

個体サイズと立木密度 トドマツ密度試験でみられた最適密度について

清和研二* 久保田泰則*

Density Effect on Individual Tree Size

An optimal density observed in experimental stands of *Abies sachalinensis* MAST .

Kenji SEIWA and Yasunori KUBOTA

はじめに

立木密度は林分の量的、質的構造を決定する大きな要因である。これまでも密度を主要因とした林分の平均値レベル、総量レベル、個体レベルでの法則性が定式化されてきている。しかし、その法則性は主に林冠の閉鎖以後の林分構造に関するものであり、閉鎖以前の林分構造との関連が十分に検討されていない。つまり、植教室度の違いにより閉鎖するまでの林分構造には差異があらわれてくるはずであり、その差異を閉鎖以降の林分構造を追う場合の出発点としなければならない。しかし、そのつながりが十分に考慮されていなかったといえる。

ここでは、閉鎖以前の林分から閉鎖後かなり時間の経た林分まで、低密度から高ま度にかけて十分に広い密度の幅をもったトドマツ同齡人工林の解析を行った。

解析の結果、丁度、閉鎖に達したばかりの林分で、平均値レベルおよび個体レベルで、個体のサイズを大きくする方向に最適な密度があることが認められた。そこで、その最適密度出現のメカニズムと意味について検討した。

調査を援助され、また、数々の助言を頂いた当场造林科の菊沢喜八郎、浅井達弘（現道北支場）、福地稔、経営科の佐々木信悦（現池田林務署）、阿部信行（現道北支場）の各氏に深く謝意を表す。

試験林分と調査方法

試験林分は北海道立林業試験場の実験林に設定し、1965年5月にトドマツ5年生苗を植栽した（図-1）。植栽密度が3,333~40,000本/haの範囲に6つの密度区を設け（表-1）、そして、密度区的位置を任意に変え3回反復した（図-2）。また、隣接する密度区の間にはトドマツを1.5mおきに1列植栽し緩衝帯とした。試験林分は海拔高140~190m、傾斜15~20°の南東向き斜面の中腹に位置している。

保育は植栽後7年間下刈りを行い、その後2回、蔓切りを行った。

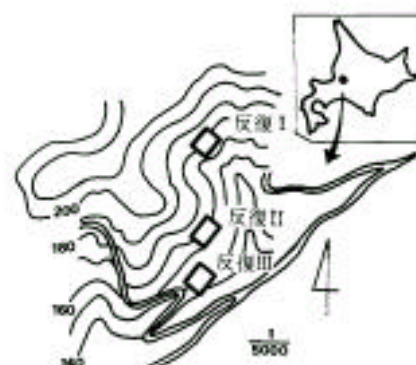


図-1 試験地の位置

Fig. 1. Location of experiment blocks

* 北海道立林業試験場 Hokkaido Forest Experiment Station, Bibai, Hokkaido 079 - 01

[北海道林業試験場報告 第20号 昭和57年10月, Bulletin of the Hokkaido Forest Experiment Station, No. 20 December, 1982.]

表 1 試験区の設定(1965 年)

Table 1. Design of experimental plot in 1965.

密度区 No. Plot No.	植え付け 距離 distance among trees (m)	1 本当り占有 面積 occupancy per tree (m ²)	1 ha 当り 本数 number per ha	プロット 本数 number per plot	プロット 面積 plot area (m ²)	調査本数 investigated tree number per plot	調査面積 investigated plot area (m ²)
1	0.50	0.25	40,000	31 × 10 310	78	29 × 8 232	58
2	0.71	0.50	20,000	22 × 10 220	110	20 × 8 160	81
3	1.00	1.0	10,000	16 × 10 160	160	14 × 8 112	112
4	1.41	2.0	5,000	11 × 10 110	220	9 × 8 72	144
5	1.58	2.5	4,000	10 × 12 120	300	8 × 10 80	200
6	1.73	3.0	3,333	10 × 12 120	360	8 × 10 80	240

調査本数はプロット本数の外周一列を除いたものである。

At investigation, we excepted the individuals of plot edge from those of plot.

第 1 回調査は植栽 3 年後の 1968 年 10 月に行い、残存本数と樹高を調査した。第 2 回調査は植栽 15 年後の 1980 年に行い、全立木をナンバーテープで個体識別し立木位置図を作成した。胸高直径は直径巻尺を用いて、樹高、枝下高は測高ポールを用いて毎木測定したただし、枝下高の測定は半数の密度区では 10 ~ 30 本の範囲でおこなった。また、調査のさい、各密度区とも林縁木を 1 列ずつ除外した。1980 年時の密度区の現況は表 - 2 のとおりである。

1980 年調査時に、未閉鎖の密度区では、高さ 1 ~ 1.5 m のクマイザサが繁茂しており、シラカンバの生育もみられた。

結 果

各密度区および各反復区間の地位の差の判定

林分の地位判定にはえ木密度の影響を受けないとされる上層木の平均樹高が用いられている。ところが、本試験では各密度区の本数、面積が異なるので、各密度区につき樹高の高い個体から 1 ha 当り 250 本、現存本数の 10%、5 本、10 本を取り出し、その平均樹高を分散分析した。その結果 ~ いずれの場合も各密度区間、各反復区間に 5 % 水準で有意差はなかった。したがって、各密度区間、各反復区間の地位の差は小さいものとして今後の考察をすすめる。

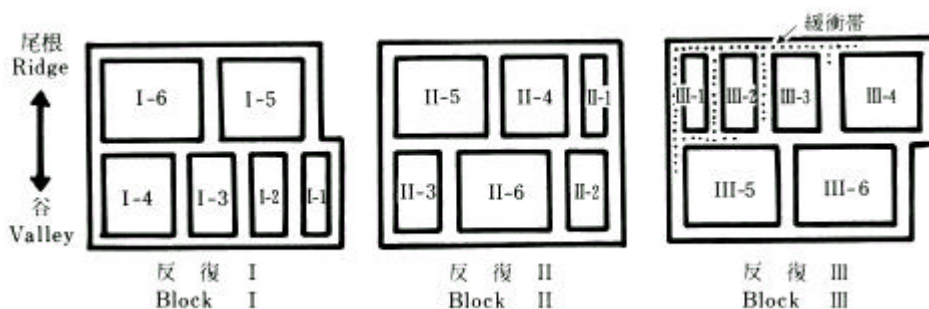


図 - 2 密度区の配置
Fig . 2 . Arrangement of experimental plots

表-2 各密度区の現況1980年

Table 2. Outline of experimental plots in 1980

密度区 block plot	立木密度 stand density (number/ha)	樹高 height		平均 枝下高 mean clear length	平均 樹冠長 mean crown length	胸高直径 D.B.H		幹材積 stem volume			胸高 断面積
		平均	最大	BO (m)	LO (m)	平均	最大	平均	最大	林分 Total	basal area (m ² /ha)
		H̄	Hmax			D̄	Dmax	(×10 ⁻⁴ m ³)	(×10 ⁻⁴ m ³)	(m ³ /ha)	
		(m)	(m)	(cm)	(cm)	(×10 ⁻⁴ m ³)	(×10 ⁻⁴ m ³)	(m ³ /ha)			
- 1	31,034	2.90	5.3	0.95	1.96	3.25	7.0	27	128	83.29	34.07
2	15,185	4.60	6.5	1.33	3.20	5.01	9.6	73	244	111.88	33.19
3	8,304	4.93	7.2	1.41	3.52	6.08	9.2	105	240	87.33	25.66
4	4,444	5.29	7.4	1.26	4.02	7.00	11.3	150	435	66.69	18.63
5	3,650	4.12	7.0	0.95	3.17	5.61	9.6	90	262	32.90	10.38
6	2,708	4.45	6.5	0.81	3.63	6.46	12.3	115	417	31.03	9.79
- 1	31,379	3.18	6.2	1.21	1.96	3.57	7.5	32	132	98.97	35.88
2	12,840	5.14	7.5	1.31	3.83	5.42	9.2	97	266	126.53	33.75
3	6,964	3.65	5.8	1.05	2.60	4.58	9.2	54	229	37.71	12.87
4	3,264	4.97	8.0	0.66	4.30	6.57	11.2	132	398	43.19	12.27
5	2,950	3.96	5.5	0.68	3.28	5.72	9.2	84	214	24.85	8.39
6	2,333	3.81	5.9	0.46	3.56	5.13	9.6	74	240	17.27	5.72
- 1	17,931	4.33	7.3	1.81	2.43	4.67	9.6	69	317	123.41	35.69
2	12,716	5.07	7.5	1.66	3.41	5.51	9.8	95	338	121.70	33.60
3	8,036	4.25	6.2	1.23	3.01	5.32	10.2	77	256	62.15	19.85
4	4,524	4.72	6.7	0.95	3.76	6.03	9.5	104	262	47.23	14.01
5	3,550	6.33	9.7	0.74	5.71	8.25	14.2	253	853	89.92	21.18
6	2,875	5.24	7.2	0.88	4.36	7.39	10.9	162	391	46.53	12.84

表-3 立木密度と生存率の経過

Table 3. Transition of stand density and survival ratio

試験区 block plot	立木密度(本/ha) stand density (number/ha)			生存率 surval ratio(%)		
	1965	1968	1980	1968	1980	1980
				1965	1968	1965
- 1	40,000	35,690	31,034	89.2	87.0	77.6
2	20,000	15,625	15,185	78.1	97.2	75.9
3	10,000	8,571	8,304	85.7	96.9	83.4
4	5,000	4,792	4,444	95.8	92.8	88.9
5	4,000	3,650	3,650	91.3	100.0	91.3
6	3,333	3,041	2,708	91.3	89.0	81.3
- 1	40,000	36,379	31,379	91.0	86.3	78.4
2	20,000	16,000	12,840	80.0	80.3	64.2
3	10,000	8,482	6,964	84.8	82.1	69.6
4	5,000	3,472	3,264	69.4	94.0	65.3
5	4,000	3,150	2,950	78.8	93.7	73.8
6	3,333	2,416	2,333	72.5	96.6	70.0
- 1	40,000	33,276	17,931	83.2	53.9	44.8
2	20,000	18,000	12,716	90.0	70.6	63.6
3	10,000	8,750	8,036	87.5	91.8	80.4
4	5,000	4,583	4,524	91.7	98.7	90.5
5	4,000	3,550	3,550	88.8	100.0	88.8
6	3,333	2,875	2,875	86.3	100.0	86.3

立木密度と生存率

植栽3年後と15年後の、各密度区の立木密度と生存率を表-3に示した。植栽3年後の各密度区の生存率は69.4~95.8%で植栽密度との相関は認められなかった。反復IIの生存率がもっとも低かったが、どの密度区にも補植は行わなかった。植栽3年後の立木密度に対する植栽15年後の生存率は高密度区ほど低く、低密度区ほど高かった(図-3)。枯死の原因として、低密度区では雪による倒伏や幹折れがあげられ閉鎖のすすんだ高密度区ではトドマツ相互の競争による枝圧木の自然枯死が考えられる。

立木密度と林分構造

18ある密度区を植栽15年後(1980年)の立木密度順に次の3グループに分けた。低密度域.....林分が未閉鎖で、ササ、シラカンバなど他種の植生の生育がみられる2,333本/ha, 2,708本/haの2つの密度区。

中間密度域.....立木間の枝葉がふれあうぐらゐの閉鎖直前の密度区から、枝が枯れ上がり始めた閉鎖直後の密度区までの2,875~4,524本/haの範囲の7つの密度区。高密度区域...閉鎖して枝の枯れあがり、かなり進行している6,964~31,379本/haの範囲の9つの密度区。

1. 平均値レベル

(1) 平均樹高・平均枝下高・平均樹冠長

平均樹高を各密度区間、各反復区間で分散分析をおこなった結果、5%水準で有意な差がなかった。しかし、平均樹高と密度の間にはある傾向がよみとられる(図-4)。すなわち、平均樹高は中間密度域で最大値をしめし、低密度域、高密度域では漸減傾向をしめす。とくに30,000本/ha以上の高密度区では、かなり低い値をしめす。

平均枝下高は高密度区ほど高くなっており、枝の枯れ上がりと密度の相関はかなり高いといえる。しかし、30,000本/ha以上の密度区では高密度の割に枝下高が低い。これは平均樹高が低く抑えられたために林冠の下層まで補償点以上の陽光が到達したからだと考えられる。

平均樹冠長は平均樹高と同様に中間密度域で最大値をしめし、それよりも低密度でも高密度でも減少する傾向をしめす。これは、中間密度域で平均樹冠層の厚み、つまり林分葉量が最大であることを意味する。

(2) 平均直径・平均材積

材積は中島(1943)の形数法で求めた。平均直径および平均材積と密度の関係もまた中間密度域で最大値をもつ最造型の曲線をしめす(図-5)。これは、平均材積

(\bar{V})と密度(ρ)の間にすでに定式化されている

(SHINOZAKI&KIRA,1956)競争密度効果の逆数式($1/\bar{V}$

= A + B ; A, Bはパラメーター)

が、高密度域では成立するが中間密度域から低密度域では成立しないということをしめす。

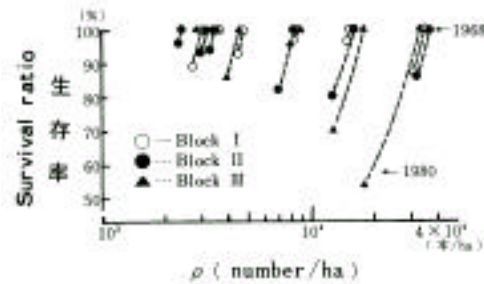


図-3 生存率と密度()の関係(1968~1980)

Fig. 3. Relations between survival ratio and stand density() (1968 - 1980)

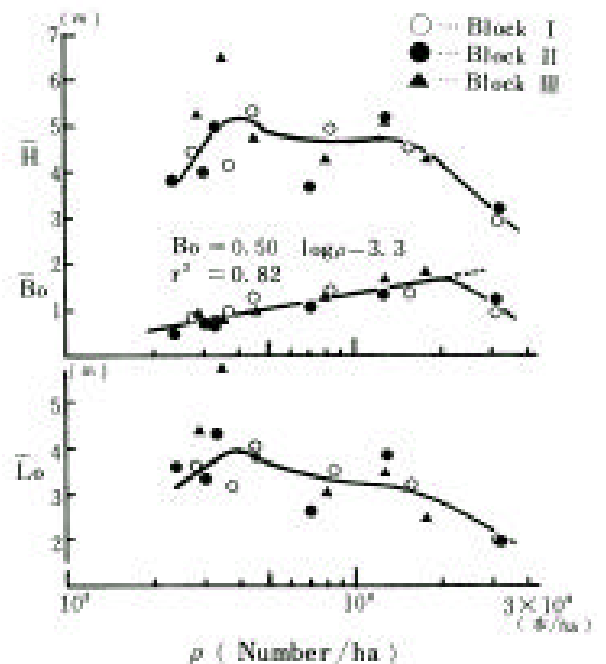


図-4 平均樹高(\bar{H}), 平均枝下高(\bar{B}_0)

平均樹冠長(\bar{L}_0)と密度()

Fig. 4. Relations between actual stand density() and mean height(\bar{H})

mean clear length(\bar{B}) and mean

crown length(\bar{L}_0)

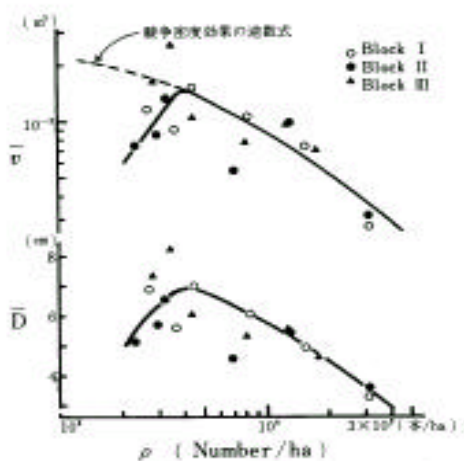


図-5 平均個体材積 (\bar{V}), 平均直径 (\bar{D}) と密度 (ρ) の関係
 Fig. 5. Relations between actual stand density

(ρ) and mean stem volume (\bar{V}) and mean D.B.H. (\bar{D})

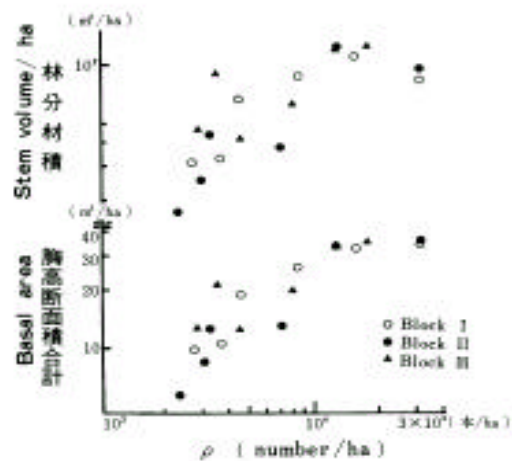


図-6 林分材積, 胸高断面積合計と密度 (ρ) の関係

Fig. 6. Relations between actual stand density (ρ) and stem volume and basal area.

以上の平均値レベルの解析では、樹冠長および樹高、直径、材積のいずれの平均値も中間密度域で最大値をもつ中高の曲線をしめす。これは、各々の平均値が最大値をしめす「最適密度」が中間密度域に存在することを意味している。

2. 林分総量レベル

(1) 胸高断面積合計・林分材積

胸高断面積合計、林分材積はともに低密度域から高密度域にかけて密度が高いほど大きな値をもつ (図-6)。しかし、12,000 本/ha 以上の密度区では、胸高断面積合計は 33.2 ~ 35.9 m²/ha でほぼ一定値をしめし、最多密度に達していると考えられる。ところが、林分材積は、12,000 ~ 18,000 本/ha の範囲にある密度区では 112 ~ 127 m³/ha でほぼ一定値をしめすものの、更に高密度の 30,000 本/ha 以上の密度区では 83.99 m³/ha と逆に小さい値をしめしている。これは、高密度であるために平均樹高が低く抑えられたことによるものであろう。そして、今後とも樹高生長が抑制されていくなれば、最終的な材積収量は 30,000 本/ha 未満の密度区に比べ低下していくものと考えられる。つまり、最終収量一定の法則は上記のような過密林分では成立し得なくなるのではないかと考えられる。

3. 個体レベル

(1) 材積、直径、樹高の頻度分布形の密度による変化

ここでは分析を一步すすめて立木密度が個体の大きさの頻度分布の形にどう影響するのかを解析した。材積のクラス数 X は各密度区の調査本数を N_0 として、

$$X = 1 + 3.3 \log_{10} N_0 \quad (1)$$

で定めた (大村, 1969)。直径、樹高のクラス幅は、それぞれ 1 cm, 1 m とした。

材積の頻度分布は高密度区ほど L 字型分布の勾配が急であり、自然間引きが激しいことをしめしている。そして密度が低くなるにつれて L 字型の勾配が緩くなり、中間密度域では三角型分布から一様分布に近い分布形をしめす。しかし、低密度域では再び L 字形に近い分布形をしめす (図-7, 10)。この頻度分布形の変化から次のことがいえる。すなわち、中間密度域では、1 つの林分での大きな個体の占める割合が相対的に大きい。そして、高密度域および低密度域では、逆に大きな個体の占める割合が

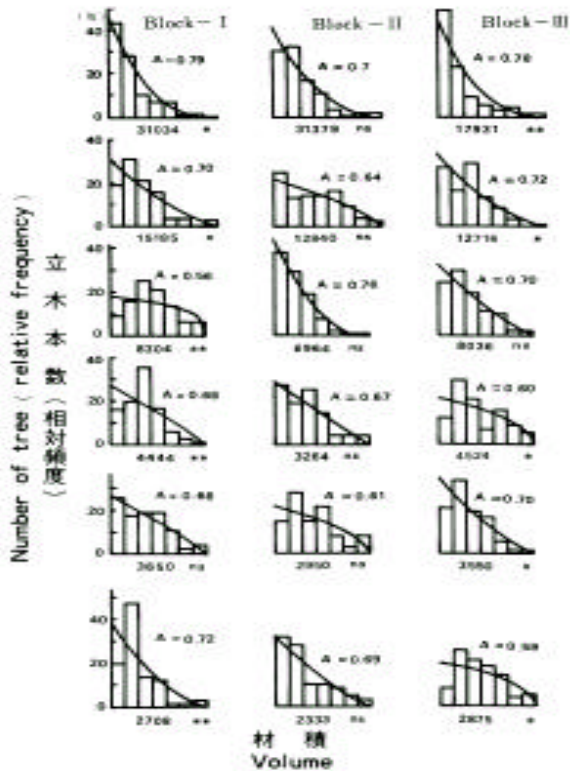


図 - 7 材積階別本数頻度分布

ヒストグラムは実測値の相対頻度を曲線は(6)式による期待値をしめす。

*, **は実測値と期待値の間にそれぞれ5.1%水準

準で有意差があることをしめし ns は5%水準で有意差のないことをしめす。各ヒストグラムの下の数字は現実宗度(本/ha)をしめす。

Fig . 7 . Frequency distribution of each diameter class.

Histograms indicate relative frequencies of observed tree numbers and solid curves are relative frequencies of expected value from equation (6). *, ** stand for significant difference at the 5 and 1 % level between observed and expected values, while ns stands for non - significant difference at the 5% level. Numbers under histograms indicate actual stand density (number / ha).

す。そして、その傾向は中間密度域でもっとも顕著である。しかし、低密度域では逆に正規型の分布型をしめし、大きな個体の占める割合が少なくなる。すなわち、中間密度域に1つの林分での大きな直径階に属する個体の占める割合が最大となる最適密度があるといえる。樹高の頻度分布は直径の頻度分布に比べ、あきらかに分布幅が狭く、背ぞろい現象がみられる(図-9)。17,000本/ha以上の密度区では、ほぼ正規型の分布型をしめす。しかし、それ以下の密度区ではJ字型の分布型をしめす。そして、中間密度域から低密度域にかけてJ字型の歪みが小さくなり正規

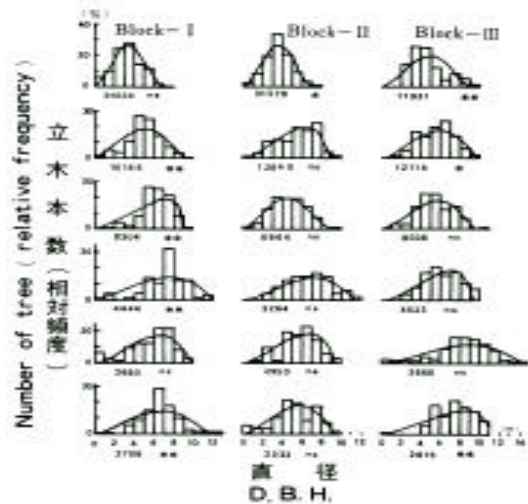


図 - 8 直径階別本数頻度分

ヒストグラムは実測値の相対頻度を曲線は(13)式による期待値をしめす。

数字、記号の説明は図-6と同じである。

Fig . 8 . Frequency distribution of each diameter class

Histograms indicate relative frequencies of observed tree numbers and solid curves are relative frequencies of the expected value from equation (13). Explanation of figure as in figure 6.

相対的に小さくなる。いいかえれば、中間密度域に1つの林分での大きな個体の占める割合が最大があるといえる。胸高直径の頻度分布も材積と同じ傾向をしめしている(図-8, 10)。30,000本/ha以上の密度区ではモードがやや左側に寄っているもののほぼ正規型をしめす。しかし、密度が低くなるにつれてモードが右側に移っていき、左側の裾が長くなる分布型をしめす。つまり、密度が低くなるにつれて、大きな直径階に属する個体の割合が多くなり、小さな直径階に属する個体は相対的に少なくなる傾向をしめ

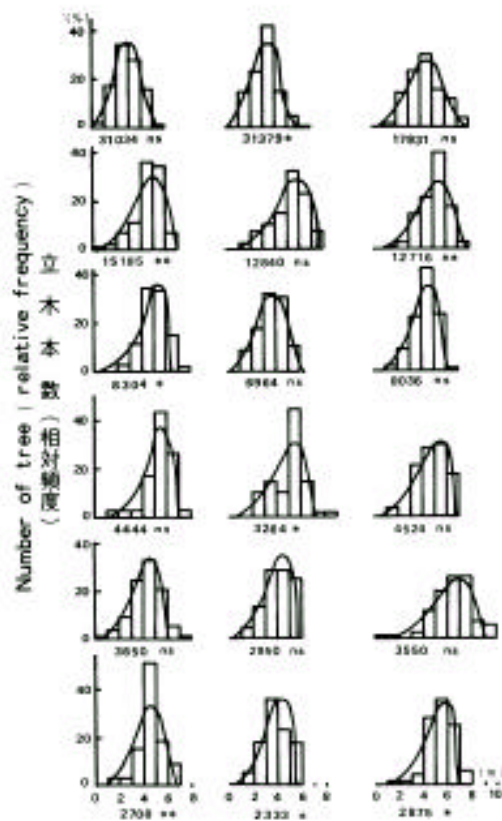


図 - 9 樹高階別本数頻度分布

ヒストグラムは実測値の相対頻度を曲線は(14)式による期待値をしめす。
数字, 記号の説明は図 - 6 と同じである。

Fig.9 . frequency distribution of each height class
Histograms indicate relative frequencies of observed tree numbers and solid curves are relative frequencia of the expected value from equation (14). Explanation figure as in figure 6.

(2) 個体レベルと平均値レベルの関係

これまでみられた頻度分布の形は単峰型およびJ字型, L字型である。したがって平均値は最小個体と最大個体の値, つまり, 頻度分布の幅, および, その形状によってほとんど決定される。

材積の場合は密度の高低にかかわらず最小材積はほぼ一定であり, 最大材積はバラツクがここでは一定とみなす。すると, 平均材積が中間密度域で最大値をもつことは頻度分布の形状の変化によって説明できる。すなわち, 大きな個体の占める割合が大きいため平均値も大きくなったといえる。

同様のことが直径の場合にもいえる。ただし, 最大直径は低密度区ほど大きくなる。つまり, 頻度分布の形の変化に幅の変化が相乗した形で平均値が決まったものと考えられる。

また, 樹高の頻度分布形は中間密度域では, もっとも右に歪んだ形をしめすものと正規型をしめすものがある。しかし, 正規型をしめすものは, モードが地区より大きい樹高階にある。つまり, 最小樹高階を他区と同様にとれば, やはり, 右に歪んだ分布形をしめすといえる。すなわち, 材積, 直径の場合と同様に樹高の場合も, 大きな個体の占める割合の変化が平均値の大きさを決定したといえる。

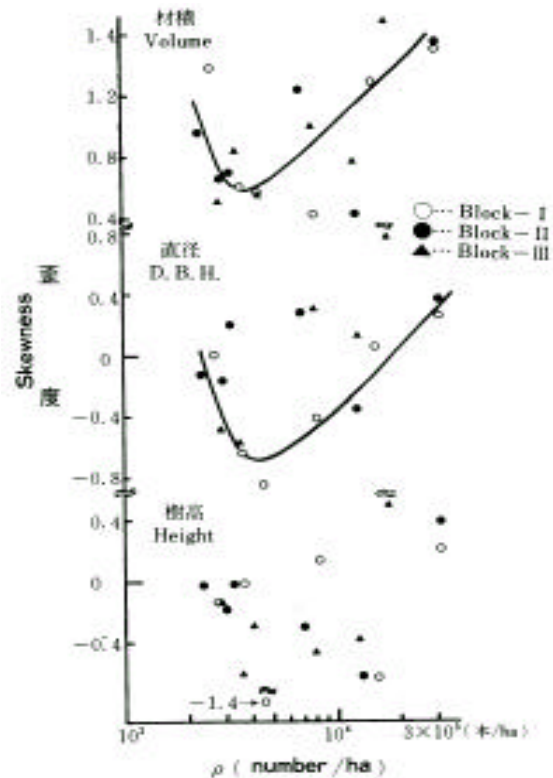


図 - 10 材積, 直径, 樹高の頻度分布の歪度と密度の関係

Fig.10 . Relations between actual stand density () and skewness of frequency distributions of volume , D . B . H . and height .

型に近づく(図 - 10)。したがって, 樹高の頻度分布形では材積, 直径の頻度分布形の変化でみられたような明らかな最適密度はみられない。

(3) 分布密度関数を用いたシミュレーション

密度の高低ともなう頻度分布形の変化を連続的にとらえ、同時にモデルとして検討するために各々の頻度分布に分布密度関数をあてはめた。さきに KIKUZAWA (1981) は、HOZUMI (1971) のベータ型個体重分布密度関数を用いて導いた Y - N 曲線がトドマツ無間伐林分によく適合することをしめした。ここでは、その分布密度関数をもとに材積、直径、樹高相互の相対生長関係を用いて直径、樹高の分布密度関数を導いた。

a, 材積, 直径, 樹高の分布密度関数

ベータ型の個体重 (ここでは個体材積を用いる) の分布密度関数は次式であらわされる。

$$f(x) = C \left\{ (A - I) x + B \right\}^{(2A-1)/(1-A)} \quad (2)$$

パラメーター A, B, C は次式で近似した。

$$A = I - \bar{I} / I_{\max} \quad (3)$$

$$B = \bar{I} \quad (4)$$

$$C = \frac{A}{AB - A(I - A)} \quad (5)$$

ただし, I は個体材積, \bar{I} は平均個体材積, I_{\max} は最大個体材積, N は林分本数である (HOZUMI, 1971)。したがって, ある材積のクラス, $[I_i, I_{i+1}]$ 区間に存在する個体の本数 $N(I_i, I_{i+1})$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} N(I_i, I_{i+1}) &= \int_{I_i}^{I_{i+1}} f(I) dI \\ &= \frac{C}{A} \left[\left\{ (A - 1) I_i + B \right\}^{A/(1-A)} - \left\{ (A - 1) I_{i+1} + B \right\}^{A/(1-A)} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

次に胸高直径, 樹高, 材積の間に次のアロメトリーを仮定した。

$$V = a (D^2 H)^b \quad (7)$$

$$1/H = 1/D^h + 1/H^* \quad (8)$$

ただし, D は胸高直径, H は樹高, H^* は 1 つの林分における樹高の上限値, a, b, h はパラメーターである。(7) 式は材積計算に用いた中島 (1943) の形数法と同義であり, (8) 式は拡張相対生長式で直径と樹高の間になんかなり一般的に成り立つといわれている (小川, 1980)。ここで, (8) 式を

$$1/H = P/D^h + Q \quad (\text{ただし, } 1 = P, 1/H^* = Q) \quad (9)$$

とおくと, (2), (7), (9) 式より

$$f(D) = abC \left\{ a(A - 1) \left(\frac{D^{h+2}}{P + QD^h} \right)^b + B \right\}^{2A-1/(1-A)} \frac{P(h+2)D^{(hb+2b-1)} + 2QD^{(hb+2b+h-1)}}{(P + QD^h)^{b+1}} \quad (10)$$

$$f(H) = abCP^{2b/h} \left\{ aP^{2b/h}(A - 1) \left(\frac{H}{1 - QH} \right)^{2b/h} H^b + B \right\}^{(2A-1)/(1-A)} \left(\frac{H}{1 - QH} \right)^{2b+h/h} H^{b-2} \left(\frac{2}{h} + 1 - QH \right)$$

(11)

なる直径, 樹高の分布密度関数が得られた。しかし, 各密度区間の $D - H$ 関係を両対数グラフに表わすとほぼ全区で頭うちのない直線関係がえられた。つまり, $H^* = 1/Q$ ($Q > 0$) となり, (8) 式は

$$H = D^h \quad (12)$$

なる単純相対生長式となる。

そこで, ある胸高直径のクラス $[D_i, D_{i+1}]$ 区間に存在する個体の本数 $N(D_i, D_{i+1})$ は (10) 式に $Q = 0$ を代入して次式で与えられる。

$$N(D_i, D_{i+1}) = \frac{D_{i+1}}{D_i} (D) d D$$

$$= \frac{C}{A} \left\{ \left[a(A-1) D_i^{(h+2)b} + B \right]^{A/(1-A)} - \left[a(A-1) D_{i+1}^{(h+2)b} + B \right]^{A/(1-A)} \right\} \quad (13)$$

同様に、ある樹高のクラス〔 H_i, H_{i+1} 〕区間に存在する個体の本数 $N(H_i, H_{i+1})$ は (11) 式に $Q = 0$ を代入して次式で与えられる。

$$N(H_i, H_{i+1}) = \frac{H_{i+1}}{H_i} (H) d H$$

$$= \frac{C}{A} \left\{ \left[a(A-1) P 2^{b/h} H_i^{(h+2)b/h} + B \right]^{A/(1-A)} - \left[a(A-1) P 2^{b/h} H_{i+1}^{(h+2)b/h} + B \right]^{A/(1-A)} \right\} \quad (14)$$

b. 分布密度関数の適合性の検討

各々の分布密度関数の実測値への適合性を調べるために²検定を行った。その結果、1%レベルで有意性をしめさなかったのは全18プロット中、材積分布では14プロット(78%)、直径分布では12プロット(67%)、樹高分布では15プロット(83%)であった。また、図-7, 8, 9上でも個々の分布の形状をよく表現し得ていることがわかり、これらの分布密度関数の適合性はかなり良好だといえる。

c. 密度の高低にともなう分布密度関数の形状の変化

材積の場合(HOZUMI, 1971)と同様に、直径、樹高の分布密度関数の形状はパラメータ-Aの値によって変化する(図-11)。材積、直径、樹高の分布密度関数は、Aの値が小さくなるにつれて連続的に右に歪んでいき、大きな個体の占める割合が大きくなる形をしめしていく。また、Aの値と密度の関係をみるとAの値は0.79~0.56の範囲にあり、高密度区ほど大きく密度が低くなるにつれて減少していき、中間密度域で下限の値をしめす(図-12)。

しかし、低密度域になると再び増加傾向をしめす。つまり、下に凸な曲線をしめす。ここで、図-11と図-12を対応させてみると、最適密度が中間密度域に存在することが再現される。いいかえれば、Aの値と密度の間に成り立つ曲線関係を定式化することにより、各々の頻度分布形の変化がシミュレートされ、最適密度が現わされることをしめしている。今回は一定の傾向がみられたかったパラメーターa、b、hと密度の関係

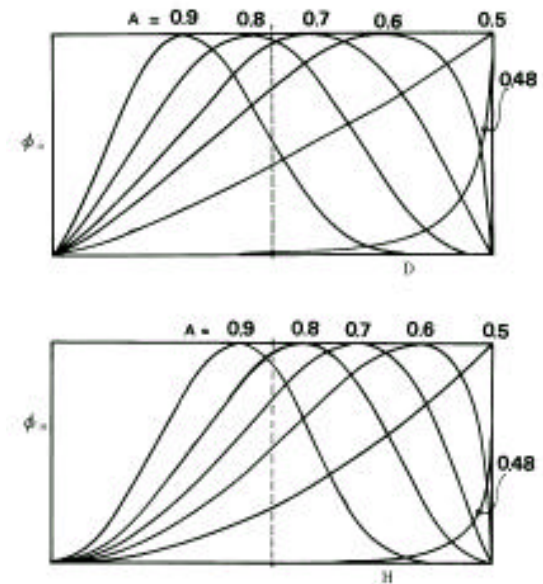


図 11 A の値の変化にともなう (D) - D, (H) - H カ - プの形状
Fig .11 Shapes of the (D) - D curve and (H) - H curve as related to the change in the value of A

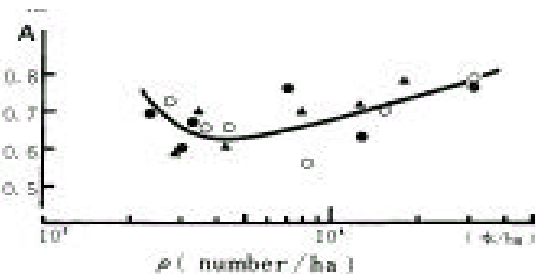


図 -12 パラメータ A の値と密度 () の関係
Fig.12 . Relation between value of parameter A and actual stand density ()
.....Block
.....Block
.....Block

表 4 各密度区における分布密度関数のパラメーター
Table.4 Parameters of distribution function in each stand densities

	(ha ⁻¹)	A	B (m ³)	C ((m ³) ^{A/(A-1)} /ha)	a (× 10 ⁻⁴)	b	C	h
- 1	31,034	0.7891	0.0027	1.011 × 10 ¹⁴	1.157	0.832	1.123	0.7945
2	15,185	0.7008	0.0073	1.076 × 10 ⁹	1.100	0.8513	1.602	0.7744
3	8,304	0.5625	0.0105	1.635 × 10 ⁶	0.9753	0.8805	1.496	0.6667
4	4,444	0.6552	0.0150	8.510 × 10 ⁶	0.8340	0.9100	2.024	0.5002
5	3,650	0.6565	0.0090	1.947 × 10 ⁷	0.9531	0.8873	1.118	0.7471
6	2,708	0.7242	0.0115	2.425 × 10 ⁸	0.8933	0.9000	1.315	0.6557
- 1	31,379	0.7576	0.0032	1.491 × 10 ¹²	1.070	0.8543	1.106	0.8320
2	12,840	0.6353	0.0097	2.621 × 10 ⁷	0.7660	0.9236	1.583	0.7053
3	6,964	0.7642	0.0054	1.189 × 10 ¹¹	1.139	0.8463	1.119	0.7810
4	3,264	0.6683	0.0132	1.335 × 10 ⁷	0.9785	0.8829	1.403	0.6707
5	2,950	0.6075	0.0084	2.925 × 10 ⁶	1.182	0.8452	1.031	0.7750
6	2,333	0.6917	0.0074	9.737 × 10 ⁷	0.8956	0.8995	1.255	0.6805
- 1	17,931	0.7823	0.0069	8.186 × 10 ¹¹	0.8916	0.8953	1.317	0.7807
2	12,716	0.7189	0.0095	1.358 × 10 ⁹	0.9231	0.8882	1.572	0.6933
3	8,036	0.6992	0.0077	4.597 × 10 ⁸	0.8301	0.9084	1.420	0.6615
4	4,524	0.6031	0.0104	2.812 × 10 ⁶	0.8478	0.9068	1.083	0.8196
5	3,550	0.7034	0.0253	1.529 × 10 ⁷	0.7683	0.9247	1.608	0.6502
6	2,875	0.5857	0.0162	5.722 × 10 ⁵	0.7986	0.9181	1.548	0.6193

(表 - 4) も含めて、今後、資料を集積することによって定式化していきたい。

考 察

平均値レベル、および個体レベルでも、立木密度は材積、直径、樹高いずれにも影響を及ぼしていた。ところが、安藤(1968)は多くの資料を検討して平均樹高は密度の影響を受けないと結論している。しかし、その結論は密度幅が狭い試験地や、密度幅が広くてもプロット数が少ない試験地から導かれたものである。本試験地は未閉鎖の密度区から、かなりの高密度区まで広い範囲に連続的にプロットを設けたので、樹高にも密度の影響があらわれたと考えられる。

材積、直径、樹高、各々の平均値は中間密度域で最大値をもつ最適型の曲線をしめした。そして、それらは各々の頻度分布の歪度が最低値をもち、大きな個体の占める割合が最大となることに対応していた。このような最適密度が中間密度域に出現したメカニズムは次のように説明できよう。

低密度域では中間密度域、高密度域に比べ疎植であったため閉鎖までの期間が長く、まだ閉鎖していない。そして、植栽 15 年後も 1 ~ 1.5 m のクマイザサが繁茂し、シラカンバの生育もみられる。すなわち、低密度域は造林木であるトドマツが他の草本、木本との競争にさらされてきた期間がもっとも長かった密度域といえる。つまり、疎植であったため種間競争の強度が強く、また、その期間が長かったためトドマツの生長が阻害されたと考えられる。同様の報告が、これまでにスギ(鈴木ら, 1979)、トドマツ(坂本, 1969)、(清和ら, 1980)においてみられる。

また、KIRA & SHIDEI (1967)、大畠ら(1974)の図式によると林分葉量は林分の生長ともなって増加し、林冠の閉鎖とともに一時最大値をしめす。そして、その後、生育段階がすすむにつれて枝が枯

れ上がり、葉量は一定値をもって推移する。また、呼吸消費量を差し引いた純生産量も同様に閉鎖にともない最大となる。つまり、この図式により中間密度域で閉鎖にとまなう林分生産力の増加があったことを説明しうる。これまでも森田ら（1969）、浅井ら（1973）はコバノヤマハンノキの密度試験で閉鎖直後の密度区に林分葉量の最大値を認め、同時に平均値レベルでの最適密度をみいだしている。また、佐藤（1963, 1972）も林冠の閉鎖による生長促進をカラマツ、シラカンバ、ドロノキで認めている。ただし、トドマツでは認めていない。しかし、清和ら（1980）、真鍋ら（1981）のトドマツ密度試験の結果をみると平均値レベルのみならず個体レベル（頻度分布の形）でも閉鎖に達したばかりの中間の密度域に最適密度がみいだされる。また、同時に、閉鎖による直径生長量の増加（清和ら, 1980）、樹高生長量の増加（真鍋ら, 1981）がみとめられている。

すなわち、低密度域から中密度域、高密度域にかけて、未閉鎖状態での種間競争による生長阻害、林冠の閉鎖による林分生産力の増加、そして、競争密度効果（種内競争）による生長の減退などの現象が連続的にあらわれたために最適密度が出現したと考えられる。

そこで、トドマツ人工林には最適な密度があるということから次のことがいえよう。トドマツのように初期生長が遅い樹種では、種間競争を避けるためにも早く閉鎖させることが重要である。そして、林分が閉鎖前後にあるとき、その林分の個体の生長が促進されるとしたら、林分を全生育段階にわたって、そのような密度下に管理し続けることによって林分の上限を引き出し続けることができることになる。すなわち、間伐は林冠を大きく破壊せずに短期間に繰り返し行い、枝葉が触れ合う程度の状態を維持しつつ密度管理を行う。そうすることによって、大きな個体が早期に生産されるのではないかと考えられる。

また、間伐の効果とは、林冠を疎開し単木間の競争関係を緩和させることによって単木の生長が促進されることといえる。しかし、逆に次のようにもいえる。間伐によってその何年か後に枝葉の触れ合う程度の樹間距離が作られる。つまり、閉鎖前後の状態が復元されることにより個体の生長が促進される。しかし、それには樹木の生理的制約があると考えられるから、樹齢が若い時にのみ限られるかもしれない。この現象を定式化することにより、植栽密度や間伐などの密度管理における実用性、有効性についても検討を重ねていきたい。

摘 要

1. 1965年に北海道立林業試験場実験林にトドマツ密度試験地を設定した。植栽15年後の1980年に立木密度と林分構造をしらべた。

2. 立木密度が高い密度区ほど枯死木が多く生存率が低い（図-3）。

3. 樹高、樹冠長、直径、材積の各平均値は中間密度域（2,875～4,524本/ha）で最大値をしめした。そして、高密度域（6,964～31,379本/ha）および、低密度域（2,333～2,708本/ha）になると各平均値は漸減した（図-4, 5）。

4. 胸高断面積合計と林分材積はともに高密度区ほど大きな値をしめし、12,000本/ha以上の密度区では、ほぼ一定値をしめした。しかし、30,000本/ha以上の密度区では樹高生長が抑制されたため林分材積は一定値より低い値をしめした（図-6）。

5. 材積、直径、樹高の頻度分布形はともに低密度域、高密度域に比べ中間密度域で歪度の小さい分布形をしめした（図-7, 8, 9, 10）。これは、中間密度域では高密度域、低密度域に比べ、ひとつの林分での大きな個体の占める割合が相対的に大きいことをしめす。すなわち、中間密度域にトドマツの個体サイズを増大させる最適密度が存在するといえる。

6. 最適密度の存在をしめす中間密度域は閉鎖直前、直後の林分である。そこで、最適密度出現のメカニズムとして考えられるのは次の3つである。未閉鎖林分での種間競争による造林木の生長阻害。林分閉鎖にともなう林分生産力の一時的増加。高密度域での競争密度効果(種内競争)による生長抑制。

7. ベータ型個体重分布密度関数と相対生長式を用いて直径、樹高の分布密度関数を導いた。分布密度関数は現実林分によく適合した。分布密度関数の形状を決定するパラメーターAの値は中間密度域で最低値をしめした。つまり、中間密度域に最適密度が存在することを再現しえた(図-11, 12)。

文 献

- 安藤 貴 1968 同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究. 林試研報 210 : 1 - 153
- 浅井達弘・菊沢喜八郎・森田健次郎 1973 コバノヤマハンノキの密度試験(). 84回日林講 : 202 - 203
- HOZUMI, K. 1971 Studies on the frequency distribution of the weight of individual trees in a forest stand () - A beta - type distribution. Jap. J. Ecol. 21 : 152 - 167
- KIKUZAWA, K. 1981 Yield - density diagram for tod - fir plantations () - A new Y - N curve based on the Beta - type distribution - J. Jap. For. Soc. 63 : 442 - 450
- KIRA, T. and SIDEI, T. 1967 Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pasific. Jap. J. Ecol. 30 : 70 - 87
- 真鍋逸平・竹内典之・川那部三郎 1981 密に植栽された若いトドマツと一ロツパトウヒ林分の現存量と生長量. 京大演報 53 : 43 - 51
- 森田健次郎・高橋幸男・花房尚・水井憲雄 1969 コバノヤマハンノキの密度試験. 北林試報 7 : 18 - 23
- 中島広吉 1943 北海道立木幹材積表. 興林会北海道支部叢書 1 : 46 P P 林友会北海道支部
- 小川戾入 1980 個体群の構造と機能 221pp 朝倉書店 東京
- 大村 平 1969 統計のはなし 283pp 日科技連 東京
- 大畠誠一・四手井綱英 1974 森林の純生産量の経年推移に関する検討. 京大演報 46 : 40 ~ 50
- 坂本 武 1969 カラマツ外7種の植栽本数試験地の10年後の現況. 北方林業 21 : 18 - 24
- 佐藤清左衛門 1963 密植と密度効果の現われ始める時期 - とくに閉鎖開始までの成長量の差異について - 日林北支講 12 : 64 - 68
- 佐藤清左衛門 1972 トドマツ植栽本数試験地の密度と生長. 日林北支講 21 : 103 - 108
- 清和研二・阿部信行・佐々木信悦 1980 トドマツの植栽密度試験. 日林北支講 29 : 24 - 26
- SHINOZAKI, K. and KIRA, T. 1956 Intraspecific competition among heigher plants. Logistic theory of the C - D effect. J. Inst. Polytech., Osaka City Univ., Ser. D 73 - 94
- 鈴木 誠・佐倉詔夫・石原 猛 1979 スギ41年生疎密植栽林分について(I) - 生長状態 - 90回日林論 : 321 - 322

Summary

1 . Experimental stands in order to test the effect of different stand densities on the growth of *Abirs sachalinensis* MAST . were established at the experimental forest of Hokkaido Forest Experiment Station , Bibai (table 1 , fig . 1 , 2 ,) in 1965 . The stands were investigated in 1980 .

2 . The survival ratio was lower in the stands of high densities than those of low densities . (fig . 3) .

3 . The mean values of height , crown length , diameter of burst height , and volume were maximum at the stands of middle densities (2,875 - 4,444 trees / ha) and each mean value decreased gradually toward both high densities (6,694 - 31,379 trees / ha) and low densities (2,333 - 2,708 trees / ha) (figs . 4 , 5) .

4 . As the stand density increased , basal area and stem volume per hectare increased and reached the constant value in the stand densities higher than 12,000 trees / ha . But stem volume per hectare indicated less value than a constant value at two stands in the densities higher than 30,000 trees / ha (fig . 6) .

5 . Skewness of frequency distribution of volume , diameter of burst height and height indicated minimum values at the stands of middle densities and the values increased gradually toward low and high densities (figs . 7 - 10) . The ratio of large individuals in a plot was higher in the stands of middle densities than those of low and high densities . From the results mentioned above , it is concluded that an optimal density for the growth of *A . sachalinensis* existed in the stands of middle density .

6 . There are three reasons why the optimal density appeared in the stands of middle densities .
1) Growth impediment by interspecific competition in the stands of low densities .
2) Clear increment of stand productivity by crown closure in the stands of middle densities .
3) Growth suppression by intraspecific competition in the stands of high densities .

7 . Utilizing the beta - type distribution density - function of individual tree weight , equation (2) and the equations (7) , (9) of the allometries , the distribution density functions of diameter and height , equation (10) , (11) were derived . And frequency distributions of observed stands were well described by these functions (figs . 7 - 9) . Relation between value of parameter A and stand density also indicated the optimal density (figs . 11 , 12) .