

トドマツ人工林の間伐試験(1):

誌名	北海道林業試験場研究報告
ISSN	09103945
著者	水井, 憲雄 菊沢, 喜八郎 浅井, 達弘 清和, 研二
巻/号	25号
掲載ページ	p. 18-27
発行年月	1987年10月

トドマツ人工林の間伐試験 (I) — 間伐後 4 年間の生長量と葉量の回復 —

水井憲雄*・菊沢喜八郎*・浅井達弘*・清和研二*

A thinning experiment on a todo-fir (*Abies sachalinensis*) planted stand (I)
— Growth of tree diameter and recover process of leaf
amount during 4 years after thinning —

Norio MIZUI*, Kihachiro KIKUZAWA*, Tatsuhiro ASAI* and Kenji SEIWA*

要 旨

トドマツ人工林 (23年生) に、上、中層木を間伐の対象とした全層的な間伐 (材積間伐率25%), 下層間伐 (同21%), および無間伐区を設定した。各試験区における5年間 (間伐後4生育期間) の直径生長量および林分葉量, 林内照度を調べ, 間伐効果について検討した。

各区の5年間の材積生長量は93~101m³/haであった。各区間の差はわずかであり, それは間伐後の初期に生じた。

各区の平均直径生長量を期首の直径が12cm以上について比較すると, 全層間伐区が最も大きく, 次いで下層間伐区, 無間伐区の順であった。全層間伐は上, 中層木の生長に明らかな効果を示した。

林内照度は全層間伐区が他の区よりやや高く推移したが, 間伐後5年目には各区間に差がなくなった。

枝の着葉率から葉の平均寿命を求め, それと林分落葉量から林分葉量を推定した。その結果を基に間伐後の林分葉量の回復経過を検討した。林分葉量は間伐後の比較的短い期間に回復することが推定された。上, 中層木の間伐は下層木の間伐とは対照的に生立木の葉量を増加させた。

間伐後の短い期間であるにもかかわらず, 上, 中層木の間伐によって直径生長量の増大が認められた。このことから, 上, 中層木の間伐は大径材生産を目標とする間伐に効果的であると考えられる。

はじめに

トドマツ人工林の間伐は, 従来, 下層木を対象にした下層間伐あるいは集材効率の高い列状間伐などが広く採用されてきた。しかし, 大径材生産を目標とする場合, 下層間伐では, 十分にその目的を達成しえないことがY-N曲線を用いた解析によって示された (菊沢 1981)。また列状間伐は形質不良木が残存することや上層木の適正配置といった面で問題がある。

一定期間内に, より多くの大径材を生産するためには, 下層木のみの間伐にとどまらず, 上層木および中層木も間伐の対象にし, 樹冠の競合を緩和する必要がある。トドマツ人工林において, 上層木を間伐の対象とした試みはいくつかある (北海道林務部 1984, 喜多 1986)。しかし, 早期に間伐収穫を得ることが主目的であったため, 比較的高齢林分で実施され, 所定の径級以上の木がほとんど伐採された例である。したがって, 間伐によって大径材を生産し得ることは必ずしも実証されていない。また, 若

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

[北海道立林業試験場研究報告 第25号 昭和62年10月 Bulletin of the Hokkaido Forest Experiment Station. No. 25. October, 1987]

齢時から上、中層木の間伐を行った効果についても十分な検討はなされていない。

筆者らは、比較的若齢のトドマツ人工林に間伐試験地を設定し、上層木および中層木の間伐を行った。間伐後4年間に現われた間伐の効果を調べた。また林分葉量の推定を行ない、葉量の回復経過について検討したので報告する。

試験地および間伐方法

試験地は道有林滝川経営区41林班（芦別市常磐小林の沢）の1959年に植栽されたトドマツ人工林である。試験区は標高が約300m、南東に面した緩斜地である。試験区の設定および間伐の実行は1981年（林齢23年生）に行った。この林分では、それ以前に3～4年毎に計4回の除伐が行われている。

試験区の種類および間伐方法を次に示した。

1. 全層間伐区：主伐候補木を定め、これらと樹冠が競合する上・中層木を間伐した。主伐候補木は樹幹通直で病虫害などがなく、将来、大径材として収穫を期待する木とし、上、中層木の中から選定した。これらではできるかぎり隣接しないように配慮した。

2. 下層間伐区：径級の小さい木から順に間伐木とし、径級が大きくても形質不良木は間伐の対象とした。

3. 無間伐区：間伐区と比較するため現状のままとした。

なお、間伐率は、Y-N曲線（阿部、菊沢 1983）を用いた事前の予測結果（水井ほか 1982）から、間伐効果が大きく、さらに林分生長量が低下しない程度の間伐率を採用した。

調査方法

1 毎木調査

1981年5月、各試験区内の全木について胸高直径、樹高、および幹の曲がりや病虫害の有無などの品質、立木位置などを調べた。その後、間伐木を選定し、間伐を実行したのは同年の10月である。このため、試験区設定から5生育期間を経過しているが、間伐後の生育期間は実質的に4年である。

間伐後は2年毎に胸高直径を測定した。測定部位は各回とも同一とし、直径巻尺によりmm単位で測定した。樹高は試験区設定時に全木について、間伐後4年目には一部の個体について測定した。このため、材積の推定は、各測定回による樹高の誤差を考慮して針葉樹の一変数による材積計算式（中島 1943）に統一した。

2 林内照度

林内照度の測定は、1981年がアントラセン法（真辺ほか 1969）、1982-1986年は光電池式照度計（東芝71号）を用いて、いずれも8月上旬に測定した。測定点数は10m×10mにつき前者が1点、後者は5点とした。1区あたりの測定点数は1981年を除き100-125点である。平均相対照度は対数変換して求めた。測定日の天気は、年によって多少異なっている。

3 落葉量と輪生枝の着葉率

1982年から1985年まで林分落葉量を測定した。各区4個のリタートラップ（1m×1m）を設置し、これに落下した葉を年2回、5月と10月に回収した。葉は80℃で24時間乾燥後に秤量した。

枝の着葉については1983、1984、1986の各年に調べた。各年とも生育期の終り頃、各区から1～2本の個体を選び、枝階別に枝を採取した。この際、枝階の地上高を測定した。採取枝は実験室に持ち帰り、輪生枝の主軸に展開した年別の着葉数と葉痕数を数え、着葉率を求めた。

結 果

1 間伐前後の林分概況

各区の間伐前および間伐後の林分本数、材積を表-1に示した。下層間伐区（以下「下層区」という）

表-1 間伐前後の林分概況

	間伐前			間伐木		間伐後	
	面積 ha	本数 本/m ²	材積 m ³ /ha	本数 本/ha	材積 m ³ /ha	本数 本/ha	材積 m ³ /ha
無 間 伐	0.20	1,725	165	—	—	1,725	165
全 層 間 伐	0.25	1,728	187	444 (24)	50 (25)	1,284	137
下 層 間 伐	0.25	2,044	206	728 (36)	43 (21)	1,316	163

()は間伐率を示す

は立木本数が多かったために間伐前の林分材積は他の区よりやや多かった。しかし、平均樹高および平均胸高直径は各区とも大差なく、それぞれ、10m、13~14cmであった。試験区間に地位の差はほとんどないものと判断される。

全層間伐区（以下「全層区」）からは384本/haの主伐候補木を選定した。間伐前後の直径階別本数分布によると（図-1）、全層区の間伐木は最下層を除きほぼ全層におよんだ。一方、下層区の間伐木は小

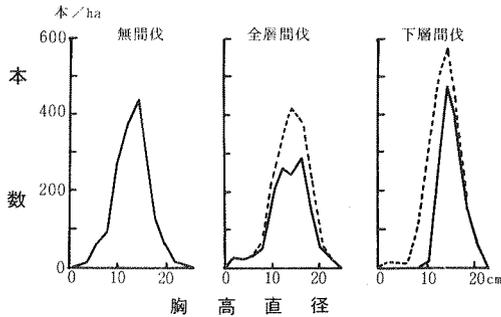


図-1 間伐前後の直径階別本数分布

-----: 間伐前
———: 間伐後

径木から順に選んだため、10cm以下の直径階の個体はすべて間伐された。ただし、形質不良木を間伐木に含めたことから、中層木もわずかながら間伐された。

2 間伐効果

(1) 林分材積生長量

5生育期間の林分材積生長量を表-2に示した。期間生長量は、無間伐区が最も多く、次いで下層区、全層区の順であった。しかし、全層区と無間伐区との間の材積生長量の差は5生育期間で8 m³/ha程度であり、著しく少なかった。

期間生長量を生育期間の前半（3年）と後半（2年）に分けて各区の値を比較すると、前半は無間伐区で多く、全層区で少ない。ところが、後半の2年間ではほとんど差がなくなった。つまり、各区間の生長量の差は間伐後の2生育期間に生じたものである。間伐によって林分材積生長量が低下するのはごく短期間であり、量的にも少ない。

表-2 林分材積生長量

区	年	蓄積 m ³ /ha	期間生長量 m ³ /ha	連年生長量 m ³ /ha・年	生長率 %
無 間 伐	1981	165			
	1983	233	(68)	(22.7)	
	1985	266	(33) 101	(16.5) 20.2	9.4
全 層 間 伐	1981	137			
	1983	196	(59)	(19.7)	
	1985	230	(34) 93	(17.0) 18.6	10.1
下 層 間 伐	1981	163			
	1983	228	(65)	(21.7)	
	1985	262	(34) 99	(17.0) 19.8	9.4

()は前期と後期に区分した値を示す

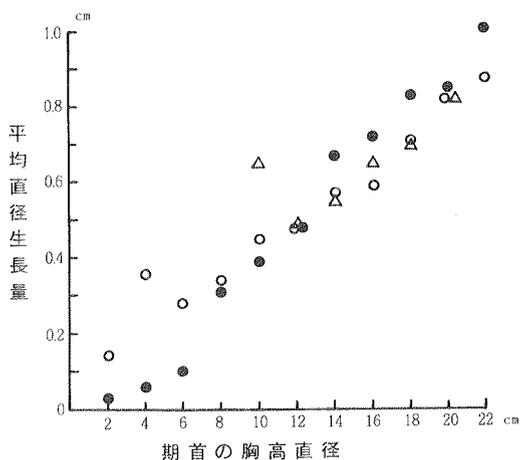


図-2 期首の直径階別平均直径生長量

● : 全層間伐
 △ : 下層間伐
 ○ : 無間伐

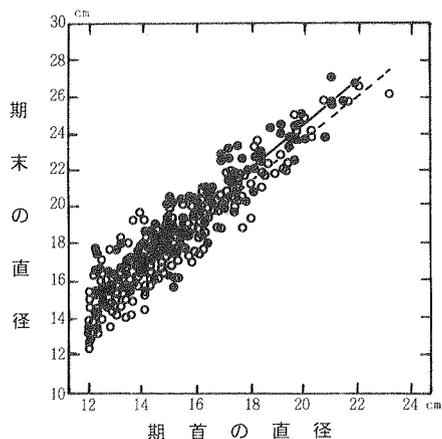


図-3 期首と期末の直径との関係

●, — : 全層間伐 ($r = 0.947$)
 ○, - - - : 無間伐 ($r = 0.922$)

(3) Y-N曲線

間伐効果の解析に Y-N 曲線が有効であり (菊沢 1981), 人工林の場合, ベータ型の Y-N 曲線 (KIKUZAWA 1981) が現実のデータによく適合するとされ, いくつかの樹種で実証されている (清和ほか 1986, 菊沢 1987)。ここでもベータ型の Y-N 曲線を用いて間伐効果を検討した。1981年と1985年時点の各区の Y-N 曲線と限界直径点 (2 cm 毎) を図-4 に示した。Y-N 曲線の適合は良好である。

間伐効果は無間伐区と間伐区の同一時点の Y-N 曲線を比較し, その位置の違いによって説

(2) 直径生長量

各区の直径階別の平均直径生長量を図-2 に示した。各区とも, 期首の直径が大きくなるにつれ生長量は大きく, 平均直径生長量の最大は 1 cm/年 以上に達した。各区を比較すると, 全層区は 12 cm 以上の各直径階において他の区より大きな生長量を示した。しかし, それ以下の直径階では他の区より少ない。全層区における間伐の効果は上, 中層木に対して顕著であるが, 下層木に対する効果は認められなかった。

つぎに, 期首の直径が 12 cm 以上の個体に限定し, 期首 (1981年) と期末 (1985年) の直径との関係を図-3 に示した。図には全層区と無間伐区のみを示した。相関係数はいずれも 0.9 以上である。両区の回帰直線はほぼ同じ勾配である。しかし, 切片の値が異なり, 全層区が無間伐区よりも大きい。下層区は図示していないがそれらの中間である。全層区の直径生長量は他よりも明らかに大きく, 全層区における間伐の効果は, 上, 中層木の直径生長に強く現われた。

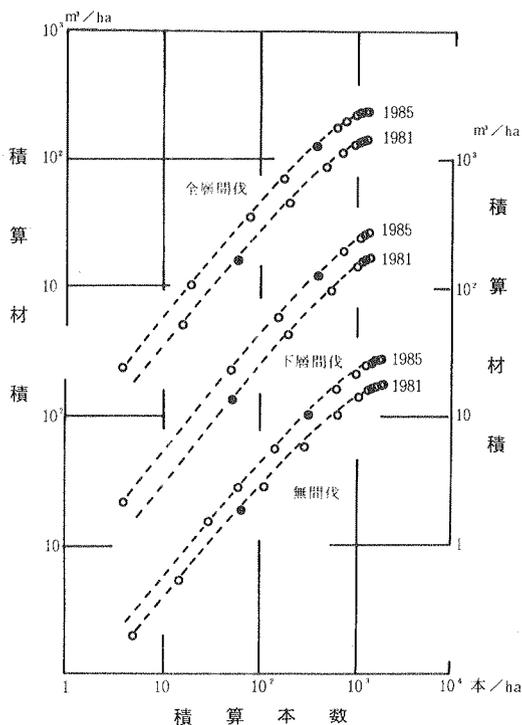


図-4 各区の Y-N 曲線

● : 20 cm の限界直径点

明される(菊沢 1981, 清和・菊沢 1986)。1985年時点の3区のY-N曲線を同一図上で比較すると、全層区ではわずかに上方に位置するものの、3区とも接近したものとなり、Y-N曲線の位置の違いは明瞭に区別できなかった。しかし、このような場合でも各区の等限界直径点を比較することにより間伐効果の有無を検討することができる。間伐直後の1981年時点で直径20cm以上の本数(黒丸)が多いのは、無間伐>全層>下層の順であった。ところが、1985年には下層>全層>無間伐の順となった。しかも、全層区と下層区との間にはほとんど差がない。そして、22cm, 24cm以上の直径階でみるといずれも全層区が最も多くなっている。さらに、最大直径(28cm)の個体も全層区で確認された。したがって、全層区では上、中層木の生長量を増大させる効果がすでに現われていることが確認できる。

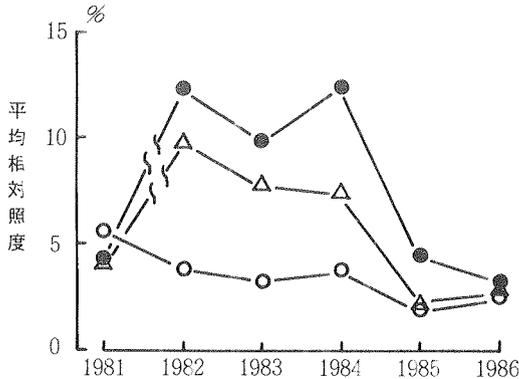


図-5 林内照度の経年変化

- : 全層間伐
- △: 下層間伐
- : 無間伐
- ∴: 間伐時を示す

は時間の経過とともに徐々に低下し、最終測定年にはやはり約4%になっている。つまり、間伐区の林内照度は間伐してから5年間程度で無間伐区とほぼ同じになり、樹冠の閉鎖程度は各区とも同程度に回復したと判断される。

(2) 林分落葉量と輸生枝の着葉率

林分落葉量(乾重)の経年変化を図-6上に示した。無間伐区は2.4-3.6トン/ha・年の範囲を隔年で増減した。これに対して、全層区は最も少なく、とくに間伐翌年は0.88トン/haであり、無間伐区の1/2にも満たない。しかし、その後は経年的に増加し、間伐後4年目には2.3トン/haの葉が落下した。一方、下層区は他の両区の間を推移した。

間伐直後に林分落葉量が減少するのは林分本数の影響が考えられる。そこで、単位胸高断面積あたりの落葉量を比較した(図-6下)。この

3 林内照度と林分葉量の推移

(1) 林内照度

各区における平均相対照度の推移を図-5に示した。間伐前は各区とも樹冠がほぼ閉鎖しており、平均相対照度は約5%であった。全層、下層の両区は間伐によって相対照度がそれぞれ13%、10%に上昇した。その後の3年間は著しい低下はみられなかったが、間伐5年後には両区とも約4%にまで低下した。一方、無間伐区

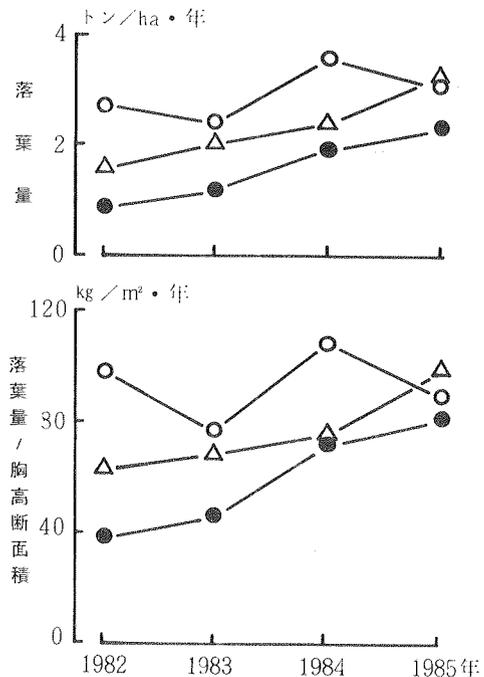


図-6 林分落葉量の経年変化

- : 全層間伐
- △: 下層間伐
- : 無間伐

値でも全層区が最も少なく推移する傾向はかわらなかった。また、1985年には各区の差が少なくなったことも同じである。したがって、間伐区の林分落葉量は間伐直後に減少したことが明らかである。林分落葉量の減少は葉の枯死量が減少したこと、すなわち林分の着葉量が増加したことを示唆する。

無間伐区における各枝階の輪生枝について、伸長年（葉齢）別の着葉率を図-7に示した。1984年に

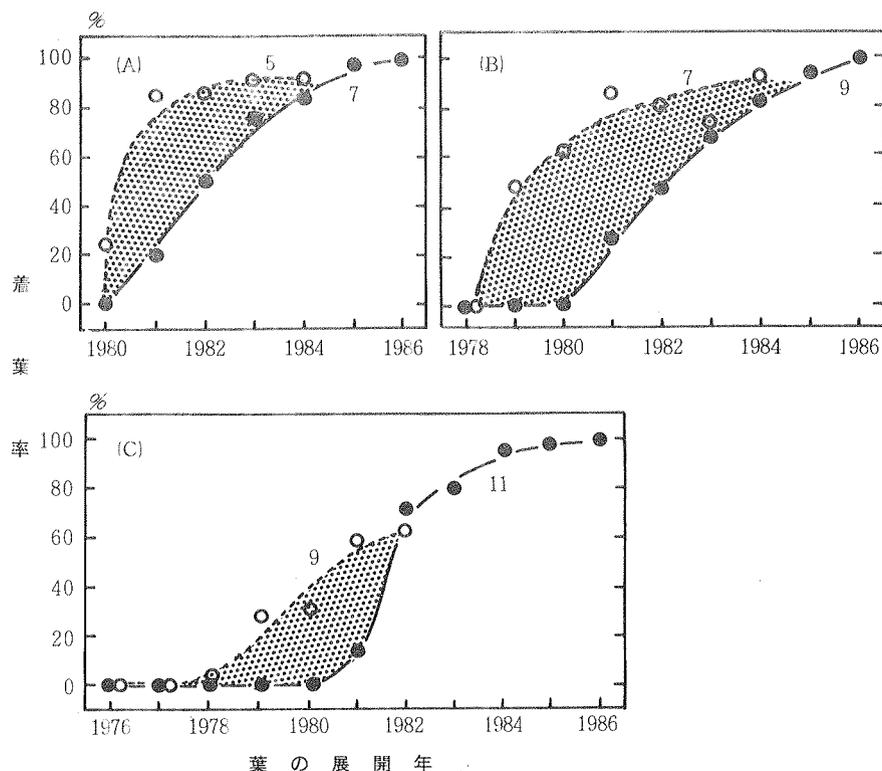
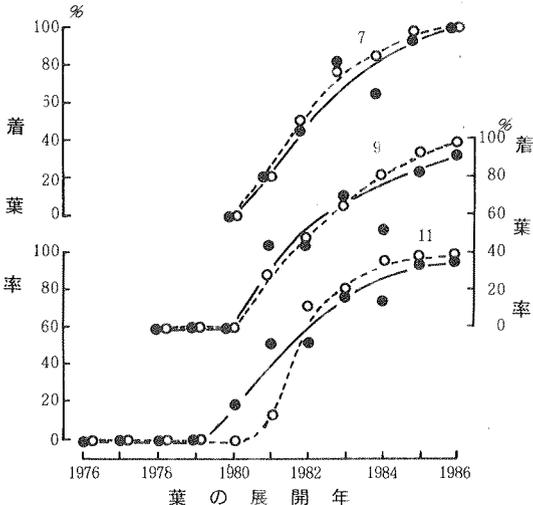


図-7 無間伐区における葉の展開年別の着葉率

- (A) 1984年の5年生枝(○)と1986年の7年生枝(●)
 (B) 同 7年生枝(○)と 同 9年生枝(●)
 (C) 同 9年生枝(○)と 同 11年生枝(●)
 stippled pattern is 2 years of leaf loss

着葉率を調べた枝の平均地上高は、第5枝階（5年生枝）が11.2m、第7枝階（同7年生枝）が9.8m、第9枝階（同9年生）は8.8mである。1986年の場合もそれらと大差ない。図-7（A）は1984年時点の5年生枝と1986年時点の7年生枝の着葉率を比較している。ただし、枝を採取した個体は異なる。1984年における5年生枝の着葉率は、1年生から4年生部位までが約80%と高いが、5年生部位では約20%と低く、急激に落葉が進行している。このことから、5年生程度の枝でも最も幹に近い部位では、かなり被陰されていることが推察される。その後2年を経過した1986年での7年生枝の着葉率は幹から離れるにつれ緩やかに高くなり、結果として5年生枝の曲線が右側に移動した形となっている。つまり、各展開年の葉はいずれも着葉率が低下したことがわかる。この着葉率の差、すなわち減少部分が2年間の落葉量に対応している。

図-7（B）は、同様に1984年時点の7年生枝と1986年時点の9年生枝を、(C)は同じく9年生枝と11年生枝を比較した。いずれも（A）と同じ傾向を示し、着葉率の曲線は右側へ移動する。これらの結果から、枝の着葉曲線は枝齢が増加しても同じような形となり、7年生から11年生程度の枝では着葉率



図一8 全層間伐区と無間伐区の枝の着葉曲線(1986年)

● : 全層間伐
○ : 無間伐
添数字は枝階順(枝輪)を示す

林分落葉量と葉の平均寿命から林分葉量を推定した。閉鎖林分における林分葉量は一定になるとされ、トドマツ林の場合、10-16トン/haの範囲にあるようである(春木 1979, 佐藤・坂本 1981, 阿部 1980)。林分葉量が経年的に一定であれば、新しく展開した葉量に相当する分が毎年落葉していることになるから、1年間の落葉量は1年間の葉の生産量に等しいと仮定できる。

無間伐区のエ落葉量(ΔL_L)は年によってやや差はあるが(図一6)、4年間の平均値は2.96トン/ha・年である。これを新しい葉の生産量(ΔY_L)とした。

葉の平均寿命は、次のようにして求めた。図一7における各枝の展開年(葉齢)別の着葉率によって囲まれる面積を求め(ディメンションは%・年)、この面積を着葉率が最大であるところの100%で割ると、平均寿命が得られる(菊沢 1978)。各枝の平均寿命の値を図一9に示した。全サンプルの平均寿命の差異は小さく、3-5年の範囲内であり、全サンプルの平均寿命(M_{LL})は4.04年となった。無間伐区における林分葉量を(ΔY_L) \times (M_{LL})で推定すると、11.96トン/haとなった。この値はトドマツ林で調べられたほぼ同齢の林分(佐藤・坂本 1981)、あるいは、高齢林分(阿部 1980)の値に近い。

(4) 間伐方法と林分葉量の回復

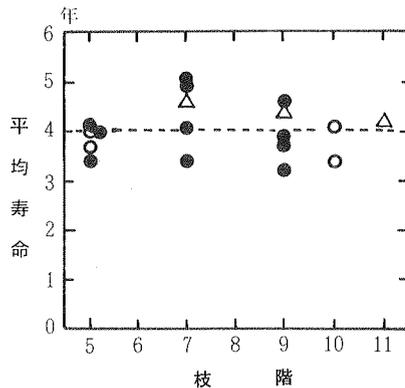
無間伐区の推定林分葉量と間伐率とから、間伐直後の林分葉量を推定した。ただし、ここでの間伐率は間伐前後の胸高断面面積合計の比を用いた。その値は、全層区が0.27、下層区が0.24であり、計算された林分葉量は順に8.73、9.09トン/haとなる。

年間の推定生産葉量から、各年に実測した落葉量を減じた値を各年の増加葉量($\Delta Y_L - \Delta L_L$)

に大きな差がないようである。

つぎに、1986年に採取した各枝の着葉率を全層区と無間伐区で比較した(図一8)。樹幹上部の第7枝階、第9枝階では両区間にほとんど差が認められない。しかし、第11枝階の枝において全層区は幹に近い部位で無間伐区よりわずかに高かった。樹幹下部の枝の着葉率を高く維持していた可能性がある。また、両区の平均樹冠長を比較すると、間伐直後は無間伐区が6.5m、全層区は6.2mであり、わずかながら前者が長かった。ところが、1985年にはそれぞれ8.0m、9.5mであり、樹冠長は全層区で長くなっている。したがって、全層区は無間伐区より枝の枯れ上がりが少ないこと、すなわち樹幹下部の枝まで着葉していることは明らかである。

(3) 林分葉量の推定



図一9 無間伐区における葉の平均寿命

○ : 1983年
● : 1984年
△ : 1986年
----: 平均値

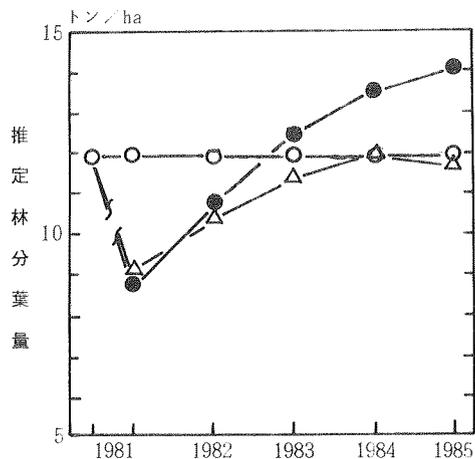


図-10 林分葉量の回復経過

- : 全層間伐
- △: 下層間伐
- : 無間伐
- /: 間伐時を示す

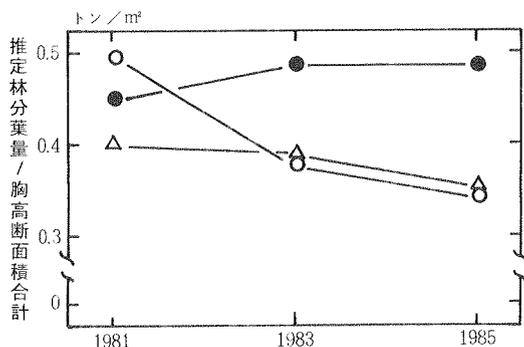


図-11 単位胸高断面面積あたりの葉量の推移

- : 全層間伐
- △: 下層間伐
- : 無間伐

ことから、大径材生産に対する間伐効果を確認するにはいたっていない。また、林齢の比較的若い林分においてこのような間伐を実施した例は最近になってからの試みしかみられず（北海道林務部 1984）、その効果を検討する段階ではない。ただし、カラマツやヨーロッパトウヒなどでは間伐後の経過期間が短かいにもかかわらず間伐強度による明らかな差異が確認されている（清和ほか 1986, 菊沢 1987）。

ここで調べた結果についても、間伐後の経過期間は比較的短い。しかしながら、全層間伐は上、中層木の直径生長に効果的なことが確認された。反面、下層木にはほとんど効果が認められなかった。下層木の生長量が無間伐区のそれらよりも少ないのは、樹冠が急激に疎開されたことによる生理的な障害があったのかもしれない。一方、下層間伐は無間伐区の直径生長をわずかに上回る程度であり、間伐効果は顕著でなかった。全層間伐と下層間伐の効果の違いはY-N曲線によって理論的に明らかにされた結果（菊沢 1981）と矛盾せず、それに沿って推移していると判断される。また、等限界直径点によって示された結果から、全層区は他の区よりも径級の大きな個体が増加してきている。大径材生産には上、中層木も間

とし、これを間伐直後の葉量に順次加えて各年の林分葉量を求めた。間伐後の林分葉量の経年変化を図-10に示した。これによると下層区は間伐後3年目に無間伐区とほぼ同じ葉量に回復したことがわかる。その後は、無間伐区のエ分葉量とほとんど差がなく推移した。一方、全層区では、間伐後2年目に無間伐区の数とはほぼ等しくなつたが、その後も増加傾向を示し、無間伐区の数に収束することなく、4年目には無間伐区より約2トン/ha多い結果となつた。

つぎに、単位胸高断面面積あたりの葉量の推移を図-11に示した。無間伐区は試験区設定後の2年間にやや急な減少を示し、その後は緩やかに減少した。また、下層区ではやはり経年的に減少したが、量的には少ない。この区の間伐直後の値は他の区より低かつた。これは間伐前の林分密度が他の区よりやや高く推移していたことの影響があるのかもしれない。一方、全層区はそれらとは逆に間伐後の2年間は増加した。そしてその後は平衡状態を保ち、減少する傾向はみられなかつた。したがって、全層区のみが単木の葉量を増加させ、下層区、無間伐区とは異なつていた。このことは間伐の効果として直径生長に大きく寄与したものと考えられる。

考 察

トドマツ林において、上、中層木を間伐した事例はいくつかみられる（北海道林務部 1984）。しかし、所定の径級以上の木を伐採しているこ

伐の対象にしなければならないことが指摘される。

全層区では主伐候補木を選定した。比較的若齢な段階からこれらを定めることの是非についてはいまのところ断定はできない。今回の結果によると、間伐の効果は上、中層木に対して大きかった。このことは主伐候補木への効果が大きいことである。形質良好な木の適正配置、それらが今後さらに生長促進されることを想定すると、品質の高い大径材の生産に有効なように考えられる。

ここで推定した林分葉量は2つの仮定に基いた。一つは閉鎖林分における林分落葉量と新しい葉の生産量は等しいとしたことであり、もう一つは間伐を行っても林分あたりの新しい葉の生産量は一定である、としたことである。これらについて検討すると、前者は、枝の着葉曲線が時間的な経過に対してその型に大きな差異がないこと、そして葉の平均寿命にも差がなかったことから、大きな問題はなさそうである。後者については間伐による生産葉量の低下が予想される。しかし、ここでの間伐率はそれほど高くないこと（胸高断面積から求めた全層区、下層区の間伐率はそれぞれ 27, 24%）や、間伐直後の林分材積生長量の減少が極めて少なかったことなどから、間伐によって生産葉量が低下したとしても量的には少ないものと考えられる。全層区の推定林分葉量は、間伐後2年目以降、他の区を上回る結果となった。このことは、1985年時点の全層区の樹冠長が無間伐区に比べて 1.5m 長いことや全層区の着葉率が高く、葉の寿命がやや長いことなどが関係するものとみられる。

間伐の有無による樹冠長の違いは、基本的には樹冠下方までの到達陽光量によって規制されているのであろう。林内照度を平均値でみると各区間の差は徐々に少なくなった。しかし、光強度の垂直的、水平的な分布は各区間で異なるものと考えられ、林内光環境の詳しい解析が必要である。

この試験区において、全層区が間伐前の林分葉量に回復するのは間伐後約2年であり、その後も増加傾向を示している。単木の葉量の増加は今後も材積生長に寄与する可能性がある。上、中層木の間伐効果、林分葉量の経年的な変化を継続的に観察する必要がある。

文 献

- 阿部信行 1980 トドマツ人工林の施業に関する研究(Ⅲ) - 53年生林分の現存量 - , 北林試報19: 115-128
- 阿部信行・菊沢喜八郎 1983 間伐効果に関する定量的研究(Ⅱ) ベータ型Y-N曲線による間伐試験林分の解析, 日林誌65: 207-214
- 春木雅寛 1979 トドマツ人工林の物質現存量に関する基礎的研究, 北大農演報36(1): 147-254
- 北海道林務部 1984 人工林間伐試験, 林業経営試験 道有林における実践例第Ⅳ報: 69-138
- 菊沢喜八郎 1978 広葉樹の葉の生存曲線, 遺伝32(8): 57-62
- KIKUZAWA, K. 1981 Yield-density diagram for todo-fir plantations (I) A new Y-N curve based on the Betatype distribution, J. Jap. For. Soc. 63:442-450
- 菊沢喜八郎 1981 間伐効果に関する定量的研究(Ⅰ) 収量-密度図を用いた分析, 日林誌63: 51-59
- 1987 ヨーロッパトウヒの間伐試験, 北林試研報25: 28-35
- 喜多啓能 1986 トドマツ人工林上層間伐試験地のその後の経過について, 昭60年度道林務部研究発表論文集: 30-31
- 真辺辰夫・荒木武夫・浅沼 吾 1969 アントラセンによる日射量の測定, 日林誌51: 164-167
- 水井憲雄・菊沢喜八郎・水谷栄一・福地 稔 1982 トドマツ人工林の間伐試験-収量-密度図を利用した収穫予測-, 昭和56年度道林務部研究発表論文集: 140-141
- 中島広吉 1943 北海道立木幹材積表, 興林会北海道支部叢書1: 46p 林友会北海道支部

佐藤清左衛門・坂本 武 1981 植栽本数と生産量, 北方林業33: 118~123

清和研二・浅井達弘・水井憲雄・菊沢喜八郎 1986 カラマツ人工林の間伐試験—強度間伐の有効性—,
日林北支論35: 122~124

清和研二・菊沢喜八郎 1986 カラマツ人工林の収量—密度関, 北方林業38: 8~12