

樹冠の年令構成に関する研究 (Ⅲ)

14年生ストロブマツ林について

西 田 仁・四手井 綱 英

Studies on the Age Composition of Canopy Structure (III)
On 14-year-old Forest of *Pinus storobus*

Hitoshi NISHIDA and Tsunahide SHIDEI

目	次
要 旨.....	52
まえがき.....	53
1. 調査林分の概況.....	53
2. 調査方法.....	54
3. 結果と考察.....	54
1) 年令とその枝数について	
2) 出生率についての再考察	
3) 年令とその枝の平均重さについて	
4) 年令別の枝の材積生長量について	
5) その他の問題	
引用文献.....	65
Résumé	65

要 旨

林木樹冠の年令構成に関する一連の研究として、長野県阿智村、飯田営林署管内阿智国有林の標高 1,100 m 南面急斜地に造林されている 14年生ストロブマツ林分について、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1972年10月上旬現在、立木本数は ha あたり3,160本、平均胸高直径 7.14 cm、胸高断面積合計 19.02 m²/ha で閉鎖状態にあるが、地形が急峻なため各個体は、南側に下層まで太枝を持つ偏倚樹冠をなしていた。林内は、被圧による枯死木は見られず、まだ最多密度の状態に達していない。

調査結果をまとめると次のようになる。

1) 枝の年令 (A) とその年令に属する枝数の対数 ($\log N_A$) の関係はこれまで得られた結果^{1,2)} とことなり、一定の直線傾向は認められず、除々に勾配のきつくなる直線で表わされた。これは各個体が地形の影響で偏倚樹冠を持つためと考えられる。

2) 各枝階の平均出生率 ($1/R_1 = N_1/N_2$) はその枝階の1年生枝の持つ平均着葉量 (\bar{W}_{L1}) と次式で表わされる関係をもつ。

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

(a, b は個体によって決まる定数)

3) 各枝の出生率の時間的な変化は、その枝の樹冠内での相対的位置（サイト）の変化と対応し、サイト番号を同じくする枝は同じ出生率を持つようである。

4) 各年令の枝の平均重さ (\bar{W}_A) の間には A に関する等比級数の関係があり、これまでの結果を裏づける。

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

(R_W は等比級数の公比)

5) 年令 (A) の枝の平均材積生長量を $\Delta \bar{V}_A$ とする時、 $\Delta \bar{V}_A$ 間にも A に関して等比級数の関係がみられ、これは4)の重さに関する式を時間方向で微分した形に対応するものである。

$$\frac{d\bar{W}_A}{dA} = \bar{W}_1 \cdot \log R_W \cdot R_W^{A-1} = \Delta \bar{W}_A \propto \Delta \bar{V}_A$$

(ここで $\Delta \bar{W}_A$ は年令 (A) の枝の平均重量生長量とする。)

6) 1年生枝の持つ平均針葉量は樹種によって一定の値を持つようであり、クロマツ>アカマツ>ストロブマツの順に小さくなる。

ま え が き

林分状態をなす林木の樹冠の骨組みである分枝構造を、年令解析の方法を用いて、その形態的な側面を明らかにしてきた。このような時間をベースにして樹冠内の諸量の変化を知ることは、そこに生起するいろいろな現象(例えば、枝の枯れ落ち、新梢や新葉の展開、葉の空間での分布)に対する基礎的な知識を与えてくれるだけでなく、樹形や樹勢、さらには新梢を食害する害虫の動態と木の抵抗性と言った応用的な問題にまで有用な情報を与えてくれることが知られている。

本論文の前半部は、ストロブマツのデータからとりまとめ、後半部は樹種間の特性値の比較や総合的な問題をとり扱ったため、既報の白浜16年生クロマツ、大山18年生アカマツのデータを随所に補足した。

今後さらに枝の機能的側面を明らかにしていきたいと思っている。

本調査をおこなうにあたり、ご協力をいただいた京都大学農学部森林生態学研究室の皆様ならびに飯田営林署署長をはじめ関係各位に深く感謝する。

1 調査林分の概況

調査林分は長野県阿智村、飯田営林署管内阿智国有林の標高 1,100 m、南面急斜地(約40°)に造林されている14年生ストロブマツ林である。

地形は花崗岩の風化物が厚く堆積し、土壤の流亡が激しい。

林床植生は単純で、ササ類の侵入はほとんどみられず、木本植物としてガマズミ、リョウブ、ミズキ、シナノキ、キブシ、コハウチワカエデなどが見られる程度であった。

斜面の中腹に標準地を設け、胸高直径についての毎木調査をした結果は Table 1 のようである。

現在の立木本数はヘクタールあたり 3,160 本で胸高断面積合計は 19.02 m² に達しており、林冠の閉鎖は完了しているようだが枯死個体はみられなかった。また急峻な地形のため、ほとんどの個体が偏倚樹冠³⁾をしていた。

なお本調査地は1969年に赤井らによって

Table 1. Description of white pine stand in Achi National forest.

Number of tree per hectare	Mean diameter at breast height (cm)	Basal area per hectare (m ²)
3,160	7.14	19.02

ストロブマツ幼令林の物質生産機構の調査がおこなわれており、林分現存量、土壤環境、その他についてはこれを参照されたい。

2 調査方法

調査は1972年10月上旬、阿智国有林内14年生ストロブマツ林分でおこなわれた。調査時において旧葉（前年葉）はすでに落葉し新葉（当年葉）のみであった。冬芽は形成されていたが、伸長していなかった。

林内に $7 \times 11 \text{ m}^2$ の標準地を設け、胸高直径についての毎木調査をした後、なるべく広範囲の直径階の個体得られるように8本の試料木を伐倒した。調査方法ならびに調査項目は既報の場合に準ずるが、今回も全個体、枝階別にデータをとった。ストロブマツは、日本産マツに比べて年枝が小さく、切り分けに予想以上の時間がかかった。またキシロメーターによる材積測定と生長量推定のための生長解析はおこなわなかった。

3 結果と考察

1) 年令とその枝数について

伐倒した試料木の樹冠を構成している同化器官（葉）と非同化器官（枝、幹も含む。）を枝階別に、その年令によって切り分け、個体あたりの年令 (A) の枝数の対数 ($\log N_A$) と A の関係を示したのが Fig. 1 である。

年令が高くなるにつれて徐々に枝数が減少するパターンを示し、既報の白浜クロマツ、大山アカマツのような“出生率”、“落ち込み”を表わす明らかな直線傾向はみとめられなかった。また

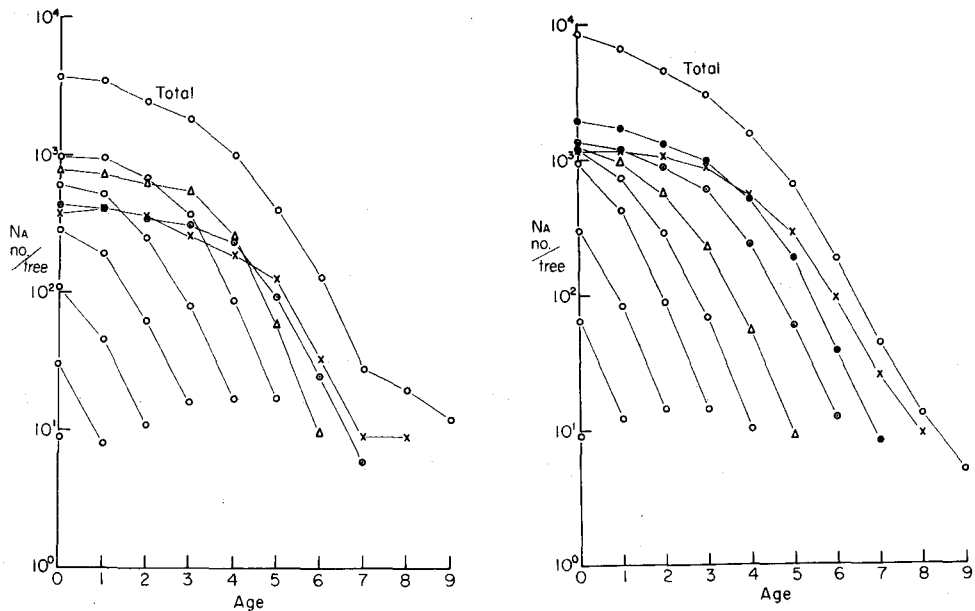


Fig. 1. Relationship between the logarithm of branch number of respective age ($\log N_A$) and age (A).

同時に個体の出生率（分枝率・枝数の年々の増加率）が低下していく傾向を表わしている。これは調査地が急峻な南斜面であるため、林冠の閉鎖は完了しているものの、各個体が南側に下層まで太枝を持ち、出生率の低い枝の本数が相対的に増加していく、孤立木型の樹冠をなしているためと考えられる。参考までに林冠末閉鎖のクロマツの例を Fig. 2 に示す。

枝階別にみた枝の年令構成のグラフ（Fig 1 の下の図）も年々出生率の低下する傾向を示し、最下層付近の枝では出生率が1を下回り、衰弱枝の兆候を示す。また後述するが、枝の枯れ落ちが起こっていない枝階内で、各枝階の $N_s - N_{s-1}$, $N_{s-2} - N_{s-3}$, ... $N_1 - N_0$ を結ぶ直線の傾きが、ほぼ等しいということは注目に値する。（但し N_s はその枝階の最高年令の枝数を表わすものとする。）

2) 出生率についての再考察

○枝階別の出生率

第1節で述べたように、ストロブマツの枝階別の枝の年令構成のグラフはアカマツのように明らかな出生を表わす直線部分が得られなかったため、出生率の算出に元村式は適用できないの

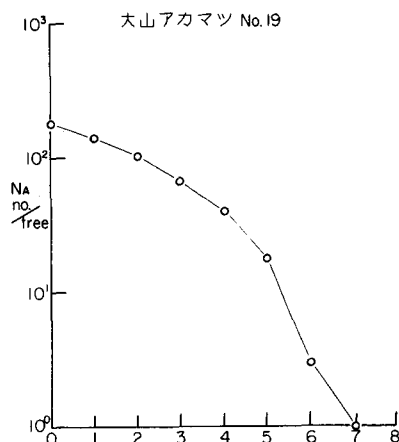


Fig. 2. Relationship between $\log N_A$ and A of Pinus Th. (No. 19) at Shirahama.

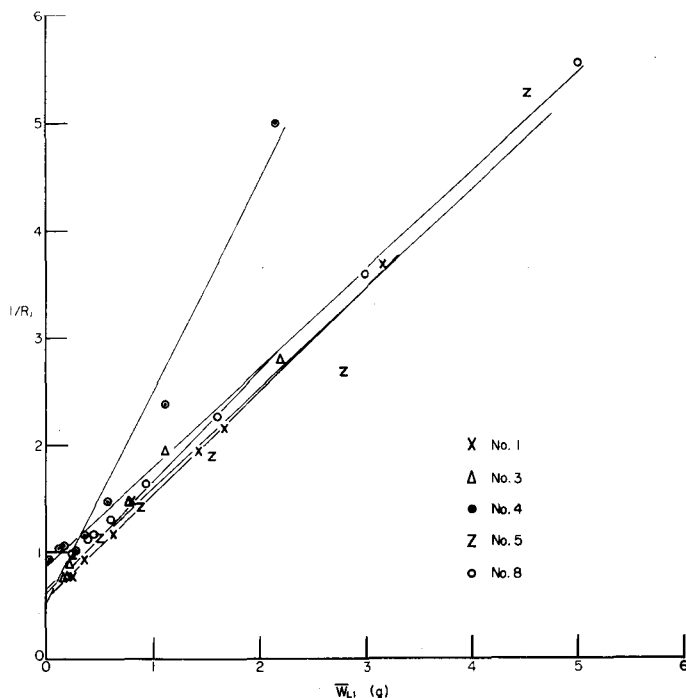


Fig. 3. Relationship between average natality ratio ($1/R_1$) and average needle amount of 1-year-old branch (\bar{W}_{L1}) in each branch whorl.

で、各枝階の1年生枝の2年生枝に対する比 (N_1/N_2) で表わし、最近の出生率 ($1/R_1$) とした。 $1/R_1$ とその枝階の1年生枝の平均着葉量 (\bar{W}_{L1}) との関係を表わしたのが Fig. 3 である。

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

(a, b は個体によって決まる定数)

やはりきれいな直線関係が得られ、大山ア

カマツの結果と一致する。また a, b の値は No. 4 個体を除く他個体が、ほぼ同じ回帰直線をもつことから、集団においても成り立つ関係と思われる。7 個体をこみにした回帰直線は次のようであった。

$$1/R_1 = 0.672 + 0.957 \bar{W}_{L1} \quad (r = 0.987)$$

各個体の a, b と相関係数の値を Table 2 に示す。アカマツに比べて、単位量の針葉のもつ出生率は極めて大きいことが注目される。No. 4 個体の異常な値の原因はわからない。

○過去の出生率の変化について

これまで述べてきた出生率についての検討は、各枝階の最近あるいは昨年度のそれを問題としたものであるが、各枝や個体の出生率は時間とともにどのような変化をするものであろうか。今回は枝の枯れ落ちの起こっていない時間内 (各個体とも6枝階以上の枝階がこれに相当する。) での過去の出生率の変化を枝の樹冠内での相対的位置 (サイトと呼ぶ。) の変化と関連させて考察したものである。

まず樹冠内での枝の位置 (サイト) を次のように定める。(Fig. 4) アカマツ、クロマツなどでは、年々各枝の先端から1段ずつ新梢をつくり出し、上方・側方に特有な枝階構造をつくっていく。すると枝の枯れ落ちのみられる下層の枝を除き、樹冠は全体として相似形を保ちながら生育するものと考えられる。そこでかつて樹冠内で同じ位置を占めていた枝 (群) に同じサイト番号をつけることにする。(枝の年令は異なることに注意) 例えば第1枝階の枝が存在していない時点 (昨年度) では、現在の第2枝階の2年生枝が、その個体の最先端に位置し、光などの生育条件からみて最上位の位置を占めていたことになり、これが現在の第1枝階の枝群に相当する。そこで同じサイト番号①をつける。同様に一昨年度、先端に位置していた枝群 (現在の第3枝階の3年生枝) も同番号となる。またサイト番号①の枝から派生した枝にサイト番号②、以下順に

③, ④……と名づける。このような枝の位置の決め方は、結局、各枝階における枝の年令の逆となり、サイト番号がふえるに従って、上層の枝による被陰や幹からの距離が大になることによる不利益さが増すものと考えられる。

枝階別にデータをとった大山アカマツ、飯田ストロブマツの出生率とサイト番号の関係を Fig. 5 に示す。ここでの各サイトの出生率 ($1/R$) はそのサイトの枝群 (N_A) より、翌年派生した枝群 (N_{A+1}) を N_A で除した値で表わし、各枝階の最近の出生率 ($1/R_1$) と区別する。

$1/R$ の値は、樹種、個体間ではちがいがみられ、

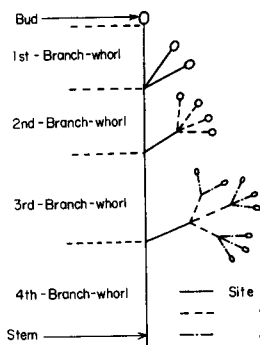


Fig. 4. Scheme illustrating Site No. in the tree canopy.

Table 2. Value of a, b and r^* .

Tree No.	a	b	r
1	0.57	0.97	0.99
2	0.61	1.05	0.96
4	0.51	2.01	0.98
5	0.63	0.93	0.97
8	0.86	0.93	0.99

r^* : Simple correlation coefficient

個体内でも多少のバラツキはあるが、同一のサイトに属する枝群はほぼ同じ値をもっているときみ
なしてよい。

ある枝における分枝の程度は、樹体のその相対的位置（その内容はいくつもの要因が複雑に
絡みあっているものであろうが、着葉量、ホルモン類やその他の生活物質の分布状態あるいは上
層の枝や他個体による被陰が主要なものと思われる。）によって決まるとすれば、既報の各枝階
の出生率の変化は、上のような見方のより生理的な側面をとり出したものであると考えられる。

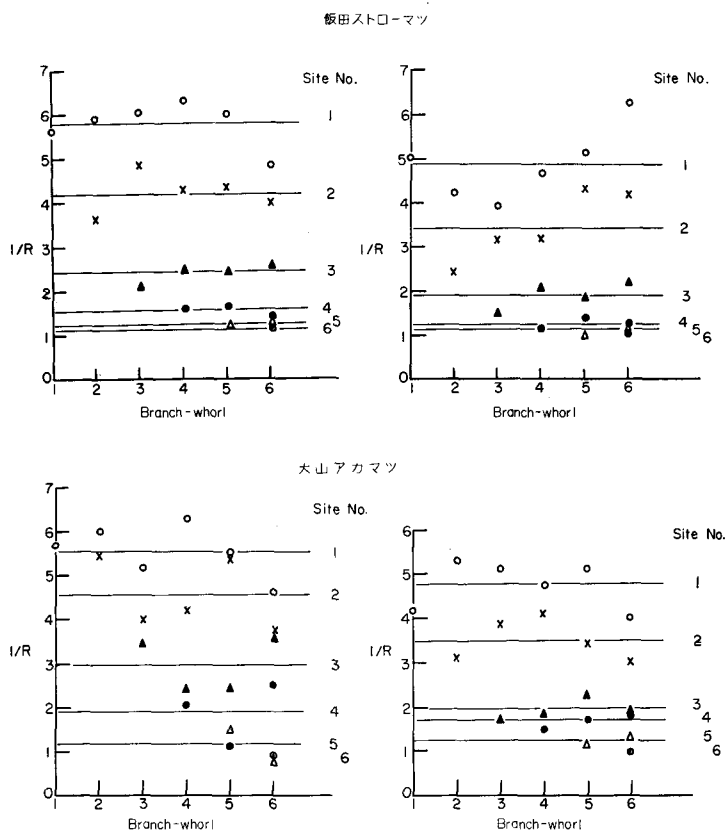


Fig. 5. Yearly rate of increase of one branch ($1/R$) and Site No. in each branch whorl. ($1/R$: one year's number divided by the previous year's)

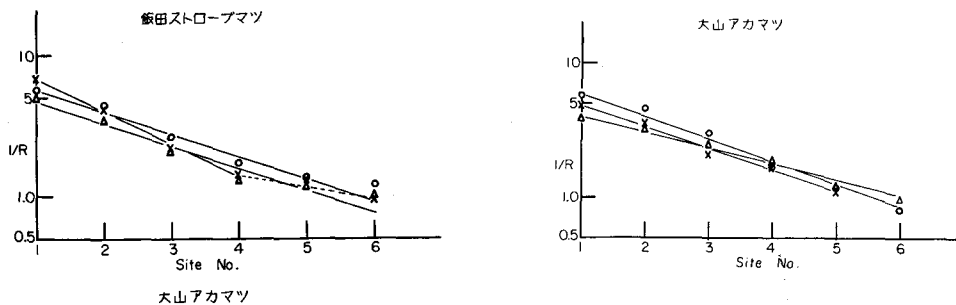


Fig. 6. Relationship between $1/R$ and Site No. of each individual.

このように各サイトで固有な出生率をもつという事実は、樹冠の相似的な生長や葉の空間での分布に一定の秩序を与えるものとなるであろう。

次に各個体のサイトと出生率（平均値）の関係をみてみよう。Fig. 6 に示すように片対数グラフで直線に近似され、これは葉層を通過する光の減衰曲線と同じものであり、植物体の上方・側方の生長に伴う、先端の枝の生育条件の悪化の程度は指数関数的であることを反映しているのであろう。ただしストロブマツではサイト番号の大きい部分でほとんど減衰がみられないのは、孤立木型の樹冠をもっているためと考えられる。

$1/R$ の値がサイト⑥以上の枝で1を下回るということは、新梢や新葉の再生産が困難になっていく兆候であり、年輪欠除の現象とともに枯死の方向を辿りつつある枝の特長と言えよう。

枝の衰弱の程度を表わす示標として、同化器官 (F) と非同化器官 (C) の比 (F/C) が提案されている。しかし枝の生長のバランスを考える場合、大きな支出である非同化部分の呼吸消費が必ずしも C の大きさに比例しないため、古い枝になる程実際とのズレが大きくなると考えられ、 F/C の値は比較的若い枝でのみ適用可能と思われる。大山アカマツ6個体の6枝階の F/C の値は0.3~0.4の間にあった。ストロブマツでも6~7枝階以下で、 $1/R < 1$ となるが、本調査での芽の測定は肉眼で観察しうるものはすべて勘定に入れたが、実際には伸長せず枯死する芽もかなり観察されるため、 $1/R < 1$ となる枝階はさらに上昇するのではなかろうか。

さらに個体全体の出生率が林令とともにどのように変化するのであろうか。E. MILLER が *red pine* で推定したところによると、植栽直後に最大となり、以後林令の増加とともに低下すると報告している⁵⁾。また特殊な例だが、果樹を用いて年間に伸長する小枝の数を11年間追跡調査した結果、植栽後3年間は大きな出生率をもち、以下ほとんど変わらないということを報告している⁶⁾。

いづれにしろ、各樹種とも一林分の結果しかないため結論はできないが、植え付け後数年は出生率の高い枝の本数の占める割合が多いため、大きな出生率でもって枝数を増加していき、林冠が閉鎖するにつれて、樹冠の令構成が安定してくるので、4~6枝階のもつ1年生枝の相対的本数が大となるため、個体の出生率はこの層のそれに代表され、一定の値をとるようになるのではなかろうか。大山アカマツの4~5枝階の1年生枝の本数は全体の50~60%、ストロブマツの4~6枝階のそれは60~80%に達する。

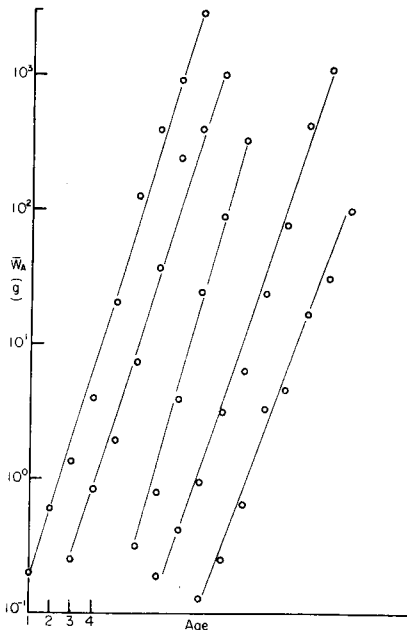


Fig. 7. Relationship between the logarithm of average branch weight of respective age ($\log \bar{W}_A$) and A .

3) 年令とその枝の平均重さについて

樹冠を構成する枝、幹を年令別に切り分け、その重さを本数で割った値を年令 (A) の枝の平均重さ (\bar{W}_A) とする時、 \bar{W}_A の間に A に関して等比級数の関係があり、これまでの結果と一致する。

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

ここで \bar{W}_1 : 1年生枝の平均重さ

R_W : 等比級数の公比

また R_W の値は、Fig. 7 からみて各点の直線へ

の適合がよく、各個体の回帰直線もほぼ平行とみなせるため、個体内でも種内でも安定した値をもつと考えてよい。Table 3 に加重平均法によって求めた各個体の R_w と \bar{W}_1 の値を示す。ストロブマツの \bar{W}_1 は、日本産のマツに比べて極端に小さく、 R_w の値も小さいことがわかる。

4) 年令別の枝の材積生長量について
樹冠の骨組みである枝、幹を年令別に切り分けたものから、量にして20~30%を生長量測定サンプルとして樹冠解析の方法で生長量を求め、枝重とサンプル重の比から生長量を推定した。

この年軸解析の方法は、年輪欠除枝の判定が容易であるため、分枝位置のちがいによる生長差を考慮したサンプリング（各層の同年令の枝の重量比によるサンプリング）をおこなえば、従来の枝の生長解析よりも精度はよいと思われる。年軸解析による枝生長量の推定はこれまで2~3行なわれているが、適用できる樹種の少ないことが欠点である。^{7,8)}

大山アカマツの年令別の枝の生長を生長率（各年令の枝の最近1年間の材積生長量と皮なし材積の比）で検討した結果を Table 4 に示す。

枝の年令の増加につれて、生長率は減少するが生長率が0になる年令は個体によってズレが見られる。これは各個体の生産構造のちがいを反映しているものであろう。しかしいずれの個体も6年生枝では、ほとんど肥大生長がみられず、従って6枝階以下の枝では大部分年輪欠除枝とみなしてよい。

普通年輪欠除のみられるようになった下枝では、枝の呼吸量が、残っている葉の同化量を上回っていると考えられ、このバランスが生長率や葉・新梢の再生産、幹生長への寄与に関係していることが知られている。そして生長量測定に用いた4本の試料木とも、葉量（枝量）の最大層が4~5枝階にあることを考えると、上の事実は林業の枝打ちにおいて経験的に認められている、幹生長に寄与していない力枝（ちからえだ）より下の枝を打つという事実を首肯させる。また若い年令の部分の多い枝の生長率は幹のそれに比べて50~100%大きい。枝全体の生長率が18%前後というのは、白浜クロマツの11.2%に比べてかなり大きい。

次に年令別の枝の平均材積生長量 ($\Delta \bar{V}_A$) について考察する。これまで報告したように、各年令の枝の平均重さ (\bar{W}_A) 間には、年令 (A) に関して等比級数の関係が成り立つ。

$$\bar{W}_A = \bar{W}_1 \cdot R_w^{A-1}$$

Table 4. Volume increment ratio of branch of respective age. (%)

Tree No.	Age								Total	Stem
	1	2	3	4	5	6	7	8		
2	100	50	30	29	16	5	0	0	21	12
100	100	65	38	32	4	0	0	0	15	11
2	100	52	40	22	12	3	0	0	19	13
34	100	59	26	10	6	0	0	0	15	15

Table 3. Average weight of 1-year-old branch and geometric ratio of each individual.

Tree No.	\bar{W}_1	R_w
1	0.20	3.06
2	0.07	2.72
3	0.16	2.90
4	0.09	2.54
5	0.25	3.28
6	0.13	2.77
7	0.07	2.36
8	0.19	2.52
mean value	0.15	2.77

すると年令別の枝の平均（重量）生長量（ $\Delta \bar{W}_A$ ）は上式を時間方向で微分した式で与えられ、結局 $A \sim \log \bar{W}_A$ のグラフを一定距離だけ下方へ平行移動した形になるであろう。

$$\frac{d\bar{W}_A}{dA} = \Delta \bar{W}_A = \bar{W}_1 \cdot \log R_W \cdot R_W^{A-1}$$

また $\Delta \bar{W}_A \propto \Delta \bar{V}_A$ と考えられるので

$$\Delta \bar{V}_A = \Delta \bar{V}_1 \cdot R_{dV}^{A-1}$$

$$\text{ここで } \Delta \bar{V}_1 \propto \bar{W}_1 \cdot \log R_W$$

$$R_{dV} = R_W$$

となる。

実際のデータより $\Delta \bar{V}_A$ を求め A に対してプロットしてみると上述の結果が得られた。(Fig. 8)

5) その他の問題

○ 個体のもつ1年生枝の本数の推定について

個体のもつ1年生枝の本数（ N_1 ）を推定することは、物質生産をつかさどる葉を空間に分布させる役割をもっているという意味で重要だと思われ、また新梢を食害する害虫の動態やその被害に対する木の抵抗性の研究に有用な情報になる事が報告されている。

E. MILLER は若い RED PINE 学名 (*pinus resinosa* Ait.) で年々新生される小枝の数をいろいろの変数を用いて推定している。彼によると胸高直径を用いて1次式で推定しているが、バラツキは大きいようである。筆者らも生枝下直径の代わりに胸高直径を使ってみたが、適合度はよくない。恐らく同一の樹種と言えども樹冠下の幹の太りかたにちがいがあられるものと思われる。また彼は前年度の樹高 (X) が N_1 を推定する最も有効なパラメーターとして次式を提出している。

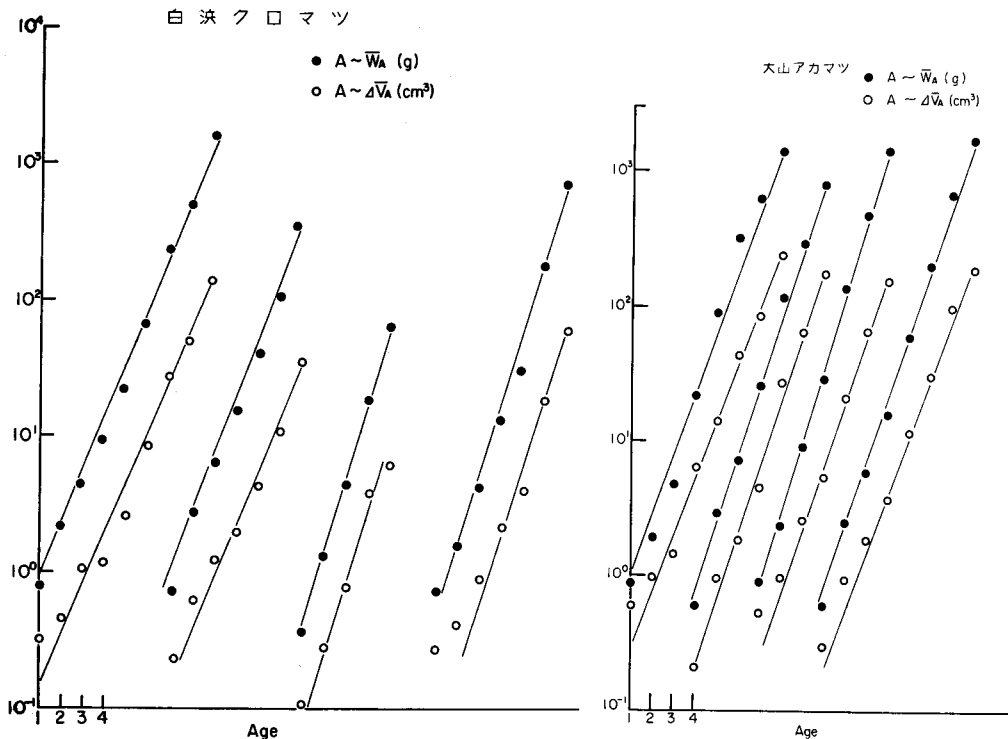


Fig. 8. Relationship between the logarithm of average volume increment of branch of respective age ($\log \Delta \bar{V}_A$) and A .

$$\log T = A \log X + B(\log X)^2 + C$$

ここで T : 1 年生枝の本数

$A \cdot B \cdot C$ は定数

しかし筆者らがこれまで調査した結果では、 N_1 は H とはほとんど無関係であり、彼の調査対象木の樹高が100インチどまりの小さなものであるために成立する関係ではなからうか。

樹冠内の諸量（樹冠全体の重さ、枝量、葉量）を推定する場合、胸高直径よりも生枝下直径を用いる方が精度がよく林分間でも分離がないことが知られているが、この事実から類推しても、樹冠表面に散布されている1年生枝の本数が生枝下直径と関係があるということは可能であろう。

最小二乗法で求めた3種のマツの $N_1 \sim D_B^2$ の関係は次のようであった。

(白浜クロマツ林)

$$\log N_1 = 0.997 \log D_B^2 + 1.072 \quad (r=0.974)$$

(大山アカマツ林)

$$\log N_1 = 1.148 \log D_B^2 + 0.853 \quad (r=0.992)$$

(飯田ストロームマツ)

$$\log N_1 = 1.135 \log D_B^2 + 1.397 \quad (r=0.964)$$

○ヘクタールあたりの年令別枝数について

既に報告したように各個体のもつ枝の年令構成は、白浜クロマツでは3年生枝をさかいに、大山アカマツは2年生枝をさかいにして2つの直線部分で近似された。そして2本の直線の傾き r_1, r_2 を元村式を使って算出したところ、個体によって多少のバラツキがみられるが、大きなちがいはないので、今 r_1, r_2 の値を各林分で一定とみなすことにより、面積あたりの年令別枝数を試算した。 r_1, r_2 を林分について一定とみなすことは、各個体の枝数年令構成が、その1年生枝の本数のみによって決定されるということである。また各個体のもつ1年生枝の本数 (N_1) は生枝下直径の二乗 (D_B^2) に比例するため、結局各個体の樹冠の年令別枝数構成は D_B^2 について相似形であるという仮定を入れることになる。(Fig. 15 を参照)

数式で表わせば

$$N_1 = K \cdot D_B^2 \quad (K: \text{樹種によって決まる定数})$$

となり N_1 に一定の減少率 r_1 を乗ずれば $N_2, (N_3)$ が算出される。またクロマツでは4年生枝以下、アカマツでは3年生枝で減少率が r_1 から r_2 へ変化し、それぞれ $N_3 (N_2)$ に r_2 を乗ず

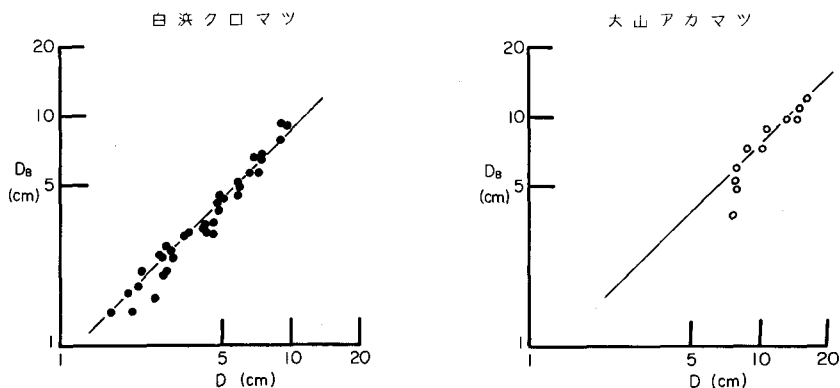


Fig. 9. Relationship between trunk diameter at breast height (D) and trunk diameter just below the lowest branch (D_B) in the logarithmic scale.

ることによって N_4 (N_3) 以下の枝数が計算される。

今、毎木調査で D_B の測定をおこなうと、ただちに年令別枝数が計算できるのであるが、実際問題として D_B の測定は手の届く木でない限り困難であるため、これを胸高直径 (D) で置きかえる必要がある。両者の関係を論じた物は見当たらないが、同一林分では比例関係にあるように思われる。(Fig. 9)

グラフよりクロマツでは D_B を D の 8 割、アカマツでは 7 割 5 分と決めた。

また相似形の仮定より、 N_1 の少ない個体、すなわち $D(D_B)$ の小さな個体は高位の枝階に属する枝をもたないことになり、これは現実の調査林分においても観察された事実と合う。そこで標準地の毎木調査から得られた胸高断面積合計の値を直接算出式に代入すると、老令の枝数が過大評価され、これを防ぐために次の約束をした。

個体がある年令の枝を持つということは、その年令の主軸の他に少なくとも 1 本、その年令に属する枝を持たなければならない。そこで年令別の枝数を計算する式 ($N_A = K \cdot D^2$) において $N_A = 2$ となる時の D を求め、胸高直径がこの値よりも小さな個体はその年令の枝を持たないと約束した。そこで D についての毎木調査結果より、その年令を持つ D より大である胸高直径を持つ個体の胸高断面積合計を求めて、年令別枝数を算出する式に代入した。ここでは一応、最多密度に達した林分である白浜クロマツの高密度区と大山アカマツについて、ヘクタールあたりの年令別枝数を算出した結果を Table 5 にあげる。

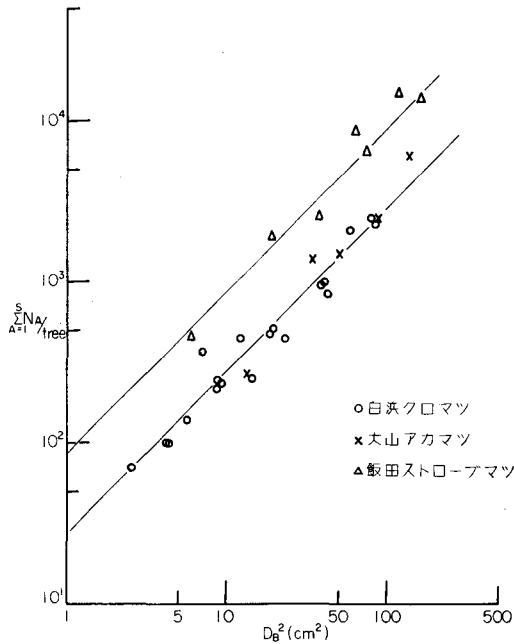


Fig. 10. Relationship between total branch number per tree ($\sum_{A=1}^{\infty} N_A$) and D_B^2 in the logarithmic scale.

Table 5. Branch number of respective age per hectare.

Stand N_A	<i>Pinus Th.</i> at Shiraham (high density stand)	<i>Pinus d.</i> at Mt. Daisen
N_1	3,504,000	3,341,000
N_2	1,997,000	2,251,000
N_3	1,135,000	1,001,000
N_4	419,000	445,000
N_5	165,000	198,000
N_6	45,000	88,000
N_7	5,000	39,000
N_8	0	16,000
N_9	0	5,000
Σ	7,265,000	7,384,000

これらの値が妥当なものであるかどうかをチェックする方法はないが、枝の総数については Fig. 9 より得られた近似式より算出してみるとヘクタールあたり 7,454,400 本となり、2~3%程度、過小にでているが、ほぼ妥当な値とみなしてよさそうである。

以上年令別枝数の推定式からわかるように N_A は D^2 に比例するので、林冠が閉鎖し最多密度を保つかぎり、林分の胸高断面積合計がほぼ一定に保たれるので、林令が高くなってもヘクタールあたりの物質生産をつかさどる針葉を保持する N_1, N_2 の数はほとんど変わらないものと予想される。ただ林分の胸高直径が大きくなるにつ

れて、高位の枝階を持つようになり、老令枝の数は若干増加するであろう。算出結果から、クロマツ・アカマツとも針葉をもつ枝数はおおよそ530万~550万本/haと推定され、林冠表面を形成している。

○ 3種のマツのちがいについて

マツ属各種の種の特長として、単位となる針葉の本数、着葉年数、種子の大きさなどの形態的な基準が上げられ、また大畠らは一次の枝の重さや分岐率、着葉量を種の特長値としている。ここでは後者にならって、年令解析をおこなった3種のマツ（ほぼ同年令で生育地のことなるクロマツ・アカマツ・ストロブマツ）について先端の枝の持つ針葉量を中心に、種の特長を明らかにしたい。

着葉年数はアカマツで2年、ストロブマツで1年（いずれも10月調査）でありクロマツは3年葉も残存していたが量的に少ない。またクロマツ・アカマツとも1年生枝の持つ着葉量 (\bar{W}_{L1}) と2年生枝のそれ (\bar{W}_{L2}) の間には、統計的に有意な差はみられなかったため、ここでは \bar{W}_{L1} の大きさをもって3種のマツの特長値として論ずる。

篠崎らによって提案された樹形のパイプモデル説の成立を前提にすれば、ある量の葉を支えるためには、それに比例したパイプが必要であるという。

$$W_L = A \cdot D_B^h \quad (h \approx 2) \quad \dots\dots(1)$$

3種のマツの $D_B^2 \sim W_L$ 関係を Fig. 11 に示す。あまりきれいな直線関係はえられず、勾配も1より大きい種もあるが、恐らくマツなどの非連続的な分枝形態を持つ種では、生枝下の高さを決める際、どうしても便宜的になることが避けられず、従って正確な D_B の値が得にくいことが一因となっているのであろう。

一方既に、単木の持つ1年生枝の本数 (N_1) (あるいは2年生枝の本数 (N_2)) は D_B^2 に比例することを知った。

$$N_1 \text{ (または } N_2) = K \cdot D_B^2 \quad \dots\dots(2)$$

ゆえに(1),(2)式より、1つの樹種で \bar{W}_{L1} , (\bar{W}_{L2}) はほぼ一定の値を持っていることがわかる。

$$\frac{W_L}{N_1 + (N_2)} = \frac{A D_B^2}{K \cdot D_B^2} = (\text{一定})$$

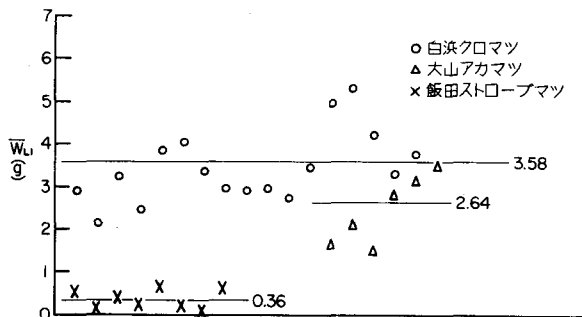


Fig. 12. Average needle amount of 1-year-old branch (\bar{W}_{L1}) of three kinds of pine.

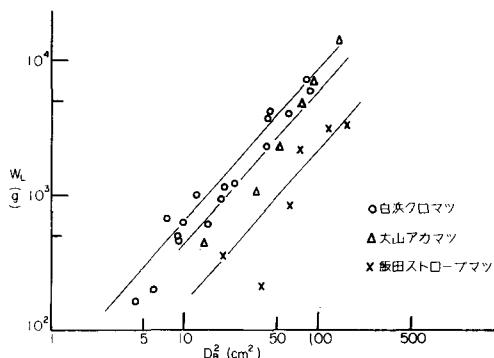


Fig. 11. Relationship between needle amount per tree (W_L) and D_B^2 in the logarithmic scale.

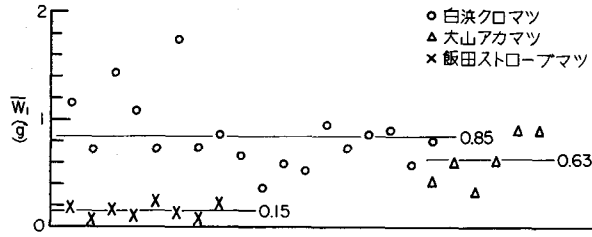


Fig. 13. Average weight of 1-year-old branch (\bar{W}_1) of three kinds of pine.

またアカマツ・クロマツの \bar{W}_{L1} は t-検定の結果、互いに有意な差があることが確かめられ、ストロブマツの \bar{W}_{L1} はこれらに比べて極端に小さい。(Fig. 12)

このように考えれば、一定量の針葉をもつ1年生枝・2年生枝の1本1本を「生産の単位」と呼んでいいかも知れない。(\bar{W}_1 の大きさも巨視的にみれば、林分内で一定とみなせるであろう。(Fig. 13))。そして最多密度に達した林分で、葉量一定の傾向がみられるということは、この「生産の単位」の数が林分で一定になると考えられる。勿論、林分や林令がことなれば一つの樹種でも、生産の単位の大きさは変わるかもしれないが、極端な場合を除き、種のもつ大きさは、その種の特徴を失わない範囲にあることが予想される。例えば、大王松やポンディローサは大きな単位を持つ代表で、ストロブマツは単位の小さい代表であろう。

「生産の単位」の大きさは、クロマツ・アカマツ・ストロブマツの順に小さくなり、これらの同化器官と非同化器官の比 (F/C) の値はクロマツ・アカマツでは、4~5、ストロブマツでは2~2.5であり、ストロブマツの針葉量が少ないことが注目される。これは赤井らも述べているように、落葉直後の調査であったためであり、物質生産の旺盛な時期には旧葉が存在しているので、 F/C の値は4~5となり、同じくらいの F/C を持っていたことがわかる。

次に新たに占有空間をひろげるためにつくられた器官(1年生の器官)の F と C の量的関係が示されているが、これも上の結果を裏づける。(Fig. 14)

これまで述べてきたように、種によって生産の単位の大きさが決まっている以上、その本数が物質生産を考える場合重要である。単木の N_1, N_2 はその生枝下における幹の断面積に比例し、

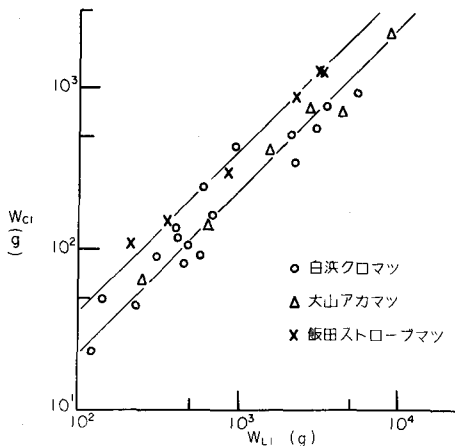


Fig. 14. Ratio of weight of needle to non-photosynthetic organ in 1-year-old organs.

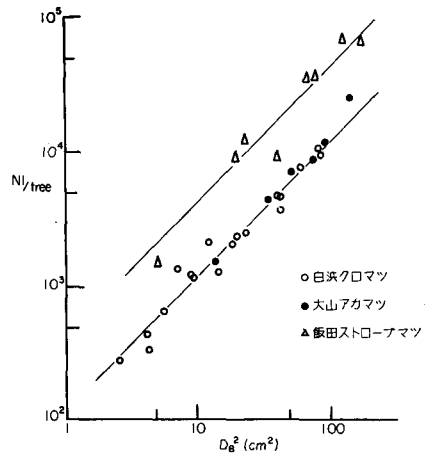


Fig. 15. Relationship between 1-year-old branch number (N_1) per tree and D_B^2 in the logarithmic scale.

アカマツ・クロマツはほぼ同じ直線で近似されるのにたいして、ストロブマツは前者は約3倍の本数を持っているようである。(Fig. 15) これは単位の大きさに関係しているようで、単位の小い樹種程、多くの本数を持ち、単位の小さを本数で補っていることが注目される。また単位が小さいということは、うまく空間を利用していると思われ単位葉量あたりの材生産能力がよいと予想される。アカマツ・クロマツでは2年生葉まで保持しているので $N_1 + N_2$ とストロブマツの N_1 とを比較しても、やはり後者の方が、同じ生枝下直径の本に対して2倍程度多い。またアカマツ・クロマツの N_1 には大きなちがいがみられないが、単位はアカマツの方が小さく、林分葉量はクロマツのそれに比べて少ないことはこれまでの結果と矛盾しない。

引用文献

- 1) 西田仁, 四手井綱英: 樹冠の年齢構成に関する研究(I), 京大演報, **43**, 141-151, (1972)
- 2) ———, ———: 樹冠の年齢構成に関する研究(II), 京大演報, **44**, 88-99, (1972)
- 3) 赤井龍男・上田晋之助・古野東州: ストロブ幼令林の物質生産機構, 京大演報, **42**, 143-162, (1971)
- 4) 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)
- 5) William E. Miller: Number of Branchlets on Red Pine in Young Plantations, Forest Science, Vol. 11 number 1, 42-48, (1965)
- 6) H. W. B. Barlow: Physiology of Tree Crops. Academic Press, pp. 30-32, (1969)
- 7) 佐藤大七郎: 人工林における一次生産力の研究班中間報告, (昭和42年度) 6-17, (1968)
- 8) 荻野和彦, 尼崎博正, 藤森隆郎, 四手井綱英: 林木の枝量とその生長量(II), 京大演報, **40**, 50-66, (1968)
- 9) 古野東州: マツ属針葉の着葉年について, 日本林学会関西支部講演集, 第23号, 60-61, (1972)
- 10) 中井勇, 古野東州: マツ属各種子の大きさについて, 日本林学会関西支部講演集, 第23号, 123-124, (1972)
- 11) 大島誠一, 四手井綱英: 樹木におけるホートンの法則一種間のちがいについて, 日本林学会関西支部講演集, 第23号, 57-59, (1972)

Résumé

In a series of studies on the age-analysis of tree canopies some investigation was made in November 1972 of a 14-year-old White pine stand (*Pinus storobus*) planted in the Achi natiol forest (Iida City, Nagano Pref.).

This stand is situated about 1,100 meters above sea-level on a steep slope facing south. Therefore each individual tree had a biased crown towards the south.

After the diameter at breast height of all trees in the sample plot was measured, 8 sample trees were cut down and their crowns cut off separately according to their age. Number and weight of branches of respective ages (N_A and W_A) were measured. Stand density, mean diameter at breast height and basal area of this stand are shown in Table-1.

The results obtained were as follows:

- (1) The relationship between the logarithm of N_A and age (A) differed from the results for Japanese black pines at Shirahama and red pines at Mt. Daisen. The gradients of lines connecting N_A to N_{A+1} gradually decreased with age.
- (2) There was a close relationship between the average natality ratio ($1/R_1$) and the average needle weight of a 1-year-old branch (\bar{W}_{L1}) of each branch whorl as shown in the following equation.

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

(Where a and b are constants for each individual.)

(3) Change of yearly rate of increase of one branch ($1/R_1$: one year's number divided by the previous year's) was equivalent to that of its Site Number. Each Site had a constant natality ratio.

(4) Average branch weight of respective age (\bar{W}_A) was approximated by the geometric series pertaining to A . These results corresponded with the foregoing work.

(5) The average annual volume increment of a branch of respective age ($\Delta\bar{V}_A$) was the geometric series according to A .

$$\Delta\bar{V}_A = \Delta\bar{V}_1 \cdot R_{AV}^{A-1}$$

(Where R_{AV} is a geometric ratio.)

This formula corresponded to the differential form of $\bar{W}_A = \bar{W}_1 \cdot R_W^{A-1}$ with respect to A .

(6) Average needle amount of a 1-year-old branch of three species of pine was respectively constant and in the following order: Black pine > red pine > White pine.