

冷温帯下部天然生林の更新技術 VI —光環境の異なるミズナラ天然生林内に 樹下植栽したスギ，ヒノキの成長—

安藤 信・菅原 哲二・川那辺三郎

Studies on the regeneration of forest on lower limit of cool temperate
deciduous broad-leaved forest VI
—Growth of Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*)
seedlings planted under Mizunara (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*)
stands of different canopy condition for 10 years—

Makoto ANDO, Tetsuji SUGAHARA and Saburo KAWANABE

要 旨

芦生演習林のミズナラが優占する天然生落葉広葉樹林に皆伐，強度間伐，弱度間伐，無間伐の上木処理を行った4試験地を設定した。樹下にスギ，ヒノキを植栽し，上木，下木の10年間の成長過程を調べた。

1) 設定時における試験地の立木本数は2500～3500本/ha，材積は98～127m³/ha，平均直径は10cm前後，樹高は7.5m前後であった。本林分はミズナラ，リョウブ，コハウチワカエデ，アカシデ，ミズメなどによって構成されていた。ミズナラは本数の54～71%，材積の68～95%を占め，直径階分布の上位で正規分布型を示し，下位にミズナラより耐陰性が高い樹種がL型を示す複合型の分布型を示した。

2) 上木の年成長率は強度間伐区(52m³/ha)では上木処理後向上し，10年間に徐々に低下した。弱度間伐区(77m³/ha)では処理の影響が現れにくく，ミズナラ劣勢木に枯死するものが多く，年成長率の低下が著しかった。無間伐区(127m³/ha)でも期間中に枯れたものはミズナラだけで，ミズナラ以外の樹種の年成長率が優っていた。

3) 上木処理後1年目の開葉期の林床の相対照度は，強度間伐区で45.4%，弱度間伐区で22.9%，無間伐区で10.6%であった。3年目に照度はそれぞれ1/4，1/3，1/2に低下した。9年目の測定値は3年目と大きな違いはみられなかった。

4) 植栽した下木のスギ，ヒノキの生存率はそれぞれ96%，71%となり，ヒノキで低い値を示した。伐採率が高い試験区ほど枯死率が高く，枯死が発現する時期は早まった。

5) 下木は試験期間中に多くの被害が観察された。スギは虫による食害を受けるものが多かったが，直接成長に影響するような被害は比較的少なかった。ヒノキは樹高成長を抑制された個体

に、乾燥あるいは被圧に起因すると思われる葉の脱落や、主軸が損傷されたものが多かった。スギ、ヒノキともに直接雪に起因すると思われる被害は比較的少なかった。

6) 皆伐区ではスギは植栽後2年目、ヒノキは3年目より他の試験区より樹高、直径成長が優るようになった。しかし、スギは4年目以降、樹高成長が衰えるようになり、間伐区との差が小さくなった。強度、弱度間伐区では両試験区間で大きな成長差はみられず、スギ、ヒノキともに3年目以降無間伐区との成長差がみられるようになった。無間伐区では他の試験区に比べ成長低下は明らかであったが、両樹種ともに年間の樹高成長は10cm前後となり、比較的伸長量は大きかった。全ての試験区でヒノキはスギに比べて樹高成長が優っていた。

7) 下木の個体重量の年成長率は皆伐区、間伐区では植栽後上昇し、ピークが訪れ、その後急激に低下して安定した。皆伐区ではスギは2年目、ヒノキは3年目に成長率が70%前後となり、その後低下して、5年目以降はスギは20%、ヒノキは30%前後となり、スギの成長低下が著しかった。間伐区ではスギ、ヒノキともに弱度、強度区で大きな差はみられなかった。両樹種ともに4年目にピークが現れ、その値は皆伐区より低かった。無間伐区では試験期間を通じて両樹種ともに20%前後の安定した値を示した。

8) 形状比はスギ、ヒノキともに試験期間前半にあっては、各試験区で値は上昇し、3年から4年目より安定するか、その後は徐々に低下する傾向を示した。伐採率が高い試験区ほど形状比の低下が始まる時期は早く、その程度も大きい傾向がみられ、試験期間後半には低い値を示した。各試験区ともにスギに比べてヒノキの形状比は高かった。

1. は じ め に

京都大学芦生演習林では冷温帯の森林の更新方法について検討を行ってきた。その中で、スギ (*Cryptomeria japonica*)、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の人工林調査^{1, 2)}の結果からは、低標高地の斜面下部では蓄積が大きい林分がみられたが、高標高地の斜面上部では成長低下が著しい林分もみられた。一方、伐採直後に天然更新補助作業を行い、その後20年間放置した高標高地の若齢天然生林の調査³⁾では、更新林分は天然スギや有用広葉樹の割合が高く、斜面上部ではスギの混交率が高まって、斜面下部よりも蓄積が大きいことが明らかになった。このような結果から当地の高標高地、斜面上部では天然更新補助作業をさらに積極的に導入し、更新してきた林分の保育を行えば、造林経費は軽減され、林分を速やかに再生することが可能であると考えられた。しかし本演でもスギをはじめとする有用樹種の更新が期待できる林地は限られ⁴⁾、これらの作業は全ての林地に適用できる方法とはいえない。天然更新が不可能な林地では植栽方法の検討が必要である。

本研究は残存率の異なる択伐林型、あるいは低質林分の林種変換を想定して、一様にミズナラが優占した天然生林に手入れを行い、樹下にスギ、ヒノキを植栽して、上木、下木の成長経過を調べたものである。

調査は芦生演習林造林班と研究室が主体となって行った。多大の助言、協力を頂いた鳥取大学乾燥地研究センターの玉井重信教授、京都大学演習林教職員各位、並びに校閲頂いた京都大学大畠誠一助教授に対し、ここに記して感謝の意を表する。

2. 調査地の概況

芦生演習林（京都府北桑田郡美山町芦生）は京都府の北東端部、福井、滋賀両県に接した由良川の上流域に位置し、標高は355～959mである。分布特性からみた森林は天然生のスギが混じる温帯落葉広葉樹林と暖帯落葉広葉樹林が標高600mを境に2分される⁵⁾。標高363mの事務所構内の年平均気温（9時観測）は11.0℃、年降水量は2370mm、最大積雪深は1m前後、標高640mの長治谷では平均気温は2℃低く、降水量は400mm前後多くなり、積雪は2mを超える⁶⁾。

試験地は第17林班長治谷実習施設の裏山に設定した（図1）。試験地付近の森林の取り扱い、演習林設定（1921）以前についてはほとんど記録が残っていない。数少ない資料には、試験地がある上谷一帯は古来から京都、滋賀、福井の3県にまたがる木地師の活動の場であったとされる。木地師は本演の上谷、大谷、七瀬、櫃倉から、五波、福井県の虫谷、名田庄を舞台に山々を移動し、一定の回帰年をもたせて「ミズメ」「スギ」などの良材を伐採したという。上谷では小運河を掘り、水を蓄え、滋賀県側に運材したこともあったようである。そのため林相は極度に悪化し、萱生地と化し、また良質の萱を得るために火入れも数回行われようである。試験地より由良川をややさかのぼった野田畑の湿原には明治時代までその拠点となる数戸の部落が存在していたとされ、現在もその面影が残る^{7, 8)}。

演習林設定後は、大正15年（1926）に調査地の南部および西部の長治谷上流域兩岸を対象に、「天然のスギ」を保育する目的で広葉樹の巻枯しが行われている（27.51ha）。この時の作業内容は「椎茸櫛木ニモ利用出来ザルモノニシテ直接杉を被圧セルモノヲ巻枯」とし、さらに同年巻枯し区域を含んだ22.91haを対象に229.6m³（10.02m³/ha）のシイタケ用のほだ木が伐採された。伐採の対象はナラ、シデ類のみで、ナラ類の比率がやや高かったようである。翌年、試験地の北部、西部にあたる上谷の上流部のサワ谷地域（18.51ha）で、シデ類50.11m³、ナラ類112.28m³（合計8.77m³/ha）のほだ木の伐採が行われている。試験地の一角は上記の巻枯し区域からはずれ、長治谷、サワ谷の伐採区域の接点に位置する。このように昭和初期の試験地付近は保育対象とさ

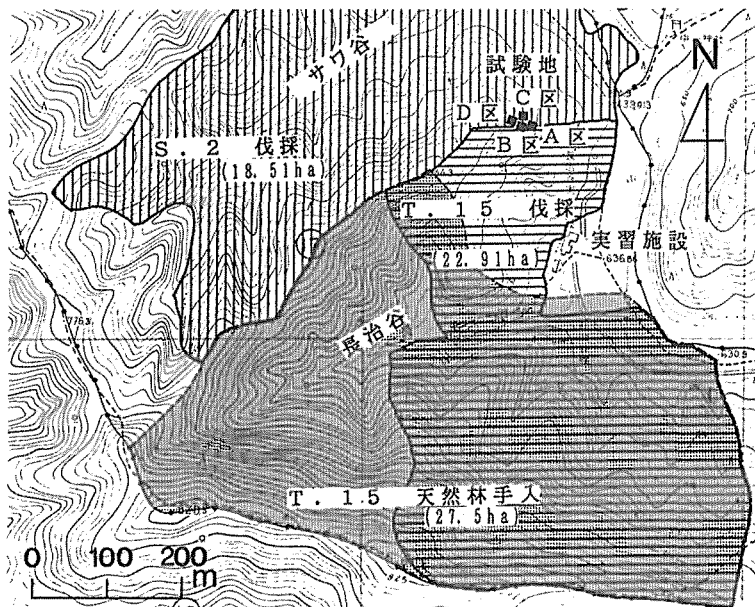


図1 試験地位置図

れるスギはみられず、シイタケのほだ木になるナラ、シデ類の割合が高い、比較的蓄積量が小さい林分であったものと推察される。その後、試験地付近ではきわだった造林、伐採の記録はみられない。しかし、昭和6年に長治谷に作業所仮小屋、9年に炊事施設が設けられ、10年には現在の実習施設が完成した。それ以来、長治谷地域は本演における学生実習、研究、森林作業の中心地となった経緯があり、その過程でも燃料材の補給などが行われたものと思われる⁹⁾。

3. 試験地の設定と調査方法

試験地は標高710m、傾斜は25°前後のほぼ東向きの天然生落葉広葉樹林である。標高差100mに満たない斜面の上部にはミズナラ (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*) が、下部にはコナラ (*Q. serrata*) が優占し、暖温帯から冷温帯の落葉広葉樹林への移行部に位置する (図1)。

1980年秋にミズナラが主体となる林分に上木の処理方法の異なる皆伐区 (A区)、強度間伐区 (B区)、弱度間伐区 (C区)、無間伐区 (D区) の4試験区を設定した。試験区の大きさは斜距離にして15×15mである。各試験区の設定時の林分状況を表1に、設定時の直径5cm以上の上木と、上木処理後の残存木の直径階分布を図2に示した。

各試験区の立地条件は、傾斜はA区でやや急となったが22~29°の範囲に入り、本演では比較的緩傾斜の斜面であった。斜面方向はやや南に傾くが、東向きで、傾斜、方位ともに試験区間にほとんど差はみられなかった。立木本数は2500~3500本/ha、断面積合計は24~30m²/ha、立木材積は98~127m³/ha、平均直径は10cm前後、樹高は7.5m前後であった。そのうちミズナラは本数の54~71%、断面積の71~92%、材積の68~95%を占め、D区では特にその比率が高かった。各試験区の直径の頻度分布は林分全体ではL型を示す試験区が多かった。しかし、ミズナラとそれ以外の樹種を分けて考えると、各試験区ともにミズナラが直径階の上位で正規分布型を示し、その下位にリョウブ (*Clethra barbinervis*)、コハウチワカエデ (*Acer Sieboldianum*)、アカシデ (*Carpinus laxiflora*)、ミズメ (*Betula grossa*) などの中・小径木がL型で分布する、複合型を示

表1 試験地の概況

DBH ≥ 5 cm

		A区 (皆伐区)	B区 (強度間伐区)	C区 (弱度間伐区)	D区 (無間伐区)
面積	m ²	197	202	202	209
傾斜	°	29	26	26	22
方位	°	S73E	S80E	S87E	S82E
本数	本/ha	2538 (1421)	3465 (1881)	3168 (2129)	2679 (1914)
B.A.	m ² /ha	23.9 (19.4)	26.2 (18.6)	27.1 (19.5)	29.9 (27.6)
材積	m ³ /ha	97.6 (83.2)	102.2 (74.0)	112.7 (76.8)	127.3 (120.5)
平均直径	cm	10.2 (12.8)	9.2 (10.9)	9.8 (10.5)	11.1 (13.1)
平均樹高	m	7.5 (8.7)	7.0 (7.6)	7.7 (7.8)	7.8 (8.5)

* B.A. は断面積合計, () はミズナラのみの値を示す

* D区では試験区内に DBH < 5 cm のアカシデが1本含まれた

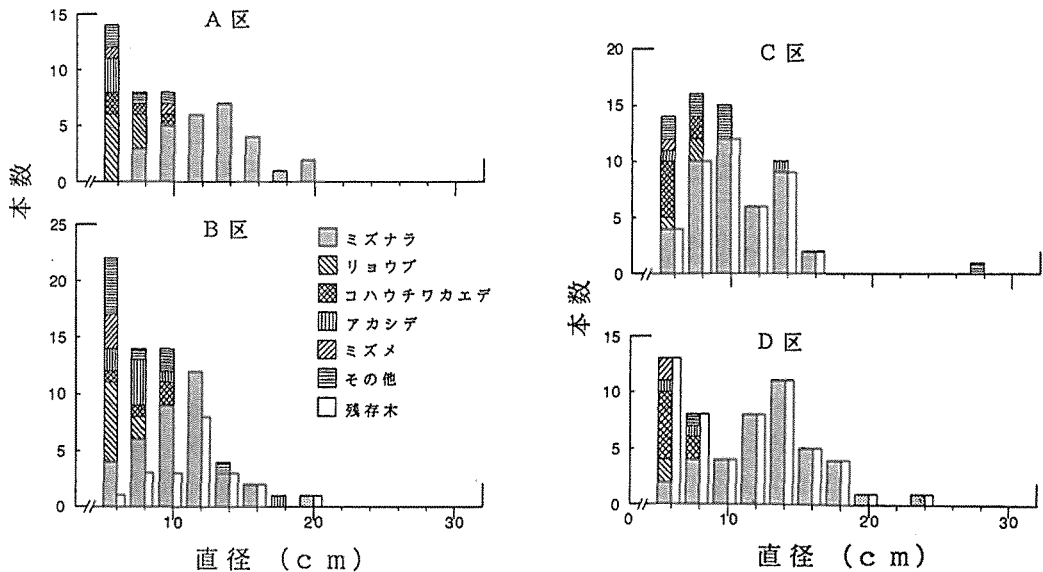


図2 上木の直径階分布と残存木

していた。C区で大径のスギが1本みられたが、各試験区ともに当地の天然林を構成するブナ (*Fagus crenata*)、スギといった樹種はほとんどみられなかった。

試験地付近ではヤドリギ (*Viscum album* var. *rubro-aurantiacum*) が着生している樹木が多く観察された。試験区内では着生していたものはやや大径のアカシデ1本を除いて、すべてミズナラであった。被害木はミズナラ全個体の1/5にあたり、きわめて小径のものを除いて各直径階に分布し、大径のものほどその被害率が高くなった。

翌1981年春先に上木の処理と、全試験区でスギ、ヒノキ植栽のために胸高直径5 cm未満の中・低木を伐採し、試験区内から除去した。上木の処理方法はA区では全木を伐採し、B区では形質の優れたミズナラを残すこととし、C区ではすべてのミズナラを残すことにした。またヤドリギは特に主幹などに根をはびこらせると、樹木の形質、樹形を著しく低下させ、その後の成長にも影響を与えられた。B区の伐採にあたっては、残存木の配置を考慮するとともに、強度のヤドリギ被害木を除去することも選考の基準に加えた。上木処理後の残存率はB区で本数の30%、材積の51%、C区で本数の67%、材積の68%であった。

同年5月末に各試験区内の斜面の上側にヒノキ、下側にスギを45本ずつ植栽した。植栽間隔は斜面の上下左右ともに斜距離で1.25 mとし、植栽位置は試験区の中央部からやや上部とした。用いた苗木はヒノキは吉野、スギは芦生産の種子から養成した3年生実生苗である。ヒノキは植栽直後から枯死がみられ、同年7月に全体で8本の補植を行った。

上木の調査は設定時から2年ごとに1990年まで10年間、胸高直径 ($D_{1.3}$) と樹高 (H)、生枝下高 (H_B) 等を測定した。下木については植栽直後と、その後は毎年10月後半から11月初めの成長停止期に、地際直径 (D_0)、樹高 (H) を測定し、測定木の形状、動物害、雪害など気がつくことを記録した。測定は1989年まで9年間続けた。植栽時の苗と、2年目と9年目の生育期間が終了した1982年、1989年の秋に掘り取った各試験区10本前後の試験木について、地際直径、樹高などを測定し、植物体各器官に分けて乾重量 (W) を測定した。また各試験区において、植栽直後の1981年6月より試験終了時まで計5回、林床の林内照度の測定を行った。照度測定位置

は地上高 1 m 前後である。比較に用いた林外照度の測定は1981, 1983年は皆伐区の A 区中央で、その後は上木の樹冠の回復, 植栽苗の成長や低木類の繁茂が著しくなったため、直線距離で150 m 離れた林道上の疎開地で行った。

本試験地は下刈り等の保育作業は行っていない。植栽した下木の成長に影響が出ないように配慮して、試験期間中に前述の試験木の掘り取りと、1985年夏に一部の低木類を抜き取った¹⁰⁾。

4. 結果および考察

1) 上木の成長

各試験区の上木の直径, 樹高, 生枝下高, 本数, 材積の10年間の変化を表 2 に、材積の年成長

表 2 間伐後の残存木 (上木) の成長

DBH $\geq$ 5 cm							
試験区	調査年	直径 cm	樹高 m	H _B m	本数 本/ha	材積 m ³ /ha	B.A. m ² /ha
B 区 (強度間伐区)	1980	12.0	8.2		1040	52.0	12.5
	1982	12.8	8.6	4.0	990	58.0	13.5
	1984	13.6	9.0	4.1	941	63.4	14.5
	1986	14.4	9.1	4.1	891	68.3	15.3
	1988	14.9	9.2	3.4	891	74.5	16.4
	1990	15.6		3.4	842	77.9	16.9
C 区 (弱度間伐区)	1980	10.5	7.8		2129	76.8	19.5
	1982	11.0	8.4	3.8	2079	83.4	20.8
	1984	11.3	8.7	4.0	2079	90.0	22.1
	1986	11.7	8.6	4.0	1980	93.7	22.7
	1988	12.1	8.5	4.0	1733	88.8	21.2
	1990	12.3		3.9	1733	93.1	22.0
D 区 (無間伐区)	1980	11.1	7.8		2679	127.3	29.9
	1982	11.5	8.1	3.4	2679	139.9	32.2
	1984	12.0	8.6	3.5	2536	144.4	32.9
	1986	12.5	8.7	3.5	2440	153.3	34.3
	1988	12.8	8.7	3.5	2344	157.3	34.9
	1990	13.2		3.4	2249	161.2	35.3
(ミズナラのみ)	1980	13.1	8.5		1914	120.5	27.6
	1982	13.5	8.9	3.7	1914	132.5	29.8
	1984	14.3	9.7	3.8	1770	135.9	30.2
	1986	15.0	9.9	3.8	1675	144.2	31.5
	1988	15.7	10.0	3.9	1579	147.6	31.8
	1990	16.2		3.8	1483	150.3	32.0

* H_B は生枝下高, B.A. は断面積合計を表す

* D 区では1984年にアカシデが1 本 DBH $\geq$ 5 cm に進級した

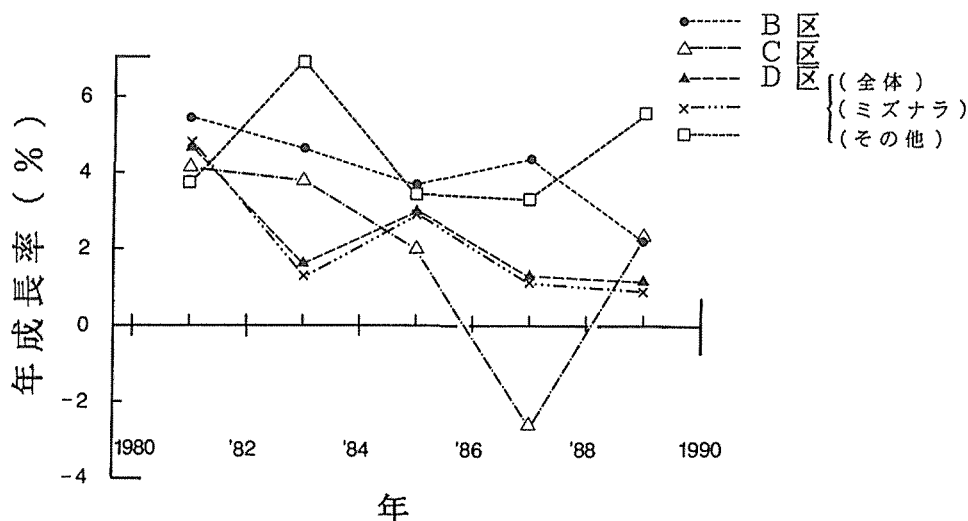


図3 上木の年成長率（材積）の経時変化

率を図3に示した。

本数は各試験区ともに徐々に減少し、10年間の枯死本数はB区で4本、C区で8本、D区で9本であった。枯死木は上木の伐採率が低い試験区ほど多いが、上木処理後の残存本数を基準に考えると、間伐区のB区、C区では枯死率が19%となり、無間伐区のD区よりその比率がやや高かった。枯死個体はすべてミズナラで、D区においてもミズナラ以外の樹種に枯死するものはみられず、C区の2本を除いて、3区ともに残存木の直径階分布（図2）では下位に位置する劣勢木であった。またヤドリギ被害木はB区で1本、C区で2本枯死し、B区の個体は被害程度が中度のもの、B区のもは中度の小径木と弱度の中径木であった。

直径、樹高成長はB区が試験区の中では最も優れていた。ミズナラのみの値を比較すると、設定時に直径、樹高が他の試験区より優っていたD区では10年経過後も依然としてB区より大きい値を示していた。生枝下高は8年経過後にB区ではやや低くなったが、試験期間中、各試験区ともにほとんど変化はみられなかった。

材積はB区では10年間に1.5倍となり、1.2~1.3倍になったC区、D区より成長が著しかった。C区では1986年から1988年の間に枯死木が集中し、一時的に林分材積は減少した。

年成長率は、設定からの2年間は各試験区ともに5%前後の値を示した。B区ではその後徐々に低下し、1988年から1990年にかけて2%近くになった。C区でも1984年から1986年にかけて2%前後に低下し、その後の2年間はマイナス成長を示し、再び2%前後に回復した。D区では1982年から1984年の間に1%台に低下し、その後の2年間はやや高い値となったが、1986年以降の年成長率は1%台であった。またD区のミズナラとそれ以外の樹種を分けて考えると、ミズナラの年成長率は試験区全体のものよりやや低い値を示し、ミズナラ以外の樹種はその材積割合は低いですが、設定からの2年間以外はD区およびC区のミズナラより年成長率は高い値を示した。

2) 林内照度の変化

上木を伐採した1年目（1981）、3年目（1983）、9年目（1989）の6月から7月初めの各試験区の林床の相対照度の頻度分布を図4に示した。

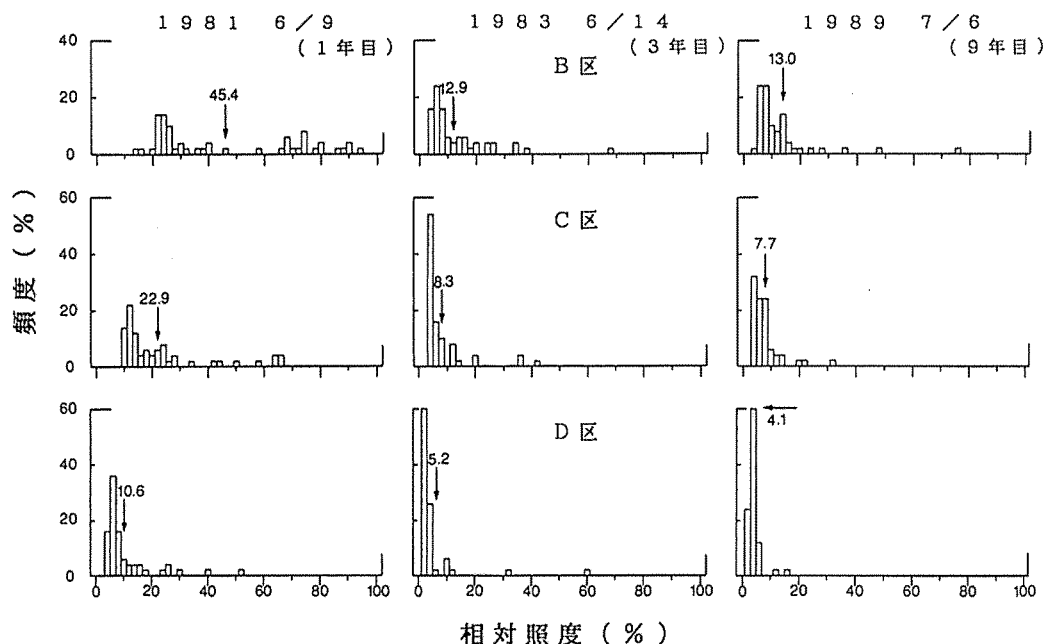


図4 林床の相対照度の試験区間の比較 ↓平均

1981年の相対照度はB区、C区、D区ではそれぞれ平均で45.4、22.9、10.6%となり、疎開地からB区、C区、D区と各試験区で段階を追って半減した。B区の測定値はかなり広い範囲に分散し、14~40%と66~94%のグループに大別された。相対照度が低い側では、20~30%に分布するものが多く、高い側では70%前後のものが多く、林冠に大きな破れがみられた。C区では10~30%の測定値が多く、10~14%で頻度が最も高くなった。それ以上では66%までに不連続に分散し、林冠にいくらか破れがみられた。D区では4~18%のものが多く、4~8%で最も頻度が高くなった。それ以上では52%までにいくらか分散した。

1983年の測定時には、B区、C区、D区のそれぞれの平均値は12.9、8.3、5.2%となった。1981年と比較して、B区では1/4、C区で1/3、D区で1/2に低下し、上木の伐採率が高い試験区ほど相対照度の低下が著しかった。B区では40%を超えるものはほとんどみられず、20%以下が多くなり、4~8%の頻度が特に高くなった。C区では20%を超えるものはわずかで、やはり4~8%の頻度が高くなり、D区では10%を超えることは少なく、2~4%の頻度が高くなった。

1989年にはB区、C区、D区の平均値はそれぞれ13.0、7.7、4.1%となり、1983年と比較して各試験区ともに相対照度の平均値、その分布傾向に大きな変化がみられなかった。しかしB区では高い側に分散していたものがやや減少する傾向がみられた。

このように植栽直前に行われた中・低木の除去、上木の伐採によって、植栽時の光環境は各試験区間で明らかな差が認められた。3年目には上木の伐採率が70%に近いB区でも相対照度は13%近くに低下し、各試験区で残存木の枝葉の展開や、低木の繁茂によって、相対照度の低下が著しかった。しかし各試験区の3年目と9年目の測定値に大きな変化がみられなかったことから、大きな林冠の破れが修復される速度は比較的速いものの、相対照度が低い側では植栽前の作業の

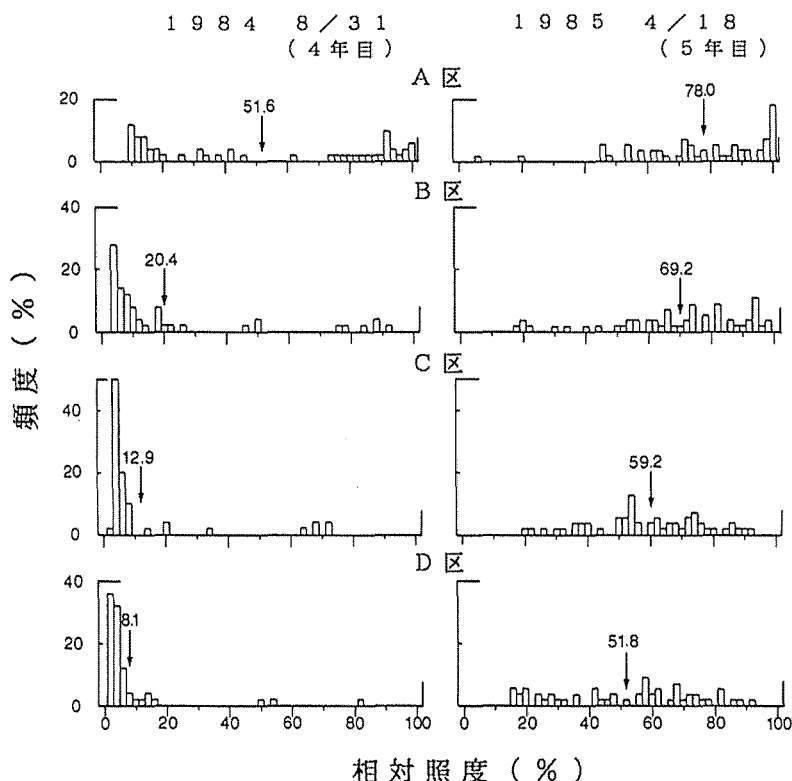


図5 開葉期と落葉期の相対照度の比較 ↓平均

影響がかなり長い間残るものと思われた。

次に植栽4年目の1984年8月末と、翌年の4月半ばに測定した開葉期と落葉期の相対照度の頻度分布を図5に示した。ここでは照度測定の対照地を前述の試験区外に求め、皆伐区のA区の測定も同時に行った。

開葉期にはA区、B区、C区、D区の相対照度は平均値で51.6, 20.4, 12.9, 8.1%となった。A区の測定値の頻度分布は50%を境に主に10~20%と92~100%のグループに2分された。B区、C区、D区では前述の3年目(1983)の値より平均値はやや高い値を示したが、頻度分布の傾向に大きな変化はみられなかった。

落葉期にはA区、B区、C区、D区の平均値は78.0, 69.2, 59.2, 51.8%となり、D区でも50%を超え、全体に高い値を示した。A区では50%以上の測定値が多くなり、100%の頻度が最も高かった。B区、C区でも50%以上のものが多く、C区はB区に比べ、相対照度は低い側にピークが現れた。D区では16~92%の範囲に一様に分散した。

このように各試験区の相対照度はA区、B区、C区、D区の順に開葉期においては指数関数的に、落葉期では直線的に減少した。皆伐区のA区では伐採後まる4年を経過した落葉期にはかなり高い値を示したが、開葉期には林縁の上木や、植栽木、低木類の葉の展開によって相対照度が低い側の頻度がかなり高くなり、平均値は著しく低下した。また無間伐区のD区では落葉期の平均の相対照度は50%を超え、10%以下の測定値はみられず、本試験地では植栽前に中・低木が除去されているが落葉期の広葉樹林の相対照度はかなり高いことが明らかになった。

3) 下木の成長

イ) 苗の枯損と被害

植栽後のスギ、ヒノキの枯死数を表3に示した。

スギは植栽1年目にA区、B区で各1本、2年目にA区で2本、その後は試験を終了した1989年までにA区、B区で各2本の枯死がみられた。C区、D区では試験期間を通じて枯死した個体はみられなかった。スギの生存率は全体で96%であった。

ヒノキは植栽1年目に全体で30本、2年目に21本の枯死がみられ、3年目以降に枯死したものは1本だけであった。枯死数はA区で最も多く、B区、C区、D区と減少したが、D区でも7本確認された。またA区の枯死の発現は1年目に集中し、D区では2年目に多かった。試験期間中のヒノキの生存率は全体で71%となり、比較的低かった。

このようにヒノキはスギに比べ生存率は低く、枯死時期は植栽直後に集中した。また、スギ、ヒノキともに上木の伐採が強度の試験区ほど枯死率は高く、その時期が早まる傾向がみられた。

表3 植栽後の下木の枯死本数

	年	A区	B区	C区	D区
スギ	1981	1	1	0	0
	1982	2	0	0	0
	1983-1989	2	2	0	0
	計	5	3	0	0
ヒノキ	1981	13	8	8	1
	1982	5	6	4	6
	1983-1989	1	0	0	0
	計	19	14	12	7

*ヒノキは枯死数が多かったため、植栽1ヵ月半後にA区で6本、B、C区で各1本の補植を行った

植栽苗は試験期間中に枯死にいたらないものでも諸害を被り、特に樹高成長が抑制されるものが多く観察された。図6に1989年調査時の生存苗の樹高階の頻度分布と、特に試験期間終了時の成長に影響を与えた生育期間前半(1985まで)に観察された諸害をまとめて示している。

苗が受けた被害は同一個体でいくつもの診断が重なる場合が多かった。ここでは被害状況を1)動物害 2)乾燥・被圧 3)主軸損傷 4)雪害 5)その他の5つに大別した。1)はスギでは昆虫による葉の食害、ヒノキでは主にウサギ等の大型動物による枝、幹の食害、幹の傷で、痕跡から明らかな場合のみを示した。2)は苗の下部から上部に向かって葉が枯れ上がる現象をさし、植栽間もない時期にあっては苗の水分条件の悪化が主たる原因と思われ、その後は林冠の閉鎖や、低木類の繁茂による陽光量の不足が直接の原因と考えられる。3)は主軸先端部が霜、寒風、あるいは乾燥、動物によって損傷し、後に二股等の形態を示したものである。4)は幹折れ、倒伏、曲がりなどの主に雪による被害とし、5)は苗全体の変調、変色など、その原因が特定できないものとした。

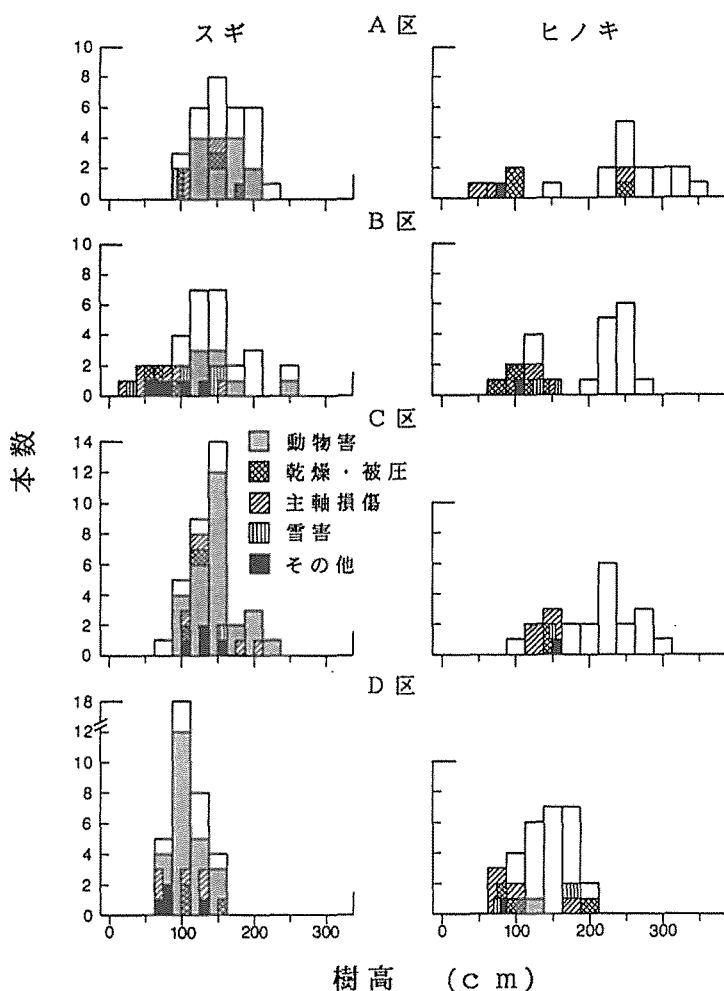


図6 植栽9年目の下木の樹高階分布と被害内容

樹高階の頻度分布はスギの場合、各試験区ではほぼ正規分布型を示した。A区では125～200cmに分布するものが多く、B区、C区では樹高階はやや低下し、D区では100cm前後のものが多かった。虫害は各試験区で見られ、特にC区、D区で被害率が高く、被害木は各樹高階に観察された。乾燥・被圧、主軸損傷、雪害の各被害を受けたものは各試験区ともに比較的少なく、樹高階の低いものに被害が重複しているものが多かった。その他の被害の範疇に入れたものはA区ではみられず、B区、C区、D区では本数は少ないが、樹高階の低い側に偏る傾向がみられた。

ヒノキの樹高階分布はA区、B区では樹高階の高い側と低い側のグループに2極分布した。C区でもその傾向がいくらかみられるが、D区とともに崩れながらも正規型を保っていた。A区では高い側のグループは250cm前後のものが最も多く、B区、C区の順に樹高階はやや低下し、D区では150cm前後のものが多かった。ヒノキの被害はA区で樹高階が高い側に乾燥・被圧と主軸損傷の被害を受けたものが1個体ずつみられたが、A区、B区、C区で観察されたそれ以外の被害木はすべて樹高階が低い側に偏った。その被害内容は3試験区ともに乾燥・被圧、主軸損傷のものが多く、雪害とその他の害がわずかにみられ、これらの被害を重複して受けているものも

多かった。しかし、動物害はみられなかった。D区では樹高階の高い側で乾燥・被圧、主軸損傷、雪害の各被害を受けたものが各1個体観察された。低い側では主軸損傷のものが多く、乾燥・被圧、その他の害と重なるものがみられた。

このように上記の諸害によってスギ、ヒノキの樹高成長が抑制されていることは明らかであった。スギの場合、虫害は多発したが、これは直接的には樹高成長に影響を及ぼさないようである。樹高成長と深くかかわっている被害は、その他の範疇にいた苗の変色で、それ以外の害は個々にはそれほど成長に影響を及ぼさないようであった。ヒノキは樹高上位木に諸害を受けた個体が少なく、特に皆伐区、間伐区では下位木に被害が集中し、これらの個体は葉の脱落した乾燥・被圧や主軸の損傷といった被害を受けているものが多かった。主軸の損傷はスギでは容易に頂芽が変わり、樹高成長を再開するのに対し、ヒノキはそのような作用が遅れるため、被害木は樹高成長を阻害されるか、早い時期から淘汰された結果と思われる。また、スギ、ヒノキともに樹高階が低いものは諸害が重複している場合が多かった。本試験地は積雪が2 mを超えるが、スギ、ヒノキともに雪に起因すると思われる被害は比較的少なかった。

ロ) 下木の樹高、直径成長の経時変化

スギ、ヒノキの樹高、地際直径の経時変化を図7に示した。ここでは特に異なった光段階での成長を比較するため、光環境以外の障害によって生育阻害を受けた可能性が高い劣勢木を除き、1989年の測定時において各試験区の樹高上位15本の試験木について成長比較を行った。

スギの樹高成長は1年目には試験区間に差はみられなかった。2年目にA区では他の試験区と比較して成長が優れるようになり、3年目にはその差はさらに広がった。B区、C区、D区では2年目までは差はみられず、3年目にB区の成長が優れるようになり、C区では4年目にD区との成長差が明らかになった。A区では4年目からやや成長速度が低下する傾向がみられ、6年目以降B区、C区との差がきわめて小さくなり、その後A区、B区、C区ではほぼ同様の成長曲線

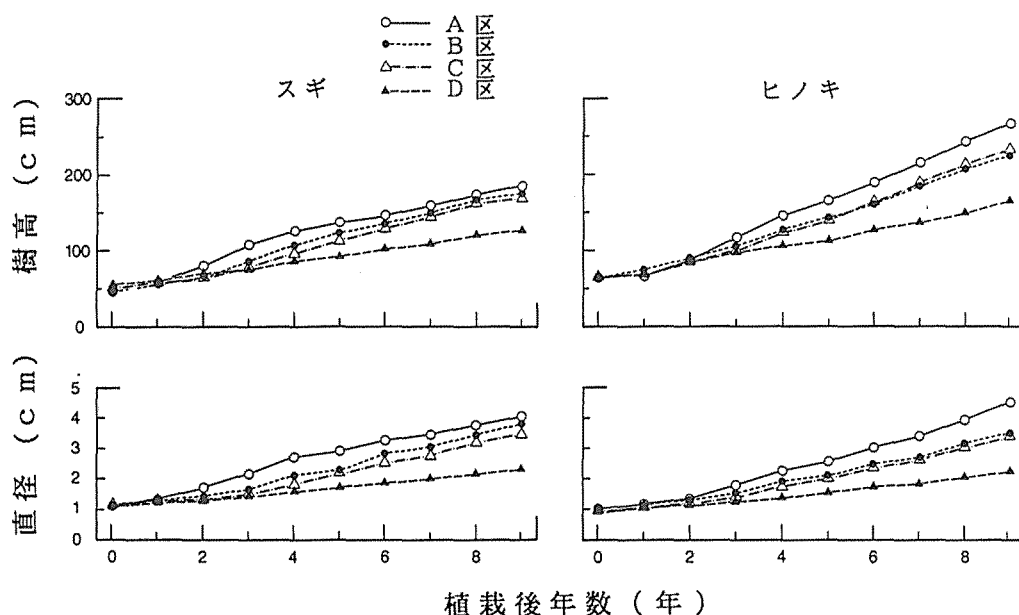


図7 下木の樹高、直径成長の経時変化

を描いた。D区はこれら3試験区と比較して成長低下は明らかであった。9年目の測定時の平均樹高はA区、B区、C区、D区で、それぞれ185, 177, 170, 126cmとなった。D区では植栽後9年間で70cm以上の伸びを示し、期間中の年伸長量にほとんど変動はみられなかった。直径成長は全体的には樹高成長とほとんど変わらない傾向がみられた。A区の直径成長の低下は樹高より遅れて5年目から明らかになり、そのためA区とB区、C区の成長差は試験期間を通じて樹高成長以上に明らかであった。

ヒノキの樹高は、A区では1年目は他の3試験区よりやや低い傾向がみられたが、2年目までは全ての試験区で成長差はほとんどみられなかった。3年目にA区が優るようになり、その後B区とC区、そしてD区の順に成長が劣る傾向がみられるようになり、徐々にその差が広がった。B区とC区では試験期間を通じて差は小さく、後半にはC区がB区にやや優る傾向がみられた。9年目の測定時の平均樹高はA区、B区、C区、D区で、それぞれ270, 226, 237, 166cmとなった。D区でも植栽以来の年伸長量は10cmを超えた。直径成長も樹高成長とほとんど変わらない傾向を示したが、B区では試験期間を通じてC区よりやや大きい傾向を示した。また植栽時にはスギ、ヒノキ苗の地際直径に差はみられなかったが、樹高はヒノキの方がやや大きく、試験期間中の樹高成長は各試験区ともにヒノキが優る傾向がみられた。

ハ) 下木の年成長率の経時変化

1981年5月の植栽時、2年目の1982年秋、9年目の1989年秋掘り取り苗のスギ、ヒノキの樹高、直径と個体乾重量の値を用いて、9年間の重量成長の経時変化の推定を試みた。一般に樹木の各部の重量(W)は(直径)²×樹高(D²H)との間に相対成長関係が成り立ち、次式によってD、HからWが推定される¹¹⁾。

$$W = A (D^2 H)^h$$

A : 樹種や森林によってきまる係数
h : 相対成長係数

図8にスギ、ヒノキ苗のD²H-Wの相対成長関係を示した。スギ、ヒノキともに各試験区内では個体間のばらつきが大きい、試験区間ではAの値は1.6から2.6、hは0.7から0.8の範囲に入り、スギ、ヒノキの樹種間、試験区間で大きな差は認められなかった。ここでは便宜上各試験区ごとに得られた関係式を用いて個体乾重量を求め、それより算出した樹高上位15本(1989測定時)の平均の年成長率(個体乾重量)の経時変化を図9に示した。

スギの年成長率はA区では植栽1年目に42%、2年目に70%に上昇し、3年目以降は低下し、5年目に17%となり、それ以降は9年目までいくらか変動するものの20%前後で安定した。B区では1、2年目は31%台で、3年目に上昇し、4年目にはA区より高い54%となった。5年目には低下し、その後やや変動もみられるが7年目以降は20%前後で安定し、その値はA区よりやや高かった。C区はB区とほぼ同様の経時変化を示した。植栽1、2年目は20%以下でやや低い値を示したが、その後上昇し4年目にはB区とほとんど変わらない値になった。5年目以降徐々に低下し安定するが、B区に比べその時期は遅れる傾向がみられ、試験期間後半の値はB区同様にA区よりやや高かった。D区では植栽1、2年目は20%を超え、C区よりやや高い値を示した。その後はいくらか年変動がみられたが20%前後で安定し、3年目以降は全試験区中のもっとも低い値を示す場合が多かった。

ヒノキはA区では植栽1年目に31%、2年目に値は上昇し、3年目の69%をピークに低下して、5年目以降は変動しながらも30%前後の値を示した。4年目以降はB区、C区との差は小さくなるが、試験期間中、すべての試験区の中で最も高い値を示すことが多かった。B区では植栽後3

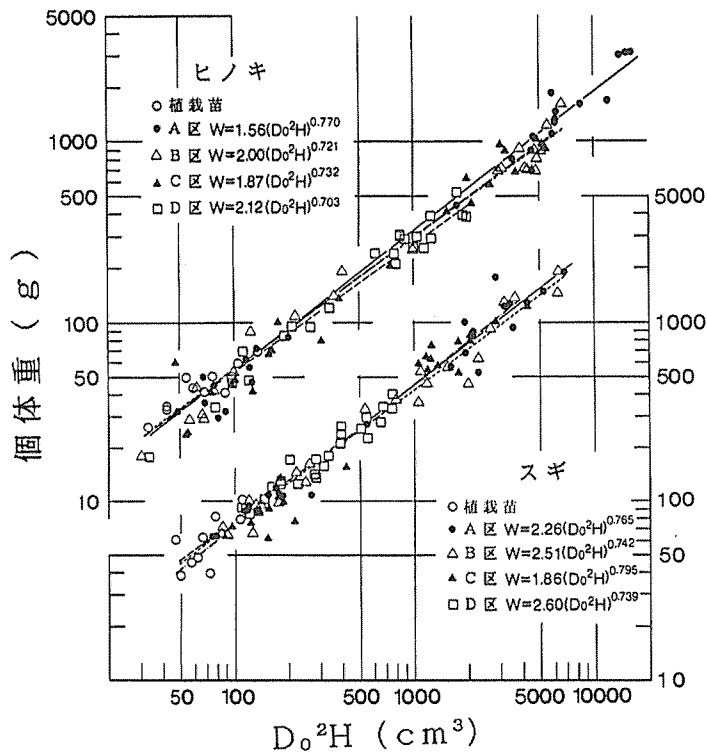


図8 下木の相対成長関係

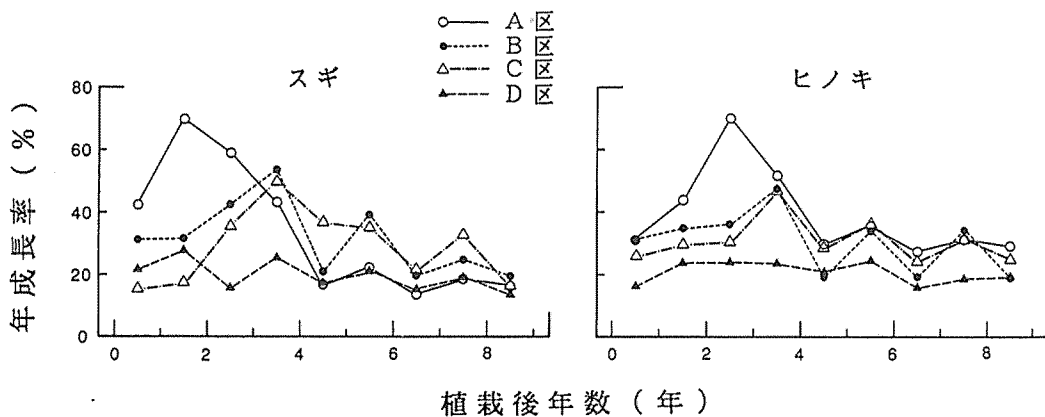


図9 下木の年成長率(個体重)の経時変化

年目まで35%前後の値を示し、4年目に47%で最も高い値となり、その後低下し、19~34%の間を年変動した。C区はB区とほぼ同様の経時変化を示したが、植栽3年目まではB区よりやや低い値を示し、試験期間後半にはむしろやや高い値を示すことが多かった。D区は試験期間を通じて20%前後の値となり、すべての試験区の中で最も低い値を示すことが多かった。

このように皆伐区のA区ではスギの年成長率は植栽1年目から高く、2年目をピークに低下し、

試験期間後半では間伐区より成長率がやや低下するのに対し、ヒノキでは植栽年はやや低く、ピークは3年目となり、試験期間を通じて他の試験区より高い値を維持した。強度に間伐を行ったB区、弱度のC区ではスギ、ヒノキともに年成長率のピークは4年目にみられ、その経時変化に大きな違いはみられなかった。しかし、試験期間前半では強度間伐区の成長が優れ、後半には弱度間伐区の方がやや優る傾向がみられた。無間伐区のD区ではスギは2年目まで弱度間伐区よりやや高い値を示したが、スギ、ヒノキともに試験期間を通じて他の試験区より成長率が低い傾向がみられた。

二) 下木の形状比

スギ、ヒノキの樹高上位15本の形状比 (H/D_0) の経時変化を図10に示した。

スギでは植栽時の形状比はD区でやや高い値を示したが、各試験区で45前後となり、試験区間で大きな違いはみられなかった。A区、B区、C区では3年目まで値は上昇し、50を超えるが、その後は徐々に低下した。D区では2年目まで上昇し、3年目以降は変化が少なく55前後で安定した。試験期間前半からD区が最も高い値を示し、半ばにはC区、B区、A区の順に低くなった。

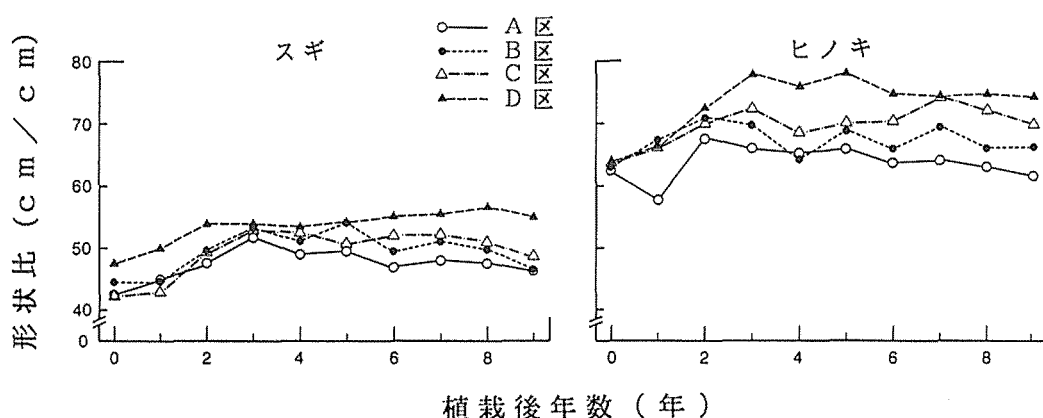


図10 下木の形状比 (H/D_0) の経時変化

ヒノキは植栽時に各試験区の形状比は63前後となり、試験区間の差はみられなかった。A区では1年目にやや低下し、2年目に再び上昇し、その後は試験期間後半まで徐々に低下する傾向がみられた。B区では2年目、C区では3年目まで値は上昇し、その後両区では変動しながら徐々に低下した。D区では植栽後値は上昇し、2年目にB区、C区よりやや高い値を示し、3年目にはその差が広がった。その後徐々に低下する傾向がみられた。D区、C区、B区、A区の順に値は低く、試験期間半ばより各試験区の順位が明らかになった。

このように形状比は植栽時よりスギに比べてヒノキの値が高かった。スギ、ヒノキともに試験期間前半にあっては、各試験区で値は上昇し、3年目前後から安定するか、徐々に低下する傾向を示した。伐採率が高い試験区ほど形状比が低下する時期は早く、その程度も大きく、試験期間半ばより低い値を示すようになった。このような傾向はスギよりヒノキで明らかであった。

4) まとめ

多雪地帯では雪害を軽減する育林方法のひとつとして複層林施業あるいは樹下植栽が過去から試みられてきた。樹下植栽は積雪の移動を安定させてなだれを防止し、植栽間もない林木の雪圧害を防ぐ意味から効果があるとされる¹²⁾。その一方、植栽下木の形状比は高くなり、冠雪害を受けやすい¹³⁾ことが指摘されてきた。しかしその事例、そして研究報告は比較的少ない^{12)~14)}。糸屋ら¹⁴⁾は岩手県下のコナラを主体とした広葉樹林に皆伐区、強度疎開区（残存幹材積43.2m³/ha）、中度疎開区（同84.4m³/ha）の3処理を施し、樹下にスギを植栽して、上木広葉樹と植栽したスギの15年間の成長経過について報告している。その中で、上木は強度に疎開した場合クローネの回復がかなりのスピードで行われ、力枝の下に萌芽枝が発生する傾向が強く、疎開率の差がかなり大きくないと肥大成長への影響が現れにくいとしている。また下木のスギの成長については植栽後5年間は皆伐区と疎開区では同じような樹高成長をしているが、それ以降皆伐区の成長が上回り、中度と弱度の疎開区では中度が若干上回るがほとんど差がなく推移するとし、皆伐区は植栽2年以内に発生する枯損が多く、風雪害を受けやすく、形状比が高い中度疎開区では折損まではいたらないが雪による曲がりが見られるとしている。

本試験結果から、試験地はミズナラの本数が多く、直径階分布の上位はミズナラが占め、下位にミズナラより耐陰性が高い樹種が分布していた。大径のミズナラや、中・小径のミズナラ以外の樹種の成長は優れるものの、劣勢のミズナラは種内、種間の競争によって個体数を減じる傾向にある。試験地は伐採後50年以上経過しているが、その蓄積量は比較的低く、間伐前の林分の年成長率は無間伐区の経時変化から推定すれば1%前後で、当地ではきわめて生産性が低い天然生林と考えられる³⁾。そのまま放置すればミズナラの劣勢木が枯死し、今後個体数の減少とともに耐陰性が高い樹種の割合が増加することが予想される。しかし、本林分は種組成が比較的貧困で、中・下層に当地の天然林の上層を形成する樹種の出現頻度が低く、これらの樹種が混交した林分に移行していくためにはかなりの時間が必要と思われた。試験区設定によって胸高直径5cm未満の小径木を除去した結果、無間伐区（127.3m³/ha）においても設定後2年間の年成長率は5%前後に向上したが、2、3年後には再び1%台に低下した。ミズナラ以外の樹種を除去した弱度間伐区（間伐率は材積にして50%、残存材積76.8m³/ha）では、大径のミズナラの成長は促進されても、中・小径のミズナラ劣勢木は、環境の変化に耐えられず、精力を回復することなく枯死するだけで、むしろ林分全体の成長率は低下する傾向がみられ、ミズナラ劣勢木まで除去した強度間伐区（同70%、同52.0m³/ha）の成長率が最も優れていた。このような結果から、現有林分の成長率を向上させ、質の高い林分に導くためにはミズナラをはじめとする劣勢の、樹形の劣る陽樹を強度に除去し、上層のミズナラや中・下層の耐陰性が高い高木性樹種の成長を助長する方が林分の生産性を向上させる意味からは得策と考えられた。

一方、試験では上記の3試験区と皆伐区にスギ、ヒノキを植栽し、その成長過程を調べた。その結果、相対照度は上木の処理直後には強度、弱度間伐区、無間伐区でそれぞれ45.4、22.9、10.6%となり、光段階に明らかな差がみられたが、3年目には伐採率が高い試験区ほど相対照度の低下率が大きく、林冠の大きな破れが修復される速度はきわめて早かった。植栽された下木はヒノキでは植栽直後に枯死するものが多く、皆伐区、強度間伐区の残存木には乾燥、被圧等が原因で苗の下部から上部に向かって葉が枯れ上がったものや、先端部が霜、寒風、あるいは乾燥、動物によって損傷され、樹高成長が著しく阻害されたものが多く観察された。スギはヒノキに比べると活着率に優れるが、多くの試験木は虫害を被った。虫害については、当地の異なった天然生林内で行ったスギの樹下植栽試験ではとくに広葉樹林下で発生率が高く、これが原因で枯死する個体

が多いことを報告した¹⁶⁾。しかし本試験では虫害によって枯死する個体はみられず、その理由として、本試験に用いた苗木が前報¹⁶⁾のものより大きく、被害の程度も小さかったためと考えられた。スギはそれ以外の諸害も観察されたが、成長が著しく阻害されるような顕著な被害は比較的少なかった。また本演では特にヒノキ造林木は倒れ、折れといった雪害を受けることが多い²⁾。本試験においてもスギ、ヒノキともに上木の伐採率が低い試験区ほど形状比は高まるが、ともに幹折れ、倒れ、曲がりといった雪による直接的な被害はほとんどみられず、上木、周囲の樹木や低木類の繁茂によって雪害がかなり緩和されたものと推察された。

上述の枯死個体、極度の成長を阻害された被害木を除くと、皆伐区ではスギはヒノキに比べて初期成長に優れ、植栽1年目から成長は盛んで、ヒノキはやや遅れる傾向がみられた。しかし、スギは林床の照度が低下してくると成長の衰えが大ききようで、4年目には間伐区より成長速度は低下して樹高差は小さくなった。当地のスギ、ヒノキの人工林調査^{1), 2)}から高標高地の林齢9年のスギの上層樹高は3m前後、ヒノキは林齢7年で2.5m、10年でも3mまでである。本試験区では9年目のスギの樹高は皆伐区と間伐区で1.5m前後、ヒノキは皆伐区で2.5m、間伐区で2mを超え、特にヒノキは下刈り等の保育作業を行わなくてもかなり優れた樹高成長を示していた。

このような結果から、本試験地のような落葉広葉樹天然生林に樹下植栽を行った場合、上木を強度に疎開すると、ヒノキは樹高成長を阻害する多くの被害を被る可能性が高く、スギは低木類の繁茂による陽光量の不足から次第に成長が衰えるが、弱度に疎開すれば、下刈り、雪越しなどの保育作業を行わなくても、スギ、ヒノキともにある程度の樹高成長も見込むことも可能と考えられた。さらに、雪害を受けない「雪上木」¹³⁾に成長した時点で上木を疎開すれば保育費用もかなり軽減できるものと思われる、このような落葉広葉樹林の樹下植栽は当地のような多雪地における低質な落葉広葉樹林分の更新方法として検討に値するものと考えられた。

引用文献

- 1) 安藤 信・川那辺三郎・登尾久嗣：芦生演習林人工林調査Ⅰ—スギ人工林における調査地設定時の林況—。京大演報. 57. 93~111, 1986
- 2) 安藤 信・中根勇雄・川那辺三郎：芦生演習林人工林調査Ⅱ—ヒノキ人工林における調査地設定時の林況と5年後の成長—。京大演報. 62. 80~95, 1990
- 3) 安藤 信・川那辺三郎：冷温帯下部天然生林の更新技術Ⅲ—伐採後20年を経過した林分の更新状況—。京大演報. 57. 76~91, 1986
- 4) 京都大学「演習林管理」研究グループ：森林研究と演習林—芦生を対象として—。119~122, 1990
- 5) 「天然林の生態」研究グループ：京都大学芦生演習林における天然生林の植生について。京大演報. 43. 33~52, 1972
- 6) 安藤 信・登尾久嗣・窪田順平・川那辺三郎：芦生演習林の気象観測資料の解析(1)—事務所構内と長治谷の観測所の比較解析を中心に—。京大演報. 61. 25~45, 1989
- 7) 杉本 壽：木地師支配制度の研究。916~959, ミネルヴァ書房。京都。1972
- 8) 京都大学農学部附属演習林：演習林概要。1928
- 9) 京都大学農学部附属芦生演習林：施業年報及び実行簿。大正12~平成元年。1923~1989
- 10) 安藤 信・川那辺三郎：未発表
- 11) 依田恭二：森林の生態学。331pp, 築地書館。東京。1971
- 12) 豪雪地帯林業技術開発協議会：雪に強い森林の育て方。170pp, 日本林業調査会。東京。1984
- 13) 四手井綱英：森林保護学—改訂版—。230pp, 朝倉書店。東京。1987
- 14) 糸屋吉彦・小西 明：広葉樹林下へ植栽したスギ。森林総研東北支年報. 31. 48~51, 1990
- 15) 小野寺弘道・栗田稔美・大原偉樹：多雪地帯における複層林造成の可能性。森林総研東北支年報. 31. 67~70, 1990
- 16) 川那辺三郎・安藤 信・菅原哲二：冷温帯下部天然生林の更新技術Ⅳ—天然林内に樹下植栽されたスギ稚樹の生長について—。京大演報. 58. 87~94, 1986

Résumé

Study plots were set in a natural Mizunara (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*) stand in Kyoto University Forest in Ashiu located at northern east part of Kyoto Prefecture to investigate the growth of upper-story trees and underplanted Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) seedlings for 10 years. The plots were composed of clear cutting, heavy thinning, light thinning and non cutting stands. The results were as follows:

1) Standing tree number was 2,500-3,500/ha, standing tree volume was 98-127 m³/ha, average breast height diameter was about 10 cm and average height was about 7.5 m in each plot at the setting plots before the treatment of upper-story. This stand was composed of Mizunara, Ryobu (*Clethra barbinervis*), Kohauchiwakaede (*Acer Sieboldianum*), Akaside (*Carpinus laxiflora*), Mizume (*Betula grossa*) and other species. Mizunara was 54-71% in number (DBH $\geq$ 5 cm) and 68-95% in volume in each plot. The frequency distribution of DBH class of plots was complex type which showed normal type by Mizunara in higher DBH class and L type by the other species in lower class.

2) Annual growth rate of Mizunara stem volume of upper-story in heavy thinning plot (52 m³/ha) became the highest after thinning and made a slow descent for 10 years. In light thinning plot (77 m³/ha) it was low during the period of experiment, because many oppressed trees of Mizunara have been dead. In non cutting plot the rate of other species was higher than that of Mizunara.

3) The relative light intensities in summer measured immediately after cutting were 45.4% in heavy thinning plot, 22.9% in light thinning plot and 10.6% in non cutting plot. The measured values of the 3rd year after treatment became one fourth, one third and one a half of these values in the same order, but those of the 9th year became little lower than those of the 3rd year, respectively.

4) The survival rates of Sugi and Hinoki seedlings were 96% and 71% in all plots during the period of experiment respectively. The higher the rate of cutting was, the higher the mortality rate became and the sooner the time of mortality was.

5) Sugi seedlings were heavily browsing by insect, but the growth was not so damaged. The growth of Hinoki whose spindle and leaves were damaged by drought and shade, or frost and animal was inhibited in clear cutting plot and thinning plots, remarkably. Sugi and Hinoki seedlings were damaged little by snow in all plots.

6) The growth of Sugi seedlings in clear cutting plot became the best in all plots from the 2nd year after planting, but the height growth went down from the 4th year, and became to differ little from that in thinning plots in the later half of the period of experiment. The growth of Hinoki seedlings in clear cutting plot became better from the 3rd year and after that was the best in all plots during the period of experiment. The growth of Sugi and Hinoki seedlings in thinning plots was better than that in non cutting plot from the 4th year, and differed little between the two. Annual height growth of Sugi and Hinoki seedlings in non cutting plot was about 10 cm. The height growth of Hinoki seedlings was better than that of Sugi in all plots, slightly.

7) Annual growth of seedling weight in clear cutting plot was the highest from the 2nd year af-

ter planting in Sugi and from the 3rd year in Hinoki, and went down rapidly and became stable from the 5th year. The value of Sugi in clear cutting plot became lower than that in thinning plots in the later half of the period of experiment, but that of Hinoki continued to be the highest in all plots. The values of thinning plots were the highest in the 4th year, but the values of maximum were lower than that in clear cutting plot and differed little between the two. In non cutting plot the values of Sugi and Hinoki was the lowest and the most stable.

8) The rate of H/D_0 of Hinoki seedlings was higher than that of Sugi in all plots. The values became higher after planting and went down from the 3rd or the 4th year slowly. The higher the rate of cutting was, the sooner the time when it went down became, and the lower the rate of H/D_0 became from the middle of the period of experiment.