

論文

針広混交林育成試験 (I)

—スギ人工林内に樹下植栽された落葉広葉樹4種の9年間の生存と成長—

吉野 豊・前田雅量

要旨：吉野 豊・前田雅量：針広混交林育成試験 (I) —スギ人工林内に樹下植栽された落葉広葉樹4種の9年間の生存と成長—。兵庫農林水産技総セ研報 (森林林業) 53号 : 1~4、2006 スギ人工林から針広混交林や広葉樹林への省力的な誘導方法を検討するために、強度に間伐 (本数率 ; 55.5%) した32年生のスギ林内にブナ、ミズナラ、ヤマザクラ、ケヤキ苗木を植栽し、9年間の下木の生存率と成長量を調査した。林内の相対照度は当初40%程度であり、相対照度の低下は間伐3年後まではゆるやかであったが、その後急激に低下し9年後には14%となった。植栽苗木の枯死は相対照度が20%を下回った6年後から発生した。枯死率はミズナラが高く、ブナは低かった。相対照度の低下にともなって伸長成長が急激に低下したのは、ミズナラとヤマザクラであった。一方、ケヤキ、ブナは照度が低下しても成長量は減少せず、試験開始9年後の樹高は2.5m以上を示した。この結果から、強度に間伐したスギ林内に耐陰性の高いブナやケヤキなどの落葉広葉樹を植栽することにより、省力的に針広混交林や広葉樹林が造成できる可能性があることがわかった。

キーワード：複層林、樹下植栽、更新、針広混交林、耐陰性

Studies on establishing mixed forests with coniferous and broad-leaved species (I) -Growth and survival of four deciduous broad-leaved tree species for nine years after under-planting in an artificial Sugi (*Cryptomeria japonica*) stand-

Yutaka YOSHINO and Masakazu MAEDA

Yoshino, Y. and Maeda, M. -Growth and survival of four deciduous broad-leaved tree species for nine years after under-planting in an artificial Sugi (*Cryptomeria japonica*) stand. Bull. Hyogo Pre. Tech. Cent. Agr. For. Fish. (Forestry) 53:1~4, 2006 To establish a mixed forest with coniferous and broad-leaved species, we underplanted seedlings of four species (*Fagus crenata*, *Quercus crispula*, *Prunus jamasakura* and *Zelkova serrata*) in a Sugi stand thinned at a high thinning rate (tree density of 55.5%). Survival and growth of the seedlings were surveyed for nine years (1995-2004). The relative light intensity (RLI) at the forest floor was about 40% at first. It decreased gradually for 3 years, but decreased rapidly thereafter reaching 14% in 2004. Weeding was not needed because the amount of shrubs was small and the height of vegetation was low. Death of the seedlings caused by a low light intensity occurred from 6 years after thinning, when RLI reached below 20%. The ratio of dead seedlings was high in *Quercus crispula* and low in *Fagus crenata*. Height growth of *Quercus crispula* and *Prunus jamasakura* decreased markedly when RLI decreased to 20%, but that of *Fagus crenata* and *Zelkova serrata* did not decrease. The average height of both *Fagus crenata* and *Zelkova serrata* in 2004 was above 3m. These results indicate that underplanting of shade-tolerant species in Sugi stands thinned at a high intensity is a labour-saving method for establishing mixed stands with coniferous and broad-leaved species or broad-leaved stands.

Key words: advance regeneration, mixed forest, multi-storied forest, shade tolerance, underplanting

I はじめに

わが国では拡大造林政策によって全国で多くの人工造林地が造成され、その蓄積は年々増加しつつある。循環型社会の構築のためには、これらの森林資源を有効に活用することが課題となっている。しかし、近年の木材価格の低迷にともなう林業の収益性の悪化によって間伐や主伐を控える傾向がみられる (林野庁, 2004)。また、伐採してもその収益で再造林に要する経費が捻出できず、伐採跡地を放棄する事例も増加しており (野田・林, 2003)、森林資源の循環利用面で大きな障害となっている。これらの事態に対処するためには、従来の労働集約的な皆伐・

再造林の作業システムから脱却した新たな低コスト・省力的な人工林更新作業システムの開発が急務となっている。なかでも 育林経費のなかで大きな比重を占める下刈り経費を節減できる技術の開発が課題である (赤井, 1998)。複層林施業では、林内照度が低いと雑草の繁茂量が少なく、植栽した苗木の下刈りの経費が節約できる利点がある (藤森, 1979 ; 和口・米田, 1995)。しかし、照度管理や伐採搬出などの技術が不十分であること、すなわち適切な照度管理を行わないと下木が幹曲がりしやすいことや、上木伐採時に伐出経費が掛かり増しになったり、下木が損傷しやすいことなどの問題点も指摘されている (清野, 2004)。

一方、針葉樹人工林の弊害の一面として生物多様性の喪失が指摘されており、森林の多面的機能を高度に発揮するうえで、針葉樹林を広葉樹林や針広混交林に誘導する技術の確立が求められている（藤森，2000）。針葉樹林に広葉樹を導入する技術としては、小面積の帯状あるいは群状に伐採した面に、苗木を植栽する試みが多く行われている（小島・石塚，1998；2004；谷口，1998；石塚ら，2000）。他の方法としては、針葉樹の上木を単木的に間伐し、林内を明るくしてそこに苗木を植栽する方法、すなわち上木一針葉樹、下木一広葉樹の施業が考えられるが、針葉樹林内に広葉樹苗木を植栽した事例は、きわめて少ない（安藤，1986；小南ら，1997；佐藤ら，2001；小南ら，2003）。一般に広葉樹苗木の健全な生育のためには針葉樹より明るい光環境が必要と考えられており、既往の複層林作業では、上木、下木とも針葉樹である場合がほとんどである。しかし、広葉樹の中でも樹種による耐陰性に差があり（吉野・谷口，1994）、耐陰性の高い樹種を下木に用いて適切な光環境の調節を行うことによって、針葉樹林を針広混交林や広葉樹林に誘導できる可能性がある。そこで、このことを検討する目的でスギ壮齡林を強度に間伐し、耐陰性が高いと思われるブナ、ケヤキおよびこれと比較するために、比較的耐陰性が低いと思われるミズナラ、ヤマザクラ（吉野・谷口，1994；吉野・前田，2005）の広葉樹苗木を樹下植栽した試験地を設けた。本報では、この試験地の9年間の林内照度の変化に伴う植栽苗木の成長結果に基づき、針広混交林や広葉樹林への誘導の可能性について検討した。

本試験地は「針広混交林育成技術調査事業」（平成7～11年度）において設定したものであり、ご指導いただいた九州大学芸術工学部重松教授、ならびに試験地の設定と調査に協力いただいた多くの職員の方々にお礼を申し上げます。

II. 試験地と調査方法

試験地を設定した場所は兵庫県神崎郡神河町上小田にあるスギ人工林である。現地の海拔高は870mで、気象条件は年平均気温9.7℃、年間降水量は2,100mm、最大積雪深は約1.5mと推定される。地形は南向きに5°程度傾斜した緩斜面であり、土壌はB₁型である。試験地設定前のスギ林は、林齡32年生、平均樹高17.1m、平均胸高直径25.1cm、平均枝下高5m、成立本数は1,770本/haであった。1995年10月に密度管理図（林業技術協会，1980）で間伐後の収量比数が0.6（弱度間伐区）、0.5（中度間伐区）、0.4（強度間伐区）となるように、それぞれ本数率46.5、55.5、63.6%、材積率37.4、45.0、55.2%の間伐を行い、成立本数を900、780、700本/haとした。1995年11月に間伐木の搬出および枝条の整理を行った林内に16×16mの4プロットの試験地を連続して設け、各プロットにヤマザクラ、ケヤキ、ミズナラ、ブナの2年生苗木を49本ずつ2.2×2.2mの間隔に植栽した。ニホンジカによる苗木の被害を防止するために、広葉樹苗木の植栽直後に試験地の周囲を取り囲むように高さ1.8mのシカ防護柵を設置した。なお、下刈りは植栽した苗木の3成長期目に当たる1998年7月に1度だけ行った。

植栽した苗木の成長調査は、試験地の設定直後およびその後毎年、成長休止時期に樹高と地ぎわ直径について行った。なお、地ぎわ直径は地表から2cmの位置を直径巻尺で測定した。また、林内の相対照度の測定は試験地

の設定直後および1、2、3、5、7、9年経過後のいずれも9月の曇天時に積算照度計を用いて行った。測定は各樹種が植栽されているプロット別に行った。測定者は林外の全光条件下の測定者と連絡をとりながら、照度計を植栽苗木の梢端より上部に保持しながら、約3分間プロット内をくまなく移動し、この間の積算値を求めた。測定は各プロットで毎回3回行い、その平均値を求めた。相対照度は林内の測定と同時に同調して測定した林外の全光条件下の測定値に対する林内の測定値の比により求めた。なお、ヤマザクラ、ケヤキ植栽プロットでは植栽2年後から、ブナ植栽プロットでは植栽5年後から植栽木の高さがおおむね1.8mを上回る個体が現れたため、それ以後は照度計を伸縮式の桿の上部に設置し、植栽苗木より上部の高さで水平になるように保持しながら測定した。

III. 調査結果

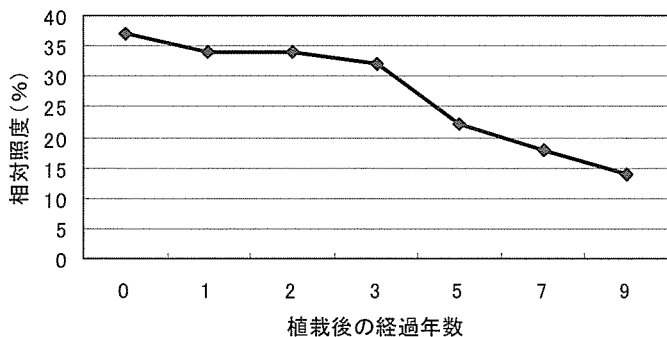
試験地設定後3年目の冬季に積雪により強度間伐区と弱度間伐区のシカ防護柵が破損し、多くの植栽木が被害を受けた。そのためこの2区は調査を中止し、無被害であった中度間伐区のみ調査を継続した。

中度間伐区のプロット間の相対照度の変動は、いずれの測定時期にも7%以内と小さく、測定時期ごとにプロット別の相対照度の値の順位は変動し、プロット間に明らかな差は認められなかった。プロット間の平均相対照度の経年変化を図一1に示す。間伐直後の相対照度は37%を示し、間伐後しばらくは照度の低下が比較的緩やかで間伐3年後には32%に止まった。しかし、その後年数の経過とともに相対照度が急激に低下し、間伐5年後には22%、7年後には18%、9年後には14%となった。

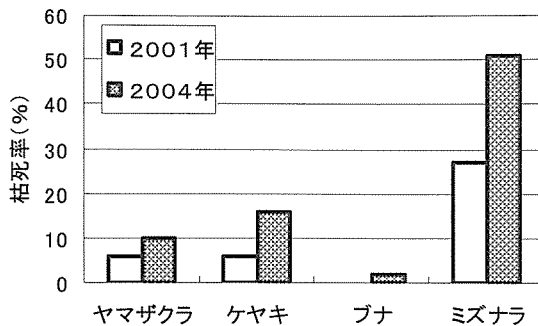
図一2に樹種別の植栽苗木の枯死率を示す。枯死木は植栽6年後に初めて発生した。枯死率はミズナラが最も高く、ヤマザクラとケヤキは低率であり、ブナは枯死木が皆無であった。植栽9年後の枯死率はミズナラが最も高く、ついでケヤキ、ヤマザクラの順であり、ブナは著しく低率であった。

図一3に樹種別の樹高成長経過を示す。ミズナラは植栽直後から主軸の伸長成長が緩慢で枝が横方向に伸び、樹冠が傘形を示した。ヤマザクラは試験期間の初期には成長が旺盛であったが、6年目頃から林内照度の低下にもなって伸長成長が鈍化する傾向を示した。一方、ケヤキ、ブナは林内照度が低下しても、成長が低下する傾向はみられなかった。図一4に樹種別の調査期間内の伸長量を示す。伸長量はケヤキ、ブナ、ヤマザクラの順に大きく、ミズナラは特に小さかった。樹種別の伸長量について分散分析を行ったところ有意差が認められ、多重検定の結果、ミズナラとその他の樹種間に有意な差が認められた（Tukey法； $p < 0.05$ ）。

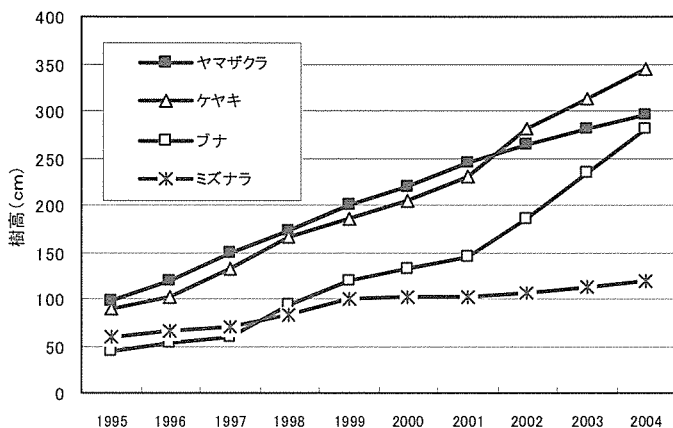
図一5に樹種別の地ぎわ直径の成長経過を示す。樹種別の地ぎわ直径の成長経過をみると伸長成長とほぼ同じ傾向を示し、ミズナラは植栽3年後から肥大成長が低下し始め、その後の成長量も特に小さかった。ヤマザクラは植栽6年後から林内照度の低下にもなって成長が緩慢となった。一方、ケヤキとブナは調査期間中、林内照度低下しても成長の鈍化はみられなかった。図一6に植栽9年後の地ぎわ直径を示す。地ぎわ直径はケヤキが最も大きく、ついでブナの順であり、ヤマザクラ、ミズナラは小さかった。なお、ミズナラ・ヤマザクラとケヤキ、ブナの間には、それぞれ有意差が認められた（Tukey



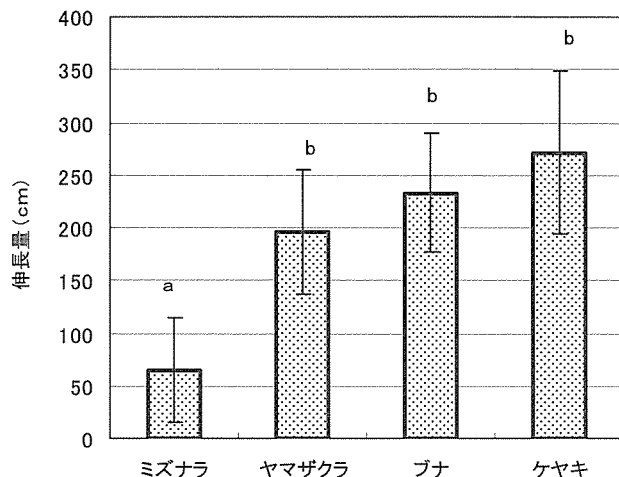
図一 林内の相対照度の経年変化
平均値を示す。



図二 樹種別の枯死率



図三 樹種別の樹高成長経過
平均値を示す。



図四 調査期間内の樹種別伸長量
平均値と標準偏差を示す。

異なる文字間には有意差があることを示す
(Tukey法による多重検定; $p < 0.05$)

法; $p < 0.05$)。

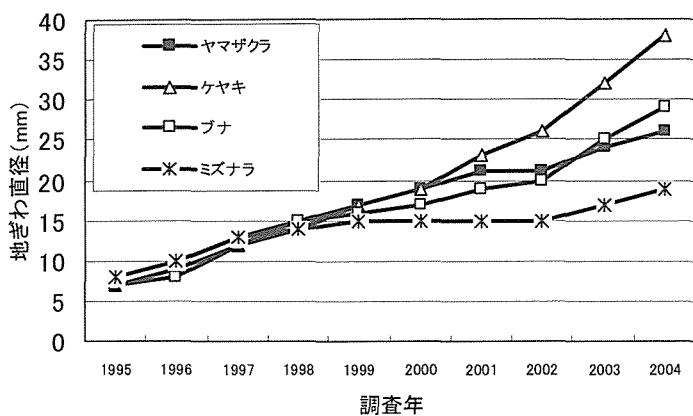
なお、1997年および1998年の照度測定時に各プロットの植栽苗木20個体ずつを選んで、各個体の梢端部付近における相対照度と期間内の伸長成長量および地ぎわ直径との関係を検討したが、個体による変動が大きく両者に明らかな相関関係は認められなかった。また、ミズナラおよびヤマザクラ植栽プロットにおいて枯死個体と生存個体の植栽位置における相対照度を測定したが、両者に明らかな差は認められなかった。

IV. 考察

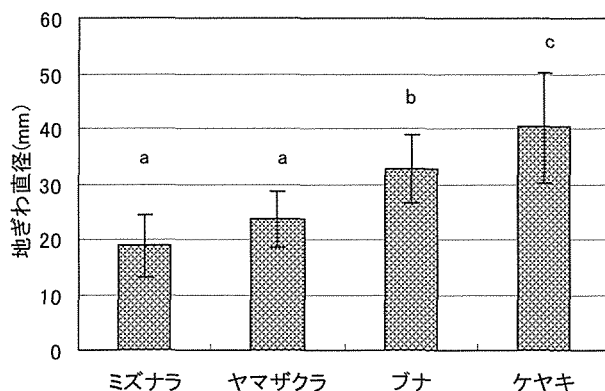
本試験地における相対照度の経時変化をみると、間伐後3年間は比較的照度の低下が緩やかで相対照度は30%以上を示し、植栽苗木の枯死もみられなかった。植栽苗木の枯死は、相対照度が20%を下回るようになった間伐6年後に初めて認められるようになった。人工庇陰試験の結果では、落葉広葉樹の生存に必要な相対照度は20%以上であった(吉野・谷口1994)。本試験の結果でも耐陰性の低い落葉広葉樹の生存のためには、林内の相対照度を20%以上に保つ必要があることがわかった。人工庇陰の低照度下ではコナラは枯れやすく、ケヤキ、ブナは枯れにくいことがわかっている(吉野・谷口, 1994)。

さらに、6樹種を単木混植した試験地でもコナラ、ヤマザクラの被圧木は枯死する率が高く耐陰性が低い傾向が認められている(吉野・前田, 2005)。本試験においてはミズナラが最も枯死率が高く、ケヤキ、ヤマザクラは比較的low率であり、ブナはきわめて低率であった。この結果から低照度下でミズナラは枯れやすく、ブナは枯れにくいことが確かめられた。

樹種別の伸長成長をみると、ミズナラは試験開始当初から成長が緩慢であったが、相対照度が20%を下回った6年後から成長がほとんど停止した。また、ヤマザクラもこの頃から成長量が低下する傾向がみられた。一方、ケヤキ、ブナは照度が低下しても成長が衰える傾向はみられなかった。ブナの全光条件下での初期成長は、他の多くの落葉広葉樹と比較すると伸長成長・肥大成長とも著しく緩慢であることがわかっている(吉野・谷口, 1993)。しかし、本試験地ではブナはケヤキに次いで伸長生長量、肥大成長量が大きかったことから、耐陰性が高い樹種であることが確認できた。また、スギ人工林内および林外に植栽されたヤマザクラとケヤキの伸長成長をみると、ケヤキはヤマザクラに比べて林内と林外の差が小さく、ヤマザクラに比べて耐陰性が高いとされている(小南ら, 1997)。これらの結果から供試樹種の中で林内の低照度下でも成長量が減退しにくい樹種は、ケヤキ、ブナであ



図一五 樹種別の地ぎわ直径の成長経過
平均値を示す。



図一六 植栽9年後の地ぎわ直径
平均値と標準偏差を示す。
異なる文字間には有意差があることを示す
(Tukey法による多重検定; $p < 0.01$)

り、逆にヤマザクラ、特にミズナラは成長が減退しやういといえる。

本試験ではスギ壮齡林を収量比数0.5となるように強度の間伐を行い、相対照度を40%程度にした林内に落葉樹広葉樹苗木を植栽し、林内更新ができるかどうかを確かめた。その結果、9年経過後にはケヤキ、ブナの伸長量は2.5m以上を示し、今後上木を伐採しても下刈りが不要な大きさとなっている。そこで、上木を適宜間伐することによって、下木の成長を促進し将来的に針広混交林に誘導できる。また、残りの上木をすべて伐採することによって広葉樹林に誘導できるものと思われる。この方法は下刈りが軽減できるので、省力的な林内更新を実現できる可能性がある。現存する針葉樹人工林を将来どのような森林タイプに誘導するかによって植栽する下木の種類も異なる。たとえば、山腹崩壊防止機能に重点を置いた森林に誘導するには深根性の樹種を植栽する場合も考えられる。また、広葉樹は樹種によって林内の光環境だけではなく、植栽地の海拔高、土壌条件によっても成長や諸害に対する反応が異なる。今後さらに多くの樹種について異なる立地条件下で林内更新の可能性を検討する必要がある。

引用文献

- 赤井龍男 (1998) 低コストな合自然的林業. 143pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 安藤 貴 (1986) 広葉樹とスギ・ヒノキの複層林. 山林1252: 18~22.
- 藤森隆郎 (1979) 複層林施業問題検討のポイント—スギとヒノキ—. 林業技術448: 6~10.
- 藤森隆郎 (1988) 複層林の生態と取り扱い. 96pp, 林業科学技術振興所, 東京.
- 藤森隆郎 (2000) 森との共生. 236pp, 丸善, 東京.
- 石塚森吉・川崎達郎・宇津木 玄 (2000) 光環境管理から見た針葉樹人工林に広葉樹を導入する施業方法の検討. 森林総合研究所平成11年度研究成果集: 16~17
- 清野嘉之 (2004) 裏付けとなる技術研究の現状. 森林科

学41: 6~7.

- 小島 正・石塚森吉 (1998) スギ林人工ギャップの光環境と植栽した苗木の成長について. 日林論109:297~298.
- 小島 正・石塚森吉 (2004) 二段林における下層の光環境と林冠ギャップの光環境管理について. 森林科学41: 21~27.
- 小南陽亮・新山 馨・佐藤 保・齋藤 哲・西山喜彦 (1997) 針広混交林における広葉樹稚樹定着と成長. 森林総合研究所平成8年度研究成果選集: 42~43.
- 小南陽亮・佐藤 保・齋藤 哲・新山 馨・田内裕之・上中作次郎 (2003) 温暖帯のスギ人工林に植栽した有用樹の10年間の生残と成長. 九州森林研究56:88~94.
- 野田 巖・林 雅秀 (2003) 再造林放棄林分の発生要因に関する研究 (I) —森林の所有規模, 立地条件に着目した考察—. 九州森林研究56: 36~41.
- 林業技術協会 (1980) 北近畿・中国地方スギ林分密度管理図.
- 林野庁 (2004) 平成15年度林業白書 森林及び林業の動向に関する年次報告 新たな木の時代を目指して. 538pp, 日本林業協会, 東京.
- 佐藤 保・小南陽亮・齋藤 哲・永松 大 (2001) 不知火針広混交林における広葉樹の生育状況. 日林九支研論文集54: 81~84.
- 谷口真吾 (1998) 針広混交林の造成技術に関する研究 (III) —ヒノキ林人工ギャップの相対積算日射量とケヤキ下木の伸長成長との関係—. 森林応用研究7: 63~66.
- 和口美明・米田吉宏 (1995) 西吉野村本谷スギ—スギ二段林施業調査地における上木, 下木, 照度および雑草木の測定結果 植栽3年目から8年目までの測定結果. 奈良県林試林業資料10: 8~11.
- 吉野 豊・谷口真吾 (1994) 人工庇陰下における落葉広葉樹の成長と枯損. 日林関西支論3: 119~122.
- 吉野 豊・前田雅量 (2005) 広葉樹人工造林地の初期成長 (VIII) —単木混植した7樹種の植栽12年後の生残と生育状況—. 兵庫農技総セ (森林林業) 52: 19~21.