以上の場合の V_t は、 I によってあまり影響をうけないといえる。また ρ_0 , I を一定とすると同一の hf では ML が小さいほど V_t は大きく、また同一の ML では hf が大きいほど V_t が大きい傾向がある。しかし、 ρ_r が15%以上では hf が小さい方が V_t が大きくなる傾向を生ずるがその差は僅少で、 hf の影響はあまり見られなくなるといえる。 ρ_0 だけについてみれば、他の設計が同一ならば ρ_0 が大きい方が V_t は大きい。

6. そ の 検 討

以上の結果を設計の範囲で概括的にいうとつぎのとおりである。同一主伐時で比較するならば主伐幹材積は、主伐時の立木密度が高いほど多くなる。それまでの間伐幹材積合計は植栽本数が多いほど、特性曲線より離れて管理されるほど、間伐は遅くから開始される方が、間伐間隔は短いほど、それぞれ他の条件が一定ならば多くなる傾向がある。しかし、この傾向は植栽本数の因子を除いては ρ_r が15%より小さい範囲で顕著であって、 ρ_r が15%以上の範囲では、植栽本数や管理線が間伐量合計を決める大きな因子となり、同一の植栽本数、管理線の中では間伐開始の遅速や間伐回数は間伐量合計にあまり大きな影響を及ぼさない。

主伐および間伐量の総計、つまり主間伐合計量は、植栽本数が多いほど、特性曲線に近づけて管理されるほど、間伐は遅くから開始されるほど、間伐間隔は短いほど、それぞれ他の条件が一定ならば多くなる。しかし、この傾向も、植栽本数を除く他の因子では、 ρ_r が15%以下で顕著であって、 ρ_r が15%以上の範囲では植栽本数同一のモデル群では、主間伐合計量はほぼ一定となってくる。

さきにスギを例として同様の検討を行なった¹⁷⁾が、この結果も今回のものとよく似ていた。しかし、特

性曲線に近づけた管理では、特性曲線より遠い方で管理されるのとは逆に、間伐の開始が早いほど間伐量、主間伐合計量とも多くなるという結果が明らかに認められた点で今回のものと異なっている。これは樹種による差ではなく、前回では今回のものよりさらに特性曲線に近づけた管理を想定しているために、モデル計算の結果が顕著に出たこと、さらに大きな違いは、前回のものが枯損を特性曲線上でのみ起こると仮定しているのに対し、今回は(12)式のような枯損経過も計算の中に含めている点である。前回では、収穫量として計算されたもののうち、今回は枯損量に計上されるものがあるわけで、とくに枯損は特性曲線に近い管理ほど多くなるから、 ρ_r が大きい方での間伐開始期や間伐間隔と収穫量との関係が顕著に現われなかったものであろう。

検討する上で、 $\rho_r=10\sim15\%$ 、あるいは 15% という概数で示してきたが、この ρ_r はひとつの問題点である。等平均樹高線として用いた C-D 効果の逆数式曲線のそれぞれの Base point (2章参照) の ρ_r を計算すると $13\sim14\%$ ぐらいになっている。Base point は、植物群落の無競争密度を知るひとつの目安であって、Base point より密度が低い場合は密度の影響がすくなくなる。そして競争が開始されるということは、群落が葉で閉鎖されるということが大きな因子として考えられる。

また、四手井¹¹⁾はアカマツ林の平均樹高 (h) とその樹高における競争開始の立木密度 (n/ha) の関係を

$$n=35000 \times h^{-1.5} \dots\dots\dots (16)$$

であらわしたが、この式からそれぞれの h に対する n の ρ_r を計算すると h が $8\sim24\text{m}$ の範囲で $10\sim15\%$ となる。

したがって、 $\rho_r=10\sim15\%$ を個体相互間の競争が開始される立木密度をあらわすと考えると、つぎのように推測できる。競争開始を林冠の閉鎖と考えると、 $\rho_r<15\%$ では林冠の疎開、 $\rho_r>15\%$ では林冠の閉鎖といえることができる。一般に、閉鎖した純群落の単位面積あたりの葉量は、植物種によってはほぼ一定の値をもち¹⁷⁾、閉鎖がすぐに回復すれば間伐の度合によってもほとんど影響をうけないといわれているから、 $\rho_r>15\%$ では葉量一定であるといえる (アカマツの場合、その葉量は生重量で $12\sim13\text{ton/ha}$)。とすると、ある期間内のその同化生産量は、立木密度に関係なく一定になるはずである。もちろん、立木密度が高い方が同化生産物の幹への配分が多くなる¹⁰⁾から、一概にはいえないが、 $\rho_r<10\sim15\%$ にならない限り、一定量の生産がつづいているはずで、 $\rho_r>15\%$ の中で間伐経路に差があってもこれは無関係となる。つまり、 $\rho_r>15\%$ の間伐モデルでは、主伐まで年々一定量ずつの生産物が蓄積されるわけで、その合計は一定であるが、 $\rho_r>15\%$ の範囲内での間伐経路の変化は、主伐期までの一定量の生産物の蓄積を主伐量、間伐量の配分を違えて収穫しているにすぎないことになる。そこで問題となるのが枯損量である。枯損は、一定生産量の中から損失として差し引かれるものであるから、これを損失とせずに、収穫の中に入り入れられるような間伐モデルが有利となる。枯損は特性曲線に近づくほど多く起こるから、 $\rho_r>15\%$ で、一定生産量の得られる中では ρ_r が小さい方が枯損すべき量が収穫量として計上される可能性が大きい。したがって、 $\rho_r>15\%$ の各間伐モデルの中でも、 $ML=50\%$ のモデルが $ML=70\%$ のモデルより、また、 $I=4\text{m}$ のモデルが $I=2\text{m}$ のモデルより主間伐合計量が多くなるというような、 ρ_r が小さい方が収穫量が多いという例が生じてくるのであろう。

植栽密度が高いと、林冠の閉鎖も早い。つまり $\rho_r>15\%$ の状態に早く到達する。したがって、主伐までの年々一定生産量を蓄積すべき期間が永いことになるから、植栽密度の高いモデルほど主間伐合計量は多くなっている。

$\rho_r < 10 \sim 15\%$ のモデルは、すくなくとも1回は閉鎖が破れたことを示している。これは、閉鎖の破れていた期間は葉量が減少し、その土地面積を十分利用できず生産量が低下していたことを意味する。したがって、 ρ_r が大きいほど満度の生産に近づくわけで、主間伐合計量も多くなる。このような閉鎖が破れるモデルの中では、すこしでも破れ方の度合がすくなく、閉鎖状態が永くつづくようなモデル、たとえば、間伐開始が遅いとか、間隔が短い（この設計では毎回の間伐量がすくないことに通ずる）モデルが主間伐合計が多くなる傾向にある。

無間伐のモデルは、主伐時の収穫量だけが問題になり、この時の立木密度で決定され、その立木密度は

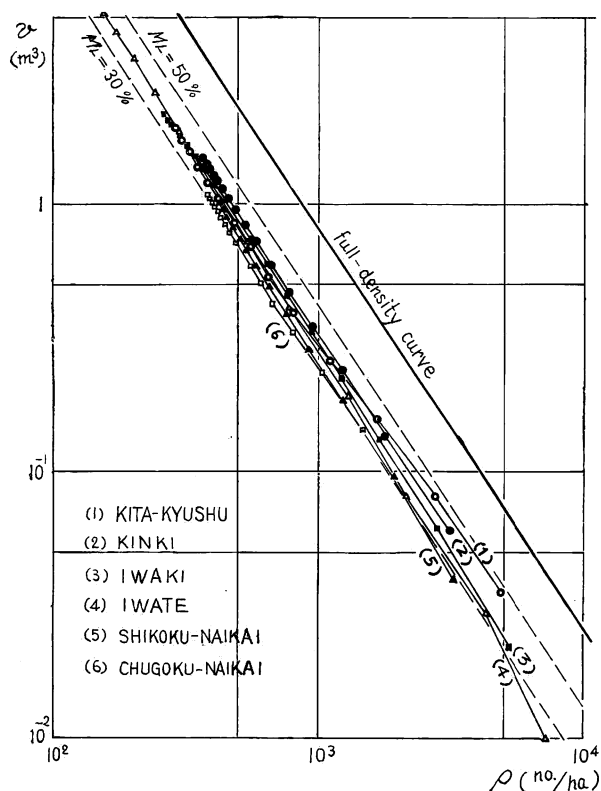


Fig. 8 各地方のアカマツ林収穫表の
 $\rho \sim v$ 関係（地位上）

The $\rho \sim v$ relations of the yield table of *Pinus densiflora* in each district in Japan (on the best site). There are not obvious different in each district.

の経路には無関係にほぼ一定になる。このような条件下では間伐度の強弱は主間伐合計にはあまり大きな影響を及ぼさないといえるのである。これはすでに坂口⁹⁾が、“同一の地位では、間伐の度合によって間伐材積をふくむ全生産期間の材積収穫の総量には、有意的な差があるとはいえない”としたのと本質的には一致している。

この設計に用いたように特性曲線に平行な本数管理基準線を設けることは、林分の本数管理を密にすぎず疎にすぎず行なうためのひとつの手段である。間伐権威者の間伐経過や過去の本数管理経路の明らかな

(12)式の関係、ひいては植栽密度で決まるから植栽密度が大きいモデルほどその収穫量は多くなる。しかし、 $\rho_0 = 6000$, 12000 のモデルでは、主伐時 ($h = 24m$) には特性曲線上にあったから両者の収穫量は等しい。 $\rho_0 = 1500$ の無間伐モデルでは、同じ ρ_0 の間伐モデル群の最多収穫にほぼ等しい収穫を上げている。これは、無間伐モデルで比較的枯損がすくなかったためである。これに対し、 $\rho_0 = 6000$, 12000 の無間伐モデルでは枯損が多く、その収穫量は同じ ρ_0 の間伐モデル群の最多収穫よりかなりすくない。したがって、間伐によって増収を期待するためには、もし無間伐で放置しておけば主伐時には特性曲線に到達することが期待できるだけの植栽本数が必要ということになる。

以上、結論的にいうならば、間伐が特性曲線に近づけて行なわれるほど主間伐合計量は多くなるが、十分な植栽密度で、林分が閉鎖してから後に極端な林冠の疎開をすることなしに本数管理が行なわれるならば、その主間伐合計量は間伐

林分を Fig. 1 のような関係に書きなおしてみると、いずれも特性曲線とほぼ平行に管理されている¹¹⁾¹⁷⁾。また、現在の管理基準である林分収穫表⁷⁾の主副林木合計の平均幹材積と立木密度との関係は Fig. 8 のように両対数軸上で特性曲線とほぼ平行となっているのは興味深い。

7. アカマツ林の間伐指針表

Fig. 8 からわかるように、現在の本数管理基準は特性曲線に平行に管理されているだけではなく、地

Table 5. アカマツ林樹高変数間伐指針表
The thinning schedule of *Pinus densiflora*, respected the mean height as variable.

平均樹高 Mean height (m)	主副林木合計 Total standing crops		主 林 木 Main crops		副 林 木 Thinnings		総収穫量 Total stem yield (m³)	林 齢 (年) Stand age(yr.)		
	ρ	V	ρ	V	ρ	V		地位 Site		
								I	II	III
6	13700	111	8250	94	5450	17	111	11	14	17
8	7270	153	4820	134	2450	19	170	15	18	23
10	4400	195	3180	176	1220	19	231	19	23	29
12	2950	238	2230	219	720	19	293	23	29	37
14	2100	283	1640	263	460	20	357	28	35	48
16	1550	326	1250	306	300	20	420	33	43	68
18	1200	372	990	352	210	20	486	39	55	>110
20	950	417	795	396	155	21	551	47	75	
22	760	463	660	444	100	19	618	58	110	
24	460	512	560	492	80	20	686	75		

ρ : 本数 Tree-number (no./ha) V : 幹材積 Stem volume (m³/ha)

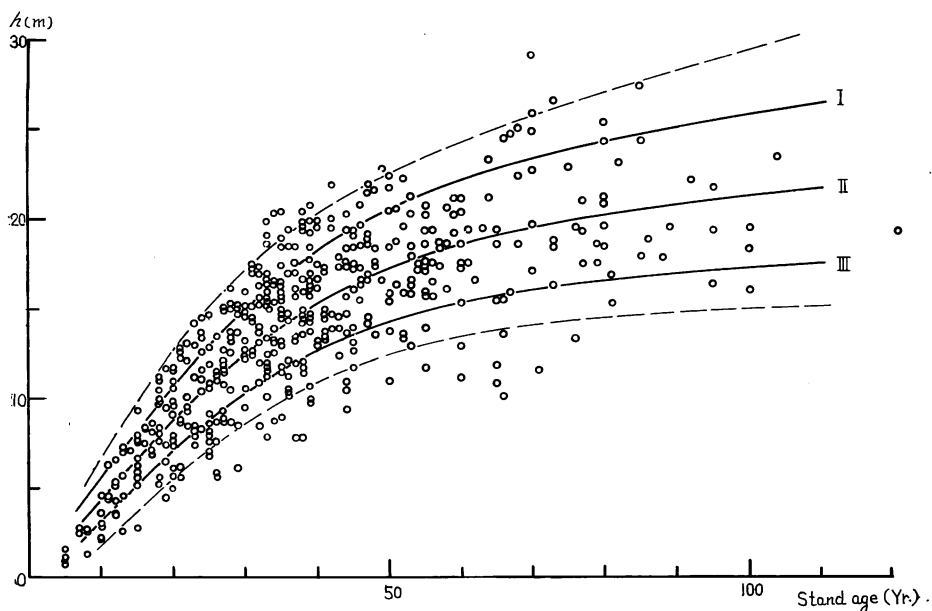


Fig. 9 日本全国のアカマツ林の平均樹高成長
The relation between stand age and mean height (h) of *Pinus densiflora* in Japan.

方ごとにもあまり差はない。また立地別にもあまり違いはない。したがって、樹種によって管理曲線を1本に決めうる可能性がある。その場合、地位差や地域差は、ある平均樹高に達する年齢で示されることになる。そこで前述のモデル計算の結果を考慮に入れて平均樹高を変数とした暫定的な間伐指針表を Table 5 のように調整してみた。

Fig. 8 からみて、全国のアカマツ林は前述の ML で示すと 30~50%、とくに 40% ぐらいに管理基準がおかれているといえる。ここではモデル計算の結果を考慮して $ML=50\%$ ——(11)式——と決めた。間伐間隔は、平均樹高成長 2 m ごとを想定している。表には平均樹高 6 m のときから示したが、間伐開始期は植栽本数との関連から決めなければならない。植栽本数を増せば、モデル計算の結果からもわかるように、収穫は増すが間伐を早期から開始しても間伐材が細きに過ぎ、間伐を遅らせると枯損が多くなる。つまり間伐材を売却する場合の経済性も考えねばならないであろう。いま表から平均樹高 8 m, 10 m, 12 m のときの基準線に合致する本数を (12) 式で示される枯損量を入れて考えると、その植栽本数はそれぞれ 10000, 6000, 4000 本/ha 程度となる。この中で植栽本数 6000 本/ha で、平均樹高 10 m を間伐開始とすると、この時の間伐材の平均材積は 0.015 m^3 となるが、これぐらいが植栽本数と間伐開始を決める目安となるのではあるまいかと思う。

表の林齢の欄は、Fig. 1 を描くのに用いた資料から、Fig. 9 のような林齢と平均樹高の関係図をつくり、図上でその分散の幅を 3 等分して I, II, III の 3 級に分け、それぞれの級内での平均樹高に対する林齢の概数を示している。地域ごと立地ごとに林齢と平均樹高の関係がわかればこの欄だけ書きあらためるとその地区での指針表とすることができる。

なお、すでに公表¹⁷⁾し、あるいは引用¹²⁾された筆者のアカマツの平均樹高変数暫定間伐指針、樹高変数収穫表は Table 5 のとおりに訂正したい。

要 約

間伐の度合とその主間伐合計収穫量との関係については、決定的な解明が行なわれておらず、したがってもっとも材積生産に有利な間伐度合もいままお推測の域を出ない。

間伐と収穫を論議するうえで、もっとも有効な検討手段となるものは立木密度であろう。密度と生産量については、吉良らの見いだした法則性が一般的でかつ明快である。この報告では吉良らの法則性を応用して、間伐の強度やくり返し、植栽本数も含めた間伐経過と幹材積収穫量の関係を立木密度の点から検討した。例としてアカマツを用いた。

林分の生育段階を、林齢や地位を無視するために平均樹高におきかえ、立木密度と平均幹材積の関係図 (Fig. 1) 上で等平均樹高線を求めて、これに密度効果の逆数式——(4)式——をあてた。また、アカマツ林の各平均幹材積に対する最高立木密度を示す線——特性曲線——を (10) 式のように決めた。以上のようにして、アカマツ林のあらゆる生育段階のあらゆる立木密度に対する幹材生産を図にあらわし、主伐期を一定とし、植栽本数、管理基準線、間伐開始期、間伐間隔を変えて、無間伐のものも含めて 123 とおりの間伐モデルが設計された (Table 2)。枯損量を考えに入れて (Fig. 3, (12) 式)、密度効果式にしたがった計算——(13)~(15)式——で主間伐合計幹材積を求めた。

その結果は、つぎのようになった (Table 4, Fig. 4~7)。

1. 主伐材積は主伐時の立木密度が高いほど多い。

2. 特性曲線に近づけて本数管理されるほど主間伐合計量は多くなる傾向があるが、この傾向は立木密度がある程度より疎な方で著しい。

3. 立木密度がある程度より疎になる間伐モデル群では、それぞれ他の条件を一定にした場合は、密度の高い管理基準線を設けるほど、間伐開始が遅いほど、間伐間隔が短いほど、植栽密度が高いほど主間伐合計量は多くなる。

4. 立木密度がある程度より疎にならない間伐モデル群では、主間伐合計量は管理基準線、間伐開始期、間伐間隔にはほとんど影響をうけずほぼ一定となる。ただし、植栽密度が高いほど主間伐合計量は多くなる。

5. 間伐合計量は、植栽密度が高いほど、密度の低い管理基準線を設けるほど、間伐開始が遅いほど、間伐間隔が短いほど多くなる。しかしこの傾向は、立木密度がある程度より疎になる間伐モデル群で著しく、ある程度より疎にならないモデル群では、植栽本数と管理線に影響される。

6. 以上に用いた“ある程度”の立木密度とは、林木個体相互間の競争開始密度、ひいては林分の閉鎖をあらわす密度に近いと思われるので、以上の結果から、林分の閉鎖状態を極端に破らないように本数管理が行なわれるならば、主間伐合計量は間伐の経路(間伐開始の遅速、間伐間隔の長短、主伐密度の多少)からはあまり大きな影響をうけないといえる。

さらに、このモデル計算に用いた諸因子を応用して、アカマツ林の間伐指針を平均樹高を変数として調整した (Table 5)。

文 献

- 1) 安藤 貴・坂口勝美・成田忠範・佐藤昭敏：アカマツ天然生除伐試験林の解析 (第1報), 生育経過と相対成長, 林試報, **144**, pp. 1~30, (1962).
- 2) 安藤 貴：同上(第2報), 本数密度を中心とした解析, 同上(第2報), **147**, pp. 45~77, (1962).
- 3) COOPER, F.C.: Equations for the description of past growth in even-aged stand of Ponderosa pine. Forest Science, **7**, pp. 72~80, (1961).
- 4) 河田 杰・金谷与十郎：アカマツ及カラマツ植栽の疎密が成林状態に及ぼす影響 (終結報告), 林試報, **41**, pp. 29~62, (1949).
- 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. **D, 4**, pp. 1~16, (1953).
- 6) 吉良龍夫(編)：密度・競争・生産, みやま, **8**, pp. 13~24, **9**, pp. 9~18, **11・12**, pp. 34~45, (1957).
- 7) 林野庁・(林業試験場)：収穫表調整業務研究資料, **1** (1952), **2** (1952), **15** (1956), **16** (1956), **21** (1959), **25** (1960).
- 8) 坂口勝美・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, 林試報, **93**, pp. 1~25, (1957).
- 9) 坂口勝美：間伐の本質に関する研究, 林試報, **131**, pp. 1~95, (1961).
- 10) 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**, pp. 65~90, (1955).
- 11) 四手井綱英：林分密度の問題, 林業解説シリーズ, **86**, (1956).
- 12) 四手井綱英(編)：アカマツ林の造成—基礎と実際—, 地球出版, pp. 246~262, (1963).

- 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., **D, 7**, pp. 35~72, (1956).
- 14) SHINOZAKI, K. and T. KIRA: Ditto X. The C-D rule, its theory and practical uses. Jour. Bio., Osaka City Univ., **12**, pp. 69~82, (1961).
- 15) SPURR, S. H., L.J. YOUNG, B.V. BARNES and E.L. HUGHES: Nine successive thinning in a Michigan white pine plantation. Jour. For., **55**, pp. 7~13, (1957).
- 16) 只木良也・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, 日林誌, **44**, pp. 129~139, (1962).
- 17) 只木良也・四手井綱英: 数量的間伐に関する生態学的研究, 京大演報, **34**, pp. 1~31, (1963).
- 18) 只木良也: 林分の葉量・生産・立木密度, 3, 暖帯林, **3**, pp. 30~41, (1963).
- 19) 只木良也: 競争密度効果式を基にした幹材積収穫予測, 林試報, **154**, pp. 1~19, (1963).
- 20) 高田和彦(抄録): 台湾におけるスギ植栽密度試験結果について(周楨・楊榮殷・焦国模: 台湾大実験林報, **10**, (1957)), 森林計画研究会会報, **94**, pp. 12~14, (1962).

**Effect of Thinning on Stem Volume Yield studied with
Competition-Density Effect.**

— On the case of *Pinus densiflora* —

Yoshiya TADAKI

(Résumé)

The thinning is one of the most important techniques in stand tending, but on the practice many serious problems are still remained unsolved theoretically and most foresters cannot help but carry out thinning treatments empirically and his subjective judgement.

It has already been recognized that the standing crop of stems increases when the stand density is higher in the same growth-stage and -condition, but for the total stem yield including the removed thinnings, there are many questions still left concerning the grade of thinning or the stand density control. It has been merely guessed that the total stem yield is not affected substantially by the difference of thinning grade.

In this report, the author computed total stem yields of supposed thinning models in numerous cases in which the author assumed varying grades, intervals, beginning time of thinning and initial planting density on the case of Japanese red pine (*Pinus densiflora*), using the general rules of the stand density for stem production, and compared them to each other.

The Competition-Density effect, which was found by KIRA et al.⁵⁾¹³⁾ with herbaceous plants, has been recognized to be applicable also on the case of stem volume of woody plants.

When the growth factors other than stand density are equally supplied, after a certain period of growth, the relation between mean stem volume (v) or stem volume per hectare (V) and stand density (ρ) is given by the following equations (the reciprocal equation of C-D effect¹³⁾).

$$v = 1/(A\rho + B) \dots\dots\dots (4)$$

$$V = \rho/(A\rho + B) \dots\dots\dots (13)$$

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

The full-density curve (3/2 power rule⁶⁾) on mean stem volume, which shows the upper limit of stand density in regard to arbitrary mean stem volume, is found as following on *Pinus densiflora*.

$$v = 2.6 \times 10^4 \rho^{-1.5} \dots\dots\dots (10)$$

where v and ρ denote the maximum of mean stem volume (m³) and of stand density (no./ha) respectively.

In Fig. 1 the relations between v and ρ are shown. Here, assuming that the mean height of stand expresses the growth stage or site condition of stand, and that stand having uniform mean height are on the same growth stage, equivalent-height curves on the $\rho \sim v$ relation can be expressed with the reciprocal equation (eq. (4)). Constants A and B of each equivalent-height curve were decided as Table 1.

On this $\rho \sim v$ diagram combining the curves of full-density and of equivalent-height, total stem yield were calculated for numerous models of thinning scheduled as Table 2.

The course of $\rho \sim v$ relation on natural death can be expressed with Type VI of C-D curve¹⁴⁾.

$$\frac{1}{\rho} = Av + B \dots\dots\dots (12)$$

where A and B are constants determined by the full-density curve and initial density (Fig. 3).

As $\rho \sim v$ relation after thinning in the case of removing in the order of smaller individual varies on the C-D curve based on the reciprocal equation, stem volume of a stand before and after thinning can be calculated on the same equivalent-height curve.

When 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 $V_{x1} \rightarrow V_{x2}$ and $\rho_{x1} \rightarrow \rho_{x2}$ per hectare by thinning, V_{x1} , V_{x2} and V_{tx} (thinning yield per hectare) are shown by the followings:

$$V_{x1} = \rho_{x1} / (A_x \rho_{x1} + B_x) \dots\dots\dots (14)$$

$$V_{x2} = \rho_{x2} / (A_x \rho_{x2} + B_x) \dots\dots\dots (14')$$

$$V_{tx} = V_{x1} - V_{x2} \dots\dots\dots (15)$$

The results obtained were as follows (Table 4, Fig. 4~7).

1. The yield in the final cutting increased with the higher final stand density.
2. The total yield, sum of final and thinning yields, increased with higher density control. But this tendency was more remarkable below 15 percent relative density, which was defined as the ratio of actual density reduced by thinning to the full-density estimated on the same equivalent-height curve.
3. On the thinning models, which were thinned lower than 15 percent relative density, total yield had tendencies to increase with nearer management base line to the full-density curve, with later beginning of thinning, with shorter interval and with higher initial planting density.
4. On the thinning models, which were controlled higher than 15 percent relative density, total yield seemed to be not particularly different by management base line, beginning time and interval of thinning. But, it increased with higher initial planting density.
5. Total thinning yield increased with higher planting density, with farther management base line from the full-density curve, with later beginning and with shorter interval of thinning. These tendencies were more remarkable when the relative density was under 15

percent. When the relative density was over 15 percent, total thinning yield was affected merely by initial planting density and management base line.

6. The value of 15 percent relative density seems to be show the density in which the crowns nearly come to their closure or individual trees begin to compete with others, so the following conclusion may be allowed that the total yield of stems is little affected by various kind of thinning course (stand density of final cutting, beginning time and interval of thinning), if the crown closure of the stand is kept unbroken.

Examining on the $\rho \sim v$ diagram, there are little differences in management courses of present yield tables⁷⁾ of *Pinus densiflora* between several districts of Japan (Fig. 8).

Then, tentative thinning schedule was presented for *Pinus densiflora*, which were prepared with reference to the results mentioned above (Table 5). In this table, the mean height of stand was taken as the single variable, and the site and the stand age were understood to be represented with the mean height.