

樹冠の年令構成に関する研究 (II)

18年生アカマツ林について

西田 仁・四手井 綱 英

Studies on the Age Composition of Canopy Structure (II)

On 18-year-old Forest of *Pinus densiflora*

Hitoshi NISHIDA and Tsunahide SHIDEI

目 次

要 旨	88	3) 出生率についての2・3の考察	
まえがき	89	4) 年令とその枝の平均重さ・太さ・長さについて	
1. 調査林分の概況	89	5) 各個体の重さの比, 太さの比, 長さの比の算出方法について	
2. 調査方法	90	引用文献	98
3. 結果と考察	90	Résumé	98
1) 年令とその枝数について			
2) 枝階別にみた年令とその枝数について			

要 旨

大山山麓(鳥取県西伯郡大山町)に成立する18年生アカマツ人工林について, 伐倒調査をおこない, 時間(枝の年令)による樹冠の定量的な解析を試みた。

調査林分は1971年10月現在, 立木本数はヘクタールあたり3,325本, 平均胸高直径11.65cmで胸高断面積合計は50.50m²に達している。枯死個体はヘクタールあたり325本みられ, ほぼ最多密度の林分と言えそうである。針葉は1年生・2年生のものをもち, 3年生葉は個体によってごく少量みられる程度であった。

胸高直径についての毎木調査をした後, 6本の試料木を伐倒して, 樹冠をつくる幹, 枝を枝階別にその年令によって切り分け, その本数と重さを測定して生長量を求めた。

調査結果をまとめると次のようになる。

- 1) 樹冠を構成する枝の年令(A)とその枝の本数の対数($\log N_A$)の間に, 2年生枝をさかいにして傾きのことなる2本の直線で近似される関係がみられた。
- 2) 各枝階別の $A \sim \log N_A$ 関係は, 下位の枝階で2年生枝をさかいに折れ曲がることが確かめられ, これは1)の結果を直観的に納得させるものである。
- 3) 各枝階の平均出生率¹⁾(1年生枝1本から平均して何本分枝するかという値, $1/R_1$)は一般に枝階が下位になるにしたがって低下し, その値は各枝階の1年生枝(または2年生枝)のもつ平

均針葉量 (\bar{W}_{L1} または \bar{W}_{L2}) と密接な関係をもっていることがわかった。両者の間には次の1次式で表わされる関係が存在する。

$$1/R_1 = a + b \bar{W}_{L1} \quad 1/R_1 = a' + b' \bar{W}_{L2}$$

($a \cdot b, a' \cdot b'$ は個体によって決まる定数)

4) 年令 (A) とその年令の枝の平均重さ (\bar{W}_A) 平均太さ (\bar{D}_A), 平均長さ (L_A) の間には, 白浜16年生クロマツの調査結果にみられたように等比級数の関係が存在することが確かめられた。

ま え が き

近年, I. B. P などの研究グループを中心とした森林の生産力の調査, 研究が進むにつれて, よく閉鎖した森林生態系は他の生態系よりも高い有機物生産力をもっていることが明らかになってきた。そしてこの高い生産力を発揮せしめているのが, 高木集団特有の発達した樹冠 (林冠) 構造である。樹冠構造とは分枝構造と葉の分布の様式だと考えられる。

葉の分布様式については, KIRA et al²⁾ の中で KIRA は森林の高木の林冠における平均葉面積密度は草本群落の10分の1程度であり, 森林 (広葉樹林) で観察された BEER-LAMBERT 式の k の値 (吸光係数) は広葉樹の葉の配列が水平的であるにもかかわらず, イネ科型の草本群落のそれとほぼ同じであることを報告している。そして同じく KIRA et al の中で SHINOZAKI はクラスターモデルによって森林のもつこのような特異な現象を説明している。

一方分枝構造については, 大畠ら, LEOPOLLO³⁾⁻⁵⁾ によって河川と樹木の分岐形態が似ている点に着目し, HORTON の河川法則を樹木の枝の分枝に応用し, 次数による樹形の解析に成功している。さらに大畠らは樹種による分岐率などのちがいがから, 樹木の生活形によるグループ分けを試みている。

しかしながら樹冠構造というものは時間の経過とともに刻々変化するものであり, 分枝による枝, 葉の新生と落葉や枝の枯れ落ちという2つの生物現象の中でとらえるには, 年令解析による方法が有効であろうと考えられる。本研究は樹冠構造のしくみを明らかにすると同時に, 樹冠の時間的変遷を定量的にとらえていくことによって枝打ちなどの施業にも合理的な説明を与えたいと思っている。

本論文は, 18年生の大山アカマツの調査結果を中心に一部, 白浜16年生クロマツの結果を含めて解析したものである。

本調査をおこなうにあたり, アカマツ林を提供していただいた鳥取県西伯郡大山町赤松在住の伊沢百伸氏のご厚意に深く感謝するとともに, 調査に協力いただき, 有益なる助言をあたえられた京都大学農学部森林生態学研究室の皆様にお礼申し上げます。

1. 調査林分の概況

調査林分は鳥取県西伯郡大山町の大山山麓に成立する伊沢百伸氏所有の18年生アカマツ人工林である。

調査地は海拔約200 mの高さにあり, 地形は西向きの緩傾斜地 (平均傾斜度約10.5°) で, 林内は明るくネザサなどのササ類がよく侵入していた。特にネザサの被度は60%にも達し, その他, 木本としてヒサカキ, アオキ, リョウブ, ヤブニッケイ, ヤマボウシ等がみられた。

地質は安山岩を基岩とし, 表土は火山灰を混じえた植質土壌で, 地位は概して中以上の適潤地である。有機物に富んだいわゆる“くろぼく”土壌に植栽されているため, 白浜のクロマツに較

べて生長は著しくすぐれ、節間生長が1 mを越す個体もみられた。

この林分は成立以来、除・間伐や枝打ちなどの手が入っておらず毎木調査の結果、現在の立木本数はヘクタールあたり3,325本で胸高断面積合計は50.50 m²に達し、枯死個体も20×20 m²の標準区中に13本(本数にして約1割)も見い出されることから、ほぼ最多密度に達した林分と言えそうである。

なお前号で報告した京都大学農学部附属白浜試験地に設定された16年生クロマツ3林分の概況は、その後毎木調査結果を整理するにあたり、高密度区と中密度区で試験地設定当初の植付本数からかなりの減少が見られた。高密度区は胸高断面積合計などから判断してほぼ最多密度の林分だと言えそうであるが、中密度区では土壌環境が劣悪なためか、平均胸高直径も高密度区のそれに較べて小さく、低密度区とともに林冠が未閉鎖の状態であることを付記しておく。

大山アカマツ、白浜クロマツ両林分の立木密度・平均胸高直径・胸高断面積合計などの概要を表-1に示す。

表-1. 調査林分の概要
Table 1. Descriptions of pine stands studied in Daisen and Shirahama.

Location	Species	Ages	Stand density	Tree no. per hectare	Mean diameter at breast height (cm)	Basal area per hectare (m ²)	Live crown ratio (%)
Daisen	red pine	18	Low	3,325	11.65	50.50	42.4
Shirahama	black pine	16	Low	2,500	—	—	65.3
			Middle	7,266	3.82	13.4	44.8
			High	26,630	4.13	46.6	38.8

2. 調査方法

調査は1971年10月14日より23日まで大山山麓の18年生アカマツ林分でおこなわれた。10月中旬現在、針葉は1年生葉、2年生葉を有しており3年生葉は個体によってごく少量みられる程度であった。冬芽は形成されていたがほとんど伸長していなかった。

林内に20×20 m²の標準地を設け、胸高直径について毎木調査をした後、試料木として4本を標準地内より、2本を標準地外より選び伐倒した。調査方法ならびに調査項目については前回の白浜クロマツの場合に準ずるが、今回は全試料木について枝階別にデータをとり、No. 2, No. 34の両個体については、樹冠外の幹も年令別に切り分けた。

生長量の測定は前回同様、年軸解析の方法を用い、重さはすべて生重を用いた。

3. 結果と考察

1) 年令とその枝数について

樹冠を構成している非同化器管を枝の年令(年軸)で切り分け、その枝数の対数(log N_d)を年令(A)に対してプロットしてみると Fig. 1 に示すように、0年生枝(芽)から2年生枝をむすぶ直線と2年生枝以下をむすぶ直線の、傾きをことにする2本の直線で近似された。また芽の数(N_0)もこの直線上にあり、白浜クロマツの調査結果とあわせ、次数解析では芽の数は回帰直線からはずれるのに対し、年令解析では直線の延長上にあると考えてよいと思われる。

既に報告したように、京都大学上賀茂試験地に植栽されていた7年生アカマツの年令一枝数構

成は、全体がほぼ1本の回帰直線で近似されたことと考えあわせると、このちがいが、樹木の着葉年数のちがい（着葉年数は大山アカマツでほぼ2年、上賀茂試験地のアカマツで1年となっている）による枝の枯死時期の遅速によるものか、あるいは後述するように両林分の林令のちがいによるものかはこのところさだかでない。すなわち大山アカマツの枝階別の $A \sim N_A$ 関係 (Fig. 2) より、生育条件のよい上位の枝階における分枝状態は指数関数的だとみなしてよいと思われる。また樹令7年の上賀茂試験地のアカマツは、18年生の大山アカマツに較べて、周囲の側体による被蔭や自分の樹冠による下層の枝の被蔭の程度は小さいと考えられ、その結果、枝数がほぼ指数関数的に増加を続けている枝階に全体の年令一枝数構成が代表されているものと考えられる。いずれにしる樹種間あるいは1樹種内でも生育する環境や林令によって枝数の年令構成にちがいがみられるということをつらやかにするにはさらにデータの集積を待たねばならない。

元村の式を用いて算出された0年生枝と2年生枝をむすぶ直線の傾き (r_1) は表-2で示すように No. 7 個体が少し大きな値をとる他は、0.6~0.7の間にある。各個体の平均出生率 ($1/r_1$) は白浜クロマツに較べてやや小さいが、立木本数などの個体間の干渉の程度によるものか、林令やその他の要因によるものかははっきりとしない。

表-2. r_1, r_2 の値およびそれらの逆数
Table 2. Value of r_1 and r_2 and these reciprocals.

Tree No.	r_1	R_1^*	r_2	R_2^{**}
1	0.621	1.610	0.356	2.810
2	0.615	1.626	0.472	2.118
7	0.779	1.283	0.645	1.551
8	0.698	1.433	0.431	2.319
34	0.638	1.568	0.366	2.735
100	0.691	1.447	0.401	2.492
mean value	0.674	1.495	0.445	2.338

* $R_1 = 1/r_1$, ** $R_2 = 1/r_2$

次に3年生枝以下の枝数の落ち込む現象であるが、これは樹冠下層の枝の枯れ落ちに由来するものと考えてよいと思われる。

今一般に落ち込みの始まる年枝の本数を n_A とすれば r_2 は次式で表わされる。⁸⁾

$$r_2 = \frac{\sum n - n_{\max}}{\sum n - n_{\min}} \approx 1 - \frac{n_{\max}}{\sum n}$$

ここで $\sum n$ は n_A 以下の枝数の総和

$$n_{\max} = n_A$$

$$n_{\min} \text{ 最高年令の枝数 (= 1)}$$

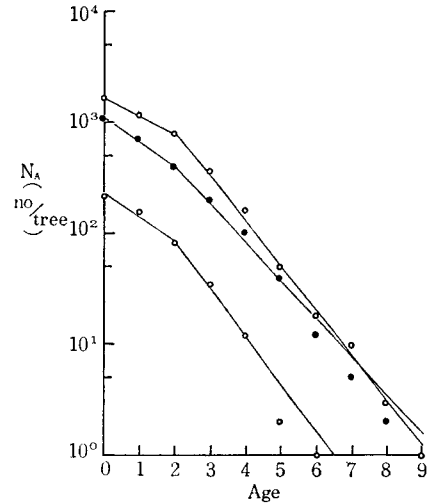


図1 枝数の年令構成
Fig. 1. Relation between logarithm of branch number of respective age ($\log N_A$) and age (A).

すなわち大山アカマツでは2年生枝以下の枝数の総和に対する2年生枝の枝数の比によって決定されるわけであり、個体の持っている枝数の大小（個体の大きさ）には関係しないので枯れ上がりの程度を表わす一つの指標になるのではないかと考えられる。マツなどの同令林分においては間接的に個体のもつ枝階の数ないしは樹冠下層の枝の保持の程度を表わしているものと考えてよい。大山アカマツの r_2 は No. 7 を除いて0.4前後の値をとり、ほぼ同じ林分密度をもつ白浜クロマツ低密度区のそれと等しいことが注目される。

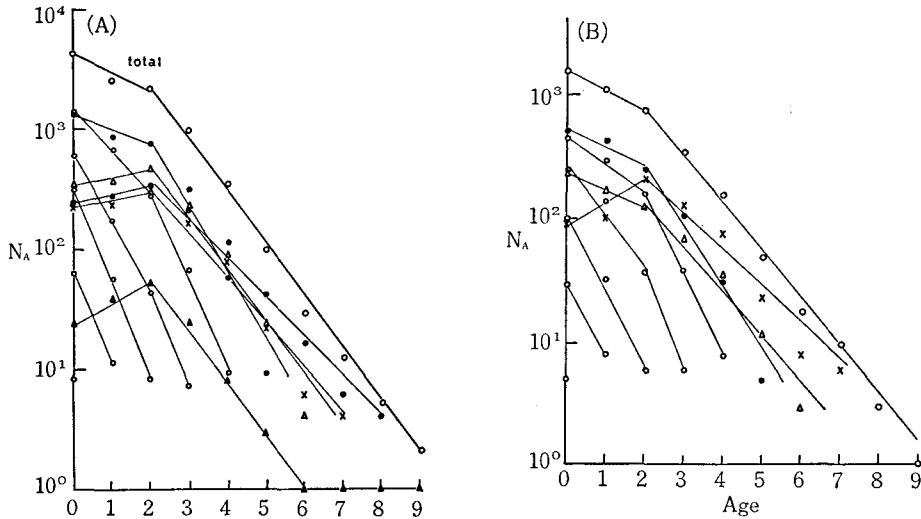


図2 枝階別の枝数の年令構成
Fig. 2. Relation between logarithm of branch number of respective age ($\log N_A$) and age (A) in each branch layer. (A) No. 100 tree, (B) No. 34 tree

2) 枝階別にみた年令とその枝数について

枝階別に年令別枝数を調査した結果を Fig. 2 に示す。樹冠の上部に位置する枝階（第1～第3枝階くらい）での分枝数はほぼ指数型を示し、下位の枝階では2年生枝をさかいに折れ曲がるのがわかる。このことは枝階を無視し一個体のもつ年令別枝数を総和の形で描いた Fig. 1 の年令一枝数の型に対応するものであり、第4枝階ないし第5枝階に枝数の最大の層があることを考えると、個体全体の枝数の年令構成を近似する直線が2年生枝をさかいにして折れ曲がることは直観的に理解される。枝階別にみた場合、下位の枝階でやはりある年枝から落ち込むという現象は、興味のあることであるが、今のところどのような要因にもとづくものであるかわからない。時間の経過に伴う生育条件の悪化による各枝階の出生率の低下と、着葉年数に関する枝の枯死という面から研究を進めなければならないと思っている。

3) 出生率についての2.3の考察

Fig. 2 からわかるように、一般に0年生枝から2年生枝をむすぶ直線の傾きが2年生枝の方からみて枝階が、下位になるに従ってゆるやかになり、ついには最下位付近の枝階では1より小さくなる傾向がうかがえる。これは現実の林分で生育条件の悪い下層の枝程、分枝数や着芽数が減少するという観察に対応するものである。

また出生率の低下にみられる環境条件の悪化は、各枝階の1年生枝のもつ平均針葉量でも表現

できるという予想のもとに、各枝階の平均出生率 ($1/R_1$) と、その枝階の1年生枝のもつ平均葉量 (\bar{W}_{L1}) との関係を描いたのが Fig. 3 である。両者の間にはかなり高い相関係数をもち回帰直線が得られた。

$$1/R_1 = a + b\bar{W}_{L1}$$

(ここで a, b は個体によって決まる定数)
 最小二乗法を用いて求めた各個体の a, b および相関係数 r の値を表-3に示す。定数 a, b とも No. 外1個体を除いて、個体による変動は比較的小さいと思われるので、この直線回帰は林分においても成立するものと考えられる。単純相関に関する t -検定をおこなったところ、危険率5%で大山アカマツ林分にもこの関係が成立するものと言えるという結果が得られた。5個体をこみにした回帰直線は

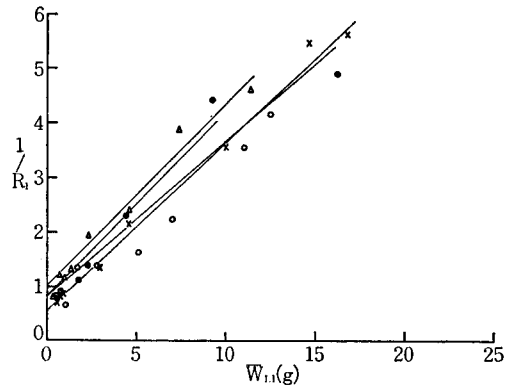


図3 各枝階の平均出生率と1年生枝の平均針葉量との関係

Fig. 3. Relation between average natality ratio and average needle amount of 1-year-old branch in each branch layer.

表-3. a, b の値および単純相関係数 r^*

Table 3. Value of a, b and r .

Tree No.	$1/R_1 = a + b\bar{W}_{L1}$			$1/R_1 = a + b\bar{W}_{L2}$		
	a	b	r	a	b	r
1	-0.4041	1.2774	0.8242	-2.2106	1.9466	0.6906
2	0.9069	0.3483	0.9857	1.0267	0.1902	0.9857
7	0.8378	0.3361	0.8949	0.8986	0.3885	0.7126
8	0.5164	0.2745	0.9813	0.8045	0.1127	0.9720
34	0.8295	0.2845	0.9580	0.3344	0.3303	0.9926
100	0.5527	0.3135	0.9963	0.5801	0.2412	0.9988

* r : Simple correlation coefficient

次式であった。

$$1/R_1 = 0.8746 + 0.2875\bar{W}_{L1}$$

$(r = 0.93)$

また $1/R_1$ と \bar{W}_{L1} に直線関係が成り立てば、Fig. 2 からわかるように、少なくとも最近2年間は各枝階で平均出生率がほぼ一定とみなせるようなので、一昨年度1年生枝(従って調査時では2年生枝)のもつ平均葉量 (\bar{W}_{L2}) とその枝階の平均出生率 ($1/R_1$) の間にも直線関係の成立することが予想される。実際のデータより \bar{W}_{L2} に対して $1/R_1$ をとってみると直線回帰が得られるが直線性は劣るようである。(Fig.4) 満2年を経た針葉であるので、落葉などによる変動が考えられるようである。No. 外1を除く5個体をこみにした回

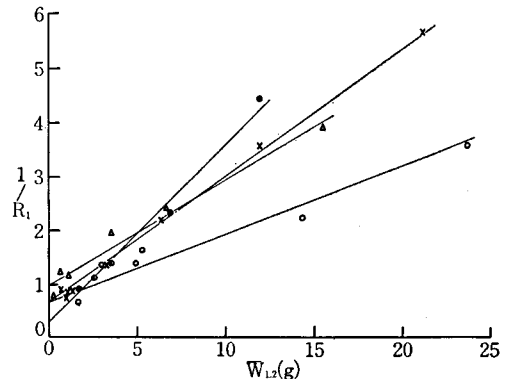


図4 各枝階の平均出生率と2年生枝の平均針葉量との関係

Fig. 4. Relation between average natality ratio and average needle amount of 2-year-old branch in each branch layer.

帰直線は次式のものである。

$$1/R_1 = 0.9506 + 0.1713 \bar{W}_{L2} \quad (r=0.88)$$

以上の結果より、針葉量と着芽数の間に生理的な機作が存在するように思われ、より基本的には1年生枝1本のもつ針葉量と着芽数の間に成立する関係であろう。個別的に1年生枝のもつ針葉量と着芽数のデータはないが、1年生の主軸につく針葉量 (W_{L1}) と頂芽数 (No) のデータで代用して描いたのが Fig. 5 である。データ数は少ないがかなりきれいな直線関係を満足するようである。

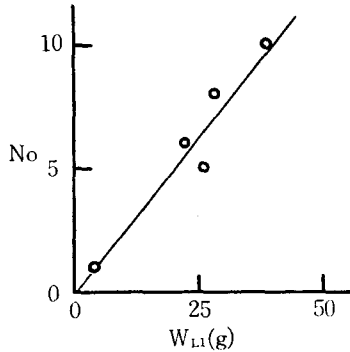


図5 各個体の1年生主軸の頂芽数と針葉量との関係

Fig. 5. Relation between bud number and needle amount of 1-year-old stem.

$$1/R_1 = -0.1311 + 0.2587 \bar{W}_{L1} \quad (r=0.96)$$

ただし主軸において頂芽を形成する能力は側枝の側芽形成能力よりいくぶん劣るようである。

また一般に1年生枝1本のもつ平均葉量は枝階が低くなるに従って少なくなるものであるが、2本の試料木 (No. 7 と No. 8) では、第1枝階と第2枝階でこの関係が逆になっており、一方それに対応して出生率の方も同じ動きを示し、出生率と着葉量の密接な関係がうかがえる。さらに出生率—着葉量の回帰関係から大きくはずれた個体 (No. 外1) は、風によるものか、虫害によるものかなどの原因は不明だが観察

結果では、第1枝階が全く存在せず2年生の主軸から頂芽をつけていた。この個体は他個体に比べ大きな傾きを持っており、少ない針葉量に対して大きな出生率をもつ個体であることがわかるが、第1枝階の輪生枝の損失を補償しようとする動きなのかもしれない。

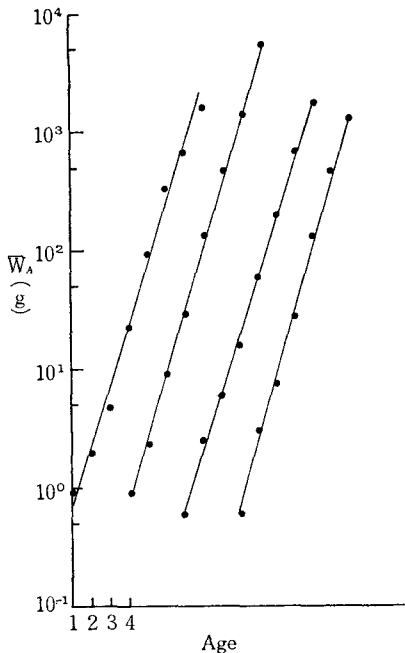


図6 年令別の枝の平均重さ

Fig. 6. Relation between the logarithm of average branch weight of respective age ($\log \bar{W}_A$) and age (A).

4) 年令別の枝の平均重さ・太さ・長さについて 年令別の枝の平均重さ

樹冠をつくる非同化器管を年軸に切り分け、その重さを本数で除した値を年令 (A) の枝の平均重さ (\bar{W}_A) と定め、その対数を年令に対してプロットしたのが Fig. 6 である。白浜クロマツの結果同様、1年生枝から最高年令の枝までかなり適合度のよい直線回帰を示すことから、各年令の枝の平均重さの間には、年令に関して等比級数の関係が成立するものと考えてよい。また各年枝の平均重さの比 (R_w) は Fig. 6 からわかるように各点の直線への適合性がよく、各個体の直線の傾きもほぼ平行とみなしてよいと思われるので、個体内でも種内でも安定した値を持っているものと思われる。

t -検定の結果、大山アカマツと白浜クロマツの樹種間にも R_w の平均値に有意な差がみられず、3前後の値をとるようである。 R_w の性質として密度や個体の大きさなどに影響を受けない、また近縁の種ではほぼ同じ値をもっていることがわかる。

表-4. 1年生枝の平均重さ, 平均太さ, 平均長さ

Table 4. Average weight, diameter and length of one-year-old branch.

Tree No.	\bar{W}_1^* (g)	\bar{D}_1^{**} (cm)	\bar{L}_1^{***} (cm)
1	0.43	0.25	11.97
2	0.60	0.33	7.48
7	0.31	0.29	5.54
8	0.61	0.31	8.87
34	0.90	0.35	11.29
100	0.91	0.44	6.50
mean value	0.67	0.33	8.59

* \bar{W}_1 : average branch weight of age 1.** \bar{D}_1 : average branch diameter of age 1.*** \bar{L}_1 : average abranh length of age 1.

表-5. 各個体の重さの比, 太さの比, 長さの比

Table 5. Geometric ratio R_W , R_D and R_L estimated after weighted average method.

Tree No.	R_W^*	R_D^{**}	R_L^{***}
1	7.20	1.66	1.88
2	3.41	1.40	1.84
7	3.03	1.33	1.44
8	3.97	1.65	1.55
34	3.25	1.48	1.41
100	2.78	1.45	1.10
mean value	3.29	1.50	1.53

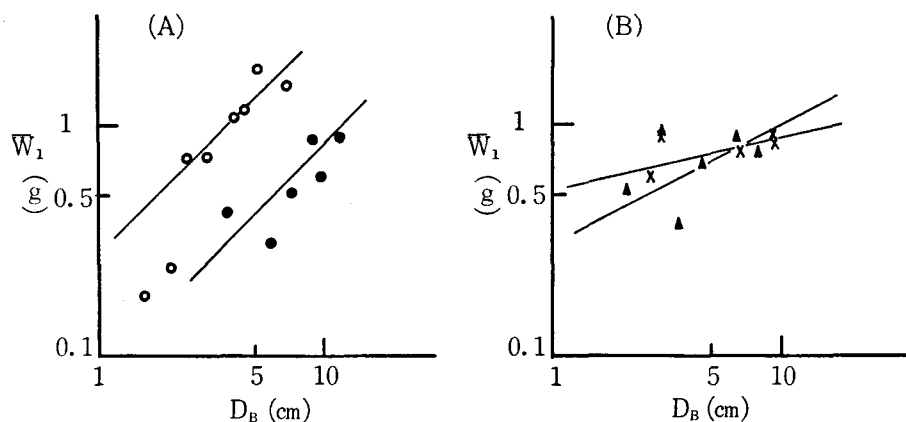
* $R_W = \bar{W}_{A+1}/\bar{W}_A$ ** $R_D = \bar{D}_{A+1}/\bar{D}_A$ *** $R_L = \bar{L}_{A+1}/\bar{L}_A$ 

図7 大山アカマツ, 白浜クロマツ各個体の生枝下直径と1年生枝の平均重さ
 Fig. 7. Relation between average branch weight of age 1 (\bar{W}_1) and trunk diameter just below the lowest branch (D_B) in the logarithmic scale.

(A) full density stand { \circ *Pinus T.* (Shirahama)
 { \bullet *Pinus d.* (Daisen)

(B) unclosed stand of *Pinus T.* (Shirahama) { \blacktriangle middle density
 { \times Low density

次に1年生枝の平均重さ (\bar{W}_1) について検討する。大山アカマツ各個体の \bar{W}_1 と R_w の値を表-5に示す。既報において、 \bar{W}_1 は林分が閉鎖した白浜クロマツ高密度区では、個体の生枝下直径 (D_B) に比例して大きくなり、樹冠の未閉鎖の林分 (中・低密度区) では生枝下直径の大きさに関係なくほぼ一定になる傾向をみた (Fig. 7)。大山アカマツの $\bar{W}_1 \sim D_B$ 関係もやはり D_B が大きくなるにつれて増加するようであるが白浜クロマツ高密度区ほど顕著でない。

今両樹種間で \bar{W}_1 の大きさを比較する場合、閉鎖の完了した林分間でやるか、木孤立状態で生育している木を対象にした方がよいかには問題があるが、ここではほぼ同令の、閉鎖が完了した林分間でおこなうことにする。 \bar{W}_1 を決める要因である、1年生の非同化部分重 (W_1) と1年生枝の数 (N_1) から考察を進める。まず $D_B^3 \sim W_1$ 関係はほぼ比例関係が成り立つが樹種間では

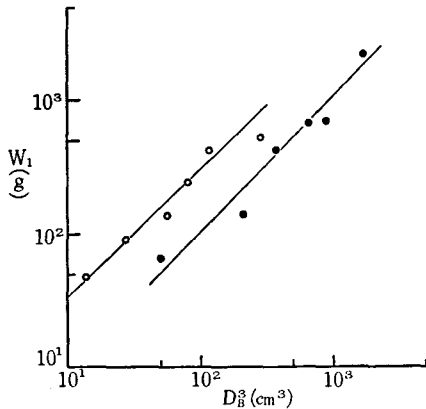


図8 1年生の非同化部分重と生枝下直径の3乗との関係

Fig. 8. Relation between logarithm of 1-year-old non-photosynthetic organs (W_1) and D_B^3 .
○ *Pinus T.* (Shirahama)
● *Pinus d.* (Daisen)

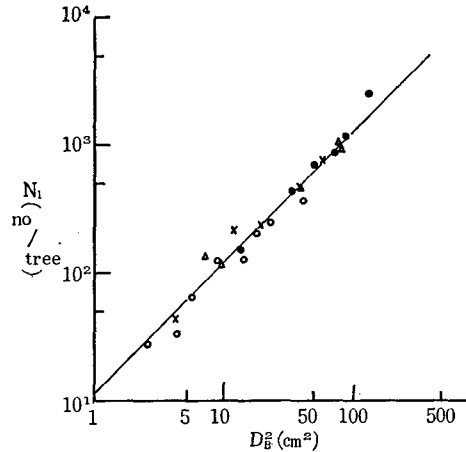


図9 各個体の1年生枝の本数と生枝下直径の2乗との関係

Fig. 9. Relation between number of 1-year-old branch and D_B^2 in the logarithmic scale.

Pinus T. (Sirahama) { ○ high density
× middle density
△ low density
● *Pinus d.* (Daisen)

両対数軸上で明らかな分離を示す (Fig. 8)。一方 $D_B^2 \sim N_1$ 関係は両樹種ともほぼ1本の直線で近似できるように思われるので、 \bar{W}_1 には樹種間に差のあることが予想される (Fig. 9)。平均値についての検定結果、5%水準で樹種間に有意な差のあることが確かめられた (ただし白浜クロマツの被圧され枯死寸前の個体 (No. 7, No. 8) は他の面でも明らかに生育のバランスを失っていると思われるので検定の操作から除いた。

年令別の枝の平均太さ

年令別に切り分けられた枝から、本数の多い若い枝ではランダムにサンプリングし本数の2割程度を、本数の少ない年令の枝についてはすべて中央直径を測り、年令別の枝の平均太さ (\bar{D}_A) を決めた。 $A \sim \log \bar{D}_A$ の関係も片対数グラフ上で直線近似され、白浜クロマツの結果を裏づける。(Fig. 10) また各年枝の太さの比 (R_D) も同一種内で安定した値をもっているように思われる。白浜クロマツでは立木密度によって R_D の平均値に差はみられなかったが、大山アカマツとの間には5%水準で有意な差がみられた。大山アカマツ6個体の平均値 (1.50) は白浜クロマツ20個体の平均値 (1.26) に較べて多少大きな値をもっている。

一方 \bar{D}_1 は逆に大山アカマツの方が小さく、検定結果も有意な差が認められた。

年令別の枝の平均長さ

キシロメーターを用いて測定した年令別の枝材積 (V_A) と平均直径 (D_A) と本数 (N_A) から平均長さ (L_A) を算出した。 $A \sim \bar{D}_A$ 関係も等比級数の関係を満足するものであるがバラツキは大きい。キシロメーターによる材積測定精度とサンプリングによって決められた \bar{D}_A からではこの程度のバラツキはしかたがないと思われる。公比 R_D は樹種間に差はみられなかったが、 L_1 は白浜クロマツ高密度区との比較で有意な差がみとめられた。

これまで検討してきた結果から、閉鎖林分をなす白浜クロマツ高密度区と大山アカマツの1年生枝の形態の相違をみると、白浜クロマツの方は太く短い枝をもち、重さは、長さよりも直径 (の二乗) がきいてくるので大であることがわかった。

5) 各個体の重さの比、太さの比、長さの比の算出方法について

以上みてきたように年令別の枝の平均重さ、平均太さ、平均長さの間に次式で示す等比級数の関係が成立する。

$$\bar{W}_A = \bar{W}_1 \cdot R_W^{A-1} \dots \dots \dots (1)$$

$$\bar{D}_A = \bar{D}_1 \cdot R_D^{A-1} \dots \dots \dots (2)$$

$$L_A = L_1 \cdot R_L^{A-1} \dots \dots \dots (3)$$

一般に年令 (A) の枝の平均重さ (\bar{W}_A) は各年枝を円柱形とみなし、比重は各年枝で変わらないものとする次式が成立する。

$$\bar{W}_A = \rho \cdot \pi \cdot \bar{D}_A^2 \cdot L_A \dots \dots \dots (4)$$

(ρ : 比重 π : 円周率)

(4)式に(1)(2)(3)式に代入すると

$$\bar{W}_1 \cdot R_W^{A-1} = \rho \cdot \pi \cdot \bar{D}_1^2 \cdot L_1 (R_D^2 \cdot R_L)^{A-1} \dots \dots \dots (5)$$

一方 $\bar{W}_1 = \rho \cdot \pi \cdot \bar{D}_1^2 \cdot L_1$ の関係があるので(5)式は結局、 $R_W \cdot R_D \cdot R_L$ 間の関係になる。

$$R_W^{A-1} = (R_D^2 \cdot R_L)^{A-1} \dots \dots \dots (6)$$

$$R_W = R_D^2 \cdot R_L \dots \dots \dots (6)'$$

(6)' 式からわかるように各個体の R_W を $R_D^2 \cdot R_L$ に対してプロットすれば、理論的には原点を通る傾き1の直線が得られる。本稿では各個体の R_W, R_D, R_L の算出には下の式で示すように、枝数を重みとした加重平均法によった。白浜クロマツ、大山アカマツ各個体の $R_W \sim R_D^2 \cdot R_L$ 関係は Fig. 11 で示されるように、全体的に R_W の値が大きくなる傾向があるが、理論式から1割

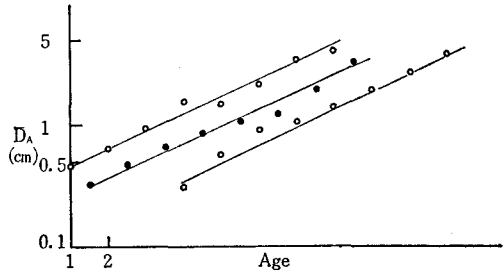


図10 年令別の枝の平均太さ

Fig. 10. Relation between logarithm of average branch diameter of respective age (\bar{D}_A) and age (A).

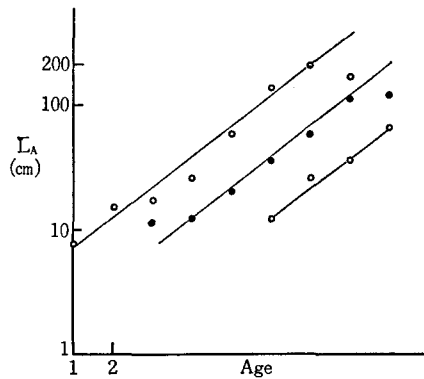


図11 年令別の枝の平均長さ

Fig. 11. Relation between logarithm of average branch length of respective age (\bar{L}_A) and age (A).

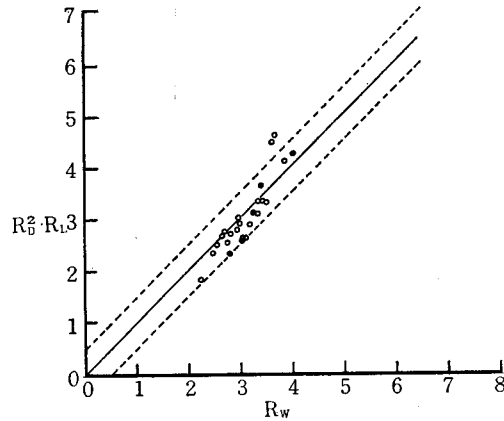


図12 各個体の R_w と $R_D^2 \cdot R_L$ との関係
Fig. 12. Relation between R_w and $R_D^2 \cdot R_L$ of each individual.

程度の誤差でおさまるようである。

各個体の R_w , R_D , R_L の算出式

$$R_w = \frac{\sum_{A=1}^{s-1} \frac{\bar{W}_{A+1}}{\bar{W}_A} N_A}{\sum_{A=1}^{s-1} N_A}$$

$$R_D = \frac{\sum_{A=1}^{s-1} \frac{\bar{D}_{A+1}}{\bar{D}_A} N_A}{\sum_{A=1}^{s-1} N_A}$$

$$R_L = \frac{\sum_{A=1}^{s-1} \frac{\bar{L}_{A+1}}{\bar{L}_A} N_A}{\sum_{A=1}^{s-1} N_A}$$

引用文献

- 1) 西田 仁・四手井綱英：樹冠の年令構成に関する研究 (1), 京大演報, **43**, 140-151, (1972)
- 2) Kira, T. K. Shinozaki and K. Hozumi: Structure of forest canopies as related to their primary productivity, *Plant & Cell Physiol.*, **10**, 129-142, (1969)
- 3) 大島誠一・四手井綱英：枝の分枝について, *JIBP-PT-F*, **44**, 16-22, (1970)
- 4) ———— : 樹木の幾何級数的性質と呼吸量推定について, *JIBP-PT-F*, **45**, 78-85, (1971)
- 5) Oohata, S. and T. Shidei: Studies on the branching structure of trees. I, *Jap. J. Ecol.*, **21**, 7-14 (1971)
- 6) Luna B. Leopold: Trees and Streams: The Efficiency of Branching patterns, *J. theor. Biol.*, **31** 339-354, (1970)
- 7) 西田 仁・四手井綱英：樹冠構造の年令解析, (*JIBP-PT-F*), **46**, 25-33, (1972)
- 8) 元村 勲：動物群集の個体数密度の等比級数法則に関する再考察, *生理生態*, **1** (2), 55-60, (1947)

Résumé

In order to clarify the development of canopy structure, the age composition of non-photosynthetic organs froming the tree canopy was investigated in 18-year-old red pine stand grown on the foot of Mt. Daisen, Tottri prefecture in 1971.

6 sample trees were selected for age analysis of tree canopies. The branches (involving stems) were cut separately according to their ages. The number was counted and

the sample fresh weight was measured. The amount of volume increment of each annual shoot was obtained by stem analysis.

The results were as follows:

1) The relationship between logarithm of branch number of respective age ($\log N_A$) and age (A) of each individual, revealed two regression lines, in which the inclination changed at age 2.

2) The inclination of each regression line, r_1 and r_2 , was calculated after Motomuras method⁸⁾. The reciprocal of r_1 represented the natality ratio of each tree in recent years and r_2 showed the degree of dead branches in low branch layer of tree canopy.

3) There was a close relationship between natality ratio of each branch layer ($1/R_1$) and average needle weight of 1 (or 2)-year-old branch (\bar{W}_{L1} or \bar{W}_{L2}) as shown in the following equations.

$$1/R_1 = a + b\bar{W}_{L1} \text{ or } 1/R_1 = a + b\bar{W}_{L2}$$

(Where, a and b are constants of each individual.)

4) Average branch weight (\bar{W}_A), average branch diameter (\bar{D}_A) and average branch length (\bar{L}_A) of respective age was approximated by the geometric series concerning to age (A). These results corresponded with the foregoing works.¹⁾