

樹冠の年齢構成に関する研究 (I)

16年生クロマツ林について

西田 仁・四手井 綱英

Studies on the Canopy Structure by Age Composition. (I)

On 16-year-old Forest of *Pinus Thunbergii*.

Hitoshi NISHIDA and Tsunahide SHIDEI

目	次
要 旨	140
まえがき	141
1. 調査林分の概況	141
2. 調査方法	142
3. 結果と考察	142
1) 樹冠の相対生長について。	
2) 年齢とその枝数について。	
3) 年齢とその枝の平均重さ, 平均太さ, 平均長さについて。	
4. まとめ	150
引用文献	150
Résumé	151

要 旨

樹冠構造の解析の一方方法としてクロマツ (*Pinus Thunbergii*) を用いて絶対的な時間 (年齢) による数・量的な解析を試みた。

調査は1971年3月, 京都大学農学部付属演習林白浜試験地の3種類の密度をもったクロマツ林分でおこなった。立木本数はヘクタールあたり40,000本, 10,000本, 2,500本で40,000本区, 10,000本区では樹冠が閉鎖しており, 2,500本区はまだ閉鎖が完了しておらず各々の樹冠が独立しているようであった。

3林分より合計20本の試料木を伐倒して, 樹冠をつくる幹・枝を年齢別に切り分けその本数, 重量を測定し, 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) 生枝下直径 (D_B , cm) に対する樹冠総量 (W_{C+L} , g), 樹冠の非同化部分重 (W_C , g) の相対生長関係は適合度がよく, その近似式は次のようであった。

$$\log W_{C+L} = 2.7281 \log D_B + 1.8627$$

$$\log W_C = 2.7466 \log D_B + 1.6953$$

D_B に対する枝重 (W_B), 葉重 (W_L) の関係式は次のように近似された。

$$\log W_B = 2.8102 \log D_B + 1.1731$$

$$\log W_L = 2.7672 \log D_B + 1.2901$$

2) 年令 (A) とその枝の本数 (N_A) の関係は片対数グラフで3年枝をさかいに傾きの変化する直線で近似された。

傾きの変化する年令は、樹種あるいはその樹木の着葉年数に関係があるようである。

3) 年令 (A) とその枝の平均重さ (\bar{W}_A) 平均太さ (\bar{D}_A)、平均長さ (L_A) の間には等比級数の関係がみられ、それぞれの公比は全個体を通じてほぼ安定した値を持つようである。

これらの関係式は一般に次のように表わされる。

$$\begin{aligned}\bar{W}_A &= \bar{W}_1 \cdot R_A^A^{-1} & R_W &= \bar{W}_{A+1} / \bar{W}_A \\ \bar{D}_A &= \bar{D}_1 \cdot R_D^A^{-1} & R_D &= \bar{D}_{A+1} / \bar{D}_A \\ L_A &= L_1 \cdot R_L^A^{-1} & R_L &= L_{A+1} / L_A\end{aligned}$$

ま え が き

植物群落の物質生産をささえる樹冠構造の研究は、従来いろいろな方面からなされてきた。

門司ら¹⁾は層別刈取法によって、植物の同化器管である葉群と非同化器管としての枝・幹の垂直的配列を解明しようとして生産構造図を描いた。

さらに篠崎ら²⁾は植物群落の生産構造図から解析を進め、非同化部分にパイプを想定し同化部分と非同化部分の関係をむすびつけて樹形のパイプモデル説を提案した。

一方大島ら^{3,4)}はホートンの河川法則を樹木の枝の分岐に応用し、枝の次数とその本数・平均重さ、平均太さ、平均長さとの間に等比級数則の成り立つことを確め、次数による枝の整理に成功している。

言うまでもなく樹冠構造は分枝による枝・葉の新生と落葉や樹冠下層の枝の枯れ落ちという生物現象の平衡のうえに成り立つものである。

本研究はそのしくみを解明する一つの手がかりを得るために、絶対的な時間(年令)を基軸としての樹冠の構造について調べたものである。

よく知られているようにクロマツ(*Pinus Thunbergii*)、アカマツ(*Pinus densiflora*)は、年一回分枝するのが普通であり不定芽を出しにくい形態的に容易に年令が判定できるので、樹冠の年令構成を調べるよい材料である。その他モミ(*Abies firma*)、トドマツ(*Abies sachalinensis*)等も年枝をもち比較的調べやすい材料であろう。

本報告では樹冠の構成を調べる意味で、樹冠に含まれる幹も相当する年令の枝に加える解析方法をとった。

調査ならびに研究をとりまとめるにあたって、いろいろと御協力・御指導いただいた京都大学農学部森林生態研究室の皆様には厚く御礼申し上げる。

1. 調査林分の概況

調査林分は和歌山県白浜町の京都大学農学部附属演習林白浜試験地に設定された16年生クロマツ3林分である。

調査地の地形は西向きの緩傾斜地で、地床植生はコシダがよく侵入しヒサカキ、ネズミモチ、ホソバアオダモ等が混在していた。

植付本数はヘクタールあたり40,000本、10,000本、2,500本で40,000本区、10,000本区は樹冠が閉鎖しており、被圧木は生じているが枯死木はまだ見られなかった。2,500本区はまだ閉鎖

が完了しておらず各個体の樹冠が独立していた。

各調査区の平均樹冠長率は、それぞれ 38.8%、44.8%、65.3% であった。

2. 調査方法

調査は 1971 年 3 月 19 日より一週間にわたって白浜試験地でおこなわれた。当地は気候が温暖なために当年枝（冬芽）の伸張はすでに始まっているようであった。葉は 3 年生のものまで保持していたが、3 年生葉は量も少なく新葉のである 5、6 月頃までには脱落するものと思われる。

上記のクロマツ 3 林分より 40,000 本区 8 本、10,000 本区 7 本、2,500 本区 5 本計 20 本の試料木をなるべく広範囲の直径階の個体が得られるように地際で伐倒した。

胸高直径、樹高、生枝下高およびその直径を測定した。ついで樹冠をつくっている幹・枝を年令別に切り分け、その本数を数取器を用いて読んだ。芽については花芽との区別に留意した。切り分けた年枝ごとの重さを測定した後、葉と非同化部分を分離して、年令別の枝重・葉重を測定した。

次に比較的本数の多い若い年令の枝についてキシロメーターを用いて体積を測定し、その中から本数にして約 1 割をランダムにサンプリングし中央直径を測り、また全量の 2 分の 1 から 3 分の 1 を生長量測定用サンプルに供した。本数の少ない枝についてはすべて、中央直径・長さを測定し同じく生長量測定用サンプルとして持ち帰った。

樹冠内の幹については各年令（各枝階）ごとに切りそれぞれ重さ、長さを測定し中央部で円盤を取り生長量測定用サンプルにした。

樹冠外の幹については地上部の材積生長量を求めるために、0.0 m、0.3 m、1.3 m…、生枝下高の各点で円盤をとった。

持ち帰った枝のサンプル、幹の円盤については樹幹解析の方法を用いて過去 1 年間の材積生長量を求め、枝の生長量は枝の総重量とサンプル重の比から推定した。

なお本報告での重量はすべて生重を用いたが年令によって含水率にちがいがあられるので、乾重になおす方がより適切であると思われる。

3. 結果と考察

1) 樹冠の相対生長について

伐倒した試料木各個体の生枝下直径 (D_B) と樹冠部総重 (W_{C+L}) ならびに樹冠内の非同化部分重 (W_C) の相対生長関係は、Fig. 1-1, 2 に示すように適合度はよく立木本数の多少にかかわらず一つの相対生長関係を満足させる。 D_B の代わりに胸高直径 (D) を用いると適合度が悪かった。関係式は次のようであった。

$$\log W_{C+L} = 2.7281 \log D_B + 1.8627 \dots\dots\dots(1)$$

$$\log W_C = 2.7466 \log D_B + 1.6953 \dots\dots\dots(2)$$

葉重 (W_L)、枝重 (W_B) の相対生長関係は、胸高直径 (D) と樹高 (H) の D^2H に対してプロットしてみると低密度区と中・高密度区で分離が見られたが、 D^2H の代わりに D_B でプロットしてみると Fig. 1-3, 4 で示されるようにバラツキはあるが林分で分離しない関係式が得られた。

$$\log W_B = 2.8102 \log D_B + 1.1731 \dots\dots\dots(3)$$

$$\log W_L = 2.7672 \log D_B + 1.2901 \dots\dots\dots(4)$$

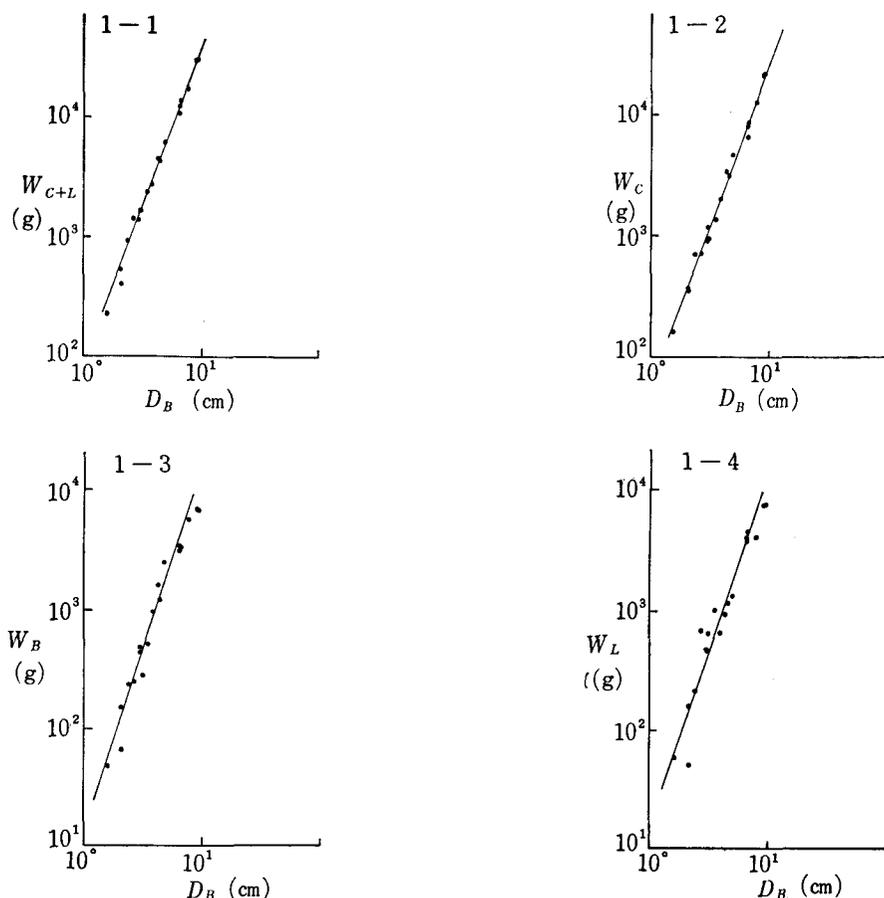


Fig. 1. Allometric relations between the parts of canopy and D_B .

- 1-1 Total canopy fresh weight (W_{C+L}) in gram and D_B in cm.
- 1-2 Amount of non-photosynthetic organ in the canopy (W_C) and D_B .
- 1-3 Branch fresh weight (W_B) and D_B .
- 1-4 Needle fresh weight (W_L) and D_B .

いずれにしろ樹冠の諸量の相対生長関係は D よりも D_B を用いる方が林分分離のない式が得られるようである。

さらに(1), (2), (3), (4)の近似式からわかるように樹冠内の諸量と D_B の関係を表わす回帰直線の傾きが、いずれも3に近い値をとるということは、重さに関して $W \propto D_B^3$ が近似的に成立していることを思わせる。このことは一つの樹種において樹冠の形が D_B に対して相似形であることを意味する。

また(9)式、 $\log N_1 = 1.9932 \log D_B + 1.0715$ より1年生枝の枝数 (N_1) が D_B^2 に比例するということは樹冠の展開は D_B の増加に対して樹冠の表面積としての増加という形で表われることを示している。

いずれにしろ樹冠は D_B に対して相似関係を保ちながら生育するものであろう。

2) 年令とその枝数について

年令 (A) とその枝数の対数 $\log \dot{N}_A$ の関係を Fig. 2-1, 2, 3 に示す。すべての供試木について0

年生枝（芽）から3年生枝の枝数をむすぶ直線と3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。すなわち4年生枝より一定の率で落ち込みがあるように思われる。

上賀茂試験地のアカマツで調べた結果では1本の直線で近似され、和歌山演習林のモミでは8年目から落ち込みが始まっている。(Fig. 2-4)

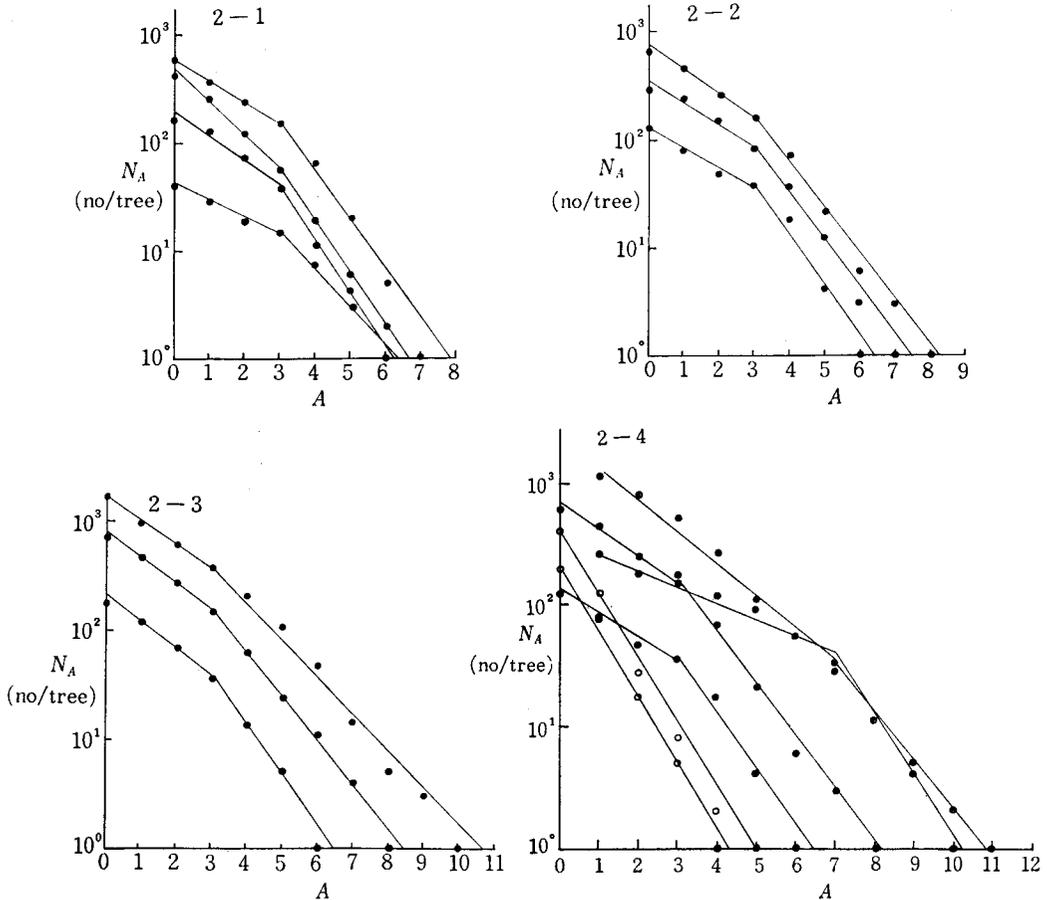


Fig. 2. Relation between logarithm of branch number of respective age (N_A) and age (A).

- 2-1 high density stand. (40, 000 per hectare)
- 2-2 middle density stand. (10, 000 per hectare)
- 2-3 low density stand. (2, 500 per hectare)
- 2-4 ● *Pinus Thunbergii*
- *Pinus densiflora*
- ⊙ *Abies firma*

まだデータの貧弱な段階では断定できないが、落ち込みの始まる年令は樹種あるいはそこに生育する樹木の着葉年数、葉令と関係があるように思われる。着葉年数は白浜クロマツで3年、上賀茂試験地のアカマツで1年、和歌山演習林のモミで7年となっている。

一般に A と N_A の関係を式で表わすと

$$N_A = k(e^{-a})^A \dots\dots\dots(5)$$

ここで k は0年生枝又は3年生枝の枝数

a は直線の傾き

今(5)式の e^{-a} を r と置けば

$$N_A = kr^A \dots\dots\dots (6)$$

となり Fig. 5-1, 2, 3 に表わされた2本の直線部分についてそれぞれ r の値が決められる。すなわち A と N_A の間には3年生枝をさかいに公比をことにする初項 k , 公比 r の等比級数が成り立つと考えてよい。

Table 1. Geometric ratio r_1 and r_2 estimated after Motomura's method and these reciprocals in (6) equation.

Tree No.	r_1	R_1^*	r_2	R_2^{**}
1	0.640	1.563	0.386	2.592
2	0.583	1.715	0.417	2.400
3	0.644	1.553	0.379	2.641
4	0.526	1.901	0.411	2.435
5	0.551	1.815	0.294	3.400
6	0.473	2.114	0.325	3.077
7	0.696	1.437	0.458	2.182
8	0.786	1.272	0.512	1.953
m	0.612	1.672	0.399	2.585
S^2	0.010	0.073	0.005	0.218
9	0.566	1.767	0.462	2.167
10	0.577	1.733	0.393	2.546
11	0.589	1.698	0.395	2.530
12	0.522	1.916	0.312	3.207
13	0.672	1.488	0.386	2.591
14	0.612	1.634	0.438	2.286
15	0.478	2.092	0.235	4.252
m	0.574	1.761	0.374	2.797
S^2	0.004	0.038	0.006	0.520
16	0.538	1.859	0.413	2.422
17	0.607	1.647	0.482	2.076
18	0.555	1.804	0.368	2.790
19	0.704	1.420	0.488	2.049
20	0.622	1.608	0.505	1.979
m	0.605	1.667	0.449	2.263
S^2	0.004	0.030	0.004	0.119

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

r の算出方法は元村⁵⁾による方法を用いた。

$$r = \frac{N - n_{\max}}{N - n_{\min}} \dots\dots\dots (7)$$

ここで $N = \sum n$ (総枝数)

n_{\max} : 0年生 (または3年生) の枝数
 n_{\min} : 3年生 (または最高年齢) の枝数 (= 1)

今0年生枝から3年生枝をむすぶ直線の傾きを r_1 , 3年生枝以下の枝数をむすぶ直線の傾きを r_2 とすると, 各個体についての r_1, r_2 ならびにそれらの逆数 R_1, R_2 は Table 1. のごとくである。個体による r_1 の範囲はおよそ 0.5 から 0.8 にわたる。

今0年生から3年生までの枝は本数が多く, 生育条件の悪化による枯れや害虫の食害を受けて

枯死する数が無視できると仮定すれば、各個体の r_1 の逆数 R_1 は前年度の1年生の枝1本から本年新しい枝が何本分枝するかという1年生枝1本あたりの平均出生数(分枝数)を表わす値となるであろう。

ここで大きな r_1 をとる個体、すなわち出生数の小さな個体は No. 7, 8, 13, 19 の4個体で、いずれも胸高直径が 2.7 cm 以下の被圧木で他個体の平均胸高直径 5.9 cm に較べると極めて小さく、近い将来自己間引されるものと思われる。全個体の平均出生数(分枝数)は 1.7017 で各林分間で平均値の比較をしたところ 5%水準で有意差は認められなかったので、密度によるちがいがいよりも個体間でのちがいが大であると考えられるが、このちがいが何にもとづくものであるかは今のところはっきりしない。

次に4年生枝以後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現象のように思われるが、データの集積を待って今後の検討にゆづりたい。

ただ r_2 は樹冠の閉鎖している 40,000 本区、10,000 本区でそれぞれ平均 0.399, 0.374 で孤立状態で生育している 2,500 本区は 0.449 に比べ落ち込みの急なことは大畠³⁾ がアカマツで直線の傾きが林縁木ほど小さく、被圧木ほど大きくなることを指摘しているのと同じ現象であろうが、各密度区内でも変動が大きく単に立木密度に依存するだけでなく、いろいろな大きさの樹冠をもつ個体間の位置関係との両面からの考察が必要であろう。

3)の1 年令とその枝の平均重さについて

年令 (A) とその枝の平均重さの対数 ($\log \bar{W}_A$) の関係は Fig. 3 のようになりに適合度のよい直線回帰を示すことから次式で表わされるように等比級数の関係を満足するものとみなしてよい。

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

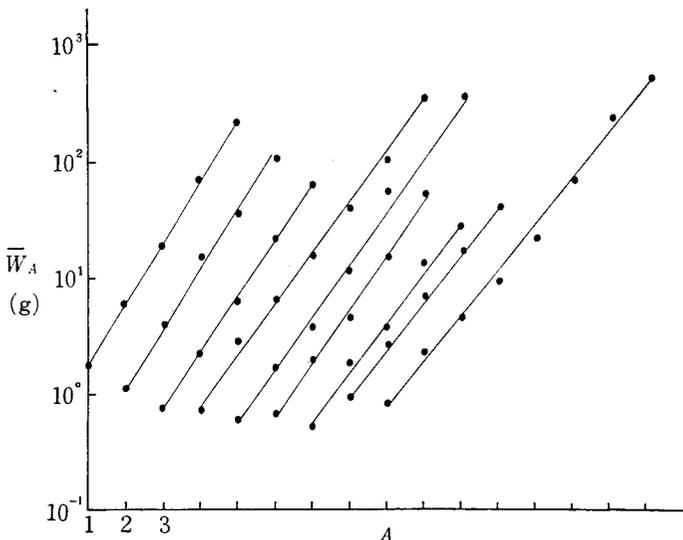


Fig. 3. Relation between the logarithm of branch average weight of respective age (\bar{W}_A) and age (A).

ここで公比 $R_W = \bar{W}_{A+1} / \bar{W}_A$ この年令別の枝の平均重さを表わす直線の傾き (R_W) は検定の結果、各密度区で有意差が認められず全個体を通してほぼ一定の値をもっと考えられるので、ここで問題になるのは1年生枝の平均重さ (\bar{W}) である。各個体の \bar{W}_1 は Table 2. で見られるようになりにバラツキがあり、被圧され枯死寸前と思われる No. 7, 8 の両個体の極端に小さな値を除外すれば、0.5 g から 1.0 g の範囲に入る個体が大部分であった。

\bar{W}_1 は本質的には1年生枝の総量 (\bar{W}_1) とその本数 (N_1) で決められるものであるから、この方面から検討するとまず Fig. 4 で示すように1年生枝の枝数 (N_1) を D_B^2 に対してプロットしてみると、傾きがほぼ1になることから、 N_1 は生枝下の断面積に比例していることがわかる。最小二乗法で回帰直線を求めてみると次式のようになる。

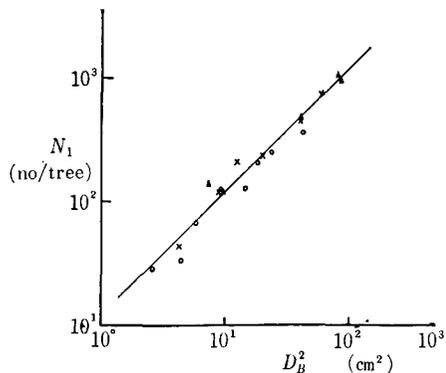


Fig. 4. Relation between total branch number of age 1 (N_1) and D_B^2 in the logarithm.

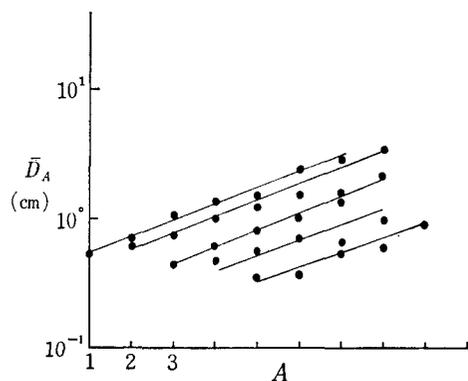


Fig. 6. Relation Between the logarithm of branch diameter of respective age (\bar{D}_A) and age (A).

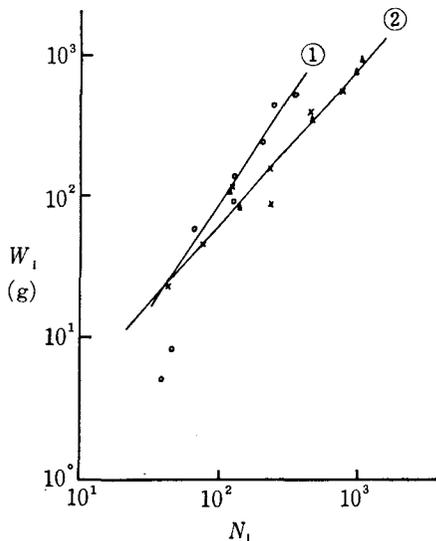


Fig. 5. Relation between total branch weight of age 1 (W_1) and branch number of age 1 (N_1).

- ① high density stand.
- ② middle and low density stand.

$$\log N_1 = 0.9966 \log D_B^2 + 10715 \dots (9)$$

次に N_1 に対して 1 年生枝の総重 (W_1) をプロットしてみると、高密度区と中・低密度区で分離する式が得られた。(Fig. 5)

40,000 本区

$$\log W_1 = 1.5022 \log N_1 - 1.0761 \dots (10)$$

10,000 ならびに 2,500 本区

$$\log W_1 = 1.0947 \log N_1 - 0.3901 \dots (10)'$$

高密度区で直線の傾きの大きいことは、激しい競争の結果、個体間の優劣の差が大であることを物語っているものであろう。また各密度区間で同じ 1 年生の枝数をもつ個体を比較してみると高密度区の方が中・低密度区に比べて W_1 が大きいということは、高密度区の樹冠は成育条件のよい頂部付近にだけ残っておりその結果として生育のよい 1 年生枝の数が大きな部分を占めることによるものと考えられる。

(9) 式と (10), (10)' 式から \bar{W}_1 を求めてみると

40,000 本

$$\bar{W}_1 = 0.2895 D_B^{1.0010} \dots (11)$$

10,000 ならびに 2,500 本区

$$\bar{W}_1 = 0.5144 D_D^{0.1881} \dots (11)'$$

となりいずれの密度区でも \bar{W}_1 は D_B の増加とともに増すことがわかるが、高密度区では中・低密度区に対してより増加の率が大である。

3) の 2 年令とその枝の平均太さについて

年令 (A) とその枝の平均太さ (\bar{D}_A) の関係も片対数グラフ上で直線近似され等比級数の関係を満足するようであるが、最高年令の枝付近でバラツキが見られた。公比 R_0 は t -検定の結果、各密度区の間で有意差は認められずほぼ安定した値をもっているようである。(Fig. 6)

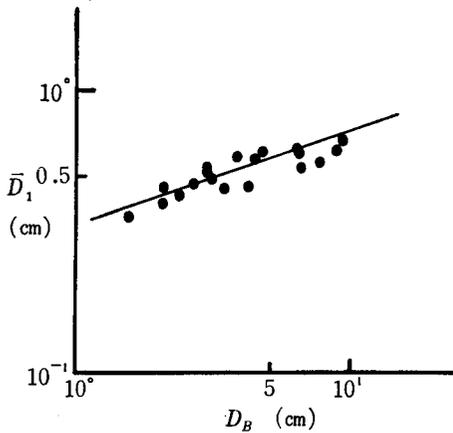


Fig. 7. Relation between average branch diameter of age 1 (\bar{D}_1) and D_B in the logarithm.

ここで $R_D = \bar{D}_{A+1} / \bar{D}_A$

$$\bar{D}_A = \bar{D}_1 \cdot R_D^{A-1} \dots\dots\dots(12)$$

1年生枝の平均太さ \bar{D}_1 は \bar{W}_1 の場合と同様に No. 7, 8 の両個体はかなり小さな値である他は 0.4 cm から 0.6 cm の範囲におさまり \bar{W}_1 に比べると個体間の差は少ない。

\bar{D}_1 と \bar{D}_B の関係は明らかではないが、 \bar{D}_B が増加するにつれて非常に緩慢ではあるが増す傾向にあるようだ。回帰直線を求めると次式になる。

$$\log \bar{D}_1 = 0.2706 \log D_B - 0.4629 \dots(13)$$

3) の 3 年令とその枝の平均長さについて

一般に(3)式 $\bar{W}_A = \bar{W}_1 \cdot R_w^{A-1}$

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

の両式が成立すれば、 $\bar{W}_A \propto \bar{V}_A = \pi \bar{D}_A^2 L_A / 4$ とみなせるから

$$L_A = L_1 \cdot R_L^{A-1} \dots\dots\dots(14)$$

が誘導される。ここで $R_L = L_{A+1} / L_A$ 、また \bar{V}_A は年令 (A) の枝の平均体積を表わすものとする。

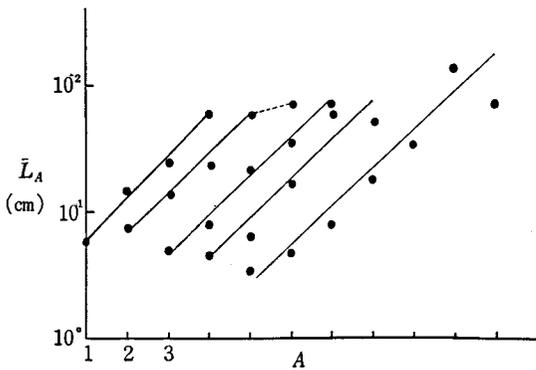


Fig. 8. Relation between the logarithm of branch length of respective age (\bar{L}_A) and age (A).

片対数グラフ上に L_A と A をプロットしてみると直線で近似できるがバラツキは大きかった。(Fig. 8)

R_L の値も $R_w R_D$ と同様、 t -検定の結果各密度区間に有意差が認められず安定した値をもつようである。

一方 L_1 は $L_1 = 4 \bar{V}_1 / \pi \cdot \bar{D}_1^2 \propto 4 \bar{W}_1 / \pi \cdot \bar{D}_1^2$ と考えられるから

$$(11) \text{式 } \bar{W}_1 = 0.2897 D_B^{1.0010}$$

$$(11)' \text{式 } \bar{W}_1 = 0.5145 D_B^{0.1888}$$

$$(13) \text{式 } \bar{D}_1 = 0.3444 D_B^{0.2706}$$

の3式より $4 \bar{W}_1 / \pi \cdot \bar{D}_1^2$ を求めてみると 40,000 本区

$$L_1 \propto 3.1093 D_B^{0.4598} \dots\dots\dots(15)$$

10,000 本区 2,500 本区

$$L_1 \propto 5.5222 D_B^{-0.3524} \dots\dots\dots(15)'$$

となる。

すなわち高密度区では D_B の増加とともに L_1 は長くなるのに対し、中・低密度区では逆に減

少する傾向にあるということになる。

一方実測した体積と \bar{D}_1 より \bar{L}_1 を算出してみると Table 2. に示すごとくになり、各個体の D_B に対して \bar{L}_1 をプロットしてみると(15)式, (15)' 式を裏づける結果が得られた。(Fig. 9)

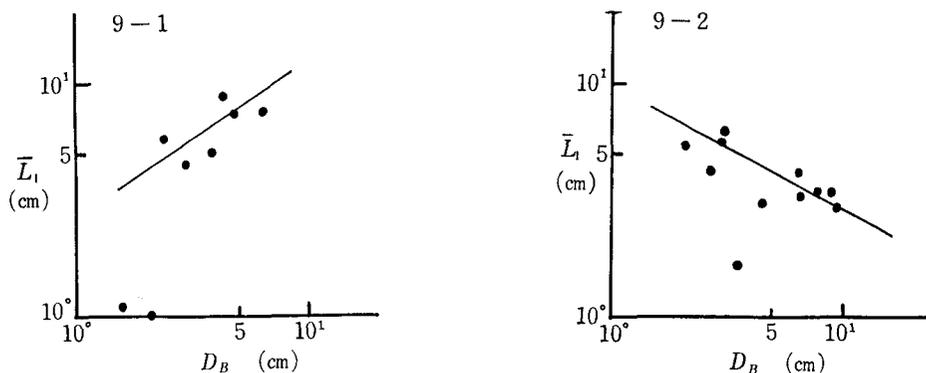


Fig. 9. Relations between average branch length of age 1 (\bar{L}_1) and D_B .
9-1 high density stand 9-2 middle and low stand.

高密度区と中・低密度区で \bar{W}_1 と N_1 の関係に分離が見られたこと。その結果として D_B に対する \bar{L}_1 の増減傾向がことなることなど、いろいろな問題点があるが詳細な検討は今後にゆずりたい。

なお Table 3. に示した年令別の枝の平均重さ, 平均太さ, 平均長さの間に成立する等比級数の公比, R_w, R_D, R_L の算出法は枝数を重みとする加重平均法によった。

Table 2. Average weight, diameter and length of one-year-old branch.

Trees No.	D_B^*	\bar{W}_1^{**}	\bar{D}_1^{***}	\bar{L}_1^{****}
1	4.30	1.15	0.45	8.74
2	2.40	0.72	0.42	5.70
3	6.59	1.43	0.52	7.41
4	3.85	1.07	0.57	4.97
5	3.00	0.72	0.52	4.38
6	4.84	1.75	0.59	7.29
7	1.60	0.18	0.35	1.08
8	2.10	0.24	0.39	1.00
9	7.71	0.73	0.54	3.05
10	6.43	0.86	0.61	3.35
11	4.43	0.66	0.56	2.96
12	3.50	0.36	0.44	1.65
13		0.59	0.51	3.24
14	2.07	0.52	0.44	5.35
15	2.99	0.95	0.50	5.59
15	2.99	0.95	0.50	5.59
16	6.43	0.73	0.58	4.16
17	9.00	0.86	0.59	3.50
18	3.10	0.90	0.47	6.17
19	2.67	0.57	0.46	4.15
20	9.27	0.80	0.64	2.99

* D_B : trunk diameter just below the lowest branch. (cm)

** \bar{W}_1 : average branch weight of age 1. (g)

*** \bar{D}_1 : average branch diameter of age 1. (cm)

**** \bar{L}_1 : average branch length of age 1. (cm)

Table 3. Geometric ratio R_W , R_D and R_L estimated after weighted average method.

Tree No.	R_W^*	R_D^{**}	R_L^{***}
1	3.185	1.341	1.596
2	2.982	1.235	1.893
3	2.674	1.335	1.537
4	3.429	1.308	1.946
5	3.326	1.261	2.087
6	3.337	1.288	1.857
7	3.652	1.193	3.223
8	3.850	1.185	2.905
9	2.633	1.348	1.384
10	2.779	1.258	1.697
11	2.959	1.200	2.091
12	3.613	1.275	2.744
12	3.613	1.275	2.744
13	2.929	1.156	2.107
14	3.052	1.200	1.788
15	3.494	1.200	2.271
16	3.124	1.330	1.467
17	2.528	1.299	1.466
18	2.736	1.188	1.782
19	2.234	1.113	1.460
20	2.463	1.320	1.341

$$* R_W = \bar{W}_{A+1} / \bar{W}_A$$

$$** R_D = \bar{D}_{A+1} / \bar{D}_A$$

$$*** R_L = \bar{L}_{A+1} / \bar{L}_A$$

4. ま と め

本研究は時間（年齢）による樹冠構造の解析を試みたものである。

1) 節で検討したように樹冠は全体としても (W_{C+L}), 部分としても (W_C, W_B, W_L) 生枝下直径に対して相似形的な生長過程をたどるものである。また1年生枝の枝数は、樹冠の表面積を表わすものと考えられるので、それが生枝下直径の二乗に比例するということはとりもなおさず一つの樹種において、樹冠は生枝下直径と相似関係を保ちつつ生長・展開するものである。(Fig. 1, 2, 3, 4, Fig. 4)

さらに樹冠の細部に注目すると個々の枝が年枝ごとに切り分けられた場合、その平均重さ、平均太さ、平均長さについて各年枝間に、等比級数の関係を保ちつつ生長するものであるということが第3) 節で明らかになった。樹冠におけるこれら2つの現象に2) 節の結果を考慮しつつ統一的な説明を与え、樹冠の依拠する分枝・枯死といった生物的現象の動的平衡のメカニズムを明らかにすることが今後の問題となるであろう。

引 用 文 献

- 1) Monsi, M. und T. Saeki,: Über den Lichtfactor in den Pflanzen-gesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jap. J. Bot., **14**, 22-52, (1953)
- 2) Shinozaki, K. Yoda, K. Hozumi and T. Kira,: A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory. 1. Basic analysis. Jap. J. Ecol. **14**, 97-105, (1964)
- 3) 大畠誠一・四手井綱英: 枝の分岐について, (JIBP-PT-F) **44**, 16-22, (1969)
- 4) 大畠誠一・四手井綱英: 樹木の幾何級数的性質と呼吸量推定について (JIBP-PP-T), **45** 78-85, (1970)
- 5) 元村 勲: 動物群衆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

The age composition of branch was studied for the quantitative analysis of canopy structure in Japanese black pine forest stands at Shirahama, Wakayama Pref. The practice of the investigation was carried out in three stands with different density of 40,000, 10,000 and 2,500 per hectare in March 1971.

20 sample trees of various sizes were cut down at the base. Stem, branch and leaf composing the canopy were cut off separately by age, counted and weighed. The amount of volume increment was estimated by stem analysis.

The results obtained were as follows:

1) The relations between total fresh weight of canopy (W_{c+l}) and trunk diameter just below the lowest branch (D_B) and between fresh weight of non-photosynthetic organ in the canopy (W_C) and D_B were closely correlated by linear relation in logarithmic scale (Fig. 1-1 Fig. 1-2). The relations were as follows:

$$\log W_{c+l} = 2.7281 \log D_B + 1.8627$$

$$\log W_C = 2.7466 \log D_B + 1.6953$$

On the other hand, next equation was seen between number of branch of age 1 and D_B , i. e.,

$$\log N_1 = 1.9932 \log D_B + 1.0715$$

2) The relation between logarithm of branch number of respective age (N_A) and age (A) was approximated by two regression lines, in which the points changed from one to the other at the age 3. The age of the turning point of the lines seemed to be related to the species of trees or life length of the needles (Fig. 2-1, 2, 3).

3) Average branch weight (\bar{W}_A), average branch diameter (\bar{D}_A) and average branch length (\bar{L}_A) in the respective age were approximated by the geometric series concerning to the age (A), and the relations were arranged by following equations:

$$\bar{W}_A = \bar{W}_1 R_W^{A-1}, \quad \text{where} \quad R_W = \bar{W}_{A+1} / \bar{W}_A$$

$$\bar{D}_A = \bar{D}_1 R_D^{A-1}, \quad \text{where} \quad R_D = \bar{D}_{A+1} / \bar{D}_A$$

$$\bar{L}_A = \bar{L}_1 R_L^{A-1}, \quad \text{where} \quad R_L = \bar{L}_{A+1} / \bar{L}_A$$

In the equations, respective geometric ratios seemed to have some constant values in spite of difference of the density (Table 3).

Namely, crown sizes of each tree seemed to have similar form in weight, and the number of one-year-old branch seemed to be proportional to the surface area of the crown of each tree. Every crown had a characteristic structure for the age composition, which was shown by some geometric series.