

カラマツ人工林の枝打ち試験

浅井達弘* 菊沢喜八郎* 福地 稔* 水谷栄一*

A study on pruning of planted Japanese larch (*Larix leptolepis* Gordon)

Tatushiro Asai, *Kihachiro Kikuzawa, *Minoru Fukuchi, *and Eiichi Mizutani*

はじめに

木材に需要構造の変化にともない、カラマツに対しても大径優良な構造材生産がのぞまれている。優良材としての条件には、樹幹が通直で完満、横断面が正円に近く、材質的には偏心がなく、年輪幅が基準以下でそろっていて、製材した場合に無節または小節程度の材面が期待できることなどがあげられる。これらの条件は適正な密度管理や伐期の延長などによってその大部分が満足されるが、無節材を得るにはどうしても枝打ちが必要になってくる。

しかし、カラマツノ枝打ちはまったくといっていいほど実施されていない。またカラマツの枝打つに関する報告も、わずかに北海道庁林業試験場(1927)、柿原(1973)の報告がみられる程度で、得られる情報量はきわめて少ない。

こうした中で筆者たちは、優良大径材生産のための保育技術の一環としての枝打ち技術を確立するため、1977年から3年間、カラマツの枝打ちに関するいくつかの試験や調査を行った。その内容は枝の枯れ上がりの機構を解明するための無間伐林分の調査、枝打ち木と無処理木の節解析および事例報告である。この他に強度を3段階に違えた枝打ち試験を実施している。これらの一部はすでに概要を報告(浅井・菊沢, 1979; 浅井ほか, 1980)した。個々では3年間の諸調査の結果を報告するとともに、優良大径材生産のための枝打ち管理図について考察した。

枝打ちの研究方向や実際の節解析の手法等について御指導・御供示をいただいた農林水産省林業試験場造林第二研究室長藤森隆郎博士、材質等についての御教示と材幹縦断の労をとって下さった北海道立産試験場企画室長山本 宏氏をはじめ材質科、製材科の方々に感謝の意を表す。また現地での層別刈り取り調査にご協力いただいた北見林務署(当時)の古本 忠氏(現厚岸林務署)、広野秀夫氏(元林務部道有林管理室)、大部分に調査に参加された道立林業試験場(当時)の北条貞夫氏(現渡島支庁)、調査地を提供していただいた所有者の方々に感謝の意を表す。

試験・調査林分と調査方法

1977年と1978年に、次の4箇所の無間伐林分を調査した。調査は1林分につき50本をめぐり樹高、胸高直径、生枝下高を測定した。

- A 北海道立林業試験場実験林(美唄市), 12年生林分
- B 一般民有林(新得町), 14年生林分

*北海道立林業試験場 Hokkaido Forest Experiment Station Bibai, Hokkaido 079-01

[北海道林業試験報告 第20号 昭和57年12月, Bulletin of the Hokkaido Forest Experiment Station, No. 20, December, 1982]

- C 一般民有林 (新得町), 24 年生林分
 D 一般民有林 (岩見沢市), 28 年生林分

1977 年 9 月には, 道有林北見経営区の枝打ち後 6 年を経過した 17 年生林分 (津別町, 林分 E) から枝打ち木 (樹高の約 2/3 の高さまで) と無処理木を 1 本ずつ選び伐倒した。無処理木は現地で地際から 1m の層ごとに幹, 枝, 葉の生重量を測定し, 実験室に持ち帰った少量のサンプルの絶乾率からそれぞれの絶乾重量を推定した。無処理区の枯れ枝付着部位 (地上高 0~7m), および枝打ち木の枝打ち部位 (地上高 0~5m) の幹は, 北海道立林産試験場でみかん割りの後, 節解析を行った。

1997 年 10 月には, 林分 A に対し, 枝打ち強度の指標に枝階を用い, 1) 当年枝階だけを残す 2) 第 2 枝階まで残す 3) 第 4 枝階まで残すの 3 種の強度の異なる枝打ちを 20 本ずつ実施した。枝打ち時点 2 生長を経過した 1979 年 9 月に樹高直径を測定した。

また, 長期にわたる生長予測を行うために, カラマツ人工林の資料に対して, ベータ - 型の Y - N 曲線 (KIKUZAWA, 1981) の適用を試みた。

枝の枯れ上りの機構

無間伐林分の枯れ上り

1. 枯れ上り高率と樹冠長

表 - 1 に, 調査した 4 箇所のむ間伐林分の概要をしめす。立木密度は 1ha あたり 1,490 から 2,350 本と差はあるが, いずれも十分に閉鎖しており, 下枝の枯れ上りが進行している。平均生枝下高 (H_B) は林齢の高い林分ほど高くなっている。また枯れ上り高率 (H_B/H) で比較した場合も, 生枝下高と同様に林齢の高い林分ほど高く, 枯れ上りの度合いが寄り進んでいることをしめす。28 年生の林分 D と 24 年生の林分 C では樹高の半分以上まで枯れ上っている。一方, 樹冠長 ($H - H_B$) は 5.4m ~ 6.4m でそれほど差はなく, 林齢の違いによる一定の傾向は認められない。

この 4 林分の個体については, 樹高と生枝下高の関係を図 - 1 にしめす。図中の原点を通る直線は樹冠長 0m, その下の直線は横冠長 4m, 一番下の直線は樹冠長 8m をしめしている。閉鎖後間もない林分 A, B では大部分の個体が 6m 前後の横樹冠をもつ。こうした林分では, 樹高や胸高直径の変動関数が小さく (表 - 1), まだ個体間にいちじるしい優劣が認められないためと考えられる。一方, 閉鎖後十分に時間が経過した林分 C, D では, 樹高の変動よりも全枝下高の変動が小さくなり, 生枝高

表 - 1 調査林分の概要
 Table 1. Outline of the investigation stands

林分記号 Symbol of the investigated stand	地名 Locality	林齢 Age of stand (Year)	立木密度 ρ Stand density (No./ha)	胸高直径 (DBH) Diameter at breast height		樹高 (H) Tree height		生枝下高 (H_B) Clear length		平均枯れ上り高率 (H_B/H) Mean clear length ratio (%)	平均樹冠長 ($H - H_B$) Mean crown length (m)
				平均値 Mean (cm)	変動係数 Coefficient of variation	平均値 Mean (m)	変動係数 Coefficient of variation	平均値 Mean (m)	変動係数 Coefficient of variation		
A	美 唄 Bibai	12	1,490	10.8	0.159	8.4	0.103	2.4	0.230	28.4	6.0
B	新 得 Shintoku	14	2,200	13.3	0.101	10.6	0.061	4.1	0.177	38.9	6.4
C	新 得 Shintoku	24	2,350	12.8	0.257	12.9	0.157	7.2	0.093	57.0	5.7
D	岩見沢 Iwamizawa	28	1,700	16.6	0.191	14.7	0.117	9.3	0.104	63.7	5.4

は個体間でそろってくる傾向がある(表-1)。したがって図-1の点線でしめされるような林分ごとに一定の高さの生枝下高(最下葉層)をもつようである。このことは、一般に樹高の高い個体は大きな横樹冠をもち、樹高の低い個体は小さな横樹冠長しかもち得ないことを意味する。この結果、自然間引きは樹高の低い個体を中心に起きているのが観察できる。しかし、こうした林分でも大部分の個体は4~8mの横樹冠を持っていることがわかる(図-1)。

なお、これらの4林分のうち、林分Aでは積雪によって下部の枯れ枝が中折れしていたり、枝抜けを生じている個体が多くみられた。しかし、他の林分では枯れ枝は落枝せず幹の下部まで着生していた。

2. 立木密度との関係

立木密度が枝の枯れ上りに影響を及ぼすことはよく知られている。しかし、表-1の資料からは立木密度と枯れ上りの関係は明らかではない。これは立木密度の幅が狭いことや、地位や林齢などの育成条件がまったく異なることによるものであろう。図-2は道有林のカラマツ植栽本数試験の資料(北海道林務部, 1979)を用いて、枯れ上りの経過を密度別に示したものである。5年生と9年生の買え上り高率は、立木密度にあまり関係なく、いずれの密度区も30%に近い値をしめす。一方、この期間の横樹冠長はほぼ樹高生長に比例して長くなっているようである。一方、この期間の横樹冠長はほぼ樹高生長に比例してながくなっているようである。16年生時点では立木密度による差が明瞭となり、5,000本区の枯れ上り高率は74%に達している。また5,000本区の横樹冠長は他の密度区と異なり、9年生時点よりも短くなっている。

これらのことから、枯れ上りに及ぼす立木密度の影響は10年生前後の閉鎖時点までは比較的小さく、閉鎖後の大きくなると考えられる。すなわち、密度が高い程、生枝下高と枯れ上り高率は高くなる傾向が見られる。しかし、とくに高密度でないかぎり、ある程度の林齢(30年生位)までという条件下では、閉鎖後も横樹冠長は4~8mを維持し続けそうである。

無処理木の節解析

1. 枝の平均寿命

枝の発生から生長停止や枯死、巻き込みの時期

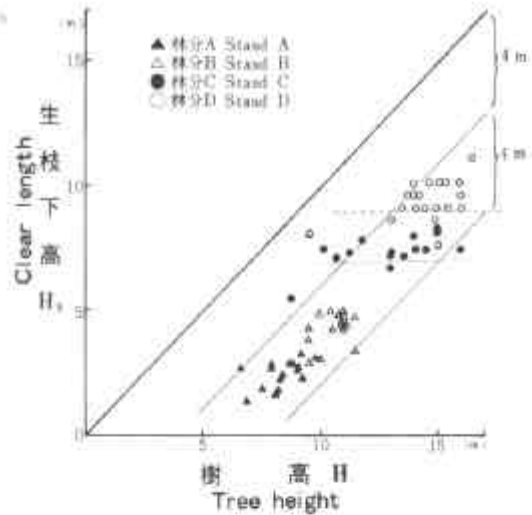


図-1 無間伐林分の樹高と枝下高の関係
Fig. 1. Relation between tree height and clear length of individual tree in unthinned stand

2本の破線は、林分C、Dの最下葉層をしめす。Two broken lines indicate the lowest height of clear length in stand C and D respectively.
3本の右よりの実線は、上から順に樹冠長0m、4m、8mをしめす。Three solid lines indicate the canopy length of 0 m (upper), 4 m (middle) and 8 m (lower) respectively.

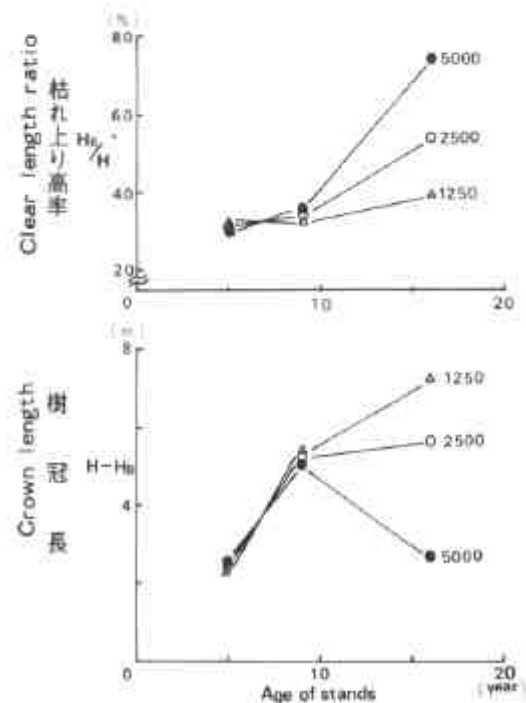


図-2 密度別の枯れ上り経過
Fig. 2. Relation between stand density and clear length

といった枝の履歴を、節を縦断して測定する手法を節解析（藤森，1976）という。図 3 に枝打ちをしていない木（無処理木）の縦断面を模式的にしめす。樹心から伸張した枝は樹体の成長とともに生長するが、やがて、より上部の枝による被陰が強まり、ついには枝のつけ根の年輪形式がみられなくなる（成長停止）。生長を停止してから何年かは生きつづけるが葉をつけなくなった時点で枯死する。枯死した位置より外側（図中の黒ぬり部分）は「死に節」となる。節解析による今回の測定項目は、樹心から枯死までの節の長さとその年数（図 3）および枝の直径である。

表 - 2 に林分 E（立木密度 2,300 本 / ha）の無処理木（樹高 14.05m，胸高直径 13.7cm，生枝下高 7.2m）の節解析結果をしめす。測定項目は 1m の層別にしめしたが、各項目とも層による顕著な差は認められない。ここにしめした無処理木のように十分に閉鎖している林分で下枝次々に枯れ上っていくような高さの範囲内では、枝の枯死までの年数や、それまでの節の長さなどは地上高による差は小さいものと考えてよいようだ。同じよ

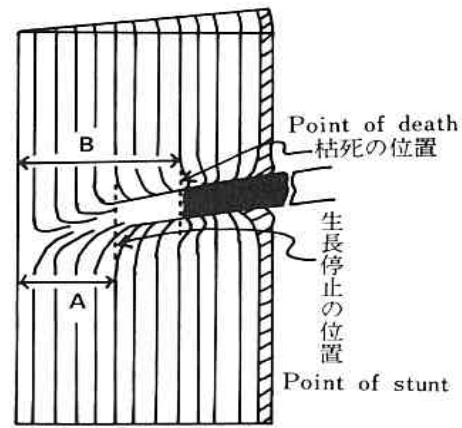


図 - 3 無処理木の縦断面図

Fig. 3. Vertical section of none pruning tree

- A 生長停止までの節の長さ
Length of knot at stunt year
- B 枯死までの節の長さ
Length of live knot

表 - 2 に林分 E（立木密度 2,300 本 / ha）の無処理木（樹高 14.05m，胸高直径 13.7cm，生枝下高 7.2m）の節解析結果をしめす。測定項目は 1m の層別にしめしたが、各項目とも層による顕著な差は認められない。ここにしめした無処理木のように十分に閉鎖している林分で下枝次々に枯れ上っていくような高さの範囲内では、枝の枯死までの年数や、それまでの節の長さなどは地上高による差は小さいものと考えてよいようだ。同じよ

表 - 2 層別にみた枝の履歴
Table 2. The life history of the branch grown at each stratum

層の高さ Height of stratum	枝数 Number of branches	枝直径 Diameter of branch	生長停止までの		枯死までの	
			節の長さ Length of knot at stunt year	年数 Duration from birth to stunt of branch	節の長さ Length of live knot	年数 Duration from birth to death of branch
(m)	(No./m)	(cm)	(cm)	(Year)	(cm)	(Year)
0-1	27	$\frac{0.81}{0.3-1.2}$	$\frac{3.3}{1.2-5.2}$	$\frac{4.7}{3-7}$	$\frac{4.1}{2.2-5.9}$	$\frac{6.5}{5-10}$
1-2	28	$\frac{0.95}{0.2-1.6}$	$\frac{3.4}{1.3-5.2}$	$\frac{4.8}{3-6}$	$\frac{4.7}{2.8-6.0}$	$\frac{8.3}{5-11}$
2-3	32	$\frac{0.83}{0.4-1.4}$	$\frac{3.2}{1.6-4.3}$	$\frac{5.0}{4-7}$	$\frac{4.2}{2.9-5.3}$	$\frac{7.7}{5-11}$
3-4	27	$\frac{0.96}{0.4-1.4}$	$\frac{3.4}{1.2-4.2}$	$\frac{5.2}{5-7}$	$\frac{4.4}{2.5-5.3}$	$\frac{8.0}{6-10}$
4-5	32	$\frac{0.95}{0.4-1.6}$	$\frac{3.3}{1.8-4.5}$	$\frac{5.2}{4-7}$	$\frac{4.3}{3.2-5.6}$	$\frac{7.8}{6-11}$
5-6	22	$\frac{0.99}{0.6-1.5}$	$\frac{3.4}{2.6-4.0}$	$\frac{5.3}{4-7}$	$\frac{4.6}{3.9-5.1}$	$\frac{8.3}{7-10}$
6-7	22	$\frac{0.92}{0.4-1.5}$	$\frac{3.6}{3.0-4.5}$	$\frac{5.3}{4-7}$	$\frac{4.4}{3.7-4.9}$	$\frac{7.4}{5-9}$
0-7	28.3	$\frac{0.92}{0.2-1.6}$	$\frac{3.4}{1.2-5.2}$	$\frac{5.1}{3-7}$	$\frac{4.4}{2.2-6.0}$	$\frac{7.7}{5-11}$

注 Mean
Min.-Max

うな調査例として、伐倒時 60 年生と 48 年生の鉄道防雪林カラマツ測定例（小野寺ほか，1976）をみると、枝の発生後枯死までの年数と樹心から枯死までの節の長さは、どちらも地上高に比例してわずかず増加している。しかし、この増加の傾向は、地上高 0~7m の枝に限定してみればあまりはっきりとしていない。以上の結果は、枝に枯れ上りのみられる高さまででは、枝の平均寿命は高さにかかわらずほぼ等しいことをしめしている。

表 - 2 によると、樹心から生長停止までの節の長さは 198 本に平均で 3.4 cm であり、枯死までの節の長さは平均 4.4 cm である。これを枝発生後の年数でみると成長停止までに 5.1 年、枯死までに 7.7 年を要している。すなわち、枝の平均寿命は 7.7 年ということになる。これらは林分 A の標準木で調べた値（浅井・菊沢，1979）とほぼ一致する。

2. 生長停止と枯死の位置

図 - 4 に無処理木の地上高 0~7m の樹体内での成長停止と枯死の位置をしめす。樹心から生長停止と枯死までの長さには、表 - 2 の各層の平均値を用いた。図 - 4 から、枯死は樹心から 4 cm と 5 cm の間でおきていることがわかる。したがって、この個体で死に節の形成を防ぐには、樹心から 4 cm 以内に節を閉じ込める必要がある。すなわち幹が皮なし直径で 8 cm になる直前に枝打ちすれば、死に節はほとんど生じない。この程度の枝打ちは、打ち落とす枝の大半が生長を停止しているので、幹の生長への影響はほとんどないと考えてよい。

なお、図 - 4 にしめた無処理木の枯れ枝 198 本のうち巻き込みを完了した枝は 2 本だけであった。このことはカラマツの枝はたとえ枯死しても、自然落枝 - 少なくとも幹の付け根からの自然落枝 - はは相当に困難であることをしめしており、図 - 4 の個体の例でいえば、伐倒されずに生育を続けていたとすれば、死に節の分布域はさらに広がっていたことを意味する。

図 - 5 は同じ無処理木の枝について生長停止と枯死がどの高さで起きているかを林（樹）齢ごとにしめたものである。すべての枝の生長停止と枯死の位置を図示すると、重複する部分が多くて煩雑になるので、1/3 の枝、を機械的に選び図示

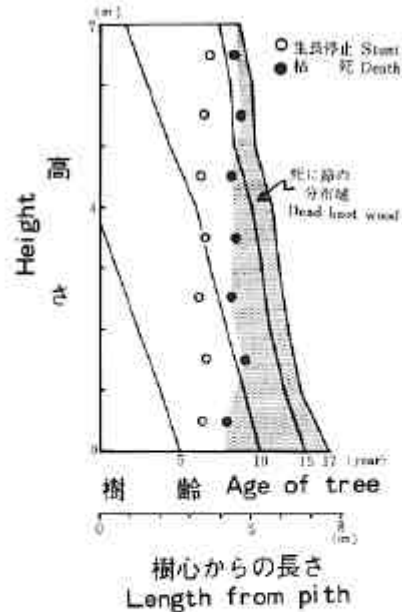


図 - 4 樹体内の生長停止と枯死の位置
Fig. 4. Position of stunted- and dead-branches in a stem

生長停止と枯死の位置は樹心からの長さで高さ（層）別にしめされている。
Position of stunted- and dead-branches is shown as the mean length from pith of each stratum

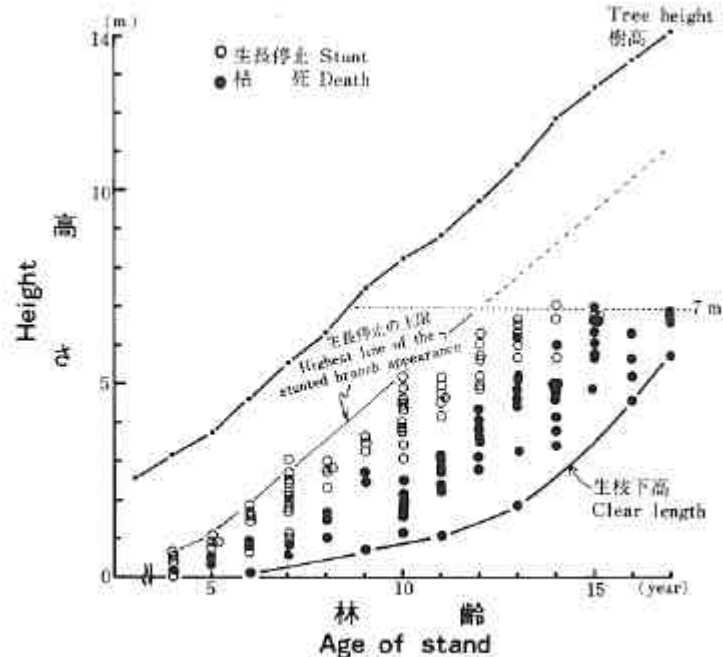


図 - 5 生長停止と枯死の高さ
Fig. 5. Height of stunted- and dead-branches

した。生長を停止する枝の位置は樹高の生長にともなって、ある幅をもって高くなっている。各生育段階（林齢）の生長停止の上限を結んだ線はほぼ樹高と平行して、梢端からおよそ 2.5~3.0m の位置にある。一方、枯死の下限を結んだ線は、13 年生あたりから急激に高くなっている。これは、はじめは樹高成長にともなって横樹冠の増大がみられるが、閉鎖後は一定の横冠長を保って生育するようになったとみるのがよいだろう。この経過は前述の 2,500 本区の枯れ上りの経過（図 - 2）とよく似ている。

枝が枯死する高さは、どの生育段階でみてもかなりの幅がある。たとえば、13 年生時点での枯死の上下幅が約 4.5m に達している。こうした枯死の幅は枝の寿命の幅（表 - 2）に対応するものである。

ここでは枝の寿命と枝の直径、着生位置の方向との関係について検討する。図 - 6 に枝の寿命の関係をしめす。この図では、その枝の着生位置が山側であるか谷側であるかによって記号をかえてある。図 - 6 でわかるように、まずおおまかには枝の直径が大きいほど寿命が長くなる傾向がみられる。つぎに同じ太さの枝についてその寿命を比較すると、谷側の枝の方がいくらか上部に位置し、寿命が長いようにみえる。そこで枝の寿命（y）に対する枝の太さ（x）の回帰式を、山側と谷側と別々に算出した。

$$\text{山側は } y = 1.95x + 5.79$$

$$\text{谷側は } y = 2.30x + 5.77$$

である。これらの回帰式は、枝の直径が細かい場合には、y 軸との切片が両式ともほぼ等しいので、山側と谷側とで寿命の差はあまりないが、枝が太い場合には x の係数がより大きい谷側の枝の寿命が山側よりも長くなることを意味する。これは隣接木との接触が谷側で遅れることによるものか、あるいはこの林分がたまたま南向き斜面であることによるものかは明らかでない。とにかく、細い枝と谷側の太い枝との寿命の差が図 - 5 の枯死の幅の一因になっていることは間違いないであろう。

3. 生産構造

図 - 7A は同じ無処理木の生産構造図である。生き枝は地上高 7m 以上の層から出現する。枝量 (W_B)、葉量 (W_L) の最大層はともに地上高 10~11m の層にみられ、梢端からは約 3~4m の位置にある。図 - 7B 林分は林分 A の標準木（浅井・菊沢，1979）の生産構造図である。この図 - 7B では葉量最大層は 4.3~5.3m の層にみられ、枝量最大層の上部に位置する。しかし、この場合でも、葉量最大層の梢端からの位置は約 3~4m で、図 - 7A の（枝）葉量最大層の位置と同じである。

伐倒当年の幹の半径生長は図 - 7A, B とともに枝葉量最大層のやや上部にその最大層がみられ、樹冠下部から地際付近まではほぼ人惜しい値をしめす。こうした幹の肥大生長と枝葉量最大層との位置的關係はアカマツ（尾中，1950）、スギ（藤森，1975）の報告と一致する。また、図 - 7B にみられるように枝の当年生長量（主軸部分） W_B の最大層は葉量最大層と一致している。ところが図 - 7B の枝

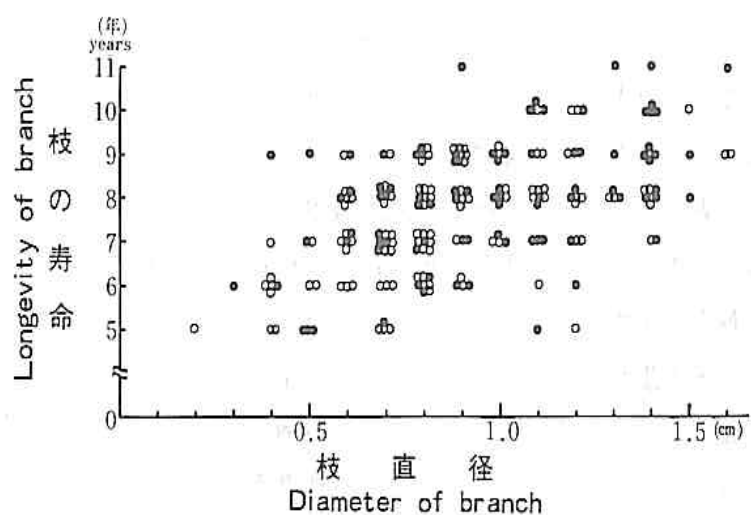


図-6 枝の直径と寿命の関係

Fig. 6. Relation between diameter and longevity of the branch

- 山側に着生する枝 The branch on the mountain sides in the stem
- 谷側に着生する枝 The branch on the valley sides in the stem

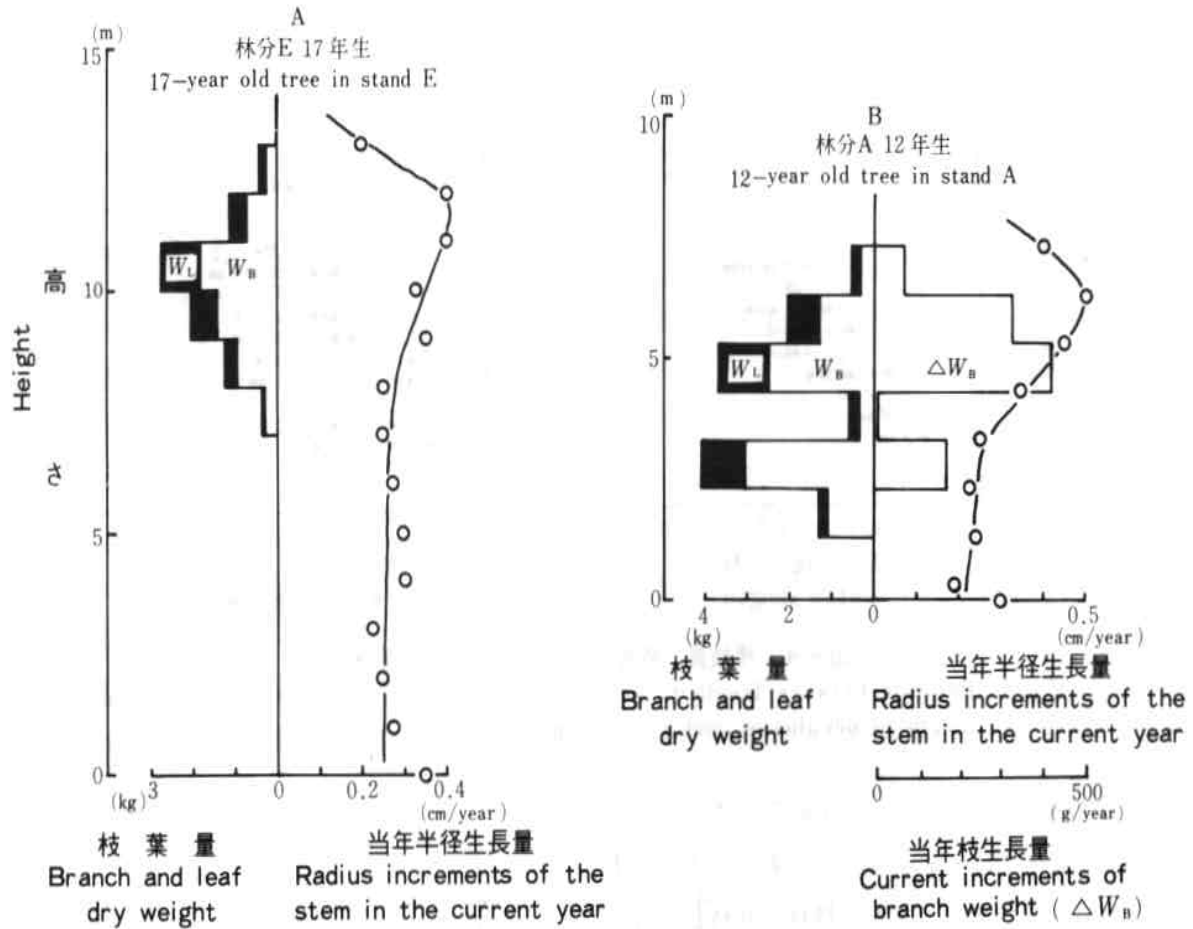


図-7 生産構造図

Fig. 7. Vertical distributions of branch (W_B) and leaf weight (W_L)

量最大層の枝生長量は，その葉量が葉量最大層について多いにもかかわらず，極端に小さい。このことは樹冠下部の葉の枝生産能率が樹冠上部の葉に比べて低下していることをしめす。

枝打ち木の巻き込み

巻き込み長と残枝長，残枝径

図-8に枝打ち木の縦断面を模式的にしめす。太線は枝打ちした時点の幹の年輪と枝の年輪の走向である。この点線から枝打ち面までの長さが残枝長である。また点線から巻き込みを完了した年の年輪までの長さが巻き込みに要する長さ（巻き込み長）である。枝の切り口の直径が残枝径である。

図-9に林分Eの枝打ち木（樹高14.2m，胸高直径15.5cm）の巻き込み長と残枝長，残枝径の関係をしめす。また，図-10に同じ木の残枝径と残枝長の関係をしめす。この枝打ち木は11年生時点に樹高の2/3の高さ（5m強）まで枝打ちされている。これらの図では着生位置（層）別に枝の記号が変えてしめされている。しかし，いずれの図も層による傾向的な差はみとめられない。したがって層を考慮せずに，地上高0~5mに着生する104本の枝について相関係数を求めた。巻き込み長（y）

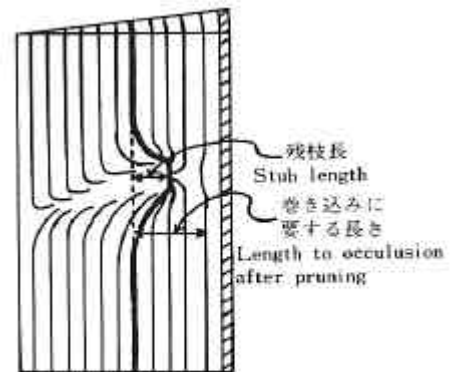


図-8 枝打ち木の縦断面
Fig. 8. Vertical section of pruned tree

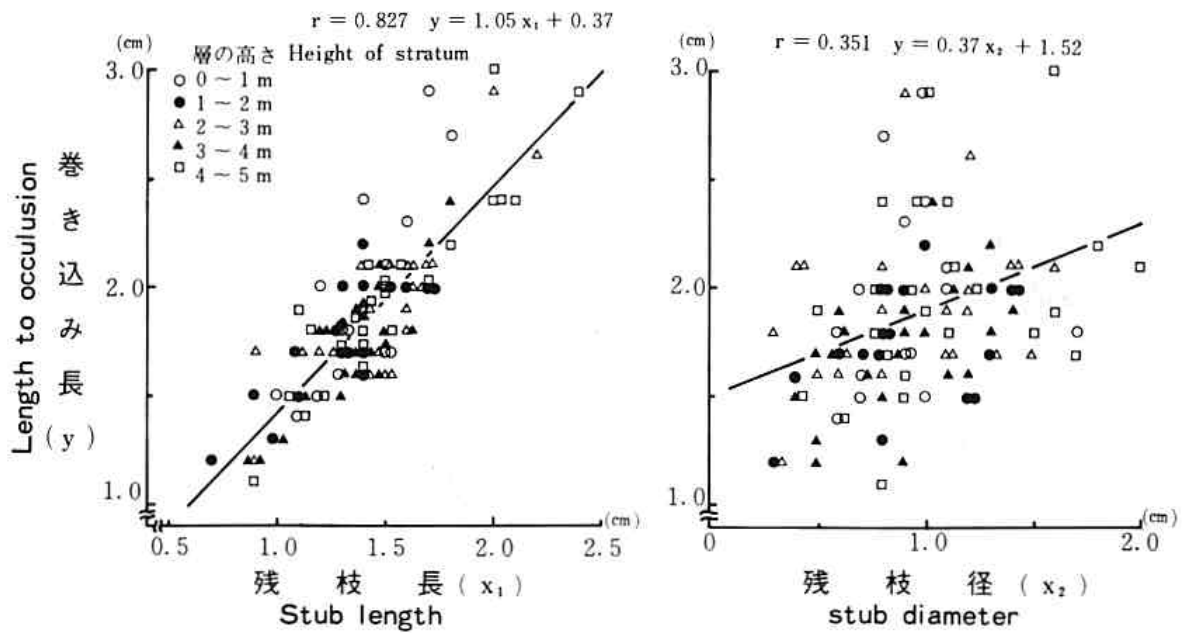


図-9 残枝長、残枝径と巻き込み長との関係

Fig. 9. Relation between length to occlusion and stub length (left), and between length to occlusion and stub diameter (right)

と残枝長 (x_1) の偏相関係数 (r_{yx1}) は 0.827, 巻き込み長と残枝径 (x_2) では $r_{yx2} = 0.351$ であり, どちらも 1% 水準で有意である。また残枝径と残枝長では $r_{x1x2} = 0.236$ であり, 5% 水準で有意である。すなわち, 巻き込み長と残枝長, 残枝径のいずれの 2 者をとっても正の相関が見られることになる。

しかし, これらのうちある 2 者の関係は単に他の 1 者との関係で相関しているのかもしれない。そこで, このことを解明するために, これらの 3 者について偏相関係数を求めた。残直径を一定とした時の残枝長を一定とした時の残枝径と巻き込み長では $r_{xy2 \cdot x1} = 0.285$ であって, いずれも 1% 水準で有意である。一方, 巻き込み長を一定とした時の残枝長と残枝径の偏相関係数 $r_{x1x2 \cdot y} = -0.103$ は有意さが無い。このことから今回の枝打ち木の場合, 残枝径 (枝の太さ) は残枝長に影響を及ぼしていないとみてよいのである。スギの壮齢林の枝打ちでは, 残枝長は残枝径の影響を受けることが報告されている (竹内, 1981)。カラマツの場合でも, 疎開林分や高齢林分などで枝の直径の範囲が広くなれば, 残枝長は残枝径の大きさに影響されるかもしれない。

さて, 残枝長と残枝径はともに巻き込み長に影響を与えている。残枝長と残枝径のどちらの与える影響が大きいのであろうか。これを検討するために, 巻き込み長 (y) の残枝長 (x_1), 残枝径 (x_2) に対する重回帰式を求めた。

$$\hat{y} = 1.00 x_1 + 0.17 x_2 + 0.28$$

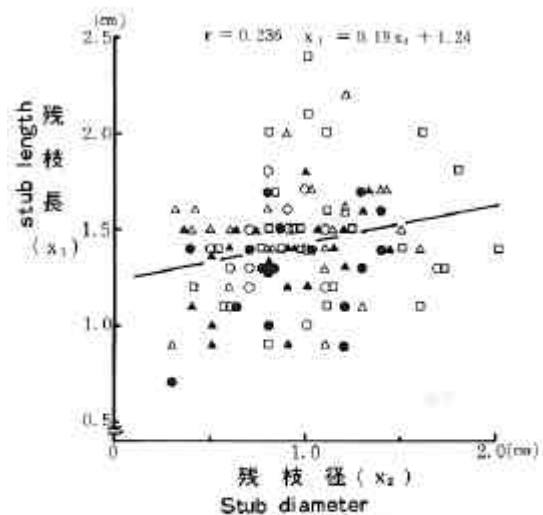


図-10 残枝径と残枝長の関係

Fig. 10. Relation between stub length and stub diameter

注 符号は図-9と同じ The same symbols as Fig. 9 are used

しかし、この式の偏回帰形式（1.00と0.17）は、残枝長や残枝径の単位の取り方によってその値が変化するので、係数相互の比較からまき小生町に与える影響の大きさを推量することはできない。そこで、さらに各変数をへいきん0、分散1になるように基準化した上で、巻き込み長（ y' ）の残枝長（ x'_1 ）、残枝径（ x'_2 ）に対する重回帰式を求めた。

$$\hat{y}' = 0.787x'_1 + 0.164x'_2$$

この標準偏回帰係数（0.787と0.164）は、単位の取り方に無関係に、残枝長や残枝径が1標準偏差分だけ動いたときの巻き込み長の変化量をしめす。明らかに残枝長の標準回帰係数は残枝径の係数より大きい。このことから、巻き込みちょうは残枝径よりも残枝長により大きく影響されていることがわかる。

なお、この枝打ち木の残枝長1.8m以上の10本の切り口は、枝打ち後の6年を経過した伐倒時点においても巻き込みが未完了であった。これらのことから、巻き込み長を短くするには残枝長を短くする（幹にぴったりと接する）ように枝打ちすることが必要である。図-9の枝打ちは少し粗雑であるので、残枝長は1.2~1.5cmのものが多し。しかし、ていねいに枝打ちをすれば、残枝長を1cm程度に抑えることは可能である。

巻き込みの速さ

巻き込みに要する年数（巻き込み年数）は枝打ち後の直径生長と巻き込み長によってきまる。直径生長は林分の地位や樹齢、立木密度さらには個体によって異なり、厳密には枝の着生する位置や枝打ちの強度によっても変化する。一方、巻き込み長は前述したように残枝長とほぼ比例的な関係にある。したがって残枝長が一定である場合には、枝打ち部分の直径生長が盛んなほど巻き込みは短期間で完了することになる。

図-11は層別に残枝長や残枝径などを比較したものである。残枝径（a）、残枝長、巻き込み長（b）の3者とも、層による傾向的な差はみとめられず、各層の平均値は類似した値をしめす。こうした類似にもかかわらず、巻き込み年数（c）は地上高3~5mの層でかなり短縮されている。一般に幹の直径生長は樹幹に近い上部ほど大きい（藤森、1975）ことが知られていて、今回の無処理木にもその傾向はうかがえる（図-7）。また樹高の約2/3の高さまでというかなり強度な枝打ちが行われた今回の枝打ち木の場合にも、枝打ち後6年間の直径生長（d）は根張り部分を除くと幹の上部ほど大きい。このことから地上高3~5mの層で巻き込みが速いのは、この部分の幹の直径生長が下部の幹に比べ

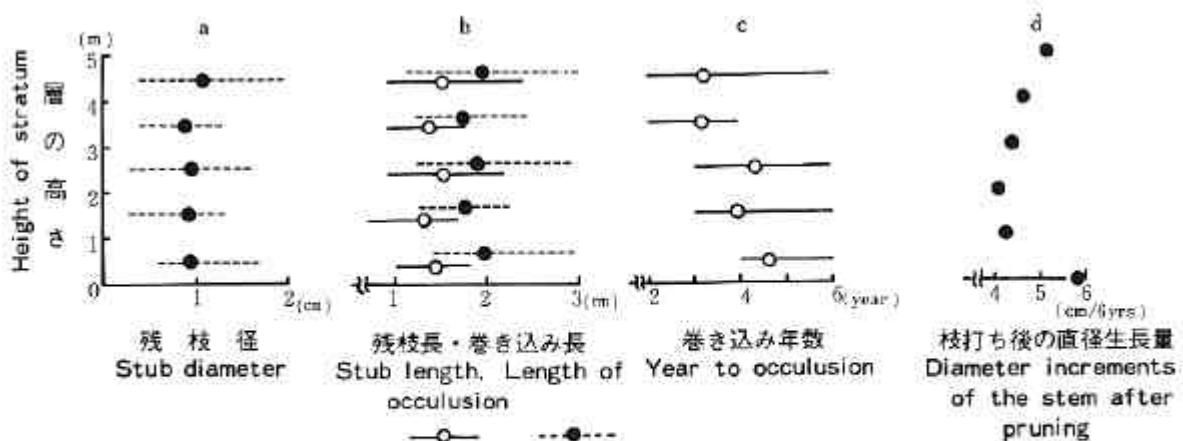


図-11 層別の巻き込みの早さ
 Fig. 11. Occlusion in each stratum

注 符号は平均値。点線と実線はバラツキの範囲をしめす。

The symbols and the lines indicate mean value and the range respectively

て、より盛んなことによるものと考えられる。

なお、本州でのスギで問題になっている枝打ちに起因する変色現象は、カラマツでも起こり得る（大沢・平井 1948; 矢沢ほか, 1967）とされているが、今回の伐倒木にはまったくみられなかった。

枝打ち強度と幹の生長

図-12に林分Aの枝打ち後2年間の樹高と胸高直径の生長量を強度別にしめす。なお枝階を指標にした枝打ち強度から推定した葉量除去率は、当年枝階だけを残す（強度区）が99%，第2枝階まで残す（中度区）が88%，第4枝階まで残す（弱度区）が40%である（浅井ほか, 1980）。樹高成長はバラツキが多いものの、葉量除去率との間に明瞭な傾向はみとめられない。一方、胸高直径生長は無処理区と比較して中度区および強度区で大きく減退しているのがわかる。

図-13に無処理区のD²Hの生長率を100とした場合の各区の値をしめす。この図-13には、カラマツより樹高は低い、比較のためにアカエゾマツの枝打ち試験結果（浅井ほか, 1981）および本州のスギ・ヒノキの結果（藤森, 1975）を同時にしめしている。図からわかるようにD²Hの生長は胸高直径の生長とほぼ同じ傾向がみられる。カラマツは同程度の葉量除去率の場合には、アカエゾマツやスギ・ヒノキなどの樹種により良好な生長をしめしており、枝打ちによる幹の生長への影響もより小さいようである。

生長予測

カラマツ人工林に対しては、これまで短伐期経営がふつうであった。しかし、(優良)大径材を生産するには、伐期の延長が必要であり、より長期にわたる収穫（生長）予測が必要になってくる。カラマツ高齢級人工林についての間伐や生長に関する報告は少ないが、最近千葉ら（1982）によって岩手県小岩井農場の47年生からマツ林の育林生育経過が報告された。本報ではこの資料をもとに、KIKUZAWA（1981）が導いたベーター型のY-N曲線を用いて、間伐開始時期（15年生）から50年生までの生長予測を試みた。この際に、従来の生長予測と異なり、枝打ち木と無処理木とを区別し

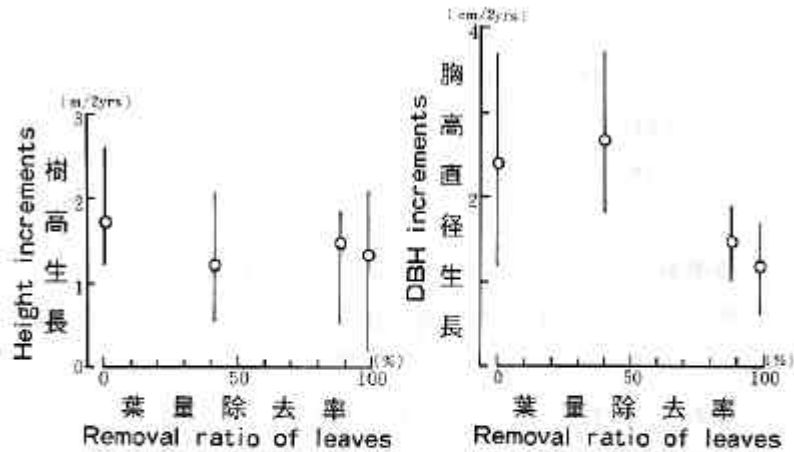


図-12 葉量除去率と樹高、胸高直径生長

Fig. 12. Relation between the removal ratio of leaves and height increments (left), and between the removal ratio and DBH increments (right)

注 丸印は平均値、実線はバラツキの範囲をしめす。
The circles and the lines indicate mean value and the range respectively

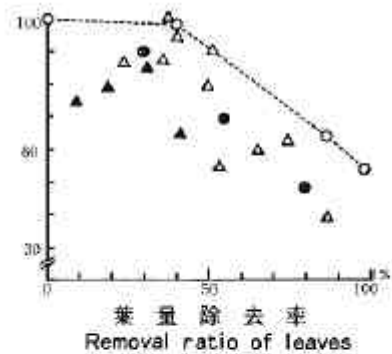


図-13 葉量除去率と枝打ち後2年間のD²H生長の関係

Fig. 13. Relation between removal ratio of leaves and D²H increments

D²H increments are represented as the percentages to that of none pruning

- カラマツ 12年生 Present study, *Larix leptolepis*, 12-year old
- アカエゾマツ 19年生 (浅井, 1981) *Picea glehnii*, 19-year old
- △ スギ *Cryptomeria japonica* } 9~10年生 (藤森, 1975)
- ▲ ヒノキ *Chamaecyparis obtusa* } 9~10-year old

て生長予測ができる間伐モデルを考えた。

ベータ - 型の Y - N 曲線は次式でしめされる (KIKUZAWA , 1981)

$$Y = \frac{B}{1-A} N = \frac{A1/A}{1-A} C \cdot (1-A)^{1/A} N^{1/A}$$

ただし, Y, N は材積 (W) の大きい順に積算した, 積算材積と積算本数をあらわす。 A, B, C はパラメーターである。曲線の形を決定するパラメーター A は, 千葉ら (1982) の間伐区の資料から, 0.75 を算出した。また残りのパラメーター B, C は, 林分本数 () と林分材積 (y) の値によって近似した。すなわち,

$$B = W = y /$$

$$C = AB^{-A/(1-A)}$$

で与えられる (KIKUZAWA , 1981)

さらに間伐に関して, 1) 間伐後の個体材積生長量はその個体材積に比例する, 2) 間伐後の枯損はない, 3) 林分材積粗生長量は, 間伐による影響を受けず, 毎年一定である。ここでは千葉ら (1982) の資料から $11\text{m}^3 / \text{ha} \cdot \text{year}$ である, 4) 15 年生時点の材積の順位で上位 1,000 本の中に等確率で入っている, の 3 つの仮定をおいた。

このような仮定のもとで, 次のような 5 年間隔で 5 回の間伐モデルを作成した。

- 第 1 回 15 年生時 500 本 / ha の全層間伐
- 第 2 回 20 年生時 400 本 / ha の全層間伐
- 第 3 回 25 年生時 300 本 / ha の全層間伐
- 第 4 回 30 年生時 200 本 / ha の全層間伐
- 第 5 回 35 年生時 100 本 / ha の全層間伐

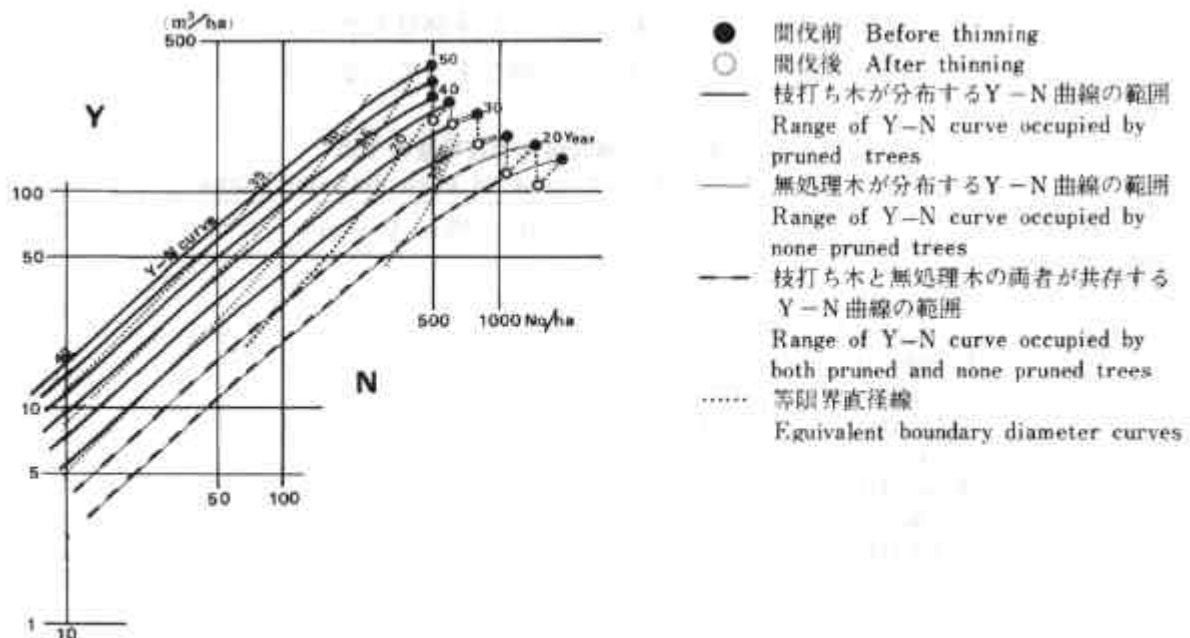


図-14 カラマツ人工林における Y-N 曲線

Fig. 14. Y-N curves in the *Larix leptolepis* plantation

このモデルの Y - N 曲線を図 - 14 にしめす。第 1, 2 回の間伐は, 枝打ち木と競合する無処理木を

中心に伐る全層間伐である。この間伐では本数と材積の伐採率が等しいので、間伐直後は図のように45°線上を左下方向へ移動する。この2回の間伐で、枝打ち木と無処理木の両者が上層(上位)に混在する状態は終り、上層は枝打ち木で占められる。第3,4回の間伐は、小さい無処理木を伐る下層間伐である。小さい個体からの順に伐るので、間伐直後は元のY-N曲線の右端の部分がなくなるだけである。この2回の間伐で、枝打ち木だけが残る。大5回の間伐は、枝打ち木の中で形質の劣ってきた個体を伐る全層間伐である。

Y-N曲線上のある直径階(限界直径, D*)以上の木の本数(D*)と材積(D*)をしめす点(限界直径点)は次式で与えられる(KIKUZAWA, 1981),

$$N(D) = \frac{C}{A} \left\{ (A-1)W(D^*) + B \right\}^{A/(1-A)}$$

$$N(D) = \frac{C}{A} \left\{ (A-1)W(D^*) + B \right\}^{A/(1-A)} (AW(D^*) + B)$$

ただし, W(D*)は, ある限界直径D*有する木の材積をしめす。各Y-N曲線上の, 互いに等しい限界直径点を結んだ線が等限界直径線である。

図-14の等限界直径線と50年生時のY-N曲線から, 50年生時には40cm以上の木が10本, 30cm以上の木が220本以上できると予測される。このようにして計算した, 20, 30, 40, 50年生時における直径階別の収穫量の予測値を表-3にしめす。

直径階別の収穫量は, 表-3の20年生時や30年生時のように, 林分全体(全立木)についてと同様に, 枝打ち木だけについても求めることができる。各林齢における, 枝打ち木の平均胸高直径と平均樹高予測値が後述の枝打ち管理図に使用するために計算された(図-16参照)。なお, この際に用いる胸高直径や樹高と材積の関係は, 中島(1948)の標準立木材積表の辞実験式によった。

討論と総括

枝打ちの必要性について

カラマツは一般的に他の造林樹種(針葉樹)に比べて, 枯れ上りの速い樹種だといわれている。今回の調査でも24年生で樹高の57%まで枯れ上がっている林分がみられた(表-1)。特に植栽本数試験

表-3 直径階別の収穫量の予測
Table 3. Predicted crops of each diameter class

林 齢 Age of stand (Year)			直 径 階 Diameter class (cm)				Total
			40	30	20	10	
20	枝打ち木	Number/ha		71	529		600
	Pruned trees	Volume m ³ /ha		22	82		104
	全立木	Number/ha		89	1006	405	1500
	All trees	Volume m ³ /ha		27	125	8	160
30	枝打ち木	N	2	356	242		600
	Pruned trees	V	2	143	50		195
	全立木	N	2	356	442		800
	All trees	V	2	143	74		219
40		N		89	411		500
		V		79	184		263
50		N	10	208	282		500
		V	16	208	149		373

の 5,000 本区では、16 年生時点での樹高の 74%まで枯れ上がっている（図 - 2）。しかし、こうした無間伐林分では、枯れた枝が自然のままではなかなか落枝しないこともわかった。間伐時の伐採や集材によってある程度の枯れ枝は落枝するが、この場合でも枯れ枝の付け根からきれいに落枝することはまれである。幹には必ず枯れ枝の落ち残りが付着する。林分 E の枝打ち木で 1.8 cm 以上の残枝がある場合、枝打ち後 6 年間を経過しても巻き込みが未完了のものがいくつかみられた。枯れ枝の落ち残りの長さによるが、これらが巻き込まれるには、かなりの年数を要するであろう。また、たとえ落ち残りが巻き込まれたとしても、死に節となって製材品の品質低下を招く。死に節の形成を防ぎ、優良な無節材を生産するには、若いうちから枝打ちを実施するより他にはない。

枝打ち強度の指標

枝打ち強度の指標として従来、樹高に対する枝打ち高率や地際からの高さが多く用いられている。これらの指標は枝打ちを実行するには理解しやすいが幹の生長との関係を林分間で比較するには不都合が多い。こうした比較をするのは、同化器官である葉量の除去率を指標にするのが最も正確であるとされている（藤森，1975）。しかし、葉量の測定は困難な場合が多く、これに変わるものとして樹冠長に対する枝打ち長率などを指標とし、これらと葉量除去率の関係を求める方式が提案されている（藤森，1975）。

カラマツはトドマツやエゾマツのような明瞭な枝階を形成しない。しかし、枝の発生時に幹の梢端近くに着生する芽から伸長する枝はこれより下部の芽から伸長する枝に比べて長大なものが多いので、枝階を確認することができる。そして閉鎖した無間伐林分の個体間では、枝階を基準にとれば、葉量の垂直分布は類似した傾向をしめす（浅井ほか，1980）ことが知られている。こうした枝階のもつ特徴をいかし、これを枝打ち強度の指標に用いるならば、1)枝階数そのものが枝の年齢をしめしているために枝齢のよる解析ができる、2)実行する際に解りやすい、3)葉量除去率への換算が可能である、などの理由から実用的にも生物学的にも有効であると考えられる。

枝の枯れ上りと幹の生長

閉鎖した無早魃林では、生枝下高と、樹高に対する生枝下高の比（枯れ上り高率）は林齢や密度が高くなるにしたがってともに高くなるが、横冠長は特別高密度でない限り 6m 前後ではほぼ一定であることがわかった。また別の 17 年生無間伐林分の個体の節解析によって、枝の発生後生長停止までの平均年数と枯死までの平均年数（寿命）はそれぞれ 5.1 年と 7.7 年であって層の高さによる違いはないことがわかった。そして、この値はやはり 12 年生無間伐林分の個体の値と類似していた。このことは閉鎖した無間伐林分で枝が次々と枯れ上がっていくような場合、各々の枝はかなり類似した生育経過をたどるために、生長停止や枯死までの年数が似ているのかもしれない。

林分 A の枝打ち試験の結果をみると、葉量除去率 40%の枝打ちでは無処理区とほとんどかわらない生長をしめた（図 - 13）。このことは横冠下部の枝葉がほとんど幹の成長に寄与していないことを意味する。この弱度区の枝打ちの高さは 3.4m までで、上部に約 5m の横冠が残っている。また 17 年生と 12 年生個体の葉量最大層は両者とも梢端から約 3~4m の位置にあった（図 - 7）。そして葉量最大層は枝生成長最大層と一致し、これより下の層の枝生長量は急激に小さくなっていった。

カラマツには当年に伸長した（長）枝につく長枝葉と、前年以前に伸長した枝の短枝につく短枝葉とがある。長枝葉率は枝 1 本または層、個体などの全葉量（長枝葉量+短枝葉量）に対する長枝葉量の比と定義する。図 - 15 に梢端から枝までの距離とその枝の長枝葉率の関係をしめすが図 - 15 から明らかなように、長枝葉率は梢端近くで大きい値をしめすが、梢端から離れるにしたがって急激に小さくなる。そして 4m 以上はなれると枝 1 本の値、層の平均値のいずれもが 10%以下となってしまう。これらの枝は、当然のことであるが、当年伸長量は少なく、枝生長量はごくわずかである。

以上述べてきたことはいずれもひとつの結論を導く。すなわち閉鎖した無間伐林分の個体では、梢端から 4m 以下の枝は生長を停止しているものが多いという事実である。このことは梢端から 2.5~3.0m の位置から生長を停止する枝が出現する（図 5）ことともよく一致する。また節解析で得た生長

停止までの年数 5.1 年は、年 80 cm の樹高生長を仮定すると生長停止の位置は、これも梢端から 4~5m の層に相当する。

萌芽枝の発生

林分 A の枝打ち試験の中度区・強度区に発生した萌芽枝の概況についてはすでに報告した（浅井ほか，1980）無節材生産という枝打ちの目的からすれば、萌芽枝の発生は深刻な問題である。萌芽枝についてはわからないことが多いが、葉量の除去率が大きくなれば林内、林縁を問わず発生することは確実なようである。また葉量の除去率が比較的小さい枝打ちにおいても林縁での発生が樹齢調査で観察された。この林縁の萌芽枝は残枝条に着生する短枝が長枝化したものが多かった。

これらのことから萌芽枝の発生を防ぐ対策として、あまりに多量の葉を除去してはいけない、急激に除去してはいけない、残枝上に短枝を残してはいけない、の 3 点に留意しなければならない。具体的に 8m までの高さの枝打ちを例に考えるならば、最低でも 3 回にわけて、生長停止後の枝をいねいに（残枝長を短く）落すことが肝要である。林縁木の枝打ちは避ける方がよい。

優良大径材生産のための枝打ち管理図

これまで述べてきたことを基本にして、図 - 16 の優良大径材生産のための枝打ち管理図を作成した。ここでは幹の生長を落さずに無節部分をできるだけ多く生産することを考えた。図の左上部から右下部への階段状の線は、2,500 本から出発した、1ha あたりの立木本数の推移をしめす。5 年後との 5 回の間伐で、35 年生時点で 500 本の主林木が存在する。主伐は平均直径が 30 cm に達する 50 年生以降を想定している。

同じ林齢上に描かれている 2 つの樹形の模式図のうち、大きい方が枝打ちの木、小さい方が林分全体（全立木）の平均木をあらわしている。枝打ち木の幹の黒塗り部分は枝打ち高をあらわす。

枝打ちは裾枝払いを除き、閉鎖後の 3 回を予定している。優良大径材の生産を目標とするので、枝打ちは主伐候補木を選木して実施する。選木の基準は、優良材としての条件である樹幹の通直性、完満性、真円性などのほかに、優勢木あるいは準優勢木であることがあげられる。主伐候補木（枝打ち木）は 1ha あたり 600~700 本が適当である。

第 1 回枝打ちは閉鎖後すぐに（10 年生時）3m の高さまで実施する。第 2 回枝打ちは、第 1 回枝打ちによる林冠の疎開が回復してくる 13 年生時に、4.0~45m の高さまで実施する。第 3 回枝打ちは、18 年生時に 6.0~8.0m の高さまで実施する。

第 1 回間伐は、2 度の枝打ちにより林冠が疎開するので、15 年生時に行って十分間にあう。第 1、2 回の間伐は、枝打ち木と競合する無処理木を中心に伐る全層間伐である。この間伐後には、枝打ち木が上層を独占するようになる。第 3、4 回の間伐は下層間伐である。第 5 回の間伐は、枝打ち木の中で形質の劣ってきた個体を伐る全層間伐である。

この枝打ち管理図の特徴は、林分全体の平均直径や平均樹高ばかりでなく、枝打ち木の平均直径や

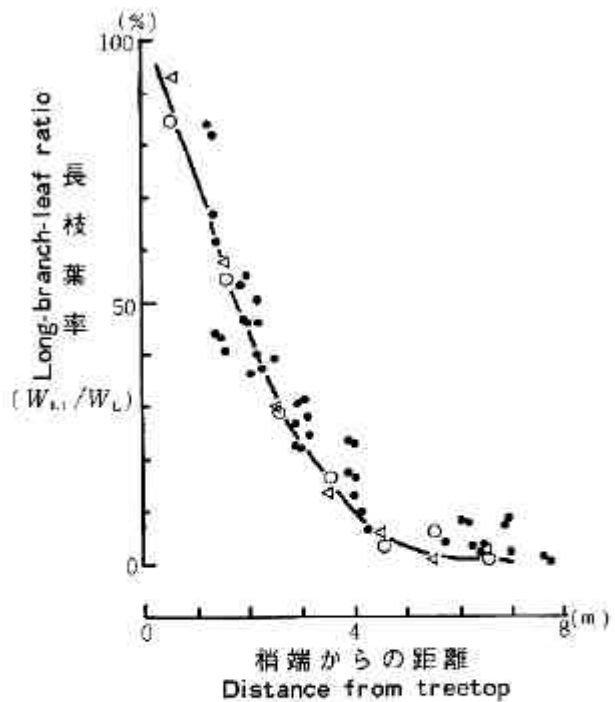


図-15 梢端から枝までの距離と長枝葉率の関係
Fig. 15. Relation between distance from treetop and long-branch-leaf ratio

- 枝1本の値
Value of a branch
- 層の平均値
Mean value of a stratum
- △ 層の平均値 林分E 17年生個体
Mean value of a stratum, Stand E 17-year old tree

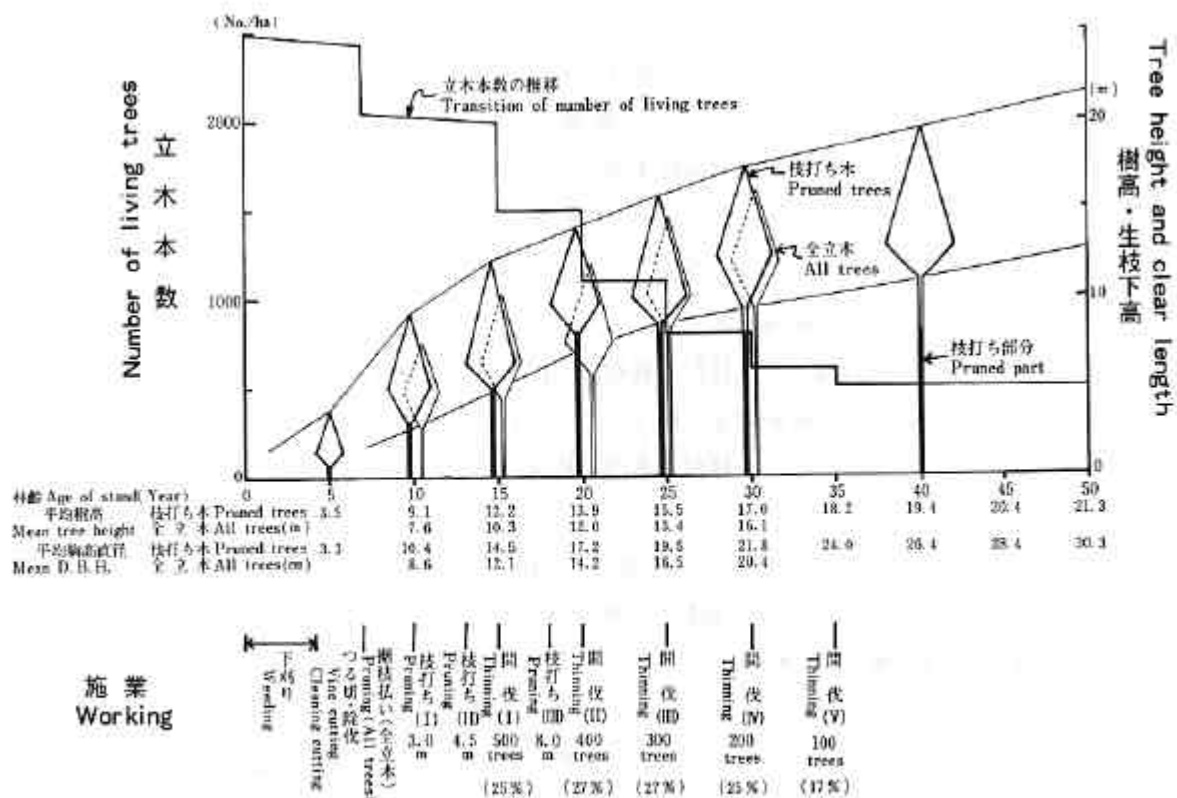


図-16 優良大径材生産のための枝打ち(保育)管理図
 Fig. 16. The pruning management diagram for the production of a large size log of good quality

平均樹高をも知ることができることである。この管理図や前述の Y - N 曲線 (図 - 14), 直径階別の収穫量の予測 (表 - 3) などから得られる情報は, 施業 (保育) を実施する上で, また林業経営上大層役に立つと考える。

摘要

1. カラマツの優良大径材生産のための枝打ち技術を確立するために, 1977 年 ~ 1979 年に主として北海道立林業試験場実験林 (美唄市) の 12 年生林分と道有林北見経営区 (津別町) の 17 年生林分で, 試験と調査を行った。その内容は無間伐林分の枯れ上り調査, 枝打ち木と無処理木の節解析および枝打ち試験である。

2. 閉鎖した無間伐林分では, 生枝下高と枯れ上り高率の両者は林齢の高い林分ほど高くなる傾向がみられた。しかし, 横冠長は林齢の違いによる差はほとんどなく 6m 前後であった (表 - 1)。

3. 枯れ上りに及ぼす立木密度の影響は閉鎖前で比較的小さく, 閉鎖後で大きかった (図 - 2)。

4. 枝の平均寿命は7.7年であり、平均生長停止年齢は5.1年であった(表-2)。
5. 横冠内で葉量が最大となる層は、枝生長量の最大層とほぼ一致した。この層は梢端から約3~4mの位置にあり(図-7)、これ以下の沿うの枝は成長を停止しているものが多い。
6. 枝打ち後の巻き込みに要する半径生長量(巻き込み長)は残枝径よりも残枝長により大きく影響された(図-9)。残枝径と残枝長はほとんど無関係であった(図-10)。
7. 枝打ち後2年間の幹の生長は葉量除去率40%では無処理区とほとんど変わらないが、葉量除去率88%、99%では大きく減退した。カラマツは同程度の葉量除去率の場合にはアカエゾマツやスギ、ヒノキより良好な生長をしめした(図-13)。
8. ベータ-型のY-N曲線を利用してカラマツ人工林の生長予測を試みた(図-14、表-3)。
9. 優良大径材生産を目標とした枝打ち管理図を提案した(図-16)。この管理図からは、林分全体の平均直径や平均樹高ばかりでなく、枝打ち木の平均直径や平均樹高をも知ることができる。

文 献

- 浅井達弘・菊沢喜八郎 1979 カラマツの枝打ちに関する研究()若齢個体の枝の寿命。日林論 90: 293-294
- ・福地 稔・菊沢喜八郎・水谷栄一 1980 カラマツの枝打ちに関する研究()枝打ち語の生長と萌芽。日林論 91: 245-246
- ・ 1981 アカエゾマツに枝打ちに関する研究()枝打ち語の2年間の生長。日林北支講 29: 38-40
- 千葉宗男・下田 一 1982 カラマツ大径生産林の保育 小岩井農場林における試行の一例。林業技術 480: 6-10
- 藤森隆郎 1975 枝打ちに技術体系に関する研究。林試研報 273: 1-74
- 1976 枝打ちとその考え方。75p 日本林業技術協会 東京
- 北海道庁林業試験場 1927 からまつ林の枝打に就いて。林業試験場報告 11: 27-51
- 北海道林務部 1979 林業経営試験。道有林における実践例。69-71
- 柿原道喜 1973 カラマツの枝打について。北方林業 25: 336-338
- KIKUZAWA, K. 1981 Yield - density diagram for todo - fir plantations()A new Y - N curve based On the Beta - type distribution. J. Jap. For. Soc. 63: 442-450
- 中島広吉 1948 北海道立木幹材積表。興林会北海道支部叢書第一輯 46p
- 尾中文彦 1950 樹木の肥大生長の縦断的配分。京大演報 18: 1-53
- 小野寺重男・山本 宏・高橋政治・川口信隆・鎌田昭吉・河島 弘・大山幸夫・奈良直哉・米田昌世・橋本博和
- 千葉宗昭・小倉高規・吉田弥明・野崎兼司・高谷典良・田口 崇 1976 新得からマツの材質と加工試験。北海道立林産試験場研究報告 64: 1~115
- 大沢正之・平井左門 1948 樹幹形態として心材の色相に関する知見。主としてカラマツの心材色相に就いて。札幌農林学会報 37(4): 15-29
- 竹内郁雄 1981 壮齢林の枝打ち跡の巻き込みに関する研究()スギ72年生林分での事例。日林誌 63: 39-45
- 矢沢亀吉・石田茂男・大谷 諄 1967 心材の人工形成に関する研究。北大演報 25(1): 9-34

Summary

1. Pruning experiments of Japanese larch (*Larix leptolepis* GORDON) were carried out for the purpose of the establishment of the pruning for production of large size logs of good quality. 12-year old stand in Bibai, central part of Hokkaido and a 17-year old stand in Tsubetsu, eastern part of Hokkaido were mainly investigated for three years from 1977 to 1979. Dead branches in unthinned stand, knots of pruned and none pruned trees were analyzed.

2. Clear length and clear length ratio in unthinned stand increased with stand age. However, crown length was about six meters irrespective of stand age (Table 1).

3. Effect of stand density to clear length was higher after crown closure than before (Fig. 2).

4. Mean longevity of the branches was 7.7 years, and mean duration from birth to stunt of branches was 5.1 years (Table 2).

5. The height of the largest branch weight increment. This stratum was situated at 3-4 meters from the tree top (Fig. 6). Most of the branches in lower stratum than this height were stunted.

6. The length of the occlusion was highly affected by the stub length than the stub diameter (Fig. 9). No correlation was found between stub length and stub diameter (Fig. 10)

7. The increment in stem volume (D^2H) during two years after pruning was measured. When 40 percent of leaves was removed by pruning, the stem increment was hardly reduced comparing to none pruning tree. But when 88 or 99 percent of leaves was removed, the stem increment was extremely reduced. When the equivalent ratio was removed by pruning, the reduction ratio of increment of *Larix leptolepis* was lowest among *Picea glehnii*, *cryptomeria japonica* and *Chamaechyparis obtuse* (Fig. 13).

8. A method to predict the number and volume of each diameter class of *Larix leptolepis* plantation was devised utilizing the Y-N curves of Beta-type (Fig. 14, Table 3).

9. The pruning management diagram for production of a large size log of good quality was proposed (Fig. 16). This management diagram aimed to produce The log in which dead knots were not found from base to 8 meters above the ground and the diameter at breast high was larger than 30 centimeters. Utilizing this management diagram, we can know not only mean diameter and mean tree height of all living trees in stand, But also those of pruned trees in the stand.