

冷温帯下部天然生林の更新技術 IV

—天然生林内に樹下植栽されたスギ稚樹の生長について—

川那辺三郎・安藤 信・菅原 哲二

Studies on the regeneration of natural forest on lower limit
of cool temperate deciduous broad-leaved forest IV

—On the growth of Sugi (*Cryptomeria japonica*) seedlings
underplanted in natural forest—

Saburo KAWANABE, Makoto ANDO and Tetsuji SUGAHARA

要 旨

京都府北東部の京都大学芦生演習林のスギと落葉広葉樹の混交した天然生林内に満1年生のスギ苗を1980年に樹下植栽して3年間の生育状況と光環境について調査した。調査はスギが優占した林分内で林冠を疎開した2区と広葉樹林内1区および比較のためにスギ人工林内と林外区の合計5区で行なった。

植栽当年の樹高生長の差は少なく、2年目から差がみられた。植栽当年の林内区の葉量が減少し2年目から増加したが、庇陰の強い区では葉量の割合が減少する傾向がみられた。2年目以後の個体重の生長率は相対照度の減少にともない減少し、その関係は全天空写真による相対照度の対数に対し直線的であった。林冠を直径約10m疎開した相対照度28%の林内の樹下植栽木の生長率は林外区のおよそ半分で、相対照度6.7%のスギ人工林内の稚樹の生長率は低く、生長の限界に近い光環境であると推測されたが、この区の枯死率は低かった。

樹下植栽されたスギ稚樹が受ける被害は林分によって異なり、広葉樹の多い区では動物による食害が激しく、これが原因で枯死するものも多い。スギ林内では雪と共に枯れた枝葉が落下し稚樹が物理的な被害を受ける。稚樹の死亡率は陽光の減少よりもこれらの被害の強さによる影響が大きかった。芦生の天然生林内でスギの更新稚樹の良好な生長を期待するためには全天空写真による相対照度30~40%程度に林冠を疎開すると共に、樹下植栽の場合には稚樹の動物による食害を回避するため、1年生など小さな苗木よりも大きな苗木を用いることや、雪とスギの枯死枝葉による被害を避けるためにスギ上層木の直下に植栽しないなどの配慮が必要である。

は じ め に

京都大学芦生演習林の標高700m附近から900mほどの地域を中心にして日本海側の冷温帯下部に多くみられる落葉広葉樹にスギが混交した森林が広がっている¹⁾。この地域のスギは大部分が伏条によって更新しているものと考えられているが、一部に天然下種による実生もみられる。

斜面上部から尾根付近にはスギの優占した天然林が多いが、積雪は2～3 mあり、皆伐によるスギ人工林の育成は保育作業に多大な人手を要し、また保育期間が長いなど施業上有利な方法とはいえない。そこでスギと多種の有用広葉樹の天然生林を育成するために択伐と天然更新が重要な方法となる。スギの更新についてみると、スギの伏条がすでに多くみられるところでは強度の択伐によってこれらを育成することができるが、少ないところでは、スギの天然下種更新、あるいは林内でのスギじかざしやスギ苗の樹下植栽によらなければならない。芦生演習林におけるスギの天然下種更新、更新補助作業などに関する調査研究^{2,3,4}や林内のスギじかざしについても報告^{5,6,7}されている。本研究は、天然生林内に樹下植栽されたスギ稚樹の幼時の生長と光環境との関係を知るために、天然生林の林相や林冠構造の異なった林内にスギ苗を植栽してその生育状況を調べたものである。なお生育状況を比較するためにこれらの天然生林に隣接したスギ人工林内と開放地においても植栽し調査した。

試験地の管理や測定に多大な御協力をいただいた芦生演習林職員各位に深く感謝する。

試験地の概況および調査方法

試験地は芦生演習林（京都府北桑田郡美山町芦生）17林班の河川沿いの平地とそれに接した北東向斜面で、すでに報告したスギじかざし試験⁷と同じ場所である。

P-1とP-2は斜面中腹のスギ・落葉広葉樹天然生林内にあり、この林分の胸高断面積合計の約4/5はスギで広葉樹は主にカエデ類やシデ類である。P-1は林冠を直径約6 m疎開し、P-2は約10 m疎開した。P-1の試験区の周辺にはスギの中、大径木が多くP-2は落葉広葉樹が多い。P-3は斜面下部の中、小径木のシデ類やカエデ類の多い落葉広葉樹の天然生林内にある。これらの天然生林内と比較するために斜面と河川の間にある帯状の平地のスギ人工林内にP-4を、それに隣接した開放地にP-5を設定した（表-1）。土壌はすべてB_D型であるが斜面下部のP-3は小礫が多い。

スギ苗木は、芦生演習林の天然スギから種子を採取し、演習林内の苗畑（標高356 m）で育成

Table 1 Description of stand on study plot

Plot	Elevation Slope	Stand condition	Stand density* Basal area* Height of dominant trees
1	680m N10°E 32°	Sugi-deciduous broadleaved mixed natural stand, approx. 6 meter circular canopy gap above the plot.	1678 trees/ha 46.9 m ² /ha
2	670m N 8°E 32°	Same stand as plot 1, approx. 10 meter circular canopy gap above the plot.	20~25 m
3	640m N62°E 28°	Deciduous broadleaved natural stand	838 trees/ha 23.0 m ² /ha 10~15 m
4	630m — 0°	Sugi plantation (35 years old)	2500 trees/ha 48.6 m ² /ha 12~15 m
5	630m — 0°	Cleared area for control	— — —

* Trees $\geq$ 5 cm DBH

した満1年生のものをういた。試験区は2m×2mで、林床の植物を刈り取り1980年6月に、20cm×20cmの間隔で10本ずつ10列計100本を各試験区に植栽した。測定は、地際直径と樹高について積雪期を除き2か月ごとに行い、同時に苗木の生育状況や被害の状況を記録した。試験区内の他の植物は測定の都度取り除いた。苗木の重量は、植栽直前と植栽後は各生育期の終りの11月に各試験区で2列ずつ掘りとり、3年目は1982年10月に残った苗木の全てを掘り取って測定した。スギ苗木の枝と葉を区分することが困難であるので、ここでは枝葉を含む緑の部分をもとめて測定し葉の量とした。

植栽された苗木の生育状況についての記録のうち枯死については、枝葉や幹の動物による食害や、乾燥による枯死、あるいは陽光不足により緑の部分が脱色し枯死するものなどが観察されたが、測定の間隔が長いいためその原因を確定することが困難な場合が多かったので分類しなかった。被害を受けながら生育を続けているものは、動物による食害、雪による害、寒さの害、不明に分類した。食害は主に枝葉や幹の先端が食害されるもので昆虫類に食害されているところが度々観察されたが他にどのような動物が関与しているかは不明であった。雪による害は上木のスギの枯れた枝葉に雪が附着しこれを折って落下したため苗木の幹が折れ、または幹を根元から曲げたり、枝葉が折れたなどである。寒さの害は主に新しく開葉した葉の晩霜害である。不明の主なものは新しく開葉した葉がしおれるものや、枝葉の先端部が脱色して枯死するものなどであった。

林内の明るさは、各試験区内の3か所で全天空写真を撮影して測定し、また照度計を用いて正午頃各試験区内で50点ずつ測定した。

結果と考察

林冠の全天空写真の太陽軌跡から、林床の可照時間や陽班点の量を求める方法⁸⁾を用い、晴天時に試験区の中央部に達する直射光のうち15分以上連続するものを示したのが図-1である。この図から、林冠の大きな破れや隙間のおおよその位置や大きさを知ることができる。P-1は試験区の上部に、P-2は上部から北東部にかけて大きな破れた部分があるが、試験区が北東向斜面にあるため、林冠の空隙から入る直射光は6、7月に多く、太陽高度が少し低くなる8月には直射光の入る機会は少なくなる。広葉樹林のP-3の林冠は一様で小さな隙間も少ないが、スギ人工林のP-4はスギの枝葉が塊状であるためその間に小さな隙間が多くみられる。しかし隙間が小さく直射光が15分間に達しないため図-1では示されていない。

全天空写真の林冠の隙間の量から林内の相対的な明るさを求める方法⁹⁾を用い、各試験区の曇天時の相対照度を推定した。1981年の開葉前の4月の全天空写真による相対照度はP-1 34.5% P-2 53.0%、P-3 65.0%、P-4 11.5%で、開葉後の6月下旬ではそれぞれ12.5%、28.0%、8.5%、6.7%であった。

照度計により直接測定した結果の一例が

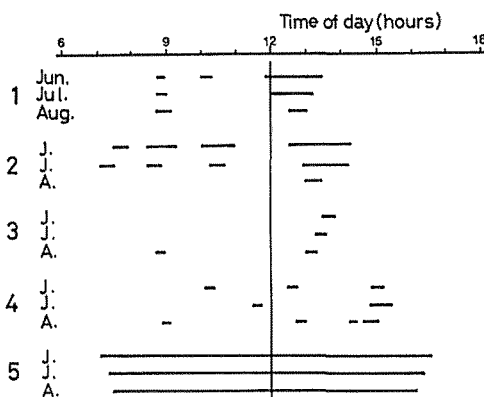


Fig.1 Canopy gaps showed by direct sunlight reach to the forest floor in a clear day, only duration over 15 minutes estimated by hemispherical photograph.

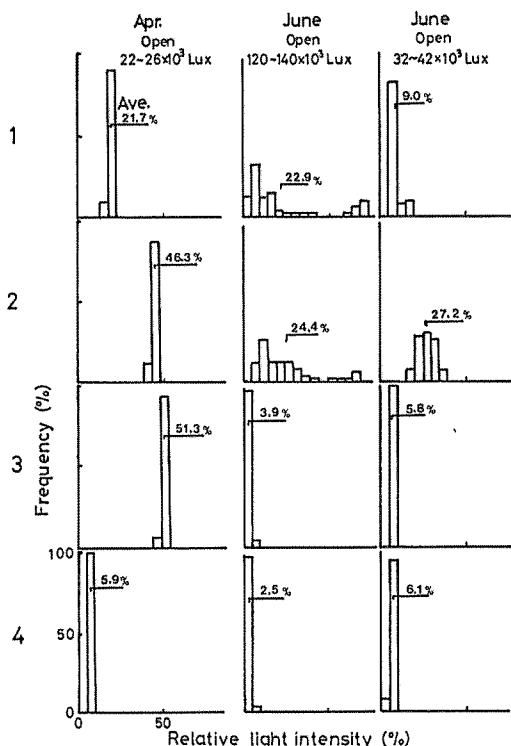


Fig.2 Frequency of relative light intensity under the forest canopy measured by illuminance meter.

Table 2 Average stem diameter at base and stem height of seedling

Plot	1980	1981	1982
Stem diameter (mm)			
1	1.7	2.1	2.5
2	1.9	2.7	3.6
3	1.5	1.8	2.2
4	1.6	1.9	2.1
5	3.2	6.4	11.5
Stem height (cm)			
1	10.1	12.2	13.9
2	10.4	13.1	15.8
3	10.4	13.0	16.1
4	10.0	11.6	12.0
5	14.4	31.9	60.8

(Seedling before underplanting (June 1980))
 Stem diameter at base 1.3 mm
 Stem height 8.3 cm

図-2で、4月の測定値のP-1とP-2の相対照度の平均値が比較的高いのは、試験区の周辺の広葉樹が開葉前のため、特にその影響は試験区の周囲にスギが少ないP-2で著しい。P-1の6月下旬晴天時の測定値の分布は相対照度20%以下に大部分が集っているが、陽班点が60~80%に分布しこれらの値が平均値を引き上げている。図-1からもわかるようにP-1では測定を行なった正午頃直射光が入る位置に林冠の破れた部分があることが示されている。P-1の曇天時の平均相対照度が比較的低いことから林冠のこの破れた部分以外は間隙が少ないことがうかがえる。P-2の平均相対照度の晴天時と曇天時の差が少ないが、測定値の分布は異なる。この分布の違いは、林冠に大きな破れがあるため曇天時の値が高く、その破れが6月の正午頃に直射光の入る位置から少し離れているため晴天時の陽班点が少ないことによる。P-3は開葉前と後の差が大きく、P-3と4の6月の平均値の差は林外照度の強さの差によるものと思われる。P-3と4の6月晴天時に陽班点はほとんどみられない。王井ら¹⁰⁾によれば、芦生ミズナラ林の林内相対照度は5月から6月上旬の開葉により急減し、その後10月上旬までわずかに減少するが10月上旬から11月にかけて落葉で急増する。P-3も樹種の構成が異なるがこれに似た変化をするものと考えられる。

樹下植栽されたスギ苗木の生長の比較は、植栽後強い被害を受けたり枯死したものは除外し、各試験区の健全な稚樹や被害が軽微な稚樹の平均値を用いて行なった(表-2)。

地際直径は、生長量の大きいP-5や2以外は生長量が少なく各区の差も少ないため比較が困難である(図-3)。樹高生長は生長量の大きいP-5を除いて、林内の各プロットでは植栽当

年の生長量の差は少なく2年目から生長に差が現われている。陽光の条件の異なるP-2と3の樹高生長は年間およそ3cmでその差は少ないが、直径生長はP-3が2に比べ少ないためP-3の幹は他に比べ著しく細長い。

直径や樹高と個体重の相対生長関係から推定した各区の平均個体重の変化を図-4で示した。林外のP-5の植栽当年の個体重の増加割合は大きい、林内区では、増加割合が極めて少ないものや減少しているものがある。2年目からは林内区も増加しているが、P-4の増加割合は小さい。個体重を各部分に分けて比較すると、根重はP-3、4で変化が少なく、他の区は増加し、幹重は全ての区で増加している。葉重は林外のP-5以外は全て減少し、2年目から増加するが、P-4の葉重は3年目でも植栽時より低い値を示している。植栽当年のP-1、3、4の個体重の減少は葉重が減少したた

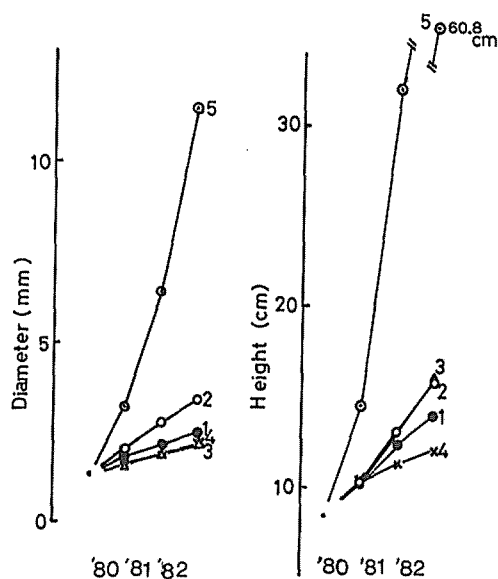


Fig.3 Average stem diameter at base and stem height of seedling.

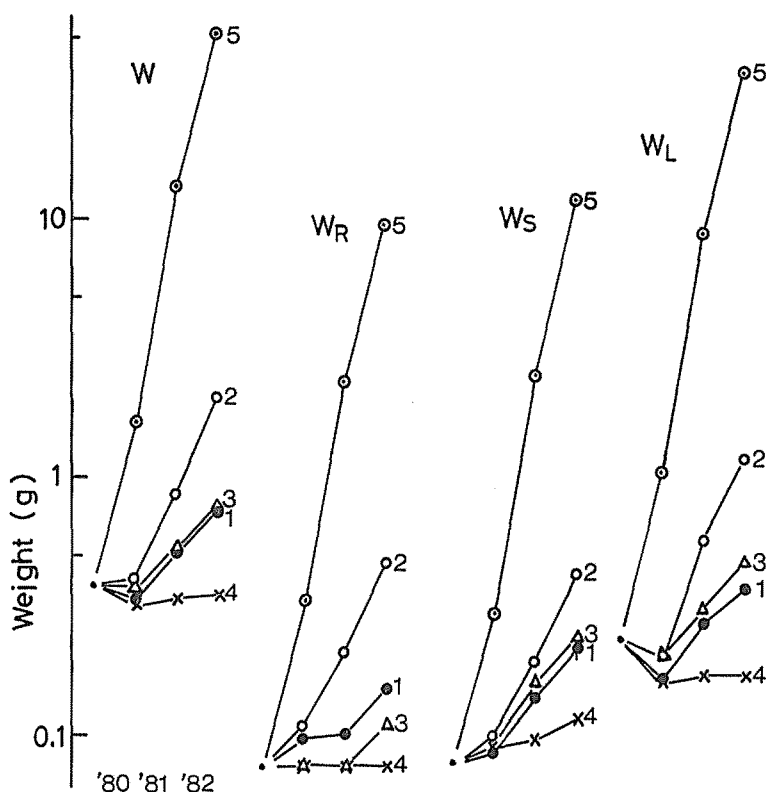


Fig.4 Average dry weight of seedling and each part of seedling.
(W: seedling weight, WR: root weight, WS: stem weight, WL: leaf weight)

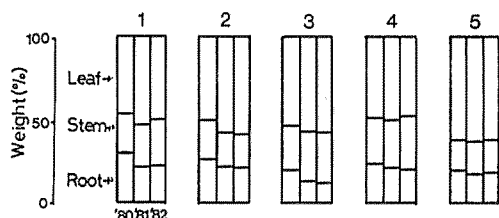


Fig. 5 Weight percent of root, stem and leaf to seedling weight.

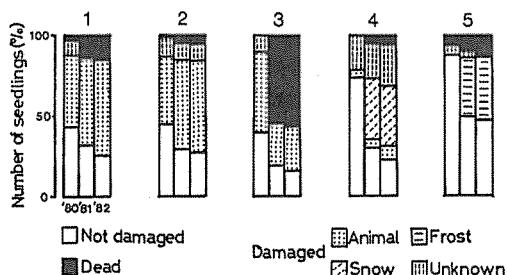


Fig. 7 Percent of seedlings of not damaged, damaged and dead at the end of each growing season.

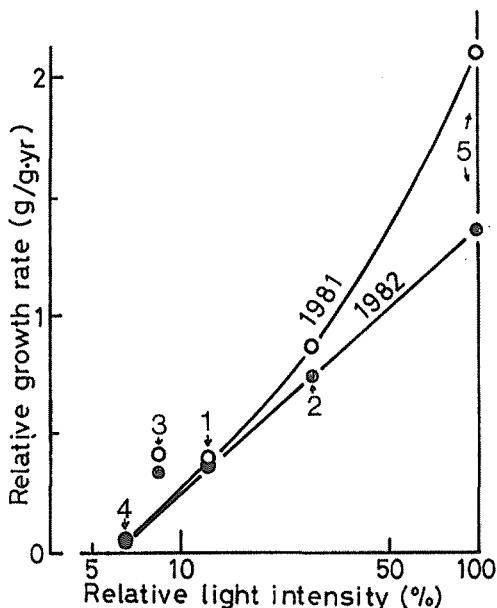


Fig. 6 Relation between relative light intensity in the stand estimated by hemispherical photograph and relative growth rate of seedling weight.

めで、観察によれば植栽当年の新葉の一部がしおれたり脱落したものがあつた、また幹に近い葉の一部が枯死するものも多くみられ、これらが葉量の減少を引き起こしたと考えられる。葉量減少の主な原因は用いた苗木が普通の苗畑管理によって育成されたものであり、植栽された林内の環境が苗畑と著しく異なつたためと考えられ、相対照度の低いP-1やP-4で減少割合が特に大きかつたこともこのことを裏付けている。

各部分の重さが個体重に占める割合を比較すると、林外のP-5では、3年間を通じ各部分の割合の変化は少ないが、林内区は植栽当年の葉量の減少でその割合も減少し、P-2とP-3は2年目から割合が徐々に回復している。P-1やP-4では植栽当年に葉量が減少した後、2年目に少し増加するが3年目には減少する傾向がみられる(図-5)。スギ苗の人工庇陰試験では庇陰によって葉量の割合が増加することが報告されている^{11,12,13}。また広葉樹林内にじかざされ7年を経過したものでも林内の方が葉量の割合が大きい¹⁴。しかし、この結果では林外よりも林内の方が葉の割合が少なくなる傾向がみられたが、植栽当年の葉量の減少が大きくその影響によるものと考えられる。根の割合は植栽当年に増加しているが、その後P-3を除いて20%前後の値になる。P-3の根の割合は減少し3年目ではT/R率が6.0と他の区に比べ高い値を示し、幹が細長であることと共にこの区の稚樹の形態が他の区と著しく異なることを示している。

植栽後2年目(1981)と3年目(1982)の個体重の生長率と6月下旬の全天空写真から測定した林内の相対照度との関係は、いずれも相対照度の減少とともに生長率は減少し3年目では、P-3を除き相対照度の対数に対し直線的に減少している(図-6)。P-3の生長率は、より明るいP-1の値に近く、この区が広葉樹林内にあり開葉と落葉で明るさが急激に変化することや、陽斑点が極めて少ないことなど、陽光条件が他の区と異なることから生長率との関係を異なるものにしていてと考えられる。スギ稚樹の人工被陰試験では相対照度50%程度までは、全陽光

下のものとの生長の差が少なく、それより相対照度が減少すると生長も減少することが報告されている。^{11,12,13)} P-2の6月の全天空写真による相対照度は28.0%で、生長率は林外のP-5のおよそ半分であり、この程度の明るさにおける生長率の低下は人工庇陰の場合¹¹⁾より大きい。しかし林冠に破れた部分のある林内の明るさは先に述べたように季節や天気、時間などで大きく変化し、さらに陽班点の量の違いなどで林内の明るさを少ない回数の測定値で論じることが困難な場合が多く、一様な人工庇陰における生長との比較を困難にしている。図-6の明るさと生長率の関係から推測した生長率が0になる相対照度はおよそ6%であり、スギ人工林内のP-4ではスギ稚樹が生長を続ける限界に近い光環境であると考えられる。

樹下植栽後3年間に稚樹が受けた被害の状況が図-7で、枯死率はP-3が56%で最も高く、P-1と5が続く、P-2が4%、生長の悪いP-4の枯死率は低く5%である。P-3の枯死の原因に食害が占める割合が大きいことが観察され、P-1, 2など広葉樹の多い区ほど食害が激しい。芦生のスギ1年生稚樹の消失の大部分が昆虫の食害によること²⁾や、林床が明るいほどスギ当年生稚樹の被食による死亡率が高いこと⁴⁾などが報告され、動物によるスギ稚樹の食害はスギの天然更新を制限する重要な要因の一つとなっている。樹下植栽されたスギ苗が食害によってすぐに死亡しない場合でも食害による葉量の減少で生長が低下し、さらに致命的な被害を受ける期間が長くなるため枯死率を高めることがP-1や3の被害状況から推測される。P-4の被害原因不明の大部分は葉の脱色など陽光量の不足と思われ、スギ稚樹の生育限界に近い環境であることがうかがえる。P-4に多い雪と枯れた枝葉の落下による稚樹の幹折れや曲り、枝葉の折れは稚樹の生育に重大な影響を与える。林外のP-5に多い寒さの害は一部の新葉の晩霜害で生長に重大な影響を与えるほどではなかった。

以上で樹下植栽されたスギ稚樹の3年間の生長と被害について述べたが、更新との関連についてみると、林内の稚樹の生長は相対照度の減少とともに低下し、スギ人工林内のP-4の光環境が稚樹の生育の限界に近いと考えられる。林内のスギ稚樹の枯死限界の明るさは相対照度2~3%で5%では枯れるものは見られないという¹⁵⁾。P-4の生長は著しく悪いにもかかわらず枯死率は低く、この林内の光環境の範囲内では稚樹の枯死は陽光条件よりも上層の林相によって異なる稚樹の受ける被害が大きく関与している。しかし庇陰が強くと生長が低下すると、稚樹が致命的な被害を受ける機会が多くなり、その結果長期間生存を続ける可能性は低くなって更新を期待することが困難になるであろう。

図-6から、林内の相対照度が高いほど稚樹の生長率は高くなるが質的、量的な林分生産を考慮する必要のある天然生林の場合、林内での更新のために林冠を強く疎開することは蓄積を著しく低下させ不利になると考えられる。このような視点から林内の稚樹の生長をみると、P-2の樹高生長は年間およそ3cmで少なく生長率は林外のP-5の約半分であるが葉量の割合は増加の傾向にあり、P-1のように葉量の割合が減少傾向のものや、樹高生長がP-2とほとんど変わらないが個体重の生長率が低く幹が細長でT/R率が高いP-3などに比べP-2は林外のP-5に近い形態を保っている。天然下種更新、あるいは樹下植栽により林内更新を計画する場合、稚樹の生長からみれば、P-2のように直径およそ10mの林冠の疎開が最低限必要であり、林外の稚樹の生長率の50~60%を得るためには全天空写真による相対照度80~40%程度を確保しなければならぬと考えられた。

稚樹が受ける諸被害からみるとスギの多い林分では、雪と上層のスギの枯死葉の落下による稚樹の被害を避けるため、林冠の破れた部分の直下で稚樹を育成することが必要であり、広葉樹の多い林分ではスギ稚樹の動物による食害が激しいため、樹下植栽では、より大きい苗木を植栽す

ることである程度被害が回避できると考えられる。しかし、林内の稚樹の生育を妨げる下層の植物の処理などは稚樹の保育上重要な課題であり、その方法等は今後調査し検討しなければならない。

引用文献

- 1) 「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
- 2) 柴田信男：杉天然下種試験 第一報杉稚樹の消失現象に就て。日林誌。14(8). 2～16, 1932
- 3) 柴田信男：杉天然下種試験（第二報）稚樹存在地点の環境因子に就て。日林誌。16(5). 14～34, 1934
- 4) TAMAI, S., T. SAKAI, Y. MATSUSHITA: Studies on tree dynamics in a mixed forest of *Cryptomeria japonica* and broadleaved trees (1), with special reference to current seedlings of *Cryptomeria japonica* D. Don. 日生態会誌。35. 433～441, 1985
- 5) 四手井綱英・小笠原健二・中江篤記：山地直さしに関する研究。日林誌。40(5). 224～227, 1958
- 6) 鬼石長作・柴田正善・内村悦三：スギ山地直挿し試験（第1報）。日林関西支講。10. 17～19, 1960
- 7) 安藤 信・川那辺三郎・菅原哲二・登尾久嗣・中根勇雄・中野孝一・榎木達也・渡辺康弘：冷温帯下部天然生林の更新技術Ⅰ—天然生アシュウスギを母樹にしたじかさし試験—。京大演集。16. 81～93, 1983
- 8) EVANCE, G. C., D. C. COOMBE: Hemispherical and woodland canopy photography and light climate. J. Ecology. 47. 103～113, 1958
- 9) ANDERSON, M. C.: Studies of woodland light climate. 1. The photographic computation of light conditions. J. Ecology. 52. 27～41, 1964
- 10) 玉井重信・四手井綱英：林内の照度（Ⅰ）。京大演報。43. 53～62, 1972
- 11) 川那辺三郎・四手井綱英：陽光量と樹林の生育に関する研究（Ⅲ）針葉樹苗木の生育におよぼす被陰の影響。京大演報。40. 111～121, 1968
- 12) 安藤 貴・宮本知子：スギ苗の生長に及ぼす光の強さと植栽密度の影響。日林誌。54(2). 47～55, 1972
- 13) 谷本丈夫：林木の生長に及ぼす人工庇陰の影響（Ⅰ）1 生育期間中のスギ苗木の庇陰下での生長経過。日林誌。57(12). 407～411, 1975
- 14) 川那辺三郎・四手井綱英：広葉樹林内に樹下植栽されたスギの生長について。京大演報。42. 117～127, 1971
- 15) 早稻田収：林業改良普及双書77, 複層林の仕立て方。全国林業改良普及協会。東京。249 pp, 1981

Résumé

Seedlings of Sugi (*Cryptomeria japonica*) were raised in Sugi and deciduous broadleaved natural forest, sugi plantation and cleared area at Ashu Kyoto University Forest, Kyoto. 1-year-old seedlings were underplanted in June 1980 and growth analysis were carried out on data obtained from each end of next three growing season.

The relative growth rate of seedling weight decreased sharply as relative light intensity in the stand decreased. The ratio of leaf weight to seedling weight decreased in plots of deep shade. Leaves and top of stems were eaten by animals and the rate of damage is high in broadleaved dominant stand. Many seedlings were damaged by fallen snow with dead branches and leaved of upper trees in Sugi dominant stand. The rate of mortality of seedling is increased by these damage rather than by decrease of relative light intensity in the stand.