

林木の枝量とその生長量 (II)*

荻野 和彦 ・ 尼崎 博正 ・ 藤森 隆郎 ・ 四手井綱英

Branch Dry Weight and Its Growth (II)

Kazuhiko OGINO, Hiromasa AMASAKI, Takao FUJIMORI and Tsunahide SHIDEI

目	次
要 旨.....50	年軸に関連する量的特性と年軸解析法
はじめに.....51	による枝材積および生長量
試料および調査方法.....51	年軸解析の方法の検討
調査結果と考察.....53	引用文献.....65
枝構成要素間の相対生長関係と相対生	Résumé65
長法による枝材積および生長量	

要 旨

1967年8月に京都大学農学部附属芦生演習林の2つのスギ林分(24年生, 60年生)からえた2本の試料木(S. No. 2, No. 845)について, 枝材積と生長量にかんし, 年軸解析法および相対生長法による検討をおこなった。

個々の枝の基部直径 D_{EOk} と長さ L_{Bk} のあいだには, 逆数式(1), (2)であらわされる関係がたしかめられた(図1)。 $[D_{EOk}, L_{Bk}]$ と皮つき枝材積 V_{BOk} , 皮なし枝材積 V_{BIk} の関係を第I報のデータとあわせ検討し, 前者が林分分離のないかなりひろい範囲にわたる両対数直線的な関係を, 後者は前者を漸近線とする曲線の一部とみられる関係をもつことをあきらかにし, これらを V_{BO} , V_{BI} の計算に利用した(図2, 3, 表2)。両者の差を樹皮容積 V_{BB} とした。皮なし材積生長量 ΔV_{BIk} と V_{BOk} のあいだにみとめられる両対数直線関係は, 個体ごとによりバラバラの分離をする(図4)。これにより ΔV_{BI} が計算された。——相対生長法による枝材積および生長量。

枝の緑色部および褐色部の皮なし材積 V_{BIk} と樹皮容積 V_{BBk} をくらべると, 緑色部では後者が, 褐色部では前者が大きく, V_{BIk} に対する V_{BBk} の関係は両対数直線的で勾配は1より小さい(図5)。枝がおおきくなるとともに V_{BBk}/V_{BIk} は小さくなる。樹皮断面積は枝の上部では, 材断面積より大きい, 緑・褐色部の境附近でひとしくなり, 下部では逆に材断面積が大きくなる。緑・褐色部の境での皮つき直径 D_{BO} と皮なし直径 D_{BI} の比が $\sqrt{2}$ にちかいことは, このことをうらづけている(表3)。

幹にそって一定の長さ(50cm)にとった層のなかにふくまれる枝の平均年軸長 l_{ij} , 平均年軸中央直径(皮つき D_{BOij} , 皮なし D_{BIij})および平均年軸年間皮なし直径生長量 ΔD_{BIij} を測定した(図6, 7, 8, 9)。これを利用し各年軸が円筒形であると仮定し(図10), i 層 j 年軸の枝材積 V_{BOij} , V_{BIij} , V_{BBij}

* Contributions from JIBP-PT No. 38

この研究は文部省科学研究費・特定研究「生物圏の動態」によった。

および生長量 ΔV_{Boij} , ΔV_{Biij} , ΔV_{BBij} を計算した (表 4)。——年軸解析による枝材積および生長量。

枝材積, 生長量の 2 つの方法による値をくらべてみると, S. No. 2 ではほぼ一致し, S. No. 845 では多少のひらきがあった (表 5)°

年軸解析の方法によれば, 枝量の樹冠内の分布がくわしくわかるうえ, 樹皮の生長量が計算できる。が一方調査測定がかなりめんどうであること, 外観的な年軸のみわけに限度があること, したがって樹種によっては適用することができない, などの問題が指摘されうる。

は じ め に

林分状態をなす林木各個体のもつ枝の量的特性をつかむことは, 森林の生産力の研究においてかなり重要な項目のひとつにあげることができよう。各個体の樹冠を構成する個々の枝は幹から分岐し, 同化器官の展開と支持, 同化産物の通路として機能し生長する。しかしこの生長は無限につづくのではなく, 時間とともに変化する物質経済の収支に支配されていることは, いまさらくりかえすこともなかろう。この物質経済の変化の過程はとりもなおさず, 個々の枝についてはその生長の経過として, 枝群については, その年齢構成の変化としてとらえられるであろう。

物質経済という観点から, 枝の量的特性をつかむため年軸解析をこころみる研究も, すでに二, 三着手されているようである⁴⁾。ここでは年軸 (あるいは年枝というべきかもしれない) の外観的なみわけのかなり容易なスギについて, 単木の枝量, その年齢構成および年齢階ごとの生長量の推定をこころみた。年軸解析の方法によるものと, 相対生長関係を利用する方法によるものの比較をとおして, 方法の検討もあわせておこなった。

調査に便宜をあたえられ, おおくの援助をいただいた芦生演習林の渡辺弘之助手はじめ職員のかたがた, 調査に協力された森林生態学研究室の堤利夫助教授はじめ研究室員諸兄に, 深く感謝の意をあらわしたい。

試料および調査方法

試料: 調査は1967年8月に京都大学農学部附属芦生演習林 (京都府北桑田郡美山町) でおこない, 24年生林分から3本, 64年生林分から1本の合計4本のスギを試料としてえたが, 年軸解析をこころみたのは上記2林分から1本ずつ (S. No. 2-24年, S. No. 845-約60年) の2本である。

S. No. 2 をえた24年生林分は, かつてサシホ採取にもちいたもので, どの個体も高さ2~3mで幹の肥大, 枝密度が高いなど当時の影響がみられる。その後は順調なびを始めたようで現在は通直な幹形にはほぼ回復している。S. No. 2 は林冠の最上層に先端をのぞかせ, かなりさかんな生長をしたものと判定された。いちばん下の生枝の分枝する位置の幹の年齢は17年であり, このことから S. No. 2 の生枝の年齢は17年をこえないと推定される。

S. No. 845 は樹齢64年, 記録によれば約60年生の林分で, 調査当時伐採中であつた。枝はかなり枯れあがり, 樹高に対する樹冠比も, 枝密度も, 枝本数も小さいものであつた。それでも最下生枝位置の幹年齢は40年であつた。2つの試料木の概要を表1に示す。

調査方法: 試料木を地際で伐倒したあと, 樹高 H , 生枝下高 H_B , 胸高直径 D , 生枝下幹直径 D_B を測定し, 全枝の長さ L_{Bk} , 基部直径 D_{Bok} を記録した。さらに幹を地際から50cmごとの層にわけ (以下層はこの層をさす。添字 i により, i ばんめの層をあらわす), 各層から2~4本の枝をとりだし, それぞれを年軸にわけその半数は, 皮なしおよび樹皮容積および重量の測定に, 他の半数は最近の年間直径生長量の測定にあてた。

年軸にわけるのは, 主として枝につく針葉の長さおよび分布の密度により判定しておこなった。先

端から長い針葉が疎についている基部までを1年軸（当年軸），そこから次の長い針葉が疎につく基部までを2年軸，おなじように3年軸，……とした。確実にみわけることのできる4年軸までは，年軸ごとに，5年軸以上はひとまとめに5年軸としてとりあつかった。

枝の樹皮は上部で緑色，下部では褐色になる。この境はきわめて明瞭なものから，漸变的なものまでであるが，この境の年軸を記録した。本報にもちいる記号をまとめておこう。

H : 樹高

Tree height

H_B : 生枝下高

Clear bole length

D : 幹の胸高直径

Diameter at breast height

D_B : 幹の生枝下直径

Trunk diameter at the height of lowest living branch

L_{Bk} : 1本の枝の長さ

Branch length

D_{Bok} : 1本の枝の樹皮をふくむ基部直径

Branch base diameter over bark

V_{Bok} : 1本の枝の皮つき材積

Branch volume over bark

V_{Bik} : 1本の枝の皮なし材積

Branch volume without bark

V_{BBk} : 1本の枝の樹皮容積

Branch bark volume

ΔV_{Bik} : 1本の枝の年間皮なし材積生長量

Annual increment of branch volume without bark

l_{ij} : i 層 j 年軸の長さ

Length of annual shoot of j th year in i th layer

D_{Boij} : i 層 j 年軸の皮つき中央直径

Diameter over bark of annual shoot of j th year in i th layer

D_{BIij} : i 層 j 年軸の皮なし中央直径

Diameter without bark of annual shoot of j th year in i th layer

ΔD_{BIij} : i 層 j 年軸の年間皮なし中央直径生長量

Annual increment of diameter without bark of annual shoot of j th year in i th layer

V_{Boij} : i 層 j 年軸の皮つき材積

Volume over bark of annual shoot of j th year in i th layer

表1 試料木の概要

Table 1. Specification of Sample Trees

	S.No. 2	S. No. 845
Tree species	スギ	スギ
Age yrs.	24	64
Diameter at breast height (D) cm	15.5	30.9
Tree height (H) m	10.68	24.33
Clear bole length (H_B) m	2.35	15.20
Crown depth ($H-H_B$) m	8.33	9.13
Crown ratio $\left(\frac{H-H_B}{H}\right)$ m	0.78	0.38
Number of branch (N_B)	167	103
Branch density (ρ_B) per m.	20.0	11.3

V_{BIj} : i 層 j 年軸の皮なし材積

Volume without bark of annual shoot of j th year in i th layer

V_{BBj} : i 層 j 年軸の樹皮容積

Bark volume of annual shoot of j th year in i th layer

ΔV_{BOj} : i 層 j 年軸の皮つき材積生長量

Annual volume increment over bark of annual shoot of j th year in i th layer

ΔV_{BIj} : i 層 j 年軸の皮なし材積生長量

Annual increment of volume without bark of annual shoot of j th year in i th layer

ΔV_{BBj} : i 層 j 年軸の樹皮容積生長量

Annual increment of bark volume of annual shoot of j th year in i th layer

調査結果と考察

枝構成要素間の相対生長関係と相対生長法による枝材積および生長量

基部直径 D_{BOk} と長さ L_{Bk} : 個々の枝の基部直径 D_{BOk} と長さ L_{Bk} の関係を図 1 にしめす。いずれも D_{BOk} のひろい範囲で上に凸の曲線をえがく。一般に頭うちをもつ曲線はこのような形をあらわすことがおおい。R-G rule を利用して、これらの曲線の関係式をさだめると S. No. 2 に対して、

$$\frac{1}{L_{Bk}} = \frac{0.50}{D_{BOk}^{2.00}} + 5.0 \times 10^{-3} \dots\dots(1)$$

S. No. 845 に対して、

$$\frac{1}{L_{Bk}} = \frac{0.25}{D_{BOk}^{1.43}} + 3.5 \times 10^{-3} \dots\dots(2)$$

のようになる。これを第 I 報に報告した結果²⁾とくらべてみると、 $D_{BOk} \rightarrow$ 小での勾配にちがいがあること、 $D_{BOk} \rightarrow \infty$ での L_{Bk} の上限値にちがいがあることで、一致した傾向がみとめられる。勾配は第 I 報でも 1.43-2.00 の範囲に、上限値も 2.0~2.9m の範囲にあった。また $D_{BOk} \rightarrow$ 大のところで曲線がまだかなり上むきの勾配をもっていることも、前回の報告と一致した傾向としてあげねばならないであろう。荻野らは相対生長関係のいろいろなばあいを検討し¹⁾、2つの変数の両方にそれぞれ上限値があるばあいにも、

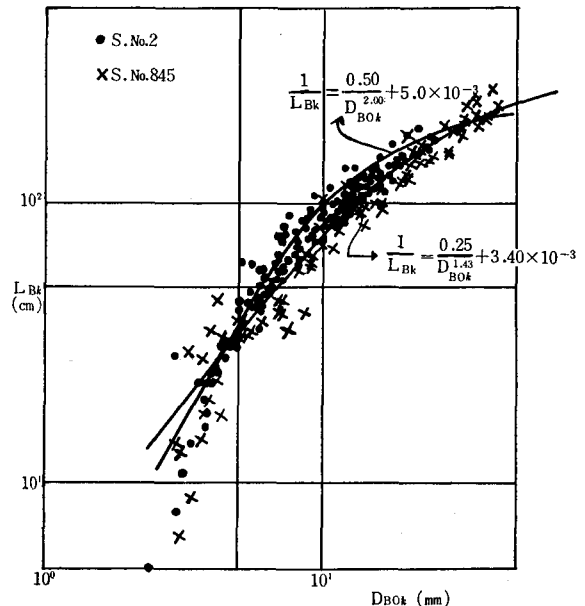


図 1 枝基部直径 D_{BOk} と枝の長さ L_{Bk}

Fig. 1. Relation between branch length (L_{Bk}) and branch base diameter (D_{BOk}).

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{C\hat{Z}} \left(\frac{\hat{X} - x}{x} \right)^h + \frac{1}{Z}$$

において、 $\hat{Z}$ にくらべて $\hat{X}$ が十分大きければ、曲線の形はかなりひろい範囲にわたって、R-G rule で十分近似できることを指摘した。このばあいにも D_{BOk} の生長量にくらべて、 L_{Bk} の生長量はかなり大きいから、勾配はつねに上むきでかなり大きい、その変化のしかたは R-G rule で近似できるものである。十分発達した枝では、 L_{Bk} の生長がおとろえるころとほぼ相前後して、 D_{BOk} の生長も低下しつつにはとまるであろうことが予想される。したがって、R-G rule のあてはめによって計算され

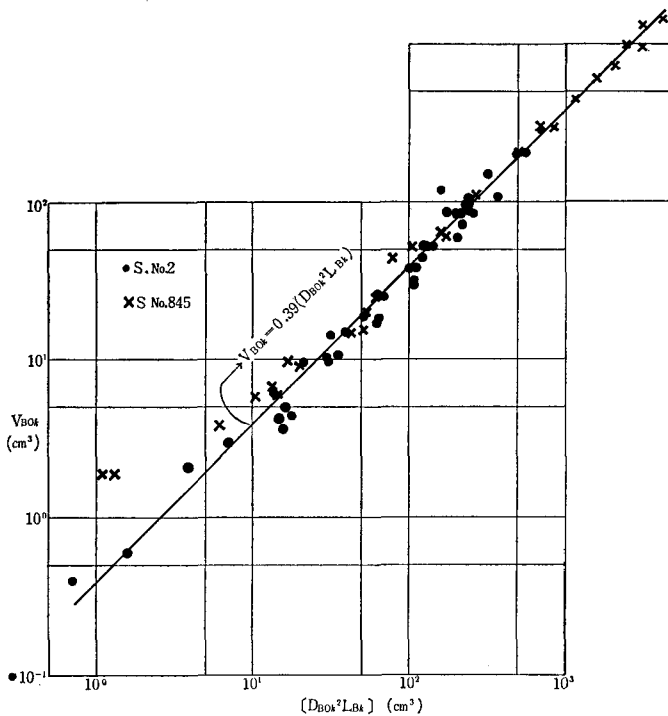


図2 枝の皮つき材積 V_{BOk} と $[D_{BOk}^2 L_{Bk}]$
Fig. 2. Relation between branch volume over bark (V_{BOk}) and $[D_{BOk}^2 L_{Bk}]$.

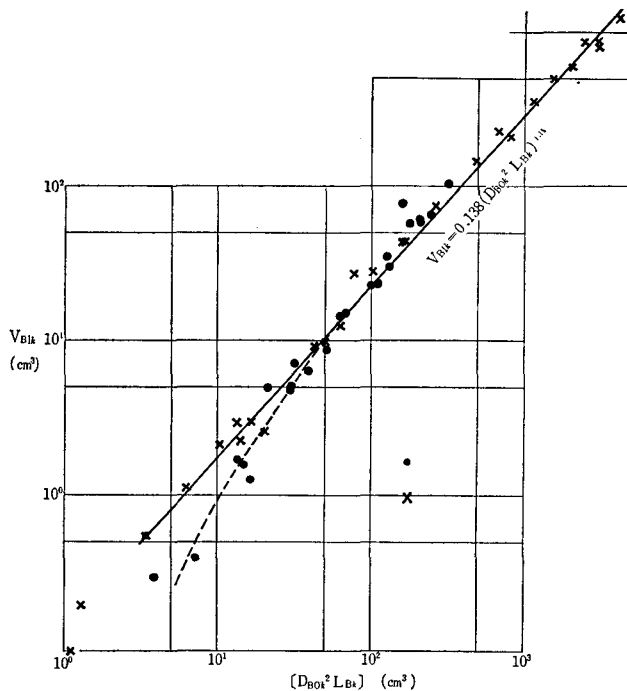


図3 枝の皮なし材積 V_{BIk} と $[D_{BOk}^2 L_{Bk}]$
Fig. 3. Relation between branch volume without bark (V_{BIk}) and $[D_{BOk}^2 L_{Bk}]$.

た L_{Bk} の上限値は実際の値より、大きくみつめられるばあいがおおいであろう。

$[D_{BOk}^2 L_{Bk}]$ と皮つき材積 V_{BOk} , 皮なし材積 V_{BIk} : 個体の全枝について, D_{BOk} , L_{Bk} が測定してあるので, これをもちいてひとつひとつの枝の $D_{BOk}^2 L_{Bk}$ を計算した。測定した枝の皮つき材積 V_{BOk} と, その $D_{BOk}^2 L_{Bk}$ をとると, 図2 のようにかなりきれいな両対数直線関係を満足している。S. No. 2, No. 845 の両者に対し,

$$V_{BOk} = 0.39(D_{BOk}^2 L_{Bk})^{1/4} \dots\dots(3)$$

のひとつの関係式であらわされる。林分ごと, 個体ごとの分離はおこらない。樹幹の材積が胸高直径 D の2乗と樹高 H の積に対し, 両対数直線関係をひろく満足し, 個体ごと, 林分ごとの分離がほとんどみとめられないこと⁵⁾ をおもえば, 枝についてもおなじような関係がみとめられてもおかしくないであろう。 $D_{BOk}^2 L_{Bk}$ に対する V_{BOk} の勾配は1で, 1次の比例関係にあることをしめし, y 切片0.39は $\pi/4$ と $\pi/12$ のあいだにあり, 枝のかたちが円錐と円筒のあいだにあって, 変化しないことをあらわしている。

皮なし材積 V_{BIk} と $D_{BOk}^2 L_{Bk}$ の関係は,

$$V_{BIk} = 0.138(D_{BOk}^2 L_{Bk})^{1.11} \dots\dots(4)$$

であらわされる。図3にしめすように $D_{BOk}^2 L_{Bk} \rightarrow$ 大のところでは, かなり両対数直線関係を満足するが, $D_{BOk}^2 L_{Bk} \rightarrow$ 小で $V_{BIk} \rightarrow$ 小へのズレがめにつく。この傾向は第I報に指摘したところと一致する。直線部分の勾配は1.11, y 切片は0.138で, 第I報の勾配1.17, y 切片0.093とかなり似た値をとる。今回のデータとくらべてみると, 全体として直線

部分にはひとつの関係があてはまるようであるが、 $D_{BOk}^2 L_{Bk} \rightarrow$ 小での $V_{BIk} \rightarrow$ 小へのズレのおこりかたには多少のちがいがみられる。この理由として枝材積にしめる樹皮容積の大きさが影響するのであろうことをあげておいた²⁾。樹皮のあつきに個体あるいは、林分によってちがいが生ずるとすれば、この事実も容易に説明することができよう。皮なし材積 V_{BIk} の $D_{BOk}^2 L_{Bk}$ に対する勾配が、皮つき材積 V_{BOk} のそれに対するものより大きく、 y 切片が逆に小さいことは、その差としての樹皮容積 V_{BBk} が相対的に小さくなっていくことをあらわしている。このようにみれば $V_{BIk} - D_{BOk}^2 L_{Bk}$ の関係は、 $V_{BOk} - D_{BOk}^2 L_{Bk}$ を漸近線とするきわめてゆるやかな曲線の一部と考えることができるであろう。樹皮容積と皮なし材積の比が枝の大きさとともに低下することについては、のちにくわしくのべる。

皮つき材積 V_{BOk} と皮なし材積生長量 ΔV_{BIk} : サンプル枝から、年輪解析によってえた枝の皮なし材積生長量 ΔV_{BIk} と

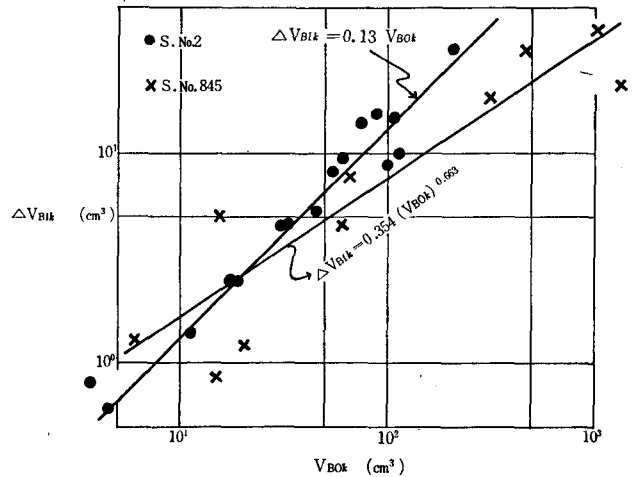


図4 枝の年間皮なし材積生長量 ΔV_{BIk} と皮つき材積 V_{BOk}
Fig. 4. Relation between annual increment of branch volume without bark (ΔV_{BIk}) and branch volume over bark (V_{BOk}).

表2 相対生長法による枝材積および生長量
Table 2. Branch volumes and increment by allometry.

S. No. 2						S. No. 845					
layer m~m	N _B	V _{BO} cm ³	V _{BI} cm ³	V _{BB} cm ³	ΔV _{BI} cm ³	layer m~m	N _B	V _{BO} cm ³	V _{BI} cm ³	V _{BB} cm ³	ΔV _{BI} cm ³
2.3~ 2.8	5	1,433.37	1,066.68	366.69	186.35	14.8~15.3	1	1,199.02	1,021.00	177.82	38.94
2.8~ 3.3	1	341.02	253.92	87.10	44.33	15.3~15.8	2	1,179.67	998.21	181.46	38.00
3.3~ 3.8	2	275.15	186.99	88.16	25.07	15.8~16.3	0	—	—	—	—
3.8~ 4.3	5	712.93	484.38	228.55	92.68	16.3~16.8	2	72.54	44.52	28.02	6.66
4.3~ 4.8	6	569.40	377.98	191.42	74.02	16.8~17.3	0	—	—	—	—
4.8~ 5.3	12	903.79	590.48	313.31	117.47	17.3~17.8	1	1,611.79	1,407.60	204.19	47.08
5.3~ 5.8	5	465.78	307.19	158.59	60.55	17.8~18.3	2	89.04	53.13	35.91	23.96
5.8~ 6.3	11	1,000.51	655.84	344.67	130.08	18.3~18.8	1	1,600.87	1,407.66	193.21	46.73
6.3~ 6.8	16	490.59	290.62	199.97	63.77	18.8~19.3	2	1,505.95	1,242.00	263.95	56.99
6.8~ 7.3	11	751.72	468.51	283.21	97.74	19.3~19.8	4	2,653.96	2,279.32	374.64	97.16
7.3~ 7.8	12	556.11	340.31	215.80	72.28	19.8~20.3	2	1,753.09	1,469.70	283.39	62.31
7.8~ 8.3	14	470.41	280.40	190.01	61.16	20.3~20.8	7	2,789.46	2,335.07	454.39	79.31
8.3~ 8.8	13	487.08	290.08	197.00	63.37	20.8~21.3	7	1,432.67	1,135.61	297.06	59.92
8.8~ 9.3	17	240.70	139.03	101.67	31.28	21.3~21.8	11	1,840.99	1,389.12	451.87	91.05
9.3~ 9.8	15	122.37	61.16	61.21	15.91	21.8~22.3	12	2,990.92	2,218.16	772.76	153.06
9.8~10.3	15	59.13	27.35	31.78	7.71	22.3~22.8	11	1,200.77	804.27	396.50	83.12
10.3~10.68	7	5.61	2.24	3.37	0.75	22.8~23.3	10	828.75	534.75	294.00	64.61
Total	167	8,885.67	5,823.16	3,062.51	1,144.52	23.3~23.8	13	319.23	182.43	136.80	36.57
						23.8~24.33	14	36.37	14.47	21.90	8.27
N _B : Number of branch						Total	103	23,105.09	18,537.22	4,567.87	993.74

N_B : Number of branch

その枝の皮つき材積 V_{BOK} の関係をえがいたのが図4である。S. No. 2 に対して、

$$\Delta V_{BIk} = 0.13 V_{BOK} \quad \dots\dots\dots(5)$$

S. No. 845 に対して、

$$\Delta V_{BIk} = 0.354 V_{BOK}^{0.668} \quad \dots\dots\dots(6)$$

であらわされる関係は、あきらかに2つの個体で分離してみられる。皮なし材積に対しては、S. No. 2 について、

$$\Delta V_{BIk} = 0.245 V_{BIk}^{0.92} \quad \dots\dots\dots(7)$$

S. No. 845 について、

$$\Delta V_{BIk} = 0.375 V_{BIk}^{0.66} \quad \dots\dots\dots(8)$$

の関係式であらわされる。第I報でも、孤立木、優勢木、被圧木のあいだで皮なし材積生長量 ΔV_{BIk} は皮なし材積 V_{BIk} に対し分離する傾向があった²⁾。今回のものとあわせ考えてもあまりまとまりのある結果はみとめられない。

相対生長関係による枝材積、生長量の計算： $V_{BOK} - D_{BOK}^2 L_{Bk}$ 、 $V_{BIk} - D_{EOk}^2 L_{Bk}$ および $\Delta V_{BIk} - V_{BOK}$ の関係を利用して、枝の皮つき、皮なしおよび樹皮容積、皮なし材積の生長量を計算することができる。もちろん上の関係のうち $V_{BOK} - D_{BOK}^2 L_{Bk}$ と $\Delta V_{BIk} - V_{BOK}$ から V_{EOk} を消去した $\Delta V_{BIk} - D_{BOK}^2 L_{Bk}$ は実際のデータによく一致することをたしかめてある。計算結果を層ごとにまとめたのが表2である。

年軸に関連する量的特性と年軸解析法による枝材積および生長量

皮なし材積と樹皮容積：1本の枝を緑色部と褐色部にわけ、それぞれの材部分の容積 V_{BIk} および樹皮部分の容積 V_{BBk} をメスシリンダーで直接測定した。それらの関係をプロットしたのが図5である。

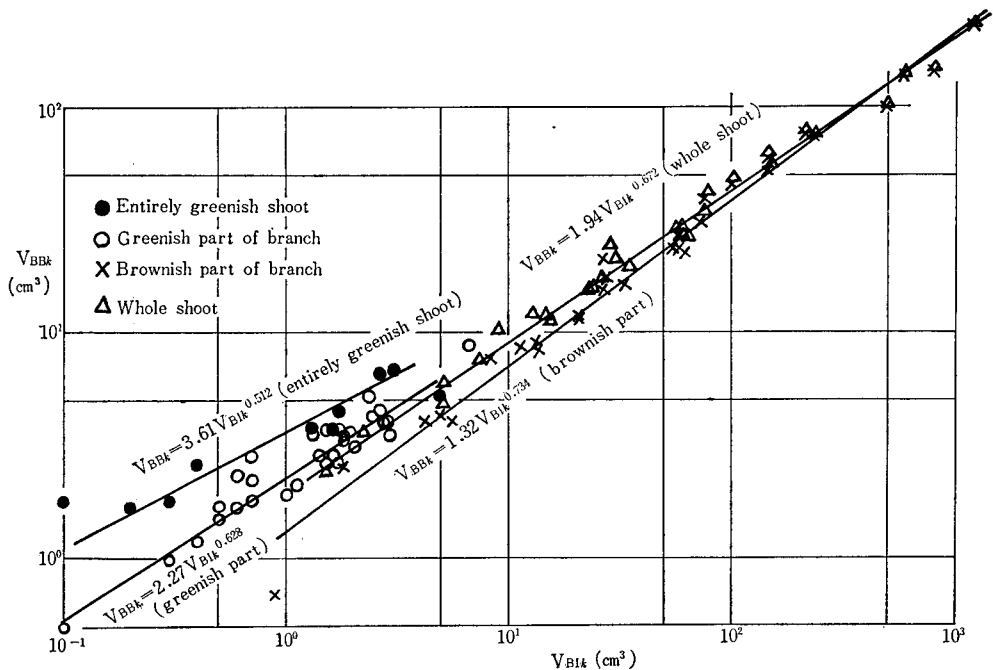


図5 枝の樹皮材積 V_{BBk} と皮なし材積 V_{BIk}

Fig. 5. Relation between branch bark volume (V_{BBk}) and branch volume without bark (V_{BIk}).

緑色部は枝全体が緑色である若い枝と、一部が緑色であるものとを区別している。緑色部、褐色部、全緑枝、全枝のそれぞれが両対数直線関係をほぼ満足しており、おのおのの関係式は、全緑枝で

$$V_{BBk} = 3.61 V_{BIk}^{0.512} \quad \dots\dots\dots (9)$$

緑色部で,

$$V_{BBk} = 2.27 V_{BIk}^{0.628} \quad \dots\dots\dots (10)$$

褐色部で,

$$V_{BBk} = 1.32 V_{BIk}^{0.734} \quad \dots\dots\dots (11)$$

全枝では,

$$V_{BBk} = 1.94 V_{BIk}^{0.672} \quad \dots\dots\dots (12)$$

であらわされる。直線の勾配は、全緑枝、緑色部、褐色部の順にわずかではあるが大きくなり、 y 切片は逆に小さくなっている。全緑枝、緑色部は $V_{BBk} = V_{BIk}$ より上に、褐色部はひとつを例外として、下にある。1本の枝についてみれば、枝齢が若く、小さいあいだは緑色部側に、古く大きい枝になると褐色部側にかたよる。これらのことは V_{BBk}/V_{BIk} が大きさとともに低下することをしめす。 V_{BIk} が 10cm^3 のとき V_{BBk}/V_{BIk} は 0.9 であるが 100cm^3 になると 0.42 になっている。

小さい若い枝では樹皮の量は、相対的にかなり大きく、とくに緑色部では樹皮が皮なし材積を上まわっていることは無視してはならないであろう。

枝上部と下部では樹皮/材の容積比が逆転する。断面積をとってくらべてみると樹皮と材の断面積が等しくなるのが、緑色部と褐色部の境であるのではないかということが予想される。ここでの皮つき直径 D_{BOij} と皮なし直径 D_{BIij} のあいだには、 $D_{BO}/D_{BI} = \sqrt{2}$ の関係があるはずである。S. No. 2, No. 845 のサルプル枝のうち、緑・褐色部の境での皮つき、皮なし直径の実測されているもので、その比をとってみると表3のようになる。バラツキもあるがほぼ $\sqrt{2}$ にちかい値をとっている。緑色部と褐色部の境附近で樹皮と材の断面積が等しくなり、その前後で比が逆転するとしてもさしつかえないであろう。

平均年軸長：ある層からとったサンプル枝の各年軸長を

表3 枝の緑色部と褐色部の境における樹皮をふくむ直径 D_{BO} とふくまない直径の D_{BI} 比

Table 3. Ratio of diameter over bark to without bark at limit of greenish to brownish shoot.

S. No. 2				S. No. 845			
B. No.	D_{BO}/D_{BI}	A_B		B. No.	D_{BO}/D_{BI}	A_B	
		Entire	Green			Entire	Green
6	2.45	$5 \leq$	2	2	1.46	$10 \leq$	5
8	1.35	$10 \leq$	4	6	1.48	$10 \leq$	6
24	1.35	$9 \leq$	4	9	1.38	$9 \leq$	6
29	1.45	$7 \leq$	5	13	1.40	$10 \leq$	5
30	1.38	$9 \leq$	5	18	1.62	$9 \leq$	4
41	1.29	$6 \leq$	4	26	1.74	8	6
45	1.23	$8 \leq$	5	42	2.50	$7 \leq$	4
55	1.28	8	4	50	1.79	$7 \leq$	3
68	1.52	8	3	58	1.21	$8 \leq$	4
73	1.43	7	5	66	1.76	$10 \leq$	6
83	1.25	$6 \leq$	4	74	1.73	$7 \leq$	3
85	1.29	8	4	A_B : Age of branch			
92	1.20	6	4				
97	1.24	6	3				
103	1.53	5	3				
109	1.50	5	4				
116	1.38	4	3				
122	1.87	6	3				
128	1.44	4	2				

算術平均し、その層の平均枝長に比例配分し、各年軸の平均長とした。図6に各層各年軸ごとの平均年軸長をしめす。まえにのべたように5年以上の軸はひとまとめにし、 $5 \leq$ 年軸とした。かなりのバラツキがあるが、なめらかな曲線であらわされるような傾向がみられる。1, 2, 3……の数字が各年軸をあらかわす。タテ軸は、a) S. No. 2 で4年軸までは、0~30cm, $5 \leq$ 年軸は 0~150cm, b) S. No. 845 で

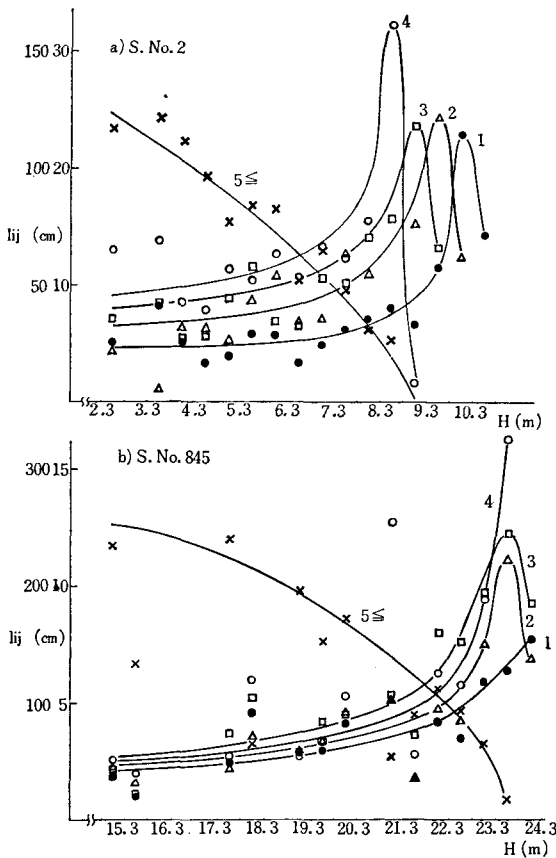


図6 平均年軸長の層別変化

Fig. 6. Mean length of annual shoot. a) for S. No. 2, b) for S. No. 845. Crown layers on the abscissae, figures 1, 2, ... stand for 1 year shoot, 2 year shoot etc., 10-30 (a) and 5-15 (b) on the ordinates are for 1-4 year shoot, 50-150 (a), 100-300 (b) are for $5 \leq$ year shoot.

さ方向の1年間の生長量とかなりよく一致したため、このようなはっきりとした傾向をみとめることができたのであろう。枝齢2年のものの1年軸が常に最大の年軸長をもっているとみてよいであろう。S. No. 845も50cmの深さの層をもっているが、1年軸と4年軸は最上部に最大の年軸長をもつ。2年軸、3年軸は上から2ばんめの層に最大の年軸長をもつ形となっている。S. No. 845は最上層にも枝齢3年のものがふくまれており、また2ばんめの層には、枝齢7年のものもあった。年軸解析をおこなうときには、幹の高さ方向の生長量をあわせ考慮しながら層わけをしなければ、枝齢と年軸ののびかたをうまく関係づけてと

4年軸までは5~15cm, $5 \leq$ 年軸は100~300cmであらわされている。ある層の平均枝長は、各年軸長をくわえあわせたものである。したがって $5 \leq$ 年軸が他のものとちがった曲線のかたちをしているのは、いくつかの曲線の和であらわされているからであろう。S. No. 2では1~4年軸の長さをあらわす曲線の形がたがいによく似ている。いずれもその年軸があらわれる層から2ばんめの層で、最大の平均年軸長をもっている。各層の深さが50cmで、たまたま幹の高

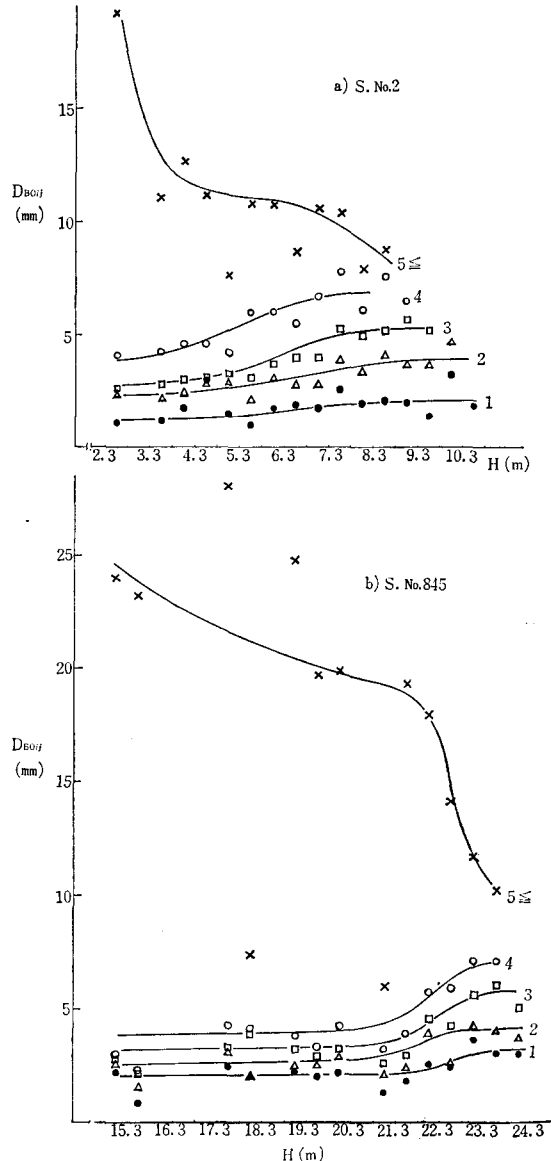


図7 平均年軸皮つき中央直径の層別変化

Fig. 7. Mean diameter over bark of annual shoot. a) for S. No. 2, b) for S. No. 845.

らえられないことをしめすのであろう。

平均年軸中央径：各年軸の中央直径を皮つき、皮なしで測定し、それらの平均値をえがいたのが図7, 8である。このばあいの平均値は各年軸の直径の2乗および長さで加重したものである。バラツキを無視すると、なめらかな曲線をえがく。層ごとにみると、皮つき、皮なし直径とも1~4年軸については、上層に大きく、下層に小さい。樹冠の下部から上にむかって、平均年軸中央径は、漸増する、漸増し上層で一定値に達する、あるいは下層の一定値から上層の一定値へ移行するの三つの変化のしかたが考えられる。S. No. 2をみると1年軸から4年軸へ上層に大、下層に小の傾向はいちじるしくなる。曲線のたちあがり部も、少しずつ下層へとうつっていく傾向がみられる。S. No. 845ではこの傾向はうすれ1~4年軸ともに、曲線のたちあがりの位置は上層にかたまっているといえそうである。

平均年軸直径生長量：各年軸の年間直径生長量を測定し、えがいたのが図9である。最近2ヵ年の年輪幅から平均値をとって、年間直径生長量とした。層ごとの平均値をもとめるさいには、やはり直径の2乗、年軸の長さで加重した。S. No. 2では2年軸以上のものがひとつにまとめられ、S. No. 845では2, 3, 4年軸がひとつにまとめられるようである。すなわちS. No. 2は1年軸の直径にくらべ、2年以上の軸で、やや大きい直径生長幅をもち、一定であるとみなせるが、S. No. 845では、5年以上軸で、2~4年軸のそれより小さくなっている。層間についてみればS. No. 2, No. 845のいずれも、上層で大、下層で小の傾向がみとめられる。このことは、生長量の計算をおこなうさいに、とくに気をつけなければならない。

さきに筆者らは、 $\Delta D_{BIj} = D_{BIj} - D_{BIj-1}$ として、すなわち j 年軸の直径生長量は、 j 年軸の直径と、 $j-1$ 年軸の直径の差として、生長量を計算したが、この値が相対生長法によるものとくらべて、かなり大きい値をとることを報告した³⁾。これは図10からみられるように、 ΔD_{BIj} は $D_{BIj} - D_{BIj-1}$ とくらべて等しいとはかぎ

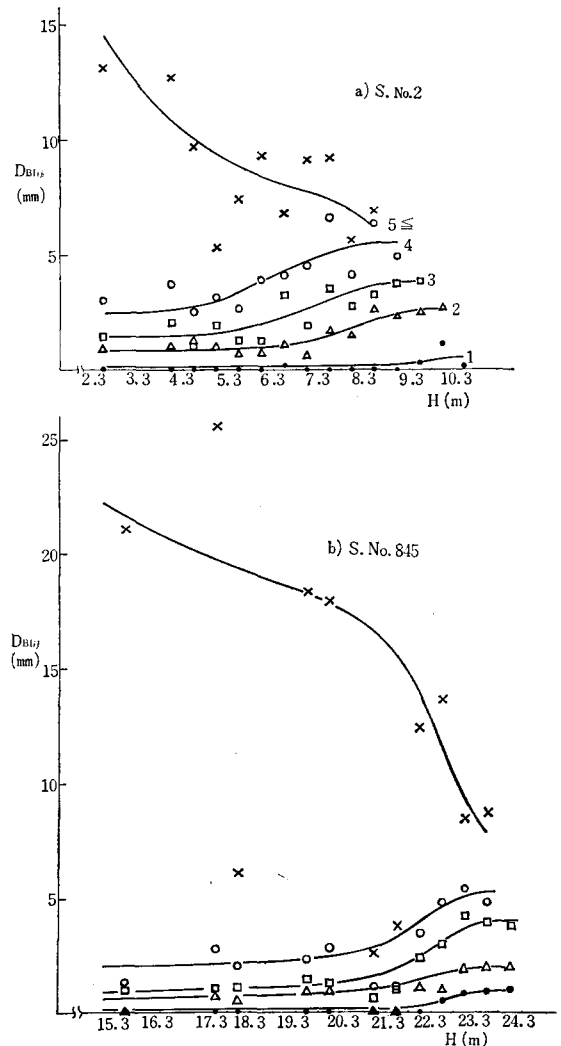


図8 平均年軸皮なし中央直径の層別変化
Fig. 8. Mean diameter without bark of annual shoot.
a) for S. No. 2, b) for S. No. 845.

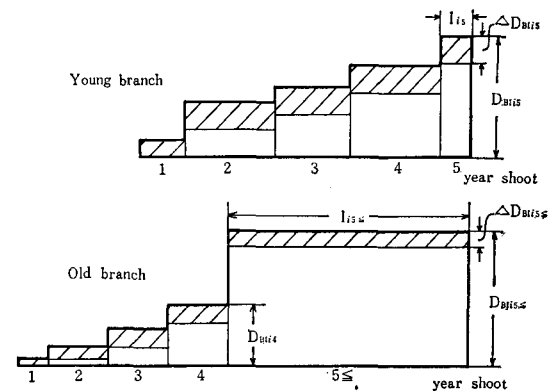


図10 若い枝と古い枝の年輪生長巾のちがいを表す模式図
Fig. 10. Schematic representation of the difference of annual diameter increment between young and old branches.

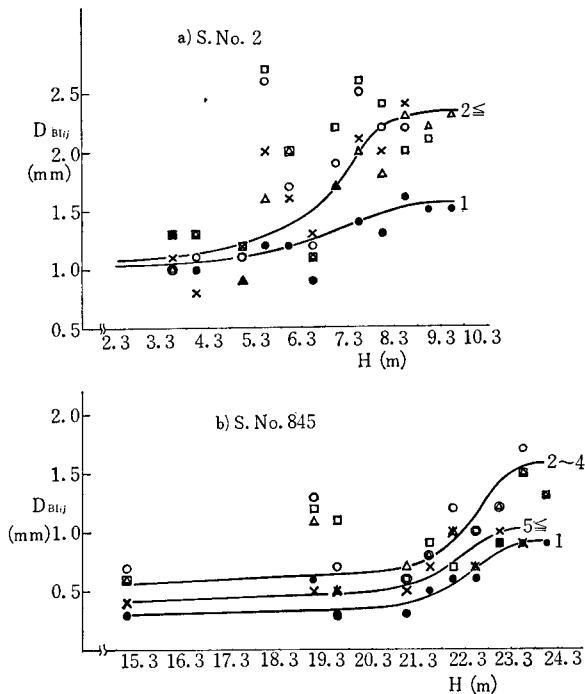


図9 平均年軸年間皮なし中央直径生長量の層別変化
Fig. 9. Mean annual diameter increment of annual shoot.

a) for S. No. 2, b) for S. No. 845.
● : 1 yr. shoot ○ : 4 yr. shoot
△ : 2 yr. shoot × : 5 yr. shoot
□ : 3 yr. shoot

らず、大きくも小さくもなりうることに由る。上層のごく一部の若い枝では、等しいとして、大きなちがいはないが、下層の古い枝では、 $\Delta D_{BIij} < D_{BIij} - D_{BIij-1}$ となるから、あきらかに過大値となる。図10に模式的にあらわされている。5年以上軸において、実測された直径生長量は、 $D_{BI5} - D_{BI4}$ の10倍に達していることがたしかめられた。

枝材積、樹皮容積および生長量の計算：年軸解析の結果えられた平均年軸長 l_{ij} (図6)、皮つき、皮なし平均年軸中央径 D_{BOij} , D_{BIij} (図7, 8)をもちい、各層の年軸が円筒形であるとみなせば

$$V_{BOij} = \frac{\pi}{4} D_{BOij}^2 l_{ij} \cdot n \quad \cdots (13)$$

$$V_{BIij} = \frac{\pi}{4} D_{BIij}^2 l_{ij} \cdot n \quad \cdots (14)$$

$$V_{BBij} = \frac{\pi}{4} (D_{BOij}^2 - D_{BIij}^2) l_{ij} \cdot n \quad \cdots (15)$$

ただし n は i 層 j 年軸の本数、によって、皮つき、皮なし材積、樹皮容積がそれぞれ計算される。

材積生長量は D_{BIij} の生長量 ΔD_{BIij} を知れば、

$$\Delta V_{BIij} = \frac{\pi}{4} \{ D_{BIij}^2 - (D_{BIij} - \Delta D_{BIij})^2 \} \quad \cdots (16)$$

によって計算することができる。 i 層 j 年軸の樹皮のあつさは $D_{BOij} - D_{BIij}$ である。これは表4にみるとおり、層、年軸にわたり 2.0mm 前後のかかなり安定した値をしめす。樹皮のあつさがかわらないとすれば、1年前の皮なし直径は $D_{BIij} - \Delta D_{BIij}$ 、皮つき直径は $(D_{BIij} - \Delta D_{BIij}) + (D_{BOij} - D_{BIij}) = D_{BOij} - \Delta D_{BIij}$ であるから、その樹皮容積は、 $\pi/4 \{ (D_{BOij} - \Delta D_{BIij})^2 - (D_{BIij} - \Delta D_{BIij})^2 \} l_{ij} \cdot n = \pi/4 \{ D_{BOij}^2 - D_{BIij}^2 - 2(D_{BOij} - D_{BIij}) \Delta D_{BIij} \} l_{ij} \cdot n$ である。樹皮の脱落がないとすれば、樹皮の生長量は現在のものとの差としてすなわち

$$\begin{aligned} \Delta V_{BBij} &= \frac{\pi}{4} \{ (D_{BOij}^2 - D_{BIij}^2) - (D_{BOij}^2 - D_{BIij}^2 - 2(D_{BOij} - D_{BIij}) \Delta D_{BIij}) \} l_{ij} \cdot n \\ &= \frac{\pi}{2} (D_{BOij} - D_{BIij}) \Delta D_{BIij} \cdot l_{ij} \cdot n \quad \cdots (17) \end{aligned}$$

であらわされる。これらを利用して計算した結果を表4にしめす。相対生長関係を利用してもとめたものとくらべるため、表5に個体についての枝の総量にかんする値のみをあげた。S. No. 2 についてはいずれの項も、2つの計算の結果はきわめてよく一致している。S. No. 845 はこれに対し、2つの値はかなりのひらきがある。

樹皮容積のちがいは大きく、よく一致している S. No. 2 でも 12%, No. 845 では 33% に達している。これは、皮つき材積と、皮なし材積の差としてもとめている相対生長法にも問題はあろう。これに対して、皮つき材積、皮なし材積はひらきの大きい No. 845 でも 19% 弱、14% 強で

表4 年軸解析法による枝材積および生長量

Table 4. Branch volumes and annual increment by annual shoot analysis.

		S. No. 2																							
		1 year shoot				2 year shoot				3 year shoot				4 year shoot				5 year shoot							
	A _T *	<i>l</i>	D _{Bo}	D _{Bi}	ΔD _{Bi}	<i>l</i>	D _{Bo}	D _{Bi}	ΔD _{Bi}	<i>l</i>	D _{Bo}	D _{Bi}	ΔD _{Bi}	<i>l</i>	D _{Bo}	D _{Bi}	ΔD _{Bi}	<i>l</i>	D _{Bo}	D _{Bi}	ΔD _{Bi}	<i>l</i>	D _{Bo}	D _{Bi}	ΔD _{Bi}
		cm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2.3~2.8	17	4.6	1.2	1.1	0.1	0.5	6.4	2.4	1.6	0.8	8.0	2.8	1.3	1.5	0.6	9.1	3.8	1.4	2.4	0.6	123.0	19.3	4.8	14.5	0.6
2.8~3.3	16	4.6	1.2	1.1	0.1	0.5	6.4	2.4	1.6	0.8	8.1	2.8	1.3	1.5	0.6	9.3	3.9	1.4	2.5	0.6	117.0	15.4	2.3	13.1	0.6
3.3~3.8	15	4.8	1.2	1.1	0.1	0.5	6.6	2.4	1.6	0.8	8.3	2.9	1.4	1.5	0.6	9.6	4.1	1.6	2.5	0.6	110.0	12.9	1.0	11.9	0.6
3.8~4.3	14	4.8	1.2	1.1	0.1	0.5	6.8	2.5	1.6	0.9	8.6	3.0	1.5	1.5	0.6	9.9	4.5	1.9	2.6	0.6	103.0	11.8	1.0	10.8	0.6
4.3~4.8	12	4.9	1.3	1.2	0.1	0.6	7.0	2.5	1.6	0.9	8.9	3.1	1.6	1.5	0.7	10.2	4.8	2.1	2.7	0.7	95.0	11.4	1.4	10.0	0.7
4.8~5.3	10	4.9	1.4	1.3	0.1	0.6	7.2	2.7	1.8	0.9	9.3	3.4	1.8	1.6	0.7	10.6	5.2	2.2	3.0	0.7	88.0	11.2	1.8	9.4	0.7
5.3~5.8	9	5.0	1.5	1.4	0.1	0.6	7.6	2.8	1.9	0.9	9.7	3.6	1.8	1.8	0.8	11.0	5.6	2.2	3.4	0.8	80.0	11.0	2.2	8.8	0.8
5.8~6.3	8	5.1	1.6	1.5	0.1	0.7	8.0	2.9	1.9	1.0	10.1	4.0	2.0	2.0	0.9	11.6	6.0	2.1	3.9	0.9	72.0	10.9	2.5	8.4	0.9
6.3~6.8	7	5.3	1.7	1.6	0.1	0.7	8.4	3.1	2.0	1.1	10.7	4.4	2.1	2.3	1.0	12.5	6.3	2.0	4.3	1.0	63.0	10.7	2.7	8.0	1.0
6.8~7.3	7	5.6	1.8	1.6	0.2	0.8	9.0	3.3	2.1	1.2	11.6	4.7	2.1	2.6	1.2	13.8	6.6	1.9	4.7	1.2	54.0	10.3	2.6	7.7	1.2
7.3~7.8	6	6.1	1.9	1.7	0.2	0.9	10.0	3.5	2.0	1.5	12.8	5.0	2.0	3.0	1.5	15.6	6.8	1.7	5.1	1.5	44.0	9.8	2.4	7.4	1.5
7.8~8.3	5	6.6	2.0	1.8	0.2	1.0	11.5	3.7	2.1	1.8	14.6	5.2	1.8	3.4	1.7	19.0	6.9	1.5	5.4	1.7	33.0	9.2	2.4	6.8	1.7
8.3~8.8	5	7.5	2.0	1.8	0.2	1.0	13.6	3.8	1.6	2.2	18.0	5.2	1.5	3.7	1.8	32.3	6.9	1.4	5.5	1.8	21.0	8.4	2.3	6.1	1.8
8.8~9.3	4	9.0	2.1	1.9	0.2	1.0	17.6	3.9	1.5	2.4	24.0	5.3	1.5	3.8	1.8	1.6	6.9	1.4	5.5	1.8	1.8	—	—	—	—
9.3~9.8	3	11.5	2.1	1.8	0.3	1.1	24.4	3.9	1.3	2.6	18.2	5.3	1.4	3.9	1.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9.8~10.3	2	22.9	2.2	1.8	0.4	1.1	12.4	3.9	1.3	2.6	1.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10.3~10.8	1	14.3	2.2	1.7	0.5	1.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

 A_T^* : Age of trunk at the lower end of the layer

かなり一致しているとい
うべきであろうし、No. 2
では1%強、6%弱では
ほとんど完全に一致したと
してもよいであろう。
 $V_{Bo} - D_{Bo}^2 L_{Bk}$, $V_{Bi} - D_{Bi}^2 L_{Bk}$ の両者は、
両対数軸上で直線性をた
しかめることができ、全
枝の D_{Bo} , L_{Bk} がそれぞ
れ実測されているから、
この関係を利用してもと
めたものが、より真の値
に近いといえるかもしれ
ない。年軸解析によるも
のに問題があるとすれば、
図6~8でみられるように
かなりのバラツキを無視
していることと、5年以
上の年軸をひとまとめに
していることによるのか
もしれない。

皮なし材積生長量は
No. 2では3%弱のちが
いでよく一致しているとい
えよう。No. 845の33
%弱はかなりのひらきと
みるべきであろうが、相
対生長法による $\Delta V_{Bi} - V_{Bo}$
の関係式が図4のて
いどにバラツキが大きい
だけでなく、測定された
本数もNo. 2にくらべて
かなりすくない。このよ
うなばあい相対生長法に
よる値が年軸解析法によ
るものより信頼度がたか
いとはいえないかもしれ
ない。むしろS. No. 2
がよく一致した値をしめ
すことを考えれば、年軸
解析による値をとりたい

	A_T^*	1 year shoot					2 year shoot					3 year shoot					4 year shoot					5 year shoot					
		l cm	D_{Bo} mm	D_{Bi} mm	ΔD_{Bi} mm	$D_{Bo}-D_{Bi}$ mm	l cm	D_{Bo} mm	D_{Bi} mm	ΔD_{Bi} mm	$D_{Bo}-D_{Bi}$ mm	l cm	D_{Bo} mm	D_{Bi} mm	ΔD_{Bi} mm	$D_{Bo}-D_{Bi}$ mm	l cm	D_{Bo} mm	D_{Bi} mm	ΔD_{Bi} mm	$D_{Bo}-D_{Bi}$ mm	l cm	D_{Bo} mm	D_{Bi} mm	ΔD_{Bi} mm	$D_{Bo}-D_{Bi}$ mm	
14.8~15.3	40	2.1	2.0	1.9	0.1	0.3	2.4	2.5	1.9	0.6	2.7	3.2	2.3	0.9	0.6	2.5	2.5	3.9	1.9	2.0	2.0	0.6	252.0	24.5	2.2	22.3	0.4
15.3~15.8	39	2.1	2.0	1.9	0.1	0.3	2.4	2.5	1.9	0.6	2.7	3.2	2.3	0.9	0.6	2.6	2.6	3.9	1.9	2.0	2.0	0.6	248.0	23.7	2.0	21.7	0.4
15.8~16.3	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16.3~16.8	37	2.3	2.0	1.9	0.1	0.3	2.5	2.6	2.0	0.6	2.9	3.2	2.2	1.0	0.6	2.7	2.7	3.9	1.8	2.1	2.1	0.6	238.0	22.5	1.9	20.6	0.4
16.8~17.3	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17.3~17.8	35	2.4	2.0	1.9	0.1	0.3	2.7	2.6	1.9	0.7	3.2	3.2	2.2	1.0	0.6	2.9	2.9	3.9	1.8	2.1	2.1	0.6	223.0	21.6	1.8	19.8	0.4
17.8~18.3	33	2.5	2.0	1.9	0.1	0.3	2.8	2.6	1.9	0.7	3.3	3.2	2.1	1.1	0.6	3.0	3.0	3.9	1.7	2.2	2.2	0.6	214.0	21.1	1.7	19.4	0.4
18.3~18.8	31	2.6	2.0	1.9	0.1	0.3	2.9	2.6	1.9	0.7	3.5	3.2	2.1	1.1	0.6	3.2	3.2	3.9	1.7	2.2	2.2	0.6	204.0	20.7	1.7	19.0	0.5
18.8~19.3	31	2.8	2.0	1.9	0.1	0.3	3.1	2.6	1.8	0.8	3.7	3.3	2.2	1.1	0.6	3.4	3.4	4.0	1.7	2.3	2.3	0.6	192.0	20.3	1.6	18.7	0.5
19.3~19.8	29	2.9	2.0	1.9	0.1	0.3	3.3	2.6	1.8	0.8	4.0	3.3	2.1	1.2	0.6	3.5	3.5	4.0	1.6	2.4	2.4	0.6	180.0	20.0	1.3	18.3	0.5
19.8~20.3	27	3.1	2.1	2.0	0.1	0.4	3.5	2.7	1.9	0.8	4.2	3.3	2.0	1.3	0.7	3.7	3.7	4.0	1.5	2.5	2.5	0.7	167.0	19.7	1.8	17.9	0.5
20.3~20.8	25	3.3	2.1	1.9	0.2	0.4	3.7	2.8	1.9	0.9	4.6	3.4	2.0	1.4	0.7	4.0	4.0	4.1	1.5	2.6	2.6	0.7	152.0	19.5	2.1	17.4	0.5
20.8~21.3	23	3.6	2.1	1.9	0.2	0.4	4.0	3.0	2.0	1.0	4.9	3.5	1.9	1.6	0.7	4.3	4.3	4.4	1.5	2.9	2.9	0.7	137.0	19.2	2.4	16.8	0.5
21.3~21.8	20	3.9	2.2	2.0	0.2	0.4	4.3	3.2	2.0	1.2	5.5	3.8	1.8	2.0	0.8	4.8	4.8	4.8	1.5	3.3	3.3	0.8	122.0	18.8	3.1	15.7	0.6
21.8~22.3	17	4.2	2.4	2.1	0.3	0.5	4.8	3.6	2.2	1.4	6.3	4.4	1.9	2.5	0.9	5.4	5.4	5.5	1.5	4.0	4.0	0.9	105.0	17.7	3.7	14.0	0.7
22.3~22.8	13	4.8	2.7	2.2	0.5	0.7	5.7	4.0	2.3	1.7	8.0	5.1	2.0	3.1	1.2	6.7	6.3	6.3	1.7	4.6	4.6	1.2	86.0	14.5	2.8	11.7	0.9
22.8~23.3	9	5.6	3.0	2.2	0.8	0.8	7.6	4.1	2.2	1.9	10.4	5.5	1.8	3.7	1.4	9.5	6.9	6.9	1.9	5.0	5.0	1.4	60.0	11.8	2.4	9.4	1.0
23.3~23.8	7	6.6	3.2	2.3	0.9	0.9	11.1	4.1	2.1	2.0	15.2	5.8	1.8	4.0	1.5	16.2	7.1	7.1	1.8	5.3	5.3	1.5	18.0	10.2	2.3	7.9	1.0
23.8~24.3	3	7.7	3.2	2.2	1.0	0.9	6.9	4.1	2.1	2.0	9.2	5.8	1.8	4.0	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ところである。

年軸解析の方法の検討

年軸解析によって枝の材積，その生長量の計算をおこなった。ここでその方法を検討し問題となるべきものをあげてみたい。樹幹解析による樹幹の材積，生長量の計算法はあまりにもよく知られた方法である。年輪として樹幹にしるされた時間をよみとっていくこの方法をそのまま，枝にあてはめようとすることはおそらく不可能にちかであろう。年軸によって時間をよみとっていくのが年軸解析の方法である。この方法では，材積，重量および生長量の，層ごと，年齢ごとの分布がわかる。枝の発達には樹幹を中心に同心円状にひろがっていきと考えれば，枝量の位置的な配置がわかるわけである。このように枝量の年齢構成，位置的配置をあきらかにすることは，個体の生長に対して，はたしている枝の役割をはっきりさせるために基本的な重要性をもっているであろう。

しかしながらこの年軸解析の方法にはなおいくつかの問題がないわけではない。第一に年軸にわけて量を測定することが，かなりめんどうであることであろう。年軸の中央直径を皮つき，皮なしで測定することはまだいいとしても，それぞれについてやはり年輪の生長幅をよみとっていかねばな

S. No. 2

layer	1 year shoot					2 year shoot					3 year shoot				
	V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³	V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³	V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³
2.3~2.8	0.26	0.00	0.26	0.05	0.20	1.45	0.16	1.29	0.15	0.48	2.46	0.71	1.75	0.45	0.49
2.8~3.3	0.05	0.00	0.05	0.01	0.04	0.29	0.03	0.26	0.03	0.10	0.50	0.14	0.36	0.09	0.10
3.3~3.8	0.11	0.00	0.11	0.02	0.08	0.60	0.07	0.53	0.06	0.20	1.10	0.29	0.81	0.19	0.22
3.8~4.3	0.27	0.00	0.27	0.05	0.21	1.67	0.22	1.45	0.19	0.51	3.04	0.76	2.28	0.49	0.61
4.3~4.8	0.39	0.00	0.39	0.07	0.33	2.06	0.27	1.79	0.21	0.74	4.03	0.94	3.09	0.56	0.94
4.8~5.3	0.90	0.00	0.90	0.17	0.72	4.94	0.55	4.39	0.52	1.71	10.13	2.24	7.89	1.53	2.21
5.3~5.8	0.44	0.00	0.44	0.07	0.33	2.34	0.24	2.10	0.24	0.91	4.93	1.23	3.70	0.85	1.10
5.8~6.3	1.13	0.00	1.13	0.21	0.93	5.81	0.69	5.12	0.68	2.36	13.95	3.49	10.46	2.43	3.14
6.3~6.8	1.92	0.01	1.91	0.33	1.49	10.14	1.28	8.86	1.27	4.22	26.02	7.11	18.91	4.84	5.65
6.8~7.3	1.57	0.02	1.55	0.31	1.24	8.46	1.12	7.34	1.12	3.92	22.13	6.77	15.36	4.81	5.05
7.3~7.8	2.07	0.02	2.05	0.47	1.76	11.54	2.12	9.42	2.12	5.65	30.14	10.85	19.29	8.14	7.24
7.8~8.3	2.90	0.03	2.87	0.73	2.61	17.30	4.10	13.20	4.08	9.03	43.39	18.55	24.84	14.99	9.82
8.3~8.8	3.06	0.03	3.03	0.77	2.76	20.04	6.72	13.32	6.50	8.00	49.67	25.15	24.52	18.52	9.92
8.8~9.3	5.30	0.05	5.25	1.20	4.57	35.73	13.53	22.20	12.68	12.69	89.97	46.25	43.72	33.44	17.30
9.3~9.8	5.97	0.12	5.85	1.64	5.37	33.70	19.42	24.28	17.58	13.45	43.67	23.64	20.03	16.79	7.84
9.8~10.3	13.05	0.43	12.62	3.26	10.68	22.21	9.87	12.34	8.94	6.84	—	—	—	—	—
10.3~10.8	3.80	0.20	3.60	0.95	2.94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	43.19	0.91	42.28	10.31	36.26	188.28	60.39	127.89	56.37	70.81	345.13	148.12	197.01	108.12	71.63

4 year shoot					5< year shoot					Total					
V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³	V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³	V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BO} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³
5.16	2.06	3.10	0.90	0.60	1789.29	1015.03	783.26	82.27	27.82	1807.62	1017.96	789.66	113.41	83.82	29.59
1.11	0.46	0.65	0.19	0.12	217.82	157.62	60.20	14.11	2.54	219.77	158.25	61.52	17.33	14.43	2.90
2.53	0.94	1.59	0.40	0.29	287.39	244.56	42.83	24.04	2.07	291.73	245.86	45.87	27.57	24.71	2.86
7.87	2.63	5.24	1.07	0.89	562.91	471.55	91.36	50.94	4.85	575.76	475.16	100.60	59.81	52.74	7.07
11.07	3.50	7.57	1.32	1.41	581.51	447.45	134.06	50.38	8.77	599.06	452.16	146.90	64.73	52.54	12.19
27.00	8.99	18.01	3.71	3.08	1039.85	732.47	307.38	105.03	20.90	1082.82	744.25	338.57	139.58	110.96	28.62
13.54	4.99	8.55	5.41	1.52	379.94	243.16	136.78	42.20	11.06	401.19	249.62	151.57	63.69	48.77	14.92
36.06	15.23	20.83	6.22	3.79	738.67	438.69	299.98	89.00	27.99	795.62	458.10	337.52	136.75	98.54	38.21
62.31	29.03	33.28	16.75	6.28	905.94	506.42	399.52	118.69	42.75	1006.33	543.85	462.48	202.27	141.88	60.39
51.91	26.32	25.59	11.73	5.44	494.69	276.46	218.23	79.46	29.11	578.76	310.69	268.07	142.19	97.43	44.76
67.95	38.22	29.73	13.60	7.50	398.07	226.97	171.10	82.69	29.86	509.77	278.18	231.59	159.03	107.02	52.01
99.41	60.89	38.52	32.30	10.65	306.96	167.70	139.26	73.37	29.61	469.96	251.27	218.69	187.19	125.47	61.72
156.93	99.71	57.22	54.59	16.62	151.21	79.74	71.47	40.12	17.75	380.91	211.35	169.56	175.55	120.50	55.05
10.17	6.46	3.71	3.54	1.08	—	—	—	—	—	141.17	66.29	74.88	86.50	50.86	35.64
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	93.34	43.18	50.16	62.67	36.01	26.66
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35.26	10.30	24.96	29.72	12.20	17.52
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.80	0.20	3.60	3.89	0.95	2.94
553.02	299.43	253.59	151.73	59.27	7863.25	5007.82	2855.43	852.30	255.08	8992.37	5516.67	3476.20	1671.88	1178.83	493.05

	1 year shoot					2 year shoot					3 year shoot				
	V_{BO} mm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³	V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³	V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³
14.8~15.3	0.07	0.00	0.07	0.00	0.02	0.12	0.01	0.11	0.01	0.04	0.22	0.02	0.20	0.02	0.06
15.3~15.8	0.13	0.00	0.13	0.00	0.04	0.24	0.01	0.23	0.01	0.09	0.43	0.03	0.40	0.04	0.12
15.8~16.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16.3~16.8	0.14	0.00	0.14	0.00	0.04	0.27	0.01	0.26	0.01	0.09	0.47	0.05	0.42	0.04	0.12
16.8~17.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17.3~17.8	0.08	0.00	0.08	0.00	0.02	0.14	0.01	0.13	0.01	0.05	0.26	0.03	0.23	0.02	0.07
17.8~18.3	0.16	0.00	0.16	0.00	0.04	0.30	0.02	0.28	0.02	0.10	0.53	0.06	0.47	0.05	0.13
18.3~18.8	0.08	0.00	0.08	0.00	0.02	0.15	0.01	0.14	0.01	0.05	0.28	0.03	0.25	0.03	0.07
18.8~19.3	0.18	0.00	0.18	0.00	0.05	0.33	0.03	0.30	0.03	0.11	0.63	0.07	0.56	0.06	0.15
19.3~19.8	0.36	0.00	0.36	0.01	0.10	0.70	0.07	0.63	0.06	0.22	1.37	0.18	1.19	0.14	0.32
19.8~20.3	0.21	0.00	0.21	0.01	0.08	0.40	0.04	0.36	0.03	0.15	0.72	0.11	0.61	0.09	0.18
20.3~20.8	0.80	0.01	0.80	0.03	0.28	1.59	0.17	1.42	0.16	0.54	2.92	0.50	2.42	0.37	0.71
20.8~21.3	0.87	0.01	0.87	0.03	0.30	1.98	0.22	1.76	0.20	0.62	3.30	0.69	2.61	0.47	0.72
21.3~21.8	1.63	0.01	1.63	0.05	0.54	3.80	0.53	3.27	0.48	1.19	1.86	1.90	4.96	1.22	1.37
21.8~22.3	2.28	0.04	2.28	0.10	0.83	5.86	0.89	4.97	0.77	1.79	11.49	3.71	7.78	2.19	2.03
22.3~22.8	3.02	0.10	3.02	0.20	1.28	7.87	1.42	6.45	1.30	2.72	17.97	6.64	11.33	4.14	3.32
22.8~23.3	3.96	0.28	3.96	0.28	1.55	10.03	2.15	7.88	2.01	3.68	24.70	11.18	13.52	6.86	4.12
23.3~23.8	6.90	0.55	6.90	0.54	2.79	19.04	4.53	14.51	4.25	7.14	41.88	19.92	21.96	12.14	6.73
23.8~24.3	8.67	0.85	8.67	0.69	3.18	12.75	3.03	9.72	2.91	5.10	34.01	16.18	17.83	9.86	5.46
Total	29.54	1.85	29.54	1.94	11.16	65.57	13.15	52.42	12.27	23.68	148.04	61.30	86.74	37.74	25.68

4 year shoot					5 year shoot					Total					
V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³	V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³	V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BO} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³
0.30	0.08	0.22	0.04	0.04	1187.41	983.74	203.67	34.97	3.48	1188.12	983.85	204.27	38.68	35.04	3.64
0.62	0.16	0.46	0.08	0.09	2187.00	1833.46	353.54	66.97	6.23	2188.42	1833.66	354.76	73.67	67.10	6.57
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.64	0.19	0.45	0.09	0.09	1891.65	1585.66	305.99	60.98	5.68	1893.17	1585.91	307.26	67.14	61.12	6.02
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.35	0.10	0.25	0.05	0.05	816.74	686.29	130.45	27.45	2.52	817.57	686.43	131.14	30.24	27.53	2.71
0.72	0.23	0.49	0.11	0.10	1495.82	1264.49	231.33	51.61	4.57	1497.53	1264.80	232.73	56.73	51.79	4.94
0.38	0.12	0.26	0.06	0.05	743.00	578.11	164.89	30.03	2.72	743.89	578.27	165.62	33.04	30.13	2.91
0.85	0.28	0.57	0.13	0.11	1242.20	1054.11	188.09	55.62	4.83	1244.19	1054.49	189.70	61.09	55.84	5.25
1.76	0.63	1.13	0.28	0.21	2260.80	1892.80	368.00	102.02	7.35	2264.99	1893.68	371.31	110.71	102.51	8.20
0.93	0.36	0.57	0.18	0.12	1017.53	840.08	177.45	46.28	4.72	1019.79	840.59	179.20	51.84	46.59	5.25
3.69	1.49	2.20	0.69	0.46	3176.00	2528.77	647.23	143.24	17.55	3185.00	2530.94	654.06	164.03	144.49	19.54
4.57	1.99	2.58	0.84	0.50	2775.18	2124.75	650.43	124.59	18.08	2785.90	2127.66	658.24	146.35	126.13	20.22
9.55	4.51	5.04	1.92	1.00	3723.38	2596.70	1126.68	189.62	39.21	3745.22	2603.65	1141.57	236.60	193.29	43.31
15.39	8.14	7.25	3.25	1.37	3098.75	1938.64	1160.11	189.02	51.26	3133.77	1951.42	1182.35	252.61	195.33	57.28
22.96	12.24	10.72	5.55	2.36	1561.34	1016.56	544.78	150.38	37.45	1613.16	1036.96	576.20	208.70	161.57	47.13
35.51	18.64	16.87	8.98	9.87	655.82	416.18	239.64	83.84	22.62	730.02	448.43	281.59	143.81	101.97	41.84
83.34	46.44	36.90	22.57	8.93	191.11	114.64	76.47	27.19	8.45	342.27	186.08	156.19	100.73	66.69	34.04
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	55.43	20.06	35.37	27.20	13.46	13.74
181.56	95.60	85.96	44.82	25.35	28023.73	21454.98	6568.75	1383.81	236.72	28448.44	21626.88	6821.56	1803.17	1480.58	322.59

第5表 二つの計算法による枝材積と生長量の比較

Table 5. Comparison of branch volumes and increments calculated by different methods ; A) annual shoot analysis, B) allometry.

		V_{BO} cm ³	V_{BI} cm ³	V_{BB} cm ³	ΔV_{BO} cm ³	ΔV_{BI} cm ³	ΔV_{BB} cm ³
S. No. 2	A) Annual Shoot Analysis	8,992.87	5,516.67	3,476.20	1671.88	1,178.83	493.05
	B) Allometry	8,885.67	5,823.16	3,062.51	—	1,144.52	—
	$\frac{A-B}{A} \times 100\%$	1.19	-5.56	11.9	—	2.91	—
S. No. 845	A) Annual Shoot Analysis	28,448.44	21,626.88	6,821.56	1803.17	1,480.58	322.59
	B) Allometry	23,105.09	18,537.22	4,567.87	—	993.74	—
	$\frac{A-B}{A} \times 100\%$	18.78	14.29	33.04	—	32.88	—

らない。第二に年軸が外観的にどこまで判定できるかである。針葉が枯死して茶褐色になっても、そのままの位置にのこっていれば問題はないが、4~5年までがせいぜいである。5年以上になり、直径がいちじるしく大きくなると茶褐色になった針葉は脱落してしまっているばあいがおおい。葉基部の残存鱗片や葉痕などで判定できないことはないが、それはせいぜい10年までくらいのものである。10年以上になるとすでに最外側の樹皮ははげおち、年軸の境は概して不明になる。今回おこなった例では、外観的な判定と年輪数からの判定はかなりよく一致していた。とくに各層の平均的な枝長をもつものについては8年~10年の年軸を正確にみわけていることがあきらかであった。

アカマツやクロマツのように年枝階のはっきりしているものについては、この方法はよりたやすく適用されるであろう。それに対して、広葉樹や針葉樹でも年軸のはっきりしないものについては、外観的な判定ができないから、適用することはかなり困難であろうことが予想される。

引用文献

- 1) 荻野和彦, ドンケオ・ラタナウォン, 堤利夫, 四手井綱英: タイ国森林の第一次生産力, 東南アジア研究, 5 (1), 121~154, (1967)
- 2) 荻野和彦, 森田正彦, 四手井綱英: 林木の枝量とその生長量(I), 京大演報, 39, 79~90, (1967)
- 3) 荻野和彦, 尼崎博正, 四手井綱英: スギ枝の年軸解析, 吉良龍夫編 森林の一次生産測定法の研究班中間報告 (昭和42年度), 28~34, (1968)
- 4) 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)
- 5) 四大学および信大合同調査班: 森林の生産力に関する研究 第Ⅲ報スギ人工林の物質生産について, 2~15, (1966)

Résumé

Quantitative characteristics of branch dimensions of *Cryptomeria japonica* D. Don were investigated at the Ashiu School Forest of Kyoto University, Kyoto, in August, 1967. From two even-aged *Cryptomeria* stands, 24 years old and about 60 years old, two sample trees, one from each stand, were selected for branch dimension analysis.

The allometric relations between two of the branch components were the subjects of examination. The branch length (L_{Bk}) has a reciprocal relationship to the branch diameter over bark just above butt (DB_{Bk}), and are given as equations (1) and (2) (Fig. 1). The relationships of the branch volume over bark (V_{BOk}) and without bark (V_{BIk}) to $DB_{BOk}^2 L_{Bk}$ were examined, taking the results of foregoing and present works into account: the former has a logarithmic linear relation covering a wider range without any segregation between stands or individuals, while the latter is considered to be a part of a gentle curve taking the former

as asymptote, also showing no evidence of segregation (Figs. 2 and 3). The logarithmic relationship between branch without bark volume increment (ΔV_{B1k}) and branch volume over bark shows segregation by individuals (Fig. 4).

These allometric relationships were utilized in the calculation of V_{BO} , V_{BI} and ΔV_{B1k} . The difference between V_{BO} and V_{BI} was deemed the branch bark volume (V_{BB}) (Table 2).

At the upper part of the branch, where the outside bark is greenish, the branch bark volume (V_{B1k}) is smaller than the branch volume (V_{BBk}); the rate of increase of the former exceeds the latter with the increase of branch age (Fig. 5). The larger the size, or the older the branch, the smaller the ratio of bark volume to branch without bark volume becomes.

The crown is divided into layers of 50cm depth along the trunk. Two to four sample branches from each layer were taken and were divided by annual shoots. The mean of annual shoot length, diameter over bark and without bark at the middle, and diameter increment of each layer were measured. (Figs. 6, 7, 8 and 9). Assuming each annual shoot to be a cylinder, volumes in terms of V_{BOij} , V_{BIij} , V_{BBij} , and annual increments, ΔV_{BOij} , ΔV_{BIij} , ΔV_{BBij} , were calculated (Table 4).

The values of the branch volumes and increments calculated by these two different methods of allometry and annual shoot analysis showed fairly good correspondence, at least in one of the two sample trees (Table 5).

The annual shoot analysis has the advantage of giving detailed branch dimension distribution in the crown. Disadvantages of the field measurements are that it is laborious and troublesome, and is limited in its application to those tree species in which the annual shoot can be distinguished by the naked eye from the outside.