林試研報 Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. No. 318, 1982　　103～127

単木間の競合関係にもとづくトドマツの成長モデル（第1報）
樹冠の発達と材積成長量

猪瀬光雄(1)

Mitsuo Inose : A Tree Growth Model based on Crown Competition in Todomatsu (*Abies sachalinensis*) (I)
The relationship between crown development and volume increment

要旨：森林収穫量の予測のために必要な情報は，今日林分収穫表や林分密度管理図など面積を単位とした資料をもとにしているが，局所的な立地条件の差異や諸被害の影響によって林分内の均質性が保持され難いので，詳細な施業効果の分析が困難であった。このため，トドマツを対象に，単木間の競合関係をもとにした人工林の成長モデルについて考究した。樹冠を，隣接木などに妨げられずに自由に成長している部分を陽樹冠，それ以下を陰樹冠として区分すると，陽樹冠形は陽樹冠長 Cl と樹冠半径 Cw との相対成長関係 $Cl=\alpha Cw^{\beta}$ で表し陽樹冠曲線と名付けた。また，隣接木との樹冠競合による樹冠の長さは，相互の陽樹冠曲線の交点を用いて，近似的に求められることがわかった。さらに枝解析の結果から，陰樹冠の長さは5m以上に達する場合もあるが，このうち，幹材積成長に関与する有効陰樹冠の長さは2m以内と推定される。また陽樹冠部分の葉量と幹材積成長量の関係は，樹冠内部の生産能率の低い葉を除いた場合には比例的関係にあるといえる。着葉量は樹冠の大きさと密接な関係があるが，過去の樹高から求めた陽樹冠長から推定した陽樹冠容積増加量 Cv と幹材積成長量 Dv との関係は $Dv=a\cdot Cv^{b}$ で表わせることがわかった。これにより，樹高成長と立木配置をもとにした林分成長のモデル構成が可能であることが明らかになった。この結果をさらに発展させて樹幹上の材積成長量の配分関係から単木間の競合条件に応じた細り形成のモデル化の検討を進めている。

I はじめに

収穫表や林分密度管理図などは，立木配置と林分構造の均質性を暗黙の前提として，林分単位の平均値あるいは生産される幹材積の総量を推定しようとするもので，いわば面積的な予測モデルといえる。

しかし，現実には，単木の占有空間の大きさ，林分構造の一様性を仮定できないような状況のもとで，将来の成長，あるいは施業効果の予測を必要とすることも多い。例えば，林内の一部がつるなどの被害のためにまとまって枯損し，疎開部が生じたとき，あるいは2条，3条等の列状植栽や列状間伐が行われた場合などである。

さらに，予測値を使用する立場からは，平均的な大きさや総量と同時に，その中の利用可能な部分の量，および質的組成の情報も必要である。

このような要請に応えるためには，立木の競争条件と林分成長との関係を単木成長の段階にかえって考えなおす必要がある。すなわち成長要因の解析によって単木成長の法則性を明らかにし，それをもとにして林分成長を再構成することが必要である。

このような観点から，近年立木配置をもとにして林分の成長過程をコンピュータ内でシミュレートし，生育条件の変化にともなう成長変動の法則性を求めようとする試みがなされるようになった。

1981年12月14日受理　　経　営—22　For. Management—22
(1) 北海道支場

Table 1.　測　定　資　料　の　概　要

Outlines of materials

調査地 Sample plot No.	調　査　場　所 Locations of stand	樹　齢 Tree age	資料木本数 Number of sample tree	調　査　項　目 Measured items
1	定山渓営林署 簾舞 Jozankei district forest office, Misumai	36～46	4	樹幹解析，枝の着生高，枝の着生方位，幹軸に対する枝の着生角度，年次別枝伸長量 Stem analysis, Height of branch above the ground, Direction of the branch extension, Branch angle toward the stem, Annual branch length increment.
2	夕張営林署 441 林班 Yuubari district forest office 441 compartment	28	3	樹幹解析，枝の着生高，枝の着生方位，幹軸に対する枝の着生角度，年次別枝伸長量，葉つき枝生重，枝解析（断面高 50 cm ごと），葉乾重（各輪生枝から 1 本ずつ採取），隣接木の樹高と立木配置（資料木 1 本につき各 4 本ずつ，計 12 本） Stem analysis, Height of branch above the ground, Direction of the branch extension, Branch angle toward the stem, Annual branch length increment, Weight of branch and leaf, Branch analysis (in each 50 cm of length), Dry leaf weight (about branches taken from in each verticillate branch at random), Locations and tree height of adjacent trees (four adjacent trees in each sample trees)
3	札幌豊平苗畑 Toyohira nursery in Sapporo	18	7	樹高，枝の着生高，枝の着生角度，年次別枝伸長量 Tree height, Height of branch above the ground, Direction of the branch expansion, Branch angle toward the stem, Annual branch length increment.
4	札幌豊平苗畑 Toyohira nursery in Sapporo	18	40	樹幹解析，枝下高，葉乾重（高さ 50 cm ごとに層別刈取り） Stem analysis, Clear length, Dry leaf weight (in each 50 cm stratum of leaf)
5	苫小牧営林署 Tomakomai district forest office	20	7	樹高，枝の着生高，枝の着生角度，年次別枝伸長量 Tree height, Height of the branch above the ground, Branch angle toward the stem, Annual branch length increment.
6	遠軽営林署 Engaru district forest offiice	37	27 75	樹幹解析 胸高直径，立木配置（樹幹解析木 27 本を中心とした隣接木） Stem analysis (sample No. 27) D. B. H of 75 adjacent trees, and their locations.

Table 2. 枝に関する諸量（夕張）
Items about branches (Yuubari)

資料木① Sample tree		幹材積＝0.19333 m³ Stem volume				幹材積成長量＝0.01594 m³ Stem volume increment		
枝着生層の高さ Branch height above the ground (m)	枝本数 Branch No.	枝基部平均直径 Mean branch basal diameter (cm)	平均枝長 Mean branch length (m)	葉つき枝生重 Fresh weight of the branch and leaf (kg)	枝材積 Branch volume ($10^{-4}m^3$)	枝材積成長量 Branch volume increment ($10^{-4}m^3$)	枝乾重量 Branch dry weight (kg)	葉乾重量 Leaf dry weight (kg)
5.0～	1	2.32	2.60	0.59	4.6	0.00	0.33	0.02
6.0～	1	2.35	2.40	0.78	4.5	0.00	0.33	0.06
7.0～	5	2.30	2.29	4.42	21.7	0.32	1.56	0.47
8.0～	11	2.28	2.25	13.93	50.9	2.87	3.67	2.17
9.0～	5	2.31	1.99	7.53	20.6	2.15	1.50	1.45
10.0～	6	2.30	1.87	8.17	20.3	3.18	1.46	1.71
11.0～	7	2.18	1.65	8.56	17.6	3.80	1.28	1.92
12.0～	5	1.93	1.30	3.13	7.1	2.07	0.53	0.73
13.0～	6	1.54	1.00	1.87	4.8	1.53	0.37	0.43

資料木② Sample tree		幹材積＝0.13536 m³ Stem volume				幹材積成長量＝0.007417 m³ Stem volume increment		
枝着生層の高さ Branch height above the ground (m)	枝本数 Branch No.	枝基部平均直径 Mean branch basal diameter (cm)	平均枝長 Mean branch length (m)	葉つき枝生重 Fresh weight of the branch and leaf (kg)	枝材積 Branch volume ($10^{-4}m^3$)	枝材積成長量 Branch volume increment ($10^{-4}m^3$)	枝乾重量 Branch dry weight (kg)	葉乾重量 Leaf dry weight (kg)
5.0～	3	2.56	2.34	3.74	15.5	0.02	1.12	0.44
6.0～	8	2.37	2.30	8.05	36.4	0.40	2.63	1.21
7.0～	11	2.36	2.13	11.74	45.2	1.31	3.26	2.10
8.0～	13	2.05	1.88	12.22	39.3	3.70	2.87	2.50
9.0～	12	1.85	1.43	8.05	22.1	4.84	1.64	1.82
10.0～	6	1.61	1.05	2.50	5.5	1.83	0.44	0.58
11.0～	7	1.17	0.69	0.82	2.4	0.24	0.21	0.20

資料木③ Sample tree		幹材積＝0.07614 m³ Stem volume				幹材積成長量＝0.00587 m³ Stem volume increment		
枝着生層の高さ Branch height above the ground (m)	枝本数 Branch No.	枝基部平均直径 Mean branch basal diameter (cm)	平均枝長 Mean branch length (m)	葉つき枝生重 Fresh weight of the branch and leaf (kg)	枝材積 Branch volume ($10^{-4}m^3$)	枝材積成長量 Branch volume increment ($10^{-4}m^3$)	枝乾重量 Branch dry weight (kg)	葉乾重量 Leaf dry weight (kg)
5.0	2	1.87	1.91	0.97	4.8	0.00	0.35	0.12
6.0～	6	1.84	1.72	3.49	13.1	0.03	0.97	0.56
7.0～	9	1.70	1.67	5.60	17.1	1.18	1.27	1.08
8.0～	6	1.51	1.32	2.63	7.4	1.67	0.58	0.58
9.0～	6	1.68	1.31	3.04	8.2	2.78	0.63	0.69
10.0～	7	1.23	0.72	1.33	2.7	0.68	0.25	0.28

単木の位置関係に基づく成長モデルは Newnham[14] の着想が最初で，また，Lin[11] は立木間の競合関係を測る尺度として生育空間指数 (Growing space index : G. S. I.) を提案した。Mitchell[12] は枝の成長法則を分析し，樹冠の拡張をもとにしたモデルを構成している。また，Bella[2] は Opie[15] の提示した立木の影響圏 (Zone of influence) の考え方を進め，隣接木の競争圏との重複度を指標とする C. I. O. (Competition Influence-zone Overlap) モデルを提示している。小林[10] はカラマツで樹高対直径の相対成長関係をもとにしたモデルを提示した。

このように，単木に基づく成長モデルの構成においては，隣接木との競合関係をいかに適切に表現するかが中心的な課題である。

ここでは，生育段階や成立条件の異なる林分からえられた幹および枝解析資料と葉量，樹高成長量の測定値をもとにして，トドマツ人工林の成長のシミュレートに必要な基礎的な関係を検討し，幹材積推定モデルの構成について考察する。

なお，本研究のとりまとめにあたりご指導いただいた真辺　昭経営研究室長および資料の収集にあたりご協力いただいた篠原久夫，小木和彦両技官に厚くお礼申しあげる。

II　資料と測定方法

この研究に使用した資料の概要は Table 1 のとおりである。

このうち，調査地 2 の資料木については着生位置の層別に枝に関する諸量を Table 2 に，樹冠各部の名称を Fig. 1 に示した。

III　樹冠の形と大きさ

1. 陽樹冠曲線

幹の成長は葉量とその同化能率に関係し，また，単木に着生する葉量は樹冠の大きさに関係すると考えられる。そこで，単木の樹冠の大きさに注目して，これがどのような因子によっ

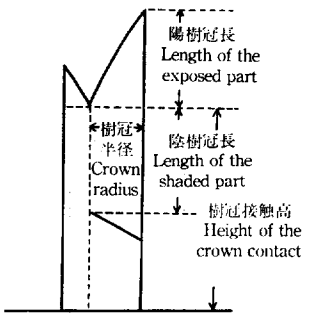
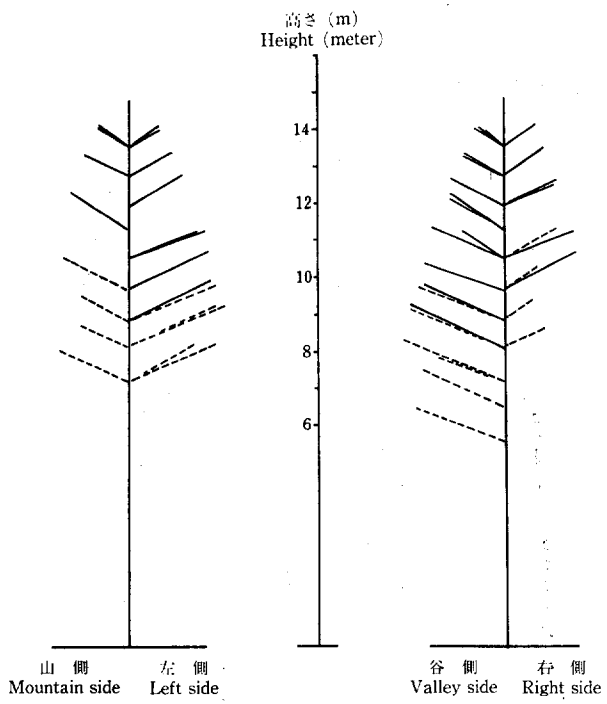


Fig. 1　樹冠各部の名称
Definition of each parts of crown.



---- 基部直径成長がゼロの枝
Branch in which basal diameter increment is zero.

Fig. 2　樹冠形 (夕張，資料木①)
Crown shape (Yuubari, Sample ①).

て変化するかを考える。このためには，まず，樹冠の形状を決定しなければならない。樹冠の形状に関する既往の研究は，スギについて梶原[6)~9)]がシュピーゲル・レラスコープを用いた一連の研究成果を報告しているが，トドマツについてはこの種の報告はほとんどない[1)4)]。

ここでは，単木の個々の枝の測定値から樹冠形を推定することとした。すなわち，枝の着生高，幹に対する枝の着生角度，枝の長さおよび伸長方向の4因子から空間における枝の配置を定め，全樹冠の形と大きさを求めることとした。Table 2 の資料木①について，枝の着生状態を上記の4因子から求めたのが Fig. 2 である。図には，資料木の山側，左側，谷側および右側の4方向に分けて枝の着生状態が示してある。方位角の区分の範囲は Table 3 のとおりである。この木の大きさと隣接木との相対関係を示す諸数値を Table 4 に掲げた。Fig. 2 および Table 4 から，樹冠の形状は隣接木との樹間距離が短く，梢頭位置の高さの差が大きいほど，その方向の樹冠の発達は抑制されていることがわかる。梶原[6)]はスギの

Table 3. 山側，谷側，左側および右側の方位角区分（傾斜上方を0°とする）
Range of directions in each side (upper side of a slope is zero degree)

方位 Direction	山側 Mountain	谷側 Valley	左側 Left	右側 Right
方位角の範囲 Range of direction	316°～45°	136°～225°	226°～315°	46°～135°

Table 4. 資料木と隣接木の大きさおよびその位置関係（夕張）
Locations of sample trees and its adjacent trees, and their tree height

資料番号と樹高 Sample tree No. and its tree height (m)	隣接木との接触方向 Direction of crown contact	隣接木の樹高 Tree height of adjacent tree (m)	樹間距離 Distance between sample tree and adjacent tree (m)	資料木を基準とした地盤高 Relative ground height as sample trees level is zero (m)	推定陽樹冠長 Estimated crown length of exposed part (m)	推定樹冠接触高 Estimated crown contact height (m)	推定樹冠半径 Estimated crown radius (m)
① 14.64	山側 Mountain side	15.8	1.70	+ 0.5	0.5	14.1	0.4
	谷側 Valley side	12.4	1.80	− 0.7	3.0	11.6	1.7
	右側 Right side	15.0	3.35	0	2.9	11.5	1.6
	左側 Left side	15.8	3.08	0	2.2	12.4	1.3
② 12.80	山側 Mountain side	13.0	1.30	+ 0.9	0.65	12.1	0.5
	谷側 Valley side	12.8	2.00	− 0.5	1.95	10.8	1.2
	右側 Right side	12.9	3.15	0	2.7	10.1	1.5
	左側 Left side	11.9	2.85	0	2.9	9.8	1.2
③ 12.35	山側 Mountain side	13.0	2.70	+ 0.5	1.5	10.8	1.0
	谷側 Valley side	11.9	1.55	− 0.7	1.7	10.6	1.0
	右側 Right side	13.0	3.00	0	2.3	10.0	1.3
	左側 Left side	13.1	2.80	0	2.0	10.3	1.2

樹冠を陽樹冠と陰樹冠に分け，陰樹冠の幅は幹軸に平行になるとしているが，トドマツでも Fig. 2 の山側の形状や，著者の報告[4] などから同様な傾向がみとめられた。

ここで，調査地 1，2，3，5 の資料木の枝のうち，伸長の抑制された枝を除いた枝を使って，Fig. 3 に示してある枝の着生角度，着生高および枝の長さから，枝端から幹軸に下した垂線の長さ *Cw* (m) と垂線の足と梢端との距離 *Cl* (m) を計算した。この値を調査地ごとにこみにして，プロットしたのが Fig. 4 である。

この図で，a は簾舞の孤立木を示し，隣接木の影響がないため，梢端からの長さは 10 m におよんでいる。一方，b は夕張の資料で，林内で競合状態にあったため，梢端からの長さは 5〜6 m と a に比べ短い。c は苫小牧営林署管内の幼齢木の場合で，曲線の傾向は前 2 者に類似している。d は豊平苗畑の資料

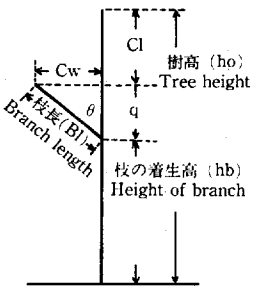


Fig. 3　枝の着生状態と *Cl* および *Cw* の計算
Calculation of *Cl* and *Cw*

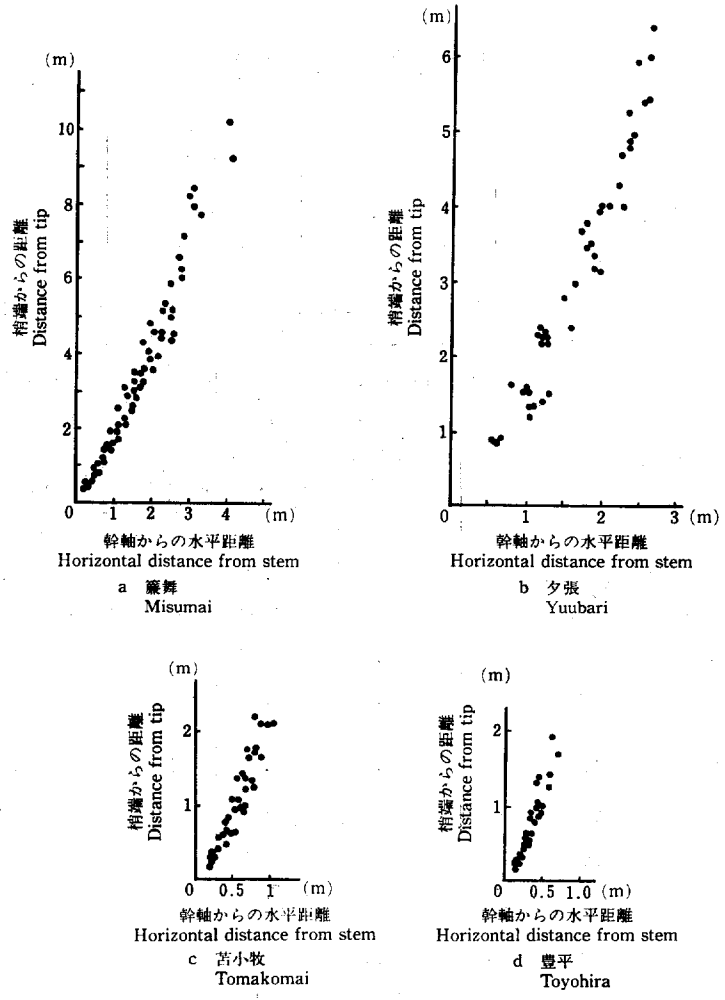


Fig. 4　樹冠半径と陽樹冠長の関係
Relationship between crown radius width and crown length of exposed to sunlight.

Table 5.　陽樹冠曲線の定数
Constants of the crown curve of exposed part

定数 Constants ＼ 資料番号 Sample No.	1. 簾舞 Misumai	2. 夕張 Yuubari	3. 苫小牧 Tomakomai	4. 札幌 Sapporo
α	1.60	1.90	2.15	2.80
β	1.21	1.11	1.25	1.30

で，植栽密度が ha 当り 16 万本と過密な生育状態を経てきたため樹冠頂部の尖りが大きい傾向を示し，梢端からの長さ Cl に対する水平距離 Cw も前3者より短い。

トドマツの樹冠は輪生枝から構成され，外形は不連続であるが，隣接木の樹冠に妨げられずに成長している枝の先端を結んだ線で陽樹冠の外形を表わすと Fig. 4 に示したようにその形はほぼ放物線とみなせる。そこで，トドマツの陽樹冠曲線を

$$Cl = \alpha Cw^{\beta} \qquad \cdots\cdots(1)$$

として係数 α, β の値を求めると Table 5 のようになる。

このように，α, β は調査地によってやや異なった値となるが，調査地 1，2，5 の間では有意差は認められなかった。しかし，調査地 3 のみは他と有意な差が認められた。これは立木密度が極端に高いためと思われ，通常の立木密度では林分間の α, β は類似するとみてよさそうである。

2. 陽樹冠の大きさ

陽樹冠形を（1）式の曲線で表わすと，陰樹冠の長さは樹冠接触高（Fig. 1 参照）から下方の葉層のなくなる高さまでの樹冠層の深さで表現できる。陽樹冠から陰樹冠への推移は漸変的であるがモデル化のため，ここでは陽樹冠の基部の高さを樹冠接触高に等しいとする。そうすると，単木の陽樹冠の大きさは隣接木との樹冠接触点から上の樹冠部分の大きさで近似できる。陽樹冠基部の高さと樹冠半径 Cw の決定の仕組みは（1）式を使って次のように表わせる。

水平距離で d だけ離れ，梢頭位置の差が h である2本の木を考える。当該木の梢端を原点にとると，両者の樹冠の相対的位置は Fig. 5 のように示せる。なお，枝が伸長して隣接木の樹冠と接触した後は枝の成長は停止するものと仮定する。（1）式が同一林分では共通と仮定して係数を一般化すると，当該木の陽樹冠の形は

$$Cl_1 = \alpha Cw^{\beta} \qquad \cdots\cdots(2)$$

で与えられ，また，隣接木の陽樹冠は，

$$Cl_2 = \alpha(d - Cw)^{\beta} + h \cdots\cdots(3)$$

と表わされる。ただし，h は当該木の梢端の高さと隣接木の梢端の高さとの差である。樹冠の接触点では Cl_1 と Cl_2 は等しくなるから（2）式と（3）式を等しいとおいて，Cw について解くと，樹冠の接触点での樹冠半径が決定できる。この Cw を（1）式に代入して，梢端からの距離 Cl がきまり，樹冠接触高は樹高と Cl の差で求まる。

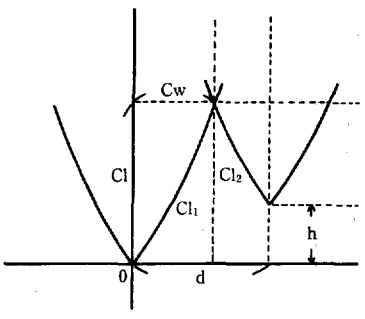


Fig. 5　樹冠接触高の決定
Determination of crown contact height.

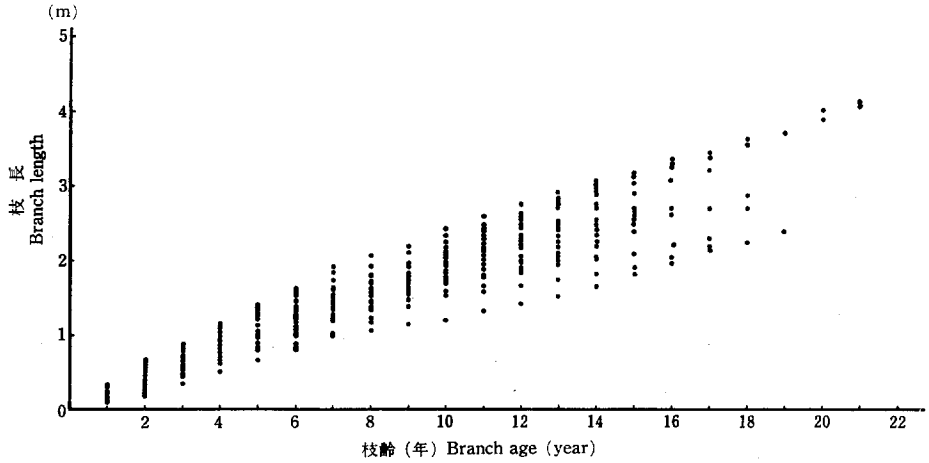


Fig. 6 枝の成長（簾舞，孤立木）
Branch growth (Isolated tree in Misumai).

このように，陽樹冠曲線を用いることによって，閉鎖林分内の単木の陽樹冠の大きさが隣接木との地盤高を含めた梢頭の高さの差と位置関係から推定できる。

3. 枝の伸長とその経年変化

前節では隣接木との樹冠接触高で陽樹冠と陰樹冠を区分したが，ここで，孤立木と林内木の枝の成長解析の資料から陰樹冠の形成過程を検討する。

Fig. 6 は調査地1で，ほぼ孤立状態で生育した46年生の木について，すべての枝の伸長量を枝の年齢（以後，枝齢と略記）に対してプロットしたものである。図によれば，枝の長さは枝齢の若いうちからかなりの変動幅をもっている。また，枝齢が高くなるにしたがい，枝の長さ（以後，枝長と略記）の最高と最低の差が開いてくる。しかし，輪生枝の中から最長のものを選んで，枝齢別の枝長との関係を求めると，

$$Bl = 0.326T^{0.814} \qquad (r = 0.99) \qquad \cdots\cdots(4)$$

で表わされることが認められる。

ここで，Bl は枝長，T は枝齢である。

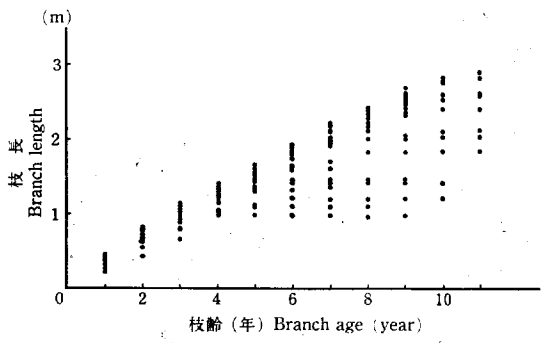


Fig. 7 枝の成長（夕張，資料木①）
Branch growth (Yuubari, Sample ①).

（4）式によれば，枝齢3～4年位までの年平均枝伸長量は約30cmであるが，枝齢20年では17cmとなり，枝齢がすすむにしたがい枝の年伸長量は漸減の傾向をとる。しかし，枝の伸長は枝齢20年でもなお続いている。このように，枝の伸長が隣接木の影響を受けない孤立木の場合，枝齢の増加にともなって毎年の伸長量は減少するものの，伸長傾向は持続する。

一方，林内木の枝の成長は次のようである。Fig. 7 は Table 2 の資料木①につい

て，上と同様に累積枝伸長量を枝齢に対してプロットしたものである。この木の隣接木との位置関係を山側と谷側についてみると，Table 4 に示すように山側の隣接木までの距離は 1.7 m，谷側の隣接木までは 1.8 m と変わらないが，梢頭位置の差は山側では1.66 m 隣接木の方が高く，逆に，谷側では資料木の方が 2.94 m 高い。このため，前節の（2）および（3）式を利用してえられた陽樹冠長は山側で 0.5 m，谷側で 3.0 m となり，Fig. 2 で示したように山側と谷側では樹冠の発達が著しく異なる。Fig. 7 で，枝齢がすすむにつれて，同一枝齢の枝長間の変動が大きくなっているのは，このように，伸長方向の隣接木の樹高と樹間距離によって枝の伸長の仕方が規制されるためと考えられる。この確認のため，Table 4 の資料木①について，輪生枝の方向を山側，谷側，右側および左側に区分して枝の伸長傾向を比較した。

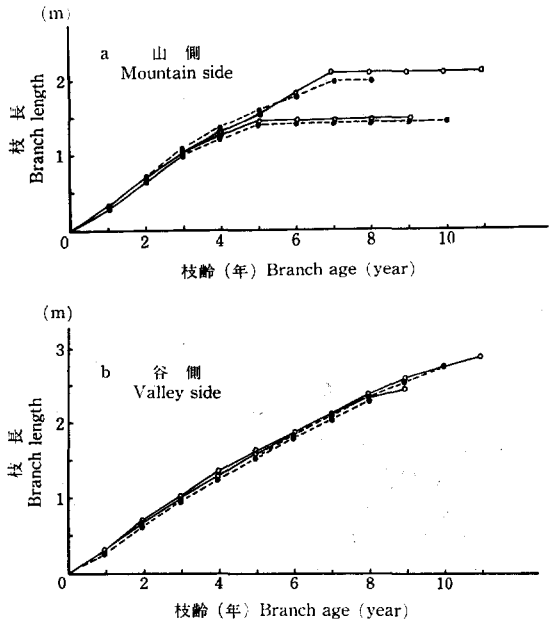


Fig. 8　樹冠接触方向別枝成長曲線
（夕張，資料木①）
Branch growth curves in each crown direction (Yuubari, Sample ①).

上記4区分のうち，山側と谷側の樹冠下部の枝各4本の過去伸長を枝齢に対してプロットしたのが Fig. 8 である。この図の a に示してある山側の場合，枝齢3年までは順調な伸びであるが，それ以後は枝の伸長が徐々に減少し，5年以後は伸長が完全に停止するものが生じている。そして，いずれもある枝齢になると伸長が停止する。一方，b に示してある谷側では，枝齢8年まではいずれも順調な伸長を示している。その後，伸長速度は減少するが伸長は持続している。

このように，枝の伸長はその伸長方向の隣接木との梢頭の位置の高さの差と樹間距離によって影響され，伸びようとする方向の生育空間が隣接木によって制限されると，伸長の低下や，停止が生ずる。その結果，単木の樹冠形は前節で考えたように，隣接木に対する位置および梢端位置の相対関係によってきまることになる。

Ⅳ　枝の直径成長と断面積成長

前章までは，樹冠の形と大きさおよび樹冠を構成する枝の伸長特性について，隣接木との位置関係から説明してきたが，本章では，枝の基部直径成長について考察することとする。

1.　枝基部直径と枝材積

葉によってえられる同化生産物は枝を通って幹に蓄積され，同時に枝にも同化生産物が蓄積される。この場合，枝材積成長量の多い枝ほど幹材積成長への寄与も大きいと予想される。そこで，まず，枝の伸長と枝基部直径成長との関係を調べた。

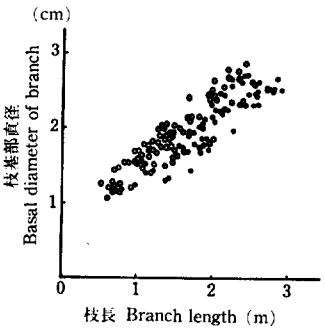
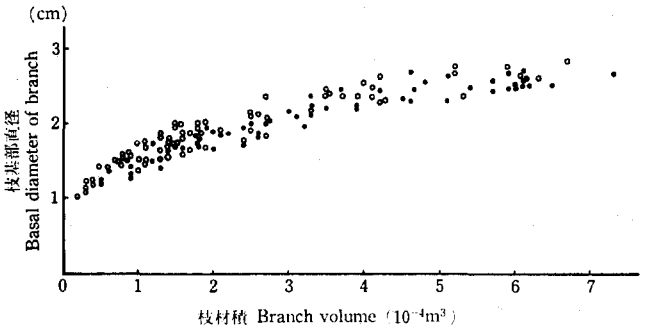


Fig. 9　枝長と枝基部直径（夕張）
Relation between branch length and branch basal diameter (Yuubari).



○：枝基部直径成長の認められるもの
Branch in which the basal diameter increment is recognized.
●：枝基部直径成長がゼロのもの
Branch in which the basal diameter increment is zero.

Fig. 10　枝材積と枝基部直径（夕張）
Relationship between branch volume and branch basal diameter (Yuubari).

Fig. 9 は調査地2の3本の資料木について，枝の長さ Bl (m) と枝基部直径 Bd (cm) との関係をみたものである。図からわかるように，同じ枝長に対しては基部直径成長が認められる白ぬきの点が上方に，認められないことを示す黒丸が下方に集中している。特に，2.5～3 m と枝長の長いサンプルでは黒丸が多く，枝長に比べて枝基部直径が小さい。このことは，枝が伸長しても基部の直径成長が減少または停止する場合のあることを示している。白ぬきの点はほぼ直線で

$$Bd = 0.5 + 0.9Bl \qquad \cdots\cdots(5)$$

と表わせる。したがって，枝基部の直径成長が停止していない枝については（5）式によって，枝の長さから枝基部直径が推定できる。また，枝材積 Bv (10^{-4} m^3) と枝基部直径との関係は Fig. 10 に示すようになる。ここでも，白ぬきの点は比較的図の上方を占めている。枝の伸長の初期は枝材積に比例して枝基部の直径が増加するが，枝材積が大きくなるとともに直径の増加速度が減少し，枝材積が 4×10^{-4} m^3 に達するあたりから，枝材積が増加しても，枝基部直径は増加しなくなる。これは，枝材積成長量の部位別配分が枝の成長経過によって変化することを示している。

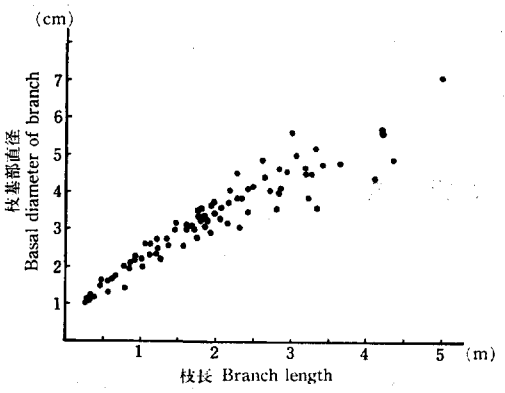


Fig. 11　枝長と枝基部直径（簾舞）
Relationship between branch length and branch basal diameter (Misumai).

Fig. 11 は調査地1の孤立木の枝の資料について，同様に枝の長さと枝基部直径をプロットしたものである。同じ枝長では，調査地2に比して枝基部直径の大きいことが明らかである。つまり，枝長が2 m のときの夕張の白ぬきの点では約2.5 cm であるが孤立木では約3.5 cm と約1 cm の差が生じている。

以上のことから，樹冠下部の枝の基部直径の大

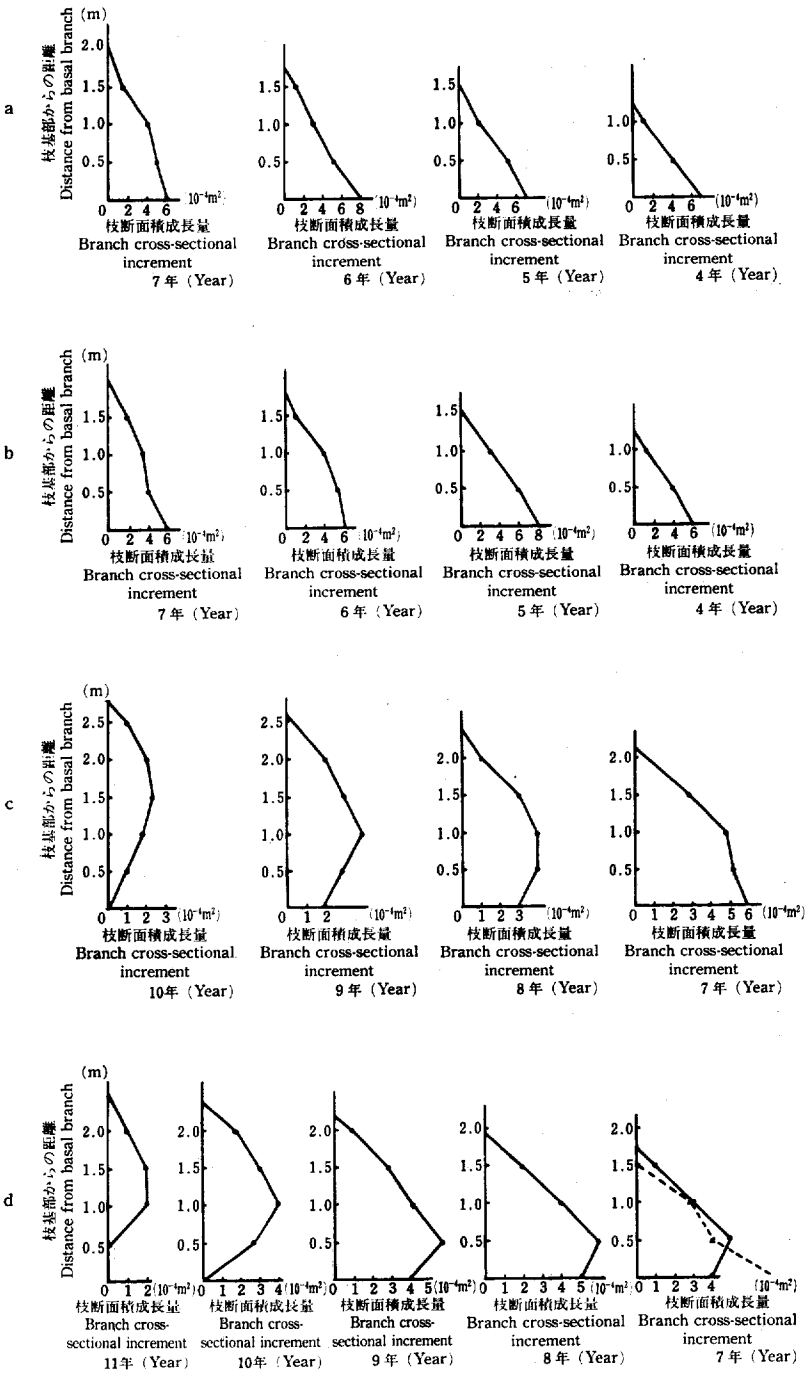


Fig. 12 枝の断面積成長量の配分の年次変化

Annual transition of distribution of branch cross-sectional area increment.

きさは孤立木か林内木かによって異なり，さらに，林内木では枝の伸長あるいは枝材積の増加にもかかわらず，基部直径が増加しない場合が生ずる。次にこの原因について考えてみよう。

2. 枝の断面積成長量と断面高別配分

枝基部直径の成長は枝に配分される同化生産物によって生ずる。そこで，枝材積の配分過程を枝基部からの距離別の枝断面積成長量の配分のちがいから検討した。

Fig. 12 は調査地2の資料木のうち着生位置の異なる4本の枝について，年次別に枝基部から 50 cm ごとの枝断面積成長量（横軸，10^{-4} m²）をプロットしたものである。

図の a と b はいずれも樹冠のやや上部の枝で，（最近1年間の枝材積成長量/枝材積）×100 で定義した枝材積成長率はそれぞれ 15.2% と 17.8% である。枝齢はともに7年で，過去4年までの測定値を図示してある。枝齢4年では，a，b とも基部に近いほど断面積成長量の多い三角形状の配分になっている。枝齢がすすむと，枝基部への配分はやや減少するが，三角形状の配分傾向は変わらない。しかし，この配分傾向は枝の着生位置によって変化する。図の c と d はともに樹冠下部の枝の場合で，すでに枝基部での直径成長がゼロになっている。枝齢はそれぞれ10年と11年である。c の場合，枝齢7年までは基部に近いほど断面積成長量が多いが，枝の基部からの長さが 0.5～1.0 m の間ではほぼ等しい。8年から9年と枝基部への配分が徐々に減少し，10年では基部への配分がゼロになっている。d の場合，点線で示した枝齢6年の段階では断面積成長量は基部に近いほど多く配分されている。しかし，枝齢7年では枝基部への配分が減少しはじめ，8，9年と減少傾向が続いて，10年で基部への断面積成長量の配分がゼロになる。枝齢11年では基部から 0.5 m 上の部位でも断面積成長がゼロになっている。

このように，枝の基部直径の成長は枝の着生位置によって変化するが，樹冠競合下にある枝では，枝の中間部で直径成長量が大きく，基部での成長は停止する傾向を示す。これが，さきに Fig. 10 で述べた，枝材積が増加しても枝の基部直径が増加しない理由である。

次に，基部の直径成長量がゼロの枝の枝材積成長率の本数分布を調査地2の3本の資料木について調べた結果を Table 6 に示した。

Table 6 によると，枝基部の直径成長が停止し，かつ，枝材積成長率もゼロになっている枝は全枝数の約 50% である。したがって，枝材積成長があっても枝基部の直径成長が停止している枝も約 50% を占めることになる。このうち，8%以上の枝材積成長率がありながら既に枝基部直径成長の停止した枝が5%もあることがわかる。

Table 6.　枝材積成長率の分布
Distribution of the rate of the branch volume increment

枝材積成長率（%） Rate of the branch volume increment	0	～2.0	2.01～4.0	4.01～6.0	6.01～8.0	8.01～	計 Total
本数 Number	32	9	9	8	0	3	61
%	52.4	14.8	14.8	13.1	0	4.9	

V　枝材積成長率と葉の枝生産能率および陰樹冠の長さ

本章では，樹冠の幹材積成長への寄与を考えるために，樹冠の生産機能と陰樹冠の長さについて考察する。

1.　葉重量と枝の着生位置の関係

Table 1 の調査地2のサンプル枝について，梢端から枝の着生点までの距離 Lc（m）と葉乾重比 Lr（%）：（葉重量/枝生重）×100 をプロットすると Fig. 13 のようになる。この図から下層の枝ほど単位枝材積あたりの葉量が少なくなることが何かがわれ，この関係は次式で表わせる。

$$Lr = 21.56 + 1.582Lc - 0.407Lc^2 \quad (R = 0.93) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

（6）式をもとに各枝につく葉重量を推定し，以下の分析に用いる。

2.　枝材積成長率と葉の枝生産能率

枝材積成長率と葉の枝生産能率すなわち単位葉重量あたりの最近1年間の枝材積成長量は単木の幹材積成長の仕組みを考える上で重要な因子である。そこで，前章と同じ資料木について，枝材積成長率と葉の枝生産能率を全ての枝について計算し，これを枝の着生層別にまとめて Fig. 14, 15 に示した。

Fig. 14 にみられるように，枝の材積成長率は樹冠下部の0%から上層に進むにしたがって増加し，30数%でピークを示す。しかし，曲線の立ちあがりの勾配は資料木によって異なっている。すなわち，資料木①ではゼロでない枝成長率のあらわれる層から梢端までの長さは7～8 m であるが，資料木③では約5 m と短い。Fig. 15 は枝の着生層別の葉の枝生産能率である。この場合は，資料木①の着生高8～11 m の間で曲線傾向に乱れが生じている

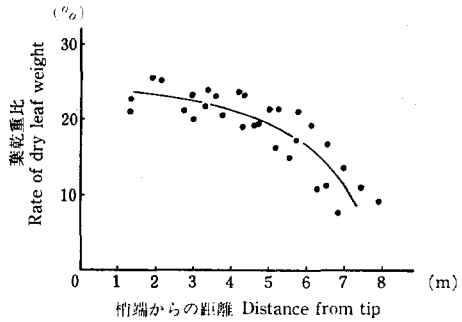


Fig. 13　梢端から枝着生点までの距離と葉乾重比の関係
Relationship between distance from the tip and rate of dry leaf weight.

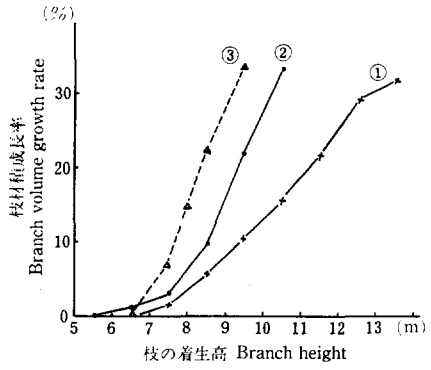


Fig. 14　枝の着生高と枝材積成長率
Branch volume growth rate by the branch height.

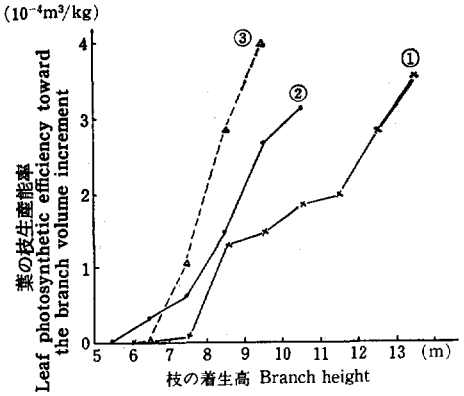


Fig. 15　枝の着生高と葉の生産能率
Leaf photosynthetic efficiency toward the branch volume increment by the branch height.

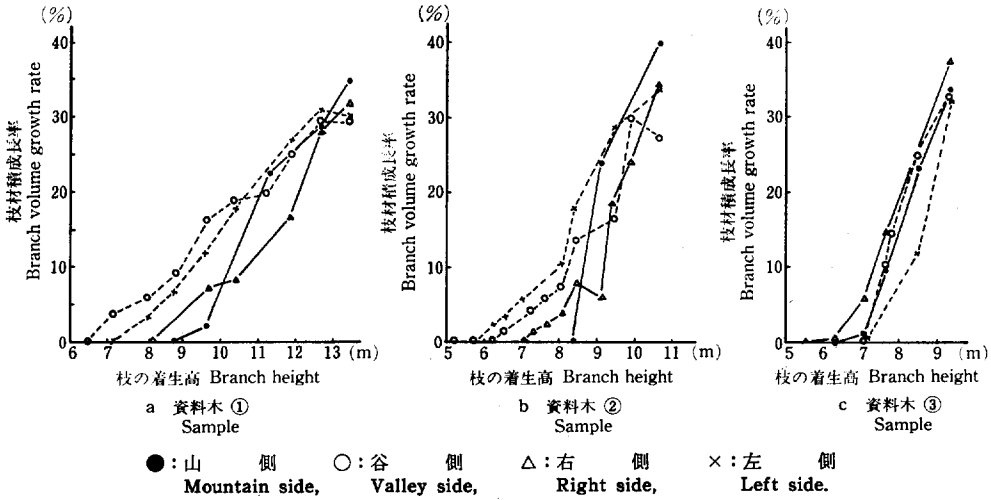


Fig. 16　枝材積成長率の着生高，接触方向別の変化（夕張）
Transition of branch volume growth rate by branch height and direction of crown contact (Yuubari).

が，Fig. 14 の枝材積成長率の場合と全体的には同一傾向である。そこで，以下では枝材積成長率を中心に分析をすすめる。

陽樹冠の長さが隣接木との相対的位置および高さの関係で方向ごとに異なることが先の検討の結果で示されたので，枝材積成長率についても Fig. 16 に示すように方向別に分析をおこなった。

資料木①では，ゼロでない枝材積成長率の現われる層の高さを方向別にみると，陽樹冠の短い山側では最高の約 9 m で，陽樹冠の最も長い谷側では地上 6 m の高さでもまだ枝の肥大成長が認められる。資料木③ では Table 4 に示すように，山側の競合木までの樹間距離が大きいため，山側の樹冠も他の方向と差のない拡張をしている。このため，枝材積成長率曲線の立ちあがりの勾配は方向間であまり差がない。一方，資料木②では山側の樹冠が圧迫されているため，山側は資料木①と同じ傾向を示し，枝材積成長率曲線の立ちあがりが急である。

次に，樹冠のうち幹材積生産に直接関与する部分を推定するために，陰樹冠の生産能率を調べた。

3. 枝の生産能率からみた陰樹冠の長さ

陰樹冠の長さは陽樹冠の基部から着葉部分の最下部までの深さとする。しかし，葉のある層のすべてが成長に寄与しているわけではない。ここでは，生産に関係する有効陰樹冠の長さを分析するため，前節の結果をもとにして，樹冠接触高からの深さで，有効陰樹冠を次の 6 通りの場合について考える。なお，藤森[8] は枝基部での年輪が欠除している枝は幹の成長に対する貢献度をゼロとしている。

i）　着葉層の最下部までの長さ
ii）　枝材積成長率が 0 %でない枝の先端まで
iii）　枝材積成長率が 5 %以上の枝の先端まで
iv）　枝材積成長率が 10% 以上の枝の先端まで
v）　枝材積成長率が 15% 以上の枝の先端まで
vi）　枝基部の直径成長が認められる枝の先端まで

ここで，それぞれの場合の陰樹冠の下端の高さは次のようにして求められる。

調査地2の3本の資料木について，輪生枝の平均着生角度 p（度）を梢端から輪生枝の着生点までの距離 l（m）との関係で示すと，

$$p = 52.2 + 2.74l \qquad \cdots\cdots(7)$$

となって，下部の枝ほど着生角度が大きくなる。各資料木について，Ⅲ-2の方法で求めた隣接木との接

Table 7. 枝材積成長率のちがいによる有効陰樹冠の長さ

Length of the shaded part of crown in each difference of branch volume growth rate

(m)

資料木番号 Sample tree No.	接触方向 Directions of crown contact	(i) 総陰樹冠長 Total length of the shaded part of crown	(ii) 枝材積成長率がゼロでない陰樹冠の長さ Length of the shaded part in which the branch volume increment is recognized	(iii) 枝材積成長率が5%以上の陰樹冠の長さ Length of the shaded part in which the branch volume growth rate is above 5%	(iv) 枝材積成長率が10%以上の陰樹冠の長さ Length of the shaded part in which the branch volume growth rate is above 10%	(v) 枝材積成長率が15%以上の陰樹冠の長さ Length of the shaded part in which the branch volume growth rate is above 15%	(vi) 枝基部直径成長がゼロでない陰樹冠の長さ Length of the shaded part in which the branch basal diameter increment is recognized
①	山側 Mountain	6.84	4.32	2.67	2.67	2.67	2.67
	谷側 Valley	4.68	3.94	3.94	2.13	1.24	2.13
	右側 Right	2.84	1.19	1.19	0.32	0.32	0.32
	左側 Left	4.88	3.87	3.11	2.24	1.39	3.11
平均 Mean		4.81	3.33	2.73	1.84	1.40	2.06
②	山側 Mountain	5.53	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
	谷側 Valley	5.18	5.18	2.64	2.14	1.71	1.71
	右側 Right	3.31	2.18	0.87	−0.20	−0.20	−0.20
	左側 Left	3.62	3.12	2.29	1.14	−0.07	1.64
平均 Mean		4.41	3.30	2.13	1.45	1.04	1.46
③	山側 Mountain	5.00	3.28	1.75	1.75	1.75	1.74
	谷側 Valley	3.99	2.47	2.47	2.47	1.54	2.32
	右側 Right	4.09	2.35	2.35	1.73	−0.10	1.73
	左側 Left	3.61	1.14	1.14	1.14	0.26	1.14
平均 Mean		4.17	2.31	1.93	1.77	0.86	1.73
総平均 Total mean		4.46	2.98	2.26	1.69	1.10	1.77

注：マイナスの値は陽樹冠部分に入ったことを示す。

Negative figure means that it is a part of exposed of crown.

触方向別の推定樹冠接触高を（1）式に代入し，Cw について解くと，方向別の推定樹冠半径が求められる。次に，梢端から接触方向および先に定義した 6 通りの有効陰樹冠の最下部の枝の着生位置までの長さを（7）式に代入すると，それぞれの有効陰樹冠の最下部の枝の着生角度 θ が求まる。したがって，各区分の最下部の枝の先端の地上高は，この着生角度と前述の方法で求めた推定樹冠半径を用い，

$$\text{先端の地上高} = Cw \cdot \cot\theta + \text{枝の着生高}$$

として求められる。結局，それぞれの有効陰樹冠の長さはこの値を接触方向別の推定樹冠接触高から差し引いたものとなる。この計算結果を Table 7 に示した。

これによると，陰樹冠の長さは 5 m 以上に達する場合もあるが，およそ 4～5 m で，区分 ii) の有効陰樹冠の長さは約 3 m，また，iii) の枝材積成長率が 5 % 以上では 2～3 m，iv) までは約 2 m，v）まではおよそ 1 m と最も短く，vi) の枝基部直径成長がゼロでない場合は約 2 m となることがわかる。

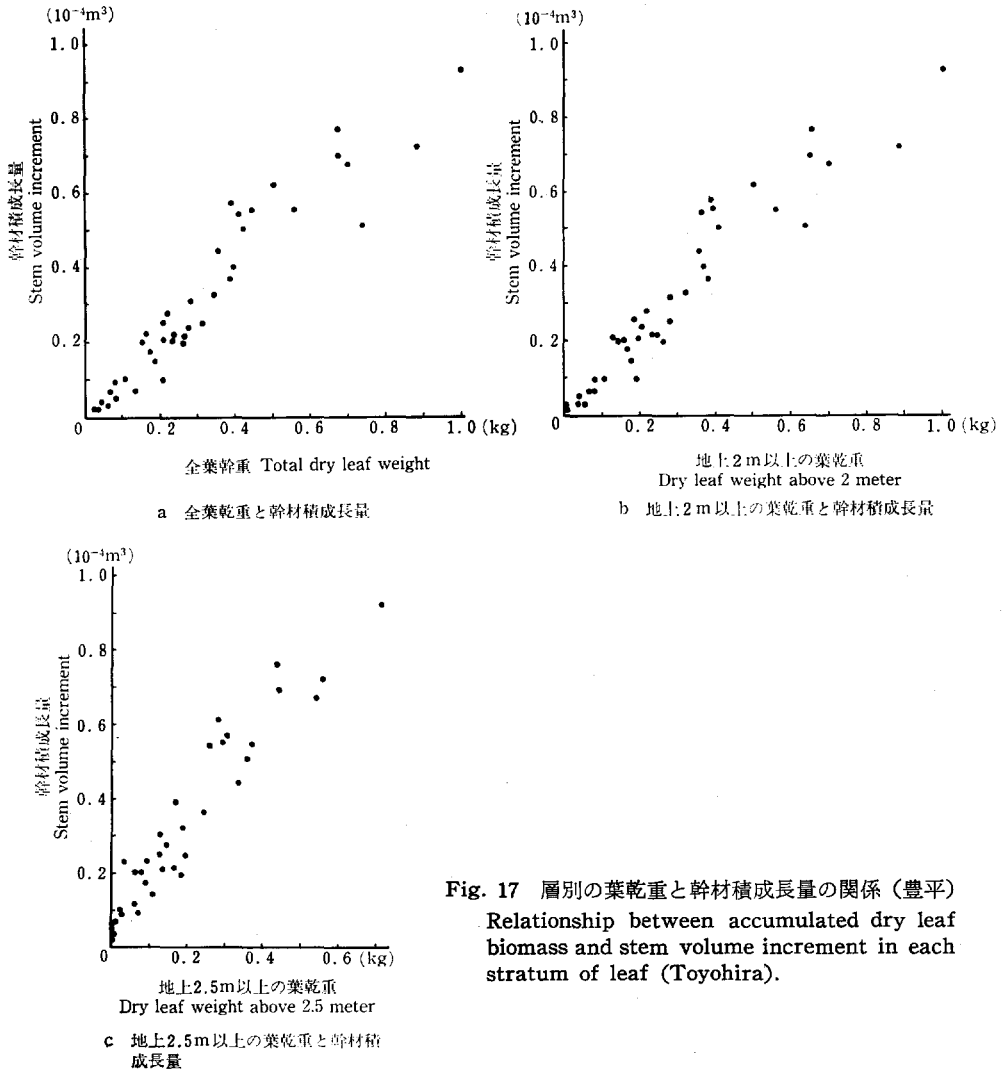


Fig. 17　層別の葉乾重と幹材積成長量の関係（豊平）
Relationship between accumulated dry leaf biomass and stem volume increment in each stratum of leaf (Toyohira).

VI　積算葉乾重と幹材積成長量

この章では，葉の幹材積成長に対する寄与を知るために葉量と幹材積成長量の関係ををみてみた。

Fig. 17 の a～c は調査地4における40本の資料木について葉重量と最近1年間の幹材積成長量の関係を示したものである。なお，着葉層の範囲は 0.5～4.5 m であり，40本の枝下高の平均値は 2.13 m である。

a は単木の全葉乾重と最近1年間の幹材積成長量の関係で，葉重量が少ない間は葉重量が増すにしたがい幹材積成長量も比例的に増加するが，葉重量が 0.5～0.6 kg をこえると単位葉重量あたりの幹材積成長量が減少する傾向がみられる。b は枝下高の平均値が 2.13 m であることから，地上 2 m を樹冠接触点と考え，これから上の葉重量 Lw と幹材積成長量 Dv との関係を示したもので，その傾向は，

$$Dv = 0.028 + 0.957Lw \quad (r = 0.95) \quad \cdots\cdots(8)$$

のように直線式で表わされる。また，図の c は，b より 0.5 m 高い 2.5 m 以上の葉重量と幹材積成長量の関係で，この場合にも

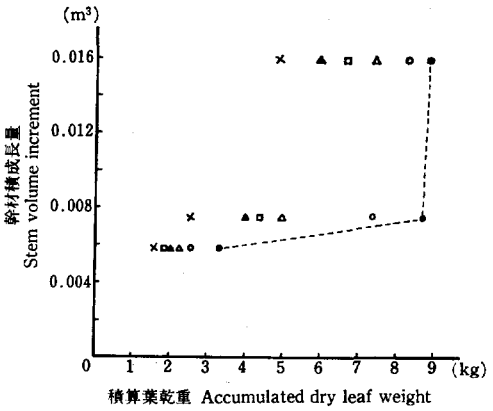
$$Dv = 0.070 + 1.132Lw \quad (r = 0.96) \quad \cdots\cdots(9)$$

と直線式で表わすことができるが，縦軸の切片が $0.07 \times 10^{-4}\ m^3$ となる。これは，a の場合とは逆に生産に寄与している葉を除いたためと思われる。Mitchell[18] は Douglas-fir について全葉重量と幹材積成長量が直線関係にあると述べているが，トドマツではある高さ以上の葉量をとれば，そのような直線関係が成立するものと考えられる。

次に，調査地2の3本の資料木について葉乾重と幹材積成長量の関係を示すと Fig. 18 のようになる。ここで，V-3 に述べた区分にしたがって積算葉乾重を計算し，どの区分による積算葉乾重が幹材積成長量と最も関連が深いかを検討した。

資料が3点と少ないが図からおよそ次のことが観察される。

全葉乾重と幹材積成長量の関係はバラツキが大きく一定の傾向を示さない。これは，葉量のうち成長に寄与しない部分が含まれることを示し，特に資料木②ではその傾向が強い。枝の成長率が5



i) ●：全葉乾重
Total dry leaf weight.

ii) ○：枝材積成長率が認められる高さ以上
Accumulated dry leaf weight above the branch in which the branch volume increment is recognized.

iii) △：枝材積成長率が5%以上
Accumulated dry leaf weight above the branch in which the branch volume increment rate is 5 percent and over.

iv) ▲：枝材積成長率が10%以上
Accumulated dry leaf weight above the branch in which the branch volume increment rate is 10 percent and over.

v) ×：枝材積成長率が15%以上
Accumulated dry leaf weight above the branch in which the branch volume increment rate is 15 percent and over.

vi) □：枝基部直径成長がゼロでない
Accumulated dry leaf weight above the branch in which the branch basal diameter is recognized.

Fig. 18　枝材積成長率別積算葉乾重と幹材積成長量の関係（夕張）
Relationship between accumulated dry leaf weight and stem volume increment in each difference of branch volume growth rate (Yuubari).

%をこえるものからは，各資料木を表わす点は徐々に直線傾向に近づく。さらに，枝基部の直径成長がゼロでない場合および枝材積成長率が10%以上の場合をとると両者の関係はほぼ原点近くを通る直線とみなせる。枝材積成長率が15%以上では最も直線傾向が明瞭であるが，原点からの離れが大きい。したがって，Ⅳ-2，Ⅴ-3などで述べた結果と考え合わせて，幹材積成長に寄与しうる有効陰樹冠は枝基部直径成長が認められる部分，あるいは枝材積成長率が10%から上の部分が一応の目安になると推定される。

Ⅶ　樹冠容積と幹材積成長量

前章では，単木の着葉量と最近1年間の幹材積成長量との関係を調べ，葉量と幹材積成長率が比例関係を示すような樹冠部分を枝の成長状態から識別できることを示した。

ところで，着葉量はその骨格となる樹冠の大きさに関係すると思われるが，ここでは，樹冠のうち，同化生産の大部分をになう陽樹冠の大きさと幹材積成長量の関係を調べた。なお，樹冠の外形は毎年の樹高および枝の伸長によってつくり出される層構造の重ね合わせと考えられる。また，トドマツの葉の寿命は5年内外とされているので光合成能力は樹冠の内側の古い層ほど低くなると考えられる。枝下の位置を現在に固定して，Fig. 19 に示すように，過去1年から5年までの期間の樹冠容積増加量を計算し，その大きさと幹材積成長との関係を検討した（Fig. 19-(2) 参照）。

ここで，陽樹冠部分の樹冠容積は次の手順で計算できる。

（1）式を Cw について解いて，

$$Cw = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} \cdot Cl^{\frac{1}{\beta}}$$

がえられる。ここで，$a = \alpha^{-\frac{1}{\beta}}$，$b = \frac{1}{\beta}$ とすると，

$$Cw = a \cdot Cl^b \qquad \cdots\cdots(10)$$

となるので，樹冠を（10）式の回転体（Fig. 19-(1) 参照）と考えると，その体積 Cv は，

$$Cv = \pi \int Cw^2 dCl = \frac{\pi a^2}{2b+1} Cl^{2b+1} \qquad \cdots\cdots(11)$$

と表わされる。

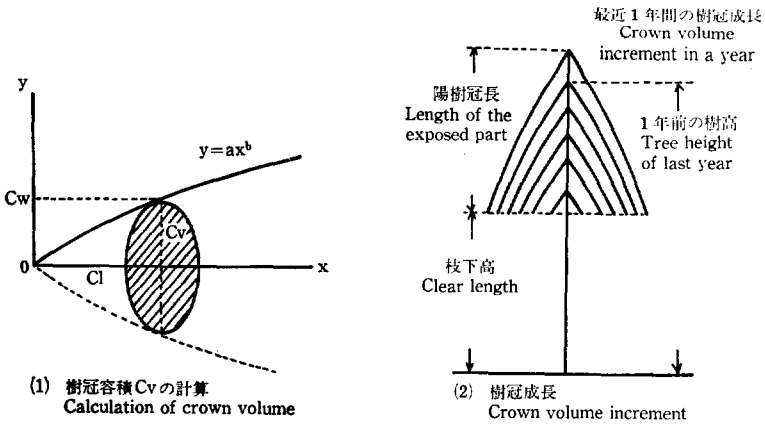


Fig. 19　樹冠容積の計算と樹冠増加量
Calculation of crown volume and crown volume increment.

ここで，調査地4の40本の資料木の樹高，過去樹高および枝下高の測定値から（11）式を用いて，全陽樹冠容積および過去3年分までの陽樹冠容積増加量を求めた。ただし，陽樹冠長は樹高から枝下高を引いた値で近似し，α，β は Table 5 に示す調査地3の値を用いた。陽樹冠容積増加量と最近1年間の幹材積成長量の関係は Fig. 20 の a～d のようになる。

a は最近1年間の樹冠容積増加量と幹材積成長量の関係で，直線傾向ではあるが変動がやや大きい（$r=0.90$）。b は最近2年間の樹冠容積増加量と幹材積成長量の関係で，より直線的傾向が強い（$r=0.95$）。c は最近3年間の樹冠容積増加量と幹材積成長量の関係で，b と同様直線的傾向がみられる（$r=0.94$）。d は全陽樹冠容積と幹材積成長量の関係で，樹冠容積が大きくなるにしたがい，単位樹冠容積あたりの幹材積成長量が減少する。これは，光合成能力の低い葉層および葉のない層を含めたためと考えられる（$r=0.92$）。

このように，豊平苗畑の資料では過去3年間の陽樹冠の増加量が最近1年間の幹材積成長量と密接な関係のあることを示している。

さて，これまでは陽樹冠の大きさが葉量とパラレルな関係にあるとの予想のもとに論議を進めてきたが，VI で検討したように，下層の葉を除いた，地上2m以上の葉量と最近1年間の幹材積成長量が直線式で近似でき，また，本章での検討で最近3年間の樹冠容積増加量と幹材積成長量間にも直線関係が示された。そこで，最近3年間の樹冠容積増加量と地上2m以上の葉量との関係をプロットすると Fig. 21 のようになる。

この図から，変動はあるが傾向は直線的であり，下部の光合成能力の劣る葉を除いた葉量と過去3年間

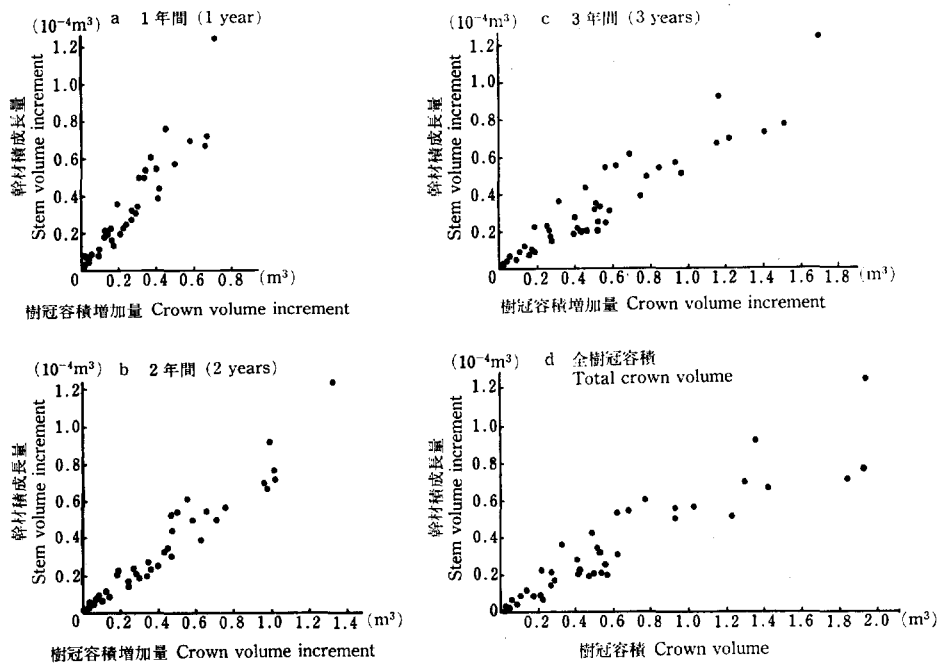


Fig. 20 樹冠増加量と幹材積成長量の関係
Relationship between crown volume increment and stem volume increment.

の陽樹冠容積増加量が直線関係にあることがわかる。

次に，調査地 6 における 27 本の樹幹解析木について，(1)，(2)，(3) および (11) 式から立木配置をもとにして計算される陽樹冠容積と最近 1 年間の幹材積成長量の関係を調べた。

ここで，樹幹解析木以外の 75 本の隣接木については，樹高が測定されていないので，これらの樹高は樹幹解析木からえられた樹高曲線式で推定した。

樹冠接触方向別の陽樹冠長は Ⅲ-2 の (2)，(3) 式によって計算される。また，この陽樹冠長に対応する樹冠容積は (11) 式で計算されるので，1 本の陽樹冠の大きさは，接触方向別の陽樹冠長に応じた陽樹冠容積の合計値を接触本数で割った値とする。ただし，α, β は Table 5 のなかで，陽樹冠長の長いデータを含む調査地 1 のものを用いた。これらの陽樹冠容積の計算値と幹材積成長量の 関係は Fig. 22 の (1)～(5) のようになる。

Fig. 22-(1)，(2) は当年および過去 2 年間の 陽樹冠容積増加量と 最近 1 年間の幹材積成長量の関係を示したもので，陽樹冠容積増加量の大きいところで成長量がやや頭打ちになる傾向はあるが，全体としては直線的傾向とみなせる (いずれも $r=0.95$)。しかし，3 年間以上の陽樹冠容積増加量と対比した場合には，Fig. 22-(3)，(4) および (5) に示すように，陽樹冠容積増加量がある限度をこえると幹材積成長量は頭打ちになる。このため，過去 3 年間以上の陽樹冠容積増加量と関係づけて幹材積成長量を推定しようとする場合には，曲線回帰が必要である。そこで，Fig. 22-(1) および (2) の場合を直線式，

$$Cv = a \cdot Cv$$

(3)～(5) を放物線式，

$$Dv = a \cdot Cv^b$$

で表わすと，係数は Table 8 のようになる。

ここで，Dv は幹材積成長量，Cv は樹冠容積増加量である。

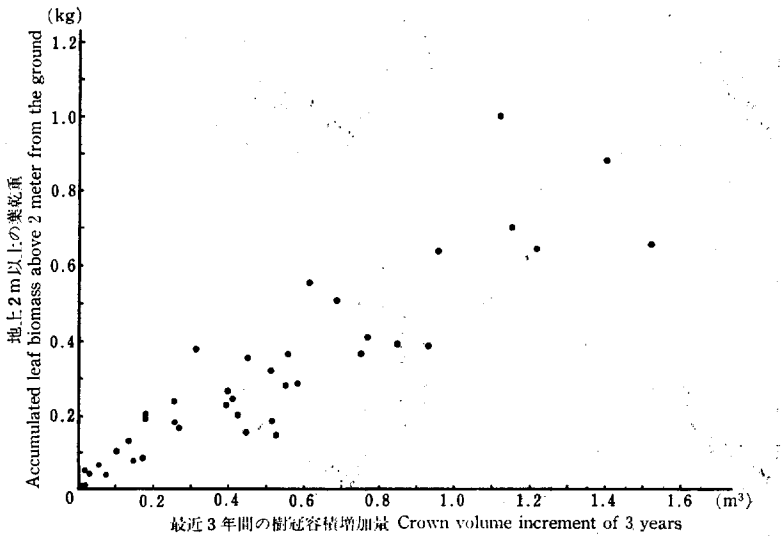


Fig. 21　3 年間の樹冠容積増加量と地上 2 m 以上の葉乾重の関係 (豊平)
Relationship between crown volume increment in the last 3 years and accumulated dry leaf biomass above 2 meter from the ground.

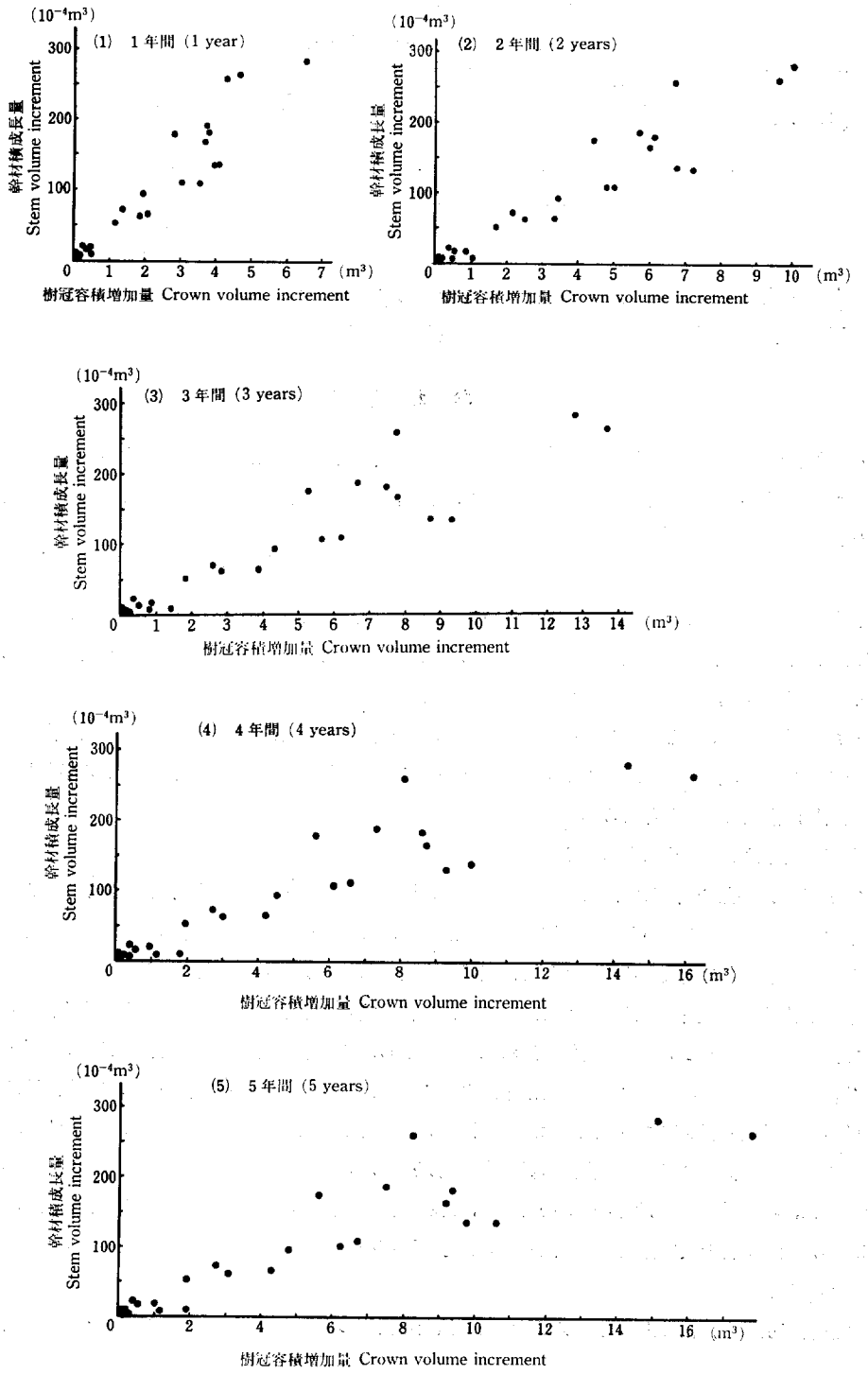


Fig. 22　樹冠容積増加量と幹材積成長量の関係

Relationship between crown volume increment and stem volume increment.

Table 8.　推　定　式　の　定　数
Constants of estimated equation

定数 Constant ＼ Fig. 22 中の番号 Fig. No. 22	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
a	45.33	27.01	29.17	27.10	26.06
b	—	—	0.694	0.685	0.676

以上，豊平苗畑（調査地4）および遠軽（調査地6）の資料についての分析を通じて，幹材積成長量は陽樹冠容積増加量から，直線式あるいは曲線式で推定できることがわかった。

Ⅷ　おわりに

枝の伸長および直径成長などの特性を枝の着生位置や着生方向のちがいによって検討し，その結果からトドマツの樹冠を陽樹冠と陰樹冠に分けた。このうち，陽樹冠を構成する枝によってつくられる陽樹冠の形は，

$$Cl = \alpha C w^{\beta}$$

で表わすことができた。一方，陰樹冠についての結果から，陰樹冠の長さは4～5 m に達するが，幹材積成長に寄与しうる層を，枝材積成長率が10% 以上になる部分，あるいは枝基部直径成長の認められる部分を目安にすると，このうち，2 m 以内の陰樹冠長を考慮すればよいことがわかった。

また，単木の着葉量と最近1年間の材積成長量，樹冠容積と着葉量の間にほぼ原点を通る直線関係が成立つことを確かめ，この結果，隣接木との競合関係によってきまる樹冠容積の大きさから年あたりの幹材積成長量が推定できると考えられる。

上記の関係は次のように表わせる。

①樹高および枝が伸長して，②周囲の隣接木との樹冠競合がおき，③樹冠の拡張が生ずる。ただし，被圧木など樹高成長の小さいときには枝の枯れあがりのため逆に縮少する場合もある。④その結果，材積および直径の増加率が変化する。そうして，翌年の成長で①からサイクルが繰り返される。

単木の幹材積の成長過程はこれまで述べてきた各関係式の係数と木の初期状態および立木配置をもとにして，上記の手順でモデル化が可能と思われる。しかし，この中で使用された各係数は林分の生育段階，林分密度や地位によって変化することが予想される。また，ここでは，樹冠容積のうち陽樹冠部分の容積と幹材積成長量の関係について述べたが陰樹冠部分の幹材積成長への貢献度も無視することはできない。ただ，これらの係数の変化や陰樹冠の貢献度を実データから直接導くことは困難である。これに代る方法としては，収穫試験地の測定データをもとに，計算機内で樹冠の競合をシミュレートし，林分の初期状態に応じた最も適合の良い係数および陰樹冠の寄与の程度を試行錯誤的に探索することによって解決できると思われる。

本報告に引続き，樹幹上の材積成長量の配分傾向と樹冠の形態との関係について検討を進める予定である。

引 用 文 献

1) 阿部信行：トドマツ人工林の施業法に関する研究（II)—道有林における トドマツ人工林の収穫予想表の作成—，北海道林業試験場報告，71～93，(1980)

2) Bella, I. E. : A new competition model for individual trees. Forest Sci. 17, 364～372, (1971)

3) 藤森隆郎：枝打ちの技術体系に関する研究，林試研報，273，1～74，(1975)

4) 猪瀬光雄：トドマツの単木生長モデル，林業試験場北海道支場年報，57～63，(1979)

5) 梶原幹弘：スギ同齢林における樹冠の形態と量に関する研究（I)—樹冠形—日林誌，57，425～431，(1975)

6) 梶原幹弘：スギ同齢林における樹冠の形態と量に関する研究（II)—林分内での樹冠の形態—，日林誌，58，97～103，(1976)

7) 梶原幹弘：スギ同齢林における樹冠の形態と量に関する研究（III)—樹冠の形態の生育段階的変化—，日林誌，58，313～320，(1976)

8) 梶原幹弘：スギ同齢林における樹冠の形態と量に関する研究（IV)—樹冠基底断面積—，日林誌，58，433～440，(1976)

9) 梶原幹弘：スギ同齢林における樹冠の形態と量に関する研究（V)—樹冠表面積と樹冠体積—，日林誌，59，233～240，(1977)

10) 小林正吾：カラマツ人工林の林分生長モデルに関する研究，北海道林業試験場報告，1～164，(1978)

11) Lin, J, Y, : Growing space index and stand simulation of young western hemlock in Oregon. D. F. Thesis. Duke Univ. Durham, North Corolina, 1～193, (1970)

12) Mitchell, K. J. : Simulation of growth of even-aged stand of white spruce, Yale Univ. Sch. For. Bull, 75, 1～48, (1969)

13) Mitchell, K. J. : Dynamics and Simulated Yield of Douglas-fir, Forest Sci, 17, 1～39, (1975)

14) Newnham, R. M. : The developement of a stand model for Douglas-fir, Ph. D. Thesis. Univ. British Columbia, Vancouver, 1～201, (1964)

15) Opie, J. E. : Predictability of individual tree growth using various definitions of competing basal area, Forest Sci. 14, 1～115, (1968)

A Tree Growth Model based on Crown Competition in Todomatsu (*Abies sachalinensis*) (I)
The relationship between crown development and volume increment

Mitsuo Inoue[1]

Summary

In this paper, the author proposed a tree growth model of Todomatsu based on an individual tree crown competition. In this part (I), it is shown as a fundamental relationship between crown volume and stem volume increment.

1. Shape of the crown

The total crown is divided into two parts. One is the upper part which is exposed to sunlight and which grows freely without adjacent trees; and the other is the shaded part of crown under the former part.

According to the data of crown analysis from four different artificial forest stands of Todomatsu (Misumai, Yuubari, Tomakomai, and Sopporo), the crown shape of the exposed part is shown in th following equation.

$$Cl = \alpha \cdot Cw^{\beta} \qquad \cdots\cdots(1)$$

here, Cl is the crown length of the exposed part one, Cw is the crown radius width, α and β are constants which vary with the conditions of forest stands, for example, tree age, locality etc. In the case of Misumai (isolated trees), α was 1.60 and β was 1.21 ($r = 0.98$).

Now, the length of the exposed part of the crown, as a result of competition with the adjacent trees, is aproximated with the crown length above the crown contact point defined as follows : here, the point of crown contact is expressed as a point where the crown curves cross each other (determined by equation (1), see Fig. 5).

2. Length of the shaded part of the crown.

According to branch analysis, the following results were obtained :

The length of the shaded part of the crown often reaches five meters, but, in the case of branches with a volume growth rate of ten percent or over, or when the branch's basal diameter increment is recognized, it is estimated that the length of the shaded part of the crown which concerns stem volume increment is within two meters.

3. The relationship between the size of the tree crown, and foliar, and stem volume increment.

It is certain that the leaf weight of the exposed part of the crown excluding the inner leaves which have low photosynthetic efficiency toward the branch volume increment, is in proportion to the stem volume increment.

In this analysis, the size of a tree crown is the size of the crown layer of the upper part above the point where the crown comes in contact with its competitors.

It is said that the stem volume increment is produced by the one to five year-old leaf layers. In the analysis which is reported here, the relationship between stem volume incre-

Received December 14, 1981

(1) Hokkaido Branch Station

ment (Dv, 10^{-4} m^3) and crown volume increment (Cv, m^3) which consists of the above three year-old crown layers is analyzed. The relationship is :

$$Dv = a \cdot Cv^b \qquad \cdots\cdots(2)$$

here, a and b are constants which vary with the conditions of the forest stand, for example, the number of layers, tree age, locality etc.

In the case of data from Engaru (the three year-old layer in a 37 year-old tree), a is 27.0 and b is 0.685 ($r = 0.87$).

Therefore, it is possible to estimate the stem volume increment by competition with its competitors if given the initial locations of the trees.

Thus, the tree growth model of Todomatsu is expressed in the following cycle :

1) Thee height growth and branch extension→2) Crown competition with adjacent trees →3) Crown volume increase→4) Stem volume increment in response to crown volume increment→to 1).