

針広混交林の育成に向けた下層広葉樹の育成管理技術

－広葉樹林化のための更新予測及び誘導技術の開発－

小山泰弘*・近藤道治・岡田充弘・大矢信次郎

針葉樹人工林の中でも下層に広葉樹が混交している事例が多いカラマツ人工林を対象として、針葉樹林から針広混交林へ誘導するための手法を検討するため、上木の伐採方法や下木の管理方法が異なる林分を対象として事例収集を行った。下層に高木性広葉樹が認められるカラマツ林で、林床を整理して点状の強度間伐や列状間伐を行ったところ、萌芽により広葉樹が更新したが、帯状伐採後に林床整理を繰り返すと灌木や草本の繁茂で高木性広葉樹の成長が阻害される場合があった。なお、帯状伐採を行う際に下層の広葉樹を残した場合でも、直径が細く形状比が高いものが枯損した。また、下層に発生した広葉樹の樹高成長は、上木の枝下高に近づくことで成長が停滞するため、下木が成長した段階で、上木の本数管理を行う必要があり、上木の本数管理を行わずに放置すると光環境の悪化で下木が枯損する場合もあった。

キーワード：針葉樹人工林、下木の成長、光環境、帯状伐採

1 はじめに

1.1 研究の目的

森林管理の目標が、木材生産から災害防止や水源涵養機能など公益的機能を高めることへと比重が変化する中で、木材生産に適した針葉樹だけでなく広葉樹の育成管理も検討されている。長野県では、2005年に策定した「長野県ふるさとの森林づくり条例」に基づいて定めた森林づくり指針の中で、100年先の森林は、針葉樹林、広葉樹林、針広混交林がバランスよく配置され、森林の持つ多面的な機能が持続的に発揮できる状態を目指している。このために、針葉樹人工林の一部を、強度間伐して針広混交林化を目指すとしている（長野県2005）。

針葉樹人工林から針広混交林へ誘導するためには、下層の広葉樹を育成させることが重要である。広葉樹の天然更新が成功するためには、前生稚樹の存在が不可欠である（杉田ら2009、森林総研2010）とされ、針葉樹林であっても前生稚樹が多ければ、針広混交林化は容易であると考えられる。実際、長野県川上村では、前生稚樹の発達したカラマツ林で、強度間伐を行った場合に、ミズナラが下層を構成した事例がある（古川2002）。こうしたことから、長野県内で針葉樹人工林の下層植生を調査したところ、アカマツ・カラマツでは収量比数の高い過密林分でも下層植生が発達し、高

木性広葉樹も多く認められた（小山・山内2011）。このことから、高木性広葉樹が多く残るカラマツ林では、針広混交林への誘導も容易ではないかと考えられる。しかし、長野県内でカラマツ人工林を強度間伐して針広混交林へ誘導する事例は川上村（古川2002）以外には見られず、さらに調査を行う必要がある。

そこで、長野県に最も多く見られるカラマツ人工林を対象として、下層広葉樹が健全に育成できるための最適な誘導方法を検討するため、施業方法が異なる事例をできるだけ多く収集し、それぞれの結果について第2章から第8章まで検討した。その上で、事例調査で得られた結果に基づいて、カラマツ人工林から針広混交林へ誘導するために必要な初期の育成管理技術についての知見を整理することを目的とした。

なお、調査の中でドイツトウヒ林における針広混交林化の事例が収集できたので、これについても第9章で整理した。

本研究は、「農林水産政策を推進する実用技術開発事業全国領域プロジェクト（2007～2011年度）」により実施したものである。

*現 林務部信州の木振興課

2 点状間伐後の下層広葉樹の生育状況

2.1 目的

長野県内のカラマツ林で、下層にミズナラ林が成立した事例(古川 2002)では、林内相対照度が25%以上となるような強度間伐によって、下層のミズナラが健全に成立し(古川 2002)、その後の成長も健全性が見込まれる(古川・片倉 2001)とされていた。

初回の間伐から20年以上が経過したことから、当該林分における当時の成長予測について現状との比較検討を行った。

2.2 調査地と調査方法

調査は、古川(2002)が設定した1954年に植栽した長野県南佐久郡川上村のカラマツ林とした(表2-1)。本林分は、1986年に間伐率を変えた二種類の間伐を行い、間伐後の収量比数が $R_y=0.45$ (間伐区1)、 $R_y=0.60$ (間伐区2)となるように調整した。その後、萌芽更新によりミズナラの下木層が形成されたことから、1995年にミズナラの除伐を行う除伐区(A区)と、施業を行わない無処理区(B区)を間伐率別に設け、それぞれ30m四方の方形区を設定した(図2-1)。

調査は、間伐から20年が経過した2008年6月に、方形区内に成立した樹高1.3m以上の木本を対象に樹高と胸高直径を測定した。なお、高さ1.3m以下の植物は、出現種別に被度を調査した。

2.3 結果と考察

1995年と2008年の結果を表2-2に示す。上木であるカラマツの樹高は、この13年間に平均2m程度の成長をしていた。一方、下木のミズナラは収量比数の低い間伐区1で、胸高直径及び樹高ともに収量比数の高い間伐区2を上回り、収量比数が高い場合には、下層のミズナラの成長は良くないことが示された(図2-2, 表2-2)。複層林において、下層木が健全に生育できる光環境は相対照度25%以上とされており(河原 2001)、カラマツ林では収量比数0.52を下回ることが必要と考えられている(片倉ら 1995)。

1986年の間伐では、相対照度が30%以上となる収量比数0.45と相対照度が30%に満たない収量比数0.60で施業を行ったが、ミズナラの成長を促

すためには、収量比数0.5以下という強度な間伐による環境改変が必要であることが再認識された。しかし、強度に間伐を行った収量比数の低い間伐区1でも、ミズナラの平均樹高は、6.6~6.8mにとどまった。長野県のミズナラ林における20年生の平均樹高は、地位によって異なるが8.3~13.5mとされており(長野県 2001)、今回のカラマツ-ミズナラ林をモデルとした、混交林の成長予測(古川・片倉 2001)でも20年生で下層のミズナラは10mに達するとみられていたことから、現実林分での樹高成長は悪かった。

この原因として、照度が不足したことが原因ではないかと考えられたが、強度に間伐を行った間伐区1のカラマツ林は、前回間伐から20年が経過した段階でも収量比数は0.56で、通常の森林よりも明るかったため、下層木の成長を抑制させない光環境については、本県に多く設定された複層林の調査事例(片倉ら 1995, 近藤 2010など)をさらに追跡することで、検討を深める必要がある。実際、間伐20年後の相対照度は測定していないが、片倉ら(1995)による収量比数と相対照度の関係式より、23%と推定され、これ以上の光環境を求めるとすれば、他の施業方法を検討する必要があると判断できた。

また、ミズナラの除伐を行ったA区と無施業のB区の間には、樹高と胸高直径の差が認められず、1997年には認められた(古川 2002)下木の除伐による施業効果は、その後10年は続かなかった。加えて、下木のミズナラの成立本数は全ての調査地で4,000本/ha弱と、1995年の除伐直後の本数よりも減少し、林床植被率も10%程度と、通常のカラマツ林における下層植生の植被率(近藤・小山 2006)と比べて低かった。

なお、ニホンジカによる食害の痕跡は少なく、その影響は小さいと判断できた。以上のことから、下層木のミズナラは、除伐から12年が経過して過密となり、自然枯死が発生したと判断した。

このように、下層木の成長を促して針広混交林へ誘導するために林床を整理した強度間伐であっても、萌芽更新により下木の発生は期待できるが、一度だけの強度間伐では上木の林冠が発達することで、10年を超えた段階から樹高成長が停滞し、20年が経過しても下層木の樹高成長は伸び悩ん

でしまうため、再度の施業が必要だった。

また、カラマツの樹冠下に成立したミズナラは、発生から10年以内に一度整理したとしても、その後10年でミズナラの本数は最多密度に到達して自然枯死を起こしており、下層木の本数管理を行うためには10年に一度の施業が必要になるとい

えた。

今回の結果から、収量比数が0.5以下という強度間伐を行い、下層の広葉樹が発生したとしても、一度の施業だけでは、容易に針広混交林への誘導はできないと判断できた。

表 2-1 試験地の概要

| 調査地 | 林班名 | 標高 (m) | 斜面位置 | 地形 | 土壌型 | 年平均降水量 (mm) | 年平均気温 (°C) | 最深積雪深 (cm) | 温量指数 |
|-----------|---------------------|--------|------|-------------|-------|-------------|------------|------------|------|
| 南佐久郡川上村所並 | 202-へー1イ 203-イ-1 | 1,520 | 山腹上部 | 凸型～ 平衡斜面 | BD(d) | 1439 | 6.6 | 48 | 54.6 |

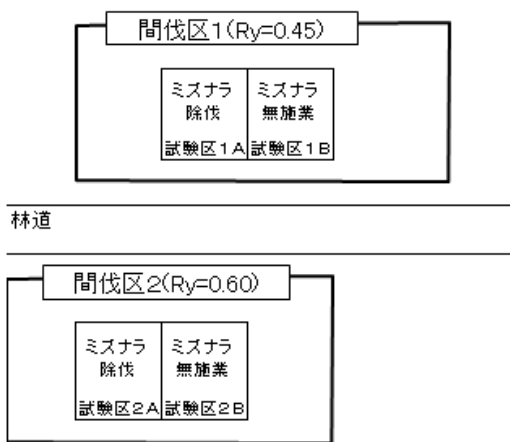


図 2-1 試験区の配置図

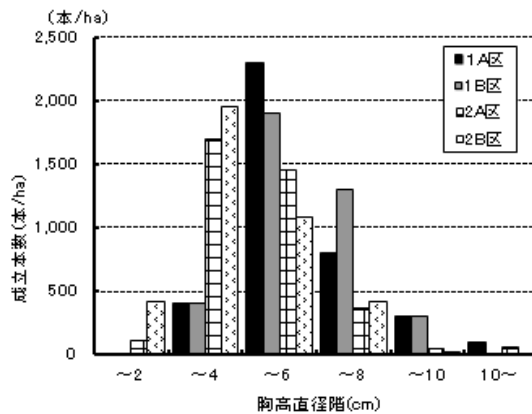


図 2-2 下木ミズナラの胸高直径階別分布 (2008年)

表 2-2 カラマツ-ミズナラ二段林の生育状調査結果

| 上木カラマツの状況 | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| plot | 胸高直径(cm) | | 樹高(m) | | 成立本数 | | 林齢 | | 収量比数 | | 備考 |
| | 1995年 | 2008年 | 1995年 | 2008年 | 1995年 | 2008年 | 1995年 | 2008年 | 1995年 | 2008年 | |
| 1A | 25.4 | 30.9 | 19.0 | 21.7 | 300 | 300 | 41 | 53 | 0.48 | 0.56 | 1995除伐 |
| 1B | 24.1 | 31.1 | 19.0 | 21.6 | 300 | 300 | 41 | 53 | 0.48 | 0.55 | |
| 2A | 22.7 | 28.0 | 22.0 | 24.0 | 467 | 444 | 41 | 53 | 0.70 | 0.74 | 1995除伐 |
| 2B | 21.6 | 25.3 | 22.0 | 24.0 | 489 | 444 | 41 | 53 | 0.71 | 0.74 | |

| 下木ミズナラの状況 | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------------------|--|--|
| plot | 胸高直径(cm) | | 樹高(m) | | 成立本数 | | 林齢 | | 高さ2m以下の高木性広葉樹発生状況 | | |
| | 1995年 | 2008年 | 1995年 | 2008年 | 1995年 | 2008年 | 1995年 | 2008年 | | | |
| 1A | 2.8 | 6.5 | 4.4 | 6.6 | 5,700 | 3,900 | 8 | 20 | ミヤマザクラ・ミスナラ 400本/ha | | |
| 1B | 2.5 | 6.8 | 3.7 | 6.8 | 10,100 | 3,900 | 8 | 20 | ミスナラ・ミヤマザクラ 1000本/ha | | |
| 2A | 2.2 | 4.4 | 3.4 | 4.8 | 7,800 | 3,733 | 8 | 20 | ミヤマザクラ・ミスナラ 300本/ha | | |
| 2B | 1.9 | 5.5 | 3.2 | 5.2 | 9,300 | 3,889 | 8 | 20 | なし | | |

| 下層植生の繁茂状況 | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|---------|-------------|-------|----------|---------------------|--|--|--|--|
| plot | 植被率 | | 優占種 | 優占種 植被率 (%) | 出現 種数 | 最大高 (cm) | 1%以上の植被率をもつ植物種 | | | | |
| | (%) | (%) | | | | | | | | | |
| 1A | 20 | | オクノカンスゲ | 5 | 36 | 45 | 好ツボスミレ・ガリヤスなど計10種 | | | | |
| 1B | 25 | | ノガリヤス | 10 | 40 | 50 | オクノカンスゲなど計10種 | | | | |
| 2A | 10 | | コバノトネリコ | 2 | 28 | 30 | マユミなど計9種 | | | | |
| 2B | 15 | | ヤブレガサ | 5 | 29 | 40 | オクノカンスゲ・アキカラマツなど計9種 | | | | |

3 帯状伐採による下層広葉樹の発達状況

3.1 目的

複層林の造成方法としては、点状間伐を行った後に下木を植栽する点状複層林や、一定の幅で上木を伐採した後に植栽する列状（帯状）複層林などがある。前章では、間伐後の収量比数を0.5以下とする強度の点状間伐を行ったが、20年後には下層木の健全な成長は見込めず、一回の強度間伐だけで針広混交林へ誘導することは難しかった。

一方、列幅の大きな帯状の複層林であれば、一定幅で上木が伐採される。この場合には、伐採された場所の上には上木が存在しないため、一回の伐採で針葉樹の帯と広葉樹の帯が交互に入る針広混交林への誘導が可能になると思われる。そこで、本章では樹高幅で帯状伐採した林分で、下層の広葉樹の成長を調査した。

3.2 調査地と調査方法

調査は、松本市本郷にあるカラマツ人工林で行った（表3-1）。調査地は、1957年に植栽したカラマツを、2004年に樹高幅で帯状伐採した林分である。帯状伐採直後に、伐採区と隣接するカラマツ林内の両方にヒノキを植栽し、2006年までの3年間ヒノキを育てるために下刈りを実施したが、その後放置した。

調査は、下刈り完了後4年が経過した2010年7月末にヒノキの植栽を行った林分で、それぞれ3m×3mの方形枠を5枠ずつ設定して、下層植生の発生状況を調べるための植生調査を行うとともに、伐採区と林内の両方の林分を横断するように4m×44mの範囲で高木性広葉樹の発生本数を調査し、それぞれの施業区ごとに区分した（図3-1）。

3.3 結果と考察

調査地では、植栽したヒノキは2mを超えてはいたものの、下層植生と競合しており、林分外からヒノキが目立つ状況ではなかった。

調査地では、帯状伐採区も隣接する残存林内も2～3mの下層植生に被われていた。調査区内で発生した高木性広葉樹は、ミズナラやウリハダカエデ、ウワミズザクラなどだったが、発生本数を見ると、帯状伐採区の方が残存林内に比べて少な

かった（図3-2）。

植生調査の結果をもとに、発生していた植物をラウンケアの生活型（沼田1978）で分類し、生活型ごとの被度割合で示したところ、高木性樹種の植被率は、帯状伐採区で残存林内に比べて低かった（図3-3）。帯状伐採区では、ノリウツギやクマイチゴなどの灌木類が繁茂し、これにウチワドコロやヤマブドウなどのツル植物が巻きあがり、これらに被圧されたことで、高木性広葉樹の成長が阻害されていた。

すなわち、林床植生が発達することの多いカラマツ林では、樹高幅のような帯状伐採を行うことは、針広混交林への誘導に有利だとはいえ、初期成長が早い灌木性の樹種が高木性広葉樹の成長を上回ってしまう可能性があることがわかった。

しかし、今回の調査において注意すべき点は、伐採後3年間にわたって、刈払いを実施したことである。今回の刈払いは、伐採後に植栽したヒノキの成長を促すために実施したものであるが、刈払いを繰り返すことで、広葉樹の萌芽再生が難しくなったとする事例が存在する（長谷川1988）。この事例では、萌芽力が低いとされるウダイカンバを対象として調査が行われており、ウダイカンバは複数回の刈払いで萌芽再生しなくなることが指摘されている。広葉樹では、刈払い時の誤伐が重大な成林阻害要因であるとの指摘もあり（小山・古川2002、林野庁2001）、伐採後3年間にわたって実施した刈払いが、高木性広葉樹の再生に悪影響を及ぼした可能性は否定できない。

この点に関して、次章以降で検証する。

表 3-1 試験地の概要

| 調査地名 | 位置 | 林班 | 標高 (m) | 土壌型 | 斜面方位 | 傾斜 (度) | 帯状伐採前の林分概況 (平成15年末) | | | |
|------|--------------|--------|--------|-----|------|--------|---------------------|-------------|----------|-------------|
| | | | | | | | 林齢 | 成立本数 (本/ha) | 平均樹高 (m) | 平均 DBH (cm) |
| 本郷 | 松本市 本郷県有林 | 19-ハ-2 | 1,330 | BLD | NW | 15 | 47 | 367 | 22.1 | 30.6 |

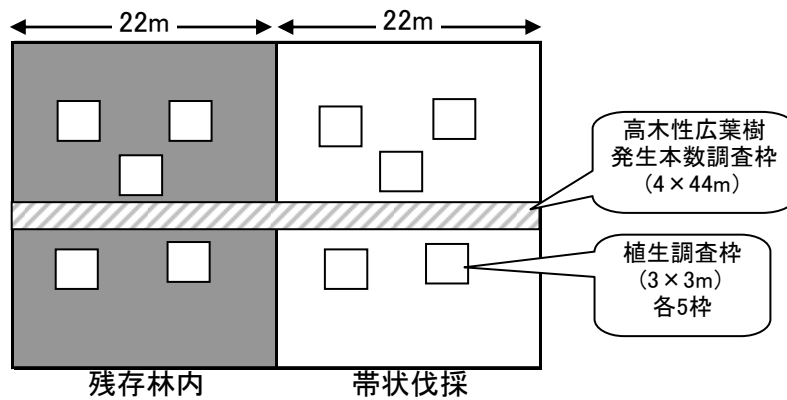


図 3-1 試験地の概況

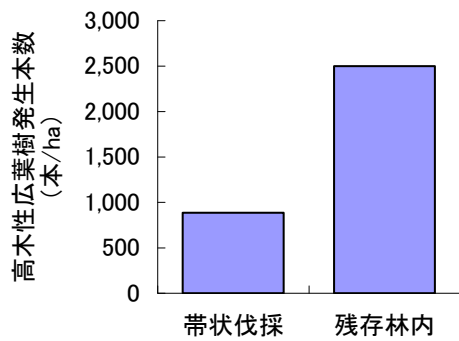


図 3-2 下層の高木性広葉樹発生本数

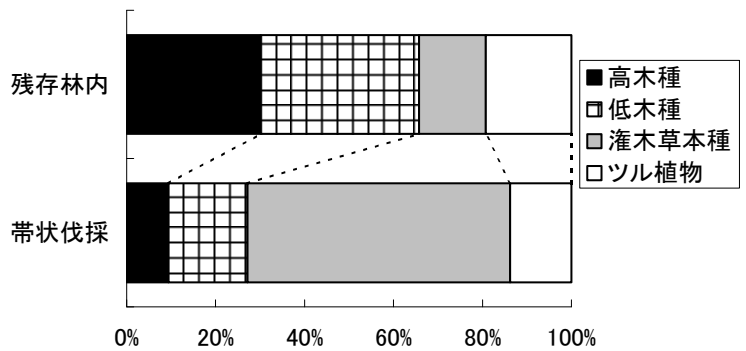


図 3-3 林床植生の植被率

4 下層木を残した帯状伐採

4.1 目的

帯状伐採は、上木が一度になくなるため、上木による林冠再閉鎖を受ける可能性は少なくなるが、下層の光環境が大きく改善された影響で、雑灌木とツルが繁茂し、高木性広葉樹を被圧する可能性が見つかった。

そこで、帯状伐採を行う際に下層の広葉樹を残した場合の事例調査を行った。

4.2 調査地と調査方法

調査は、南佐久郡小海町の小海県有林のカラマツ人工林で行った(表 4-1)。1966年に植栽したカラマツを、2003年に樹高の2分の1の幅で帯状伐採を行った。当地での帯状伐採は、上木であるカラマツ立木の搬出を行ったため、立木伐採時及び搬出時に支障となった個体を除いて、全ての広葉樹を残存させた。

これにより、一部の広葉樹を除いて直径の小さな個体から大きな個体まで、林分内に成立していた大半の広葉樹を残すことができた。

帯状伐採後の2004年に、中央に上木を残した残存区を挟んで、両側に帯状伐採させた伐採区が二区入るような20×42mの試験区を設けた(図 4-1)。試験区では、2004年8月に成立している樹高1.5m以上の全樹木を対象として毎木調査を行い、その後2011年11月までの間に随時継続して調査を行いながら、残存させた広葉樹の生残状況及び生育状況を調査した。

また、伐採区では残存させた広葉樹の枯損が目立ったため、試験地内外で帯状伐採を行った区域内に残存させた広葉樹254本を対象として、2008年7月に樹高、直径、生残状況を確認した。

4.3 結果と考察

伐採から3年が経過した、2007年に伐採後における広葉樹の生育状況を調査したところ、帯状伐採区では、高木性広葉樹の26%が枯死した。一方、残存区の林内でも上木が残っていることによる被圧の影響と思われる枯死は認められたが、枯死本数率は16%にとどまり、伐採区よりも少なかった。生残状況についてはその後も調査を行い、2011年

11月までの枯死木の割合は、伐採区内で48%(27本中13本)、残存区内で31%(159本中50本)となり、伐採区での枯死木の本数割合は残存区に比べて高かった(表 4-2)。

なお、枯死木の発生時期を伐採後3年以内の2007年までと、それ以後に区分したところ、伐採区では伐採後3年以内に11本が枯死したが、その後は2本と、枯損木の大半は伐採直後の3年間に集中していた。一方、残存区では伐採後3年以内の枯死木は32本、その後の枯死木は17本で、伐採直後だけ枯死木が多いとはいえなかった。

伐採区での枯死木の発生が、伐採直後の数年間に集中していることを考えると、伐採区での枯死は、伐採によって立地環境が激変したことが原因と考えられた。こうした危惧は過去にも検討された(小野寺・今 2006)ことがあり、今回の事例はそれを裏付ける結果となった。しかし、当地における枯死原因に関して詳細な検討を行っていないため、上木の疎開による光環境の変化が主要因であるのか、風や水分環境などの他の環境要因が影響しているのかといった原因の究明はできなかったため、どのような環境変化が枯死につながったのかについては更に検討する必要がある。

また、2008年に行った試験区外を含めた帯状伐採区域における、伐採時の残存広葉樹254個体の生残調査では、生残木169本、枯死木85本認められ、枯死本数率は33%と、試験地の伐採区内における2007年までの枯死本数率26%と同程度だった。すなわち、上木伐採の影響による枯死木の発生は、当地域で普遍的な現象といえた。

なお、今回の施業で枯死木と生残木の違いを見るため、直径と樹高の関係を調べたところ、枯損木は直径4cm以下の小径木で多いものの、直径が太いものでも認められた(図 4-2)。しかし、胸高直径と形状比の関係をみると(図 4-3)、直径が太い木で枯死しているものは同一径級の中でも形状比が高いものに偏っており、形状比が100以下の枯死木は少なかった。

これらのことから、上木伐採時には直径4cm以下の小径木や、形状比の高い形質不良木は残存木としては適さないことが明らかとなった。下木を残した施業では、形状比の高い個体や直径4cm以

下の個体を伐採し、これ以上の木を残すことが望ましいと判断した。

なお、広葉樹の萌芽更新できるサイズや林齢は、樹種によって異なっている（紙谷 1986）。高齢級で大径化した広葉樹は、萌芽更新が困難（韓・橋詰 1991, 松浦ほか 2002）であるが、小径木では萌芽しやすいことから、胸高直径 4 cm 以下の小径木は、たとえ伐採したとしても萌芽更新による再生

が期待できることから、残存させるよりも萌芽を期待することが望ましいと思われた。

なお、萌芽更新した場合、前章のように雑灌木との競合が懸念されるが、萌芽更新は実生更新よりも成長が良いとの指摘（大住 2011）もあり、萌芽更新による初期成長について、更に検討する必要がある。

表 4-1：帯状伐採前の状況

| 市町村名 | 林班名 | 樹種 | 植栽 (西暦年) | 樹高(m) | 胸高直径 (cm) | 立木密度 (本/ha) | 収量 比数 |
|------|--------|------|-------------|-------|--------------|----------------|----------|
| 小海町 | 21-ハ-1 | カラマツ | 1966 | 20.5 | 25.4 | 500 | 0.69 |

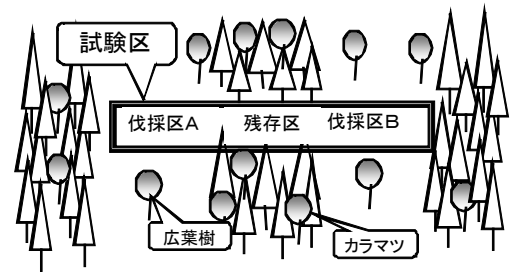


図 4-1：試験区の状況

表 4-2 帯状伐採区と残存区の調査結果

| 調査面積 (ha) | 下層の広葉樹 成立本数(本/ha) | | | 枯死本数(本) | | | 高木性広葉樹 樹高成長量 (2011/2004) | 高木性広葉樹 胸高直径 成長量 (2011/2004) | |
|--------------|----------------------|---------------|---------------|---------|------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------------|------|
| | 施業翌年 (2004) | 4年後 (2007) | 8年後 (2011) | 4年後まで | その後 4年間 | 全体 (8年後) | | | |
| 伐採区 | 0.046 | 848 | 625 | 535 | 11 | 2 | 13 | 145% | 193% |
| 残存区 | 0.036 | 2,222 | 1,861 | 1,750 | 32 | 18 | 50 | 127% | 164% |

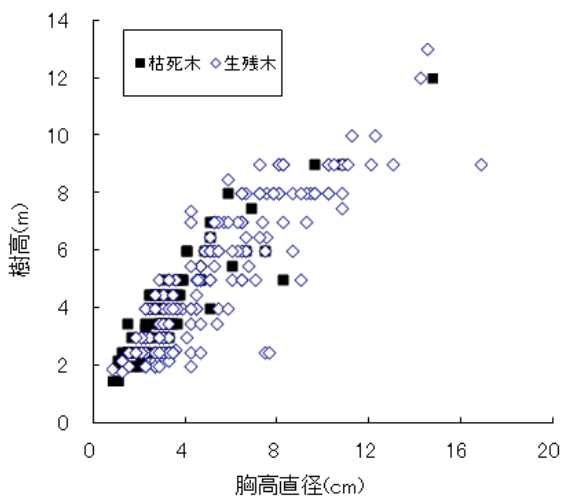


図 4-2 調査区外を含めた生残木と枯死木の胸高直径と樹高の関係（2008年調査）

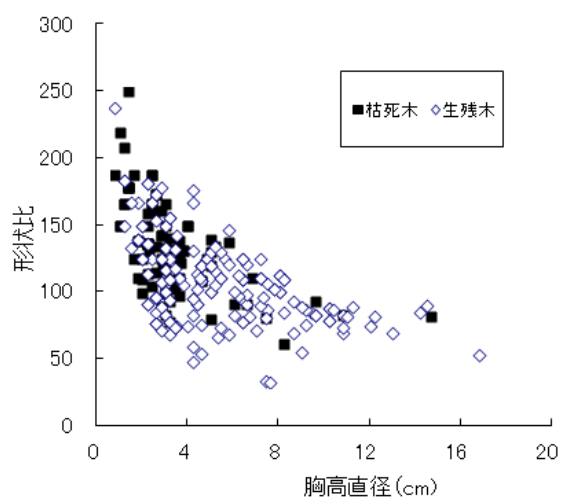


図 4-3 調査区外を含めた生残木と枯死木の胸高直径と形状比の関係（2008年調査）

5 列状間伐の事例

5.1 目的

これまでの章で、点状間伐と帯状間伐に影響を検討した。その結果、点状間伐では下層広葉樹の発生は良好であるが、一回の施業では針広混交林化が難しいことが課題で、上木を大きく除いた帯状間伐では、上木を大きく疎開させたことで雑灌木の繁茂や、残存木の枯死が問題になった。点状間伐や帯状間伐ではなく、その他の間伐方法として列状間伐がある。列状間伐とは、1～2列を伐採して伐採列以上の複数列を残す方法で、1980年代から普及し(近藤 2010)、長野県内でも各地で認められている。この方法であれば、伐採列の上は開放されるため下層の成長に支障は少なく、伐採幅が小さいため雑灌木の繁茂も少ないと考えられる。そこで、列状間伐を行った場合の下層広葉樹の成長について検討した。

5.2 調査地と調査方法

調査は、飯綱町髻山にあるカラマツ人工林で行った(表 5-1)。調査地は、1959年に植栽したカラマツを2007年2月に3残1伐の列状間伐を行った林分である。調査林分は、列状間伐以前には間伐等の施業が行われた形跡はなく、過密状態にあった。列状間伐実施時には、0.09haの範囲で試験区が設けられ、間伐に伴う作業システム等の解析が行われていた(近藤・今井 2007)。列状間伐の実施に際し、伐採列については下層木が全て除去されていたが、残存列は下層木の除去をしていなかった。施業後の調査は、間伐後4年が経過した2011年7月末に列状間伐実施時に設定した試験区のほぼ中央部で、伐採列と残存列を挟むように4×40mの帯状区を設定した。なお、設定した試験区(160㎡)を伐採列と残存列に分けたところ、伐採列は60㎡、残存列100㎡となった。調査は、帯状区内に認められた全ての高木性樹種と高さ2m以上の中低木性樹種の成立位置と樹高を測定した。

5.3 結果及び考察

伐採列内と残存列内に発生した樹木を高木性広葉樹と、樹高2m以上に成長した中低木性広葉樹に分けて発生本数を調べたところ、どちらの発生

本数も、残存列に比べて伐採列で多くなっていた(表 5-2)。さらに、樹高1.3m以上の高木性広葉樹は、残存列で4,800本/haだったのに対し伐採列では9,000本/haを超え、残存列の2倍近くの本数が育っていた。下層に成立していた高木性広葉樹は、ウワミズザクラやオオヤマザクラなどのサクラ類が多く、次いでクリやコナラなどのナラ類が多かった。一方、中低木性樹種はダンコウバイやツノハシバミなどが認められたが、伐採列であっても3,333本/haと高木性広葉樹の発生本数に比べて1/3程度と少なく、帯状伐採の時とは異なり雑灌木に被圧されていなかった。試験区内での成立位置を見ても、高木性種は伐採区内でまんべんなく分布していたが、中低木性種は、伐採列で確認できない場所もあった(図 5-1)。

残存列内と、伐採列内の高木性広葉樹の樹高階別成立本数を比較すると、樹高3m以上の階級を除いて、伐採列の成立本数が残存列の成立本数を上回っていた(図 5-2)。一方で、高木性広葉樹の平均樹高を比較すると、残存列内が1.8mであるのに対し、伐採列では1.2mと残存列内が大きかった。この原因は、樹高1m以下の高木性広葉樹が伐採列で多く存在していたため、林分全体での平均樹高に差が生じた。

この結果から、列状間伐を行うと光環境に恵まれた伐採列では、林床が一時的に整理されたとしても萌芽更新により成長し、施業から4年ほどで残存列と同程度の樹高となっていた。

とはいえ、今回の調査では、間伐後4年という短期間であり、樹高3mを超えた立木も160㎡の試験区で3本とまだまだ少ない。点状間伐の試験において、成長停滞が観察されたのが10年以上経過した段階であったこと(第2章)を考えると、列状間伐を一度行っただけで針広混交林化が可能であるかどうかは、もう少し時間をかけて検討する必要があるといえた。

ただし、列状間伐では帯状伐採の時のように、伐採後数年で生育に支障となるような事案が発生していなかった。針広混交林化をすすめる初期の段階では、雑灌木の発生を抑え、高木性広葉樹が適正に発生することが期待されるため、光環境に恵まれ、下層植生が発達しやすいカラマツ林では、第2章で検討した点状の強度間伐や本章の列状間

伐は、第3章及び第4章で調査した帯状伐採よりも効果的な方法ではないかと思われた。

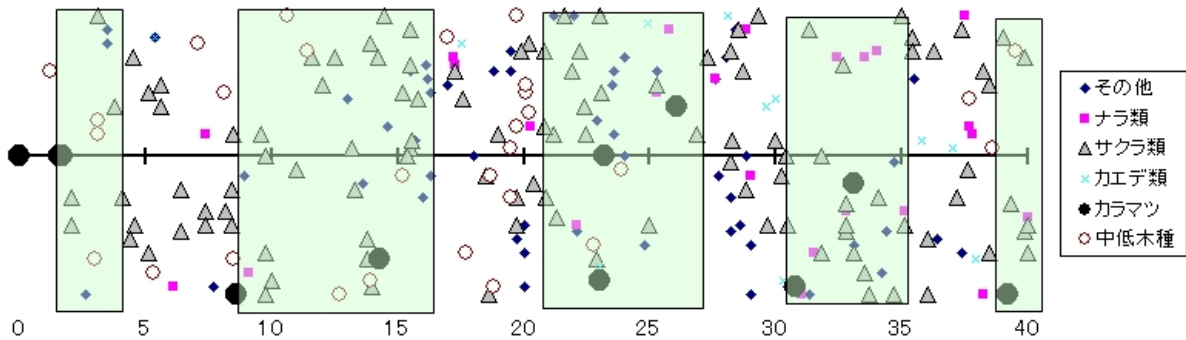
表 5-1 試験地の概要

| 調査地名 | 位置 | 標高(m) | 土壌型 | 斜面方位 | 傾斜(度) | 列状間伐前の林分概況(H18.12調査) | | | |
|------|-------|-------|-----|------|-------|----------------------|------------|---------|-----------|
| | | | | | | 林齢 | 成立本数(本/ha) | 平均樹高(m) | 平均DBH(cm) |
| 飯綱 | 飯綱町髻山 | 650 | BLD | NW | 19 | 47 | 1,079 | 22.9 | 23.8 |

表 5-2 下層の高木性広葉樹発生本数(本/ha)

| 樹種 | 全個体数(本/ha) | | うち樹高1.3m以上(本/ha) | |
|--------|------------|--------|------------------|-------|
| | 残存列 | 伐採列 | 残存列 | 伐採列 |
| カエデ類 | 500 | 1,000 | 100 | 167 |
| サクラ類 | 5,800 | 9,333 | 2,900 | 4,333 |
| ナラ類 | 1,300 | 1,833 | 400 | 333 |
| その他高木性 | 2,800 | 4,333 | 1,400 | 4,333 |
| 高木性計 | 10,400 | 16,500 | 4,800 | 9,167 |
| 中低木性* | 1,000 | 3,667 | 1,000 | 3,333 |

*中低木性種は樹高2m以上を対象とした



*網掛けは残存列、白抜き部分は伐採列を示す

図 5-1 試験区内の広葉樹の樹種別発生位置

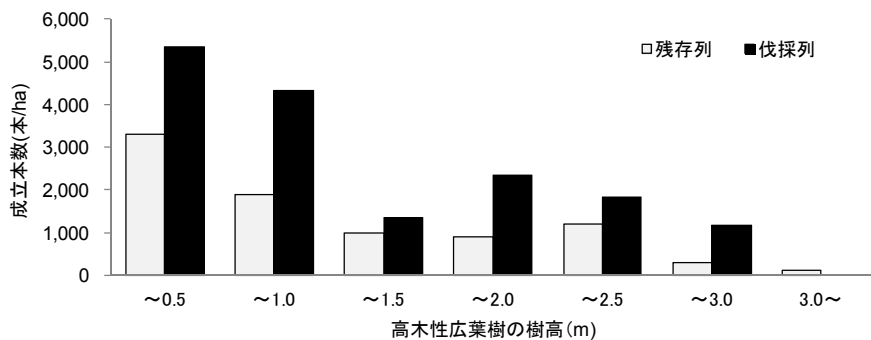


図 5-2 樹高階別の高木性広葉樹成立本数

6 皆伐による更新事例

6.1 目的

針葉樹人工林を強度に間伐して、針広混交林化を目指す事例ではないが、カラマツ人工林を春先に皆伐したのち、当年秋まで地ごしらえ等の施業を行わなかった事例があった。皆伐は、カラマツ林の林床に認められる広葉樹が、更新する初期段階の事例として最も光環境に恵まれると思われる。そこで、皆伐跡地では林内に成立していた下層の広葉樹が、どのように生育するのかという情報を集めること目的として調査を行った。なお、当地では伐採当年秋に地ごしらえが行われ、翌年春には改めてカラマツが再造林されている。

6.2 調査地と調査方法

皆伐跡地の調査は、長野市大岡にある大岡県有林のカラマツ人工林で行った(表6-1)。調査地は、1952年に植栽した59年生のカラマツを2011年5月に皆伐を行った林分である。皆伐前までは、通常の施業が行われ皆伐直前に行った調査では、胸高直径5cm以上の広葉樹が800本/ha成立して

いた。皆伐後の調査は、2011年10月に4×50mの带状区を斜面中部と斜面上部に各1本ずつ設定し、試験区内に成立した樹高10cm以上の全広葉樹について、株単位で発生位置と樹高を記録した。

6.3 結果と考察

伐採当年秋までに、ウリハダカエデやウワミズザクラ、カスミザクラなどの高木性広葉樹が2,288株/ha発生し、最大樹高は215cmのウワミズザクラだった。萌芽再生した高木性広葉樹の平均樹高は53cmに達し、通常植栽される広葉樹苗木の大きさと同程度だった。また、樹高階別分布(図6-1)を見ても、1mを超える高木性広葉樹も225本/ha認められた。一方、当地では草丈1mを超える雑灌木の発生は少なく、伐採後に刈払いを行うことで萌芽再生する高木性広葉樹の成長を阻害している可能性は高まった。

今回の結果を踏まえると、下層に広葉樹が認められるカラマツ林では、皆伐するだけで広葉樹の天然更新が容易であると判断できた。

表 6-1 皆伐試験地の施業前の林分状況大岡の皆伐試験

| 樹種 | 階層区分 | 本数 (本/ha) | 平均樹高 (m) | 平均DBH (cm) | 胸高断面積 合計 (m ² /ha) |
|------|------|--------------|-------------|---------------|-------------------------------------|
| カラマツ | 上層 | 750 | 22.0 | 28.5 | 49.6 |
| 広葉樹 | 中下層 | 800 | 11.3 | 9.8 | 6.7 |

試験地は長野市大岡 大岡県有林5林班イ小班4 に設置した(標高1,170m)

表 6-2 皆伐当年秋の広葉樹生育状況

| | 種名 | 株/ha | 実数 |
|---------|------------------------|-------|-------|
| 高木種 | ウリハダカエデ | 650 | 52 |
| | サクラ類(<i>Cerasus</i>) | 400 | 32 |
| | クリ | 400 | 32 |
| | ウワミズザクラ | 313 | 25 |
| | ミズナラ | 125 | 10 |
| | その他高木種 | 400 | 32 |
| 亜高木種 | リョウブ | 813 | 65 |
| | ヒツバカエデ | 538 | 43 |
| | ハウチワカエデ | 338 | 27 |
| | アオダモ | 238 | 19 |
| | その他亜高木種 | 113 | 9 |
| | 合計 | | 4,325 |
| 高木性種 小計 | | 2,288 | 183 |

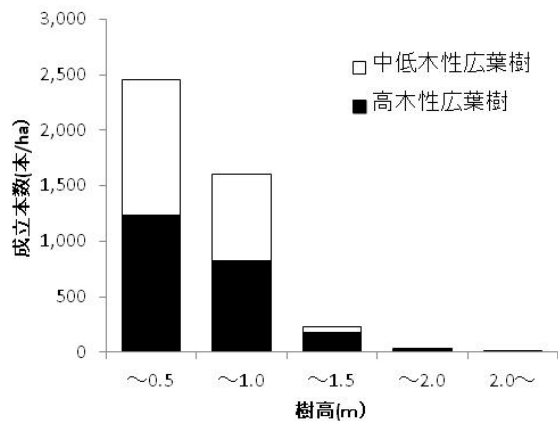


図 6-1 高木性広葉樹の樹高階別分布

7 下層広葉樹の成長

7.1 目的

前章までは、上木の伐採方法を変えて、下層広葉樹の発生に適した施業方法を検討した。一方で、第2章の調査において、10年生の時には良好に成長するとみられた下層のミズナラが、20年生時に成長停滞したことについて、これまでの章では検討しなかった。

針葉樹人工林から針広混交林化を目指す場合には、下層に発生した広葉樹が健全に成長することが必要であるため、本章では下層広葉樹の成長停滞について、カラマツ林の下層木として広葉樹を植栽した事例について調査を行った。

7.2 調査地と調査方法

調査は、上田市真田にあるカラマツ-ブナ人工林で行った(表7-1)。調査地は、1969年に植栽したカラマツを1993年に強度間伐し、ブナを下層木として3本の巢植えにより3,000本/ha植栽した複層林である。1995年に30×30mの固定試験区を設け、試験区内に植栽したブナの樹高、病虫害や誤伐などの被害発生状況について、1995年から2009年まで、継続的に調査を行った。1995年から2004年までの調査は、既報(小山ら2002, 小山・岡田2006)のとおりである。

なお、上木のカラマツについては調査初年の1995年と、調査終了年の2009年に毎木調査を行い、生育状況を把握した。

また、2010年7月にはカラマツ林の樹下の光環境を確認するため、下層木であるブナの樹冠上部に達する地上高2~3mの位置19か所で、全天写真を撮影してパソコンに取り込み、Gap Light Analyzer, Version2.0(Frazer et al., 1999)を用いてブナの樹冠における開空度を測定した。使用したカメラは、ニコンのクールピクス950、レンズは同フィッシュアイコンバーター(FC-E8)である。

7.3 結果と考察

調査開始時点の1995年と2009年の林分状況を表7-2に示す。強度間伐後の上木カラマツに枯損は発生せず、順調に成長していた。下層木のブナ

は、下層に繁茂していた桿高1.0mのチマキザサからの被圧を抑えるために実施した下刈りによる誤伐や、ノネズミによる根系食害などで植栽から5年以内に本数が減少し、約半数となっていた。

ブナ植栽木の大半が、チマキザサの桿高を超えた2000年(7年生)頃からは、年平均で30cm以上の樹高成長を続け、順調に生育していた。しかし、平均樹高が4mに近づいた2007年から樹高成長の鈍化傾向が観察され、2008年から2009年の1年間では平均樹高が5cm程度しか伸びていなかった(図7-1)。

上木のカラマツは、2009年現在でも収量比数は0.52と低かった。しかし、樹冠を見上げてみると、枝下高が低く林冠が閉鎖されつつあり、前回の間伐から20年近くが経過した影響が考えられた。

このため、2010年にカラマツ林の開空度を測定したところ、開空度は14.0~18.3%で、平均16.0%だった。開空度と相対照度は、ほぼ同等の値と考えられており(荒木ら2000)、片倉ら(1995)の推定式による収量比数から推定した相対照度25%に比べ、実際の相対照度はもっと低いことがわかった。

本林分は、24年生時の1993年にカラマツ林の施業体系(長野県1991)における最終造成本数に近い本数密度に調整した林分である。

24年生時点というのは、樹高成長も肥大成長も活発に行われる時期で、枝葉の伸長量も大きいことが予測される。今回の調査では、枝張りの伸長量については正確な測定を行っていないため、比較検討することはできないが、若齢期に大きく疎開させたことで、枝の伸長が加速した可能性がある。相対照度と近似であるとされる開空度が、収量比数と関係しない場合があることは指摘されており(宇都木ら2007, 藤森1989)、林分の葉量が一定になる、林冠が閉鎖した林分では、立木本数に基づく収量比数との関係が明瞭にならないと考えられている(宇都木ら2007)。

このように、強度間伐を行って林床を明るくしたとしても、時間の経過とともに上木の林冠が閉鎖し、場合によっては収量比数から推定した値を下回る光環境となり、下層広葉樹の成長を停滞させていることもあるといえた。

表 7-1 試験地の概要

| 調査地名 | 位置 | 林班 | 標高 (m) | 土壌型 | 斜面方位 | 傾斜 (度) | 年平均気温 (°C) | 年降水量 (mm) | 雨量指数 | 最深積雪深 (cm) |
|------|--------------|---------|--------|-----|------|--------|------------|-----------|------|------------|
| 真田 | 上田市真田 瀧の入 | 120-1-5 | 1,380 | BD | NW | 20 | 6.1 | 1,567 | 52 | 84 |

年平均気温、年降水量、最深積雪深は、1996年版気象庁メッシュ統計値による。

表 7-2 毎木調査結果

| 樹種 | 植栽年 | 試験地設置時 (1995年) | | | 試験終了時 (2009年) | | |
|------|-------|----------------|------------|----------|---------------|------------|----------|
| | | 成立本数 (本/ha) | 平均DBH (cm) | 平均樹高 (m) | 成立本数 (本/ha) | 平均DBH (cm) | 平均樹高 (m) |
| カラマツ | 1969年 | 211 | 29.3 | 16.7 | 211 | 36.0 | 24.0 |
| ブナ | 1993年 | 3,211 | - | 0.5 | 1,789 | 2.7 | 3.5 |

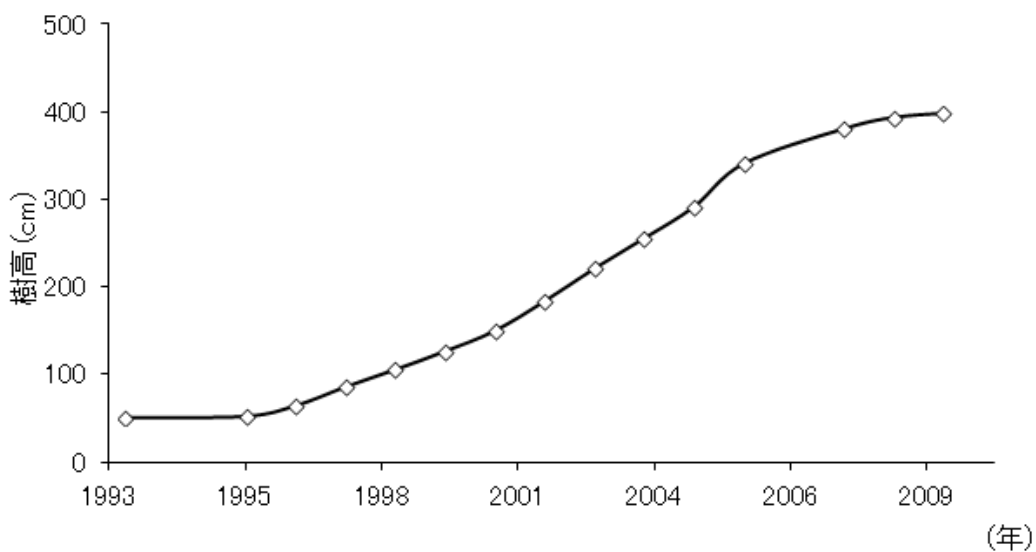


図 7-1 ブナの樹高成長経過

8 成長停滞した下層広葉樹の再成長

8.1 目的

カラマツ人工林の樹下に植栽した広葉樹の成長は、ミズナラの場合（第2章）でもブナの場合（第7章）でも、時間の経過とともに樹高成長が停滞する傾向が認められた。被陰下で、樹高成長が低下することは針葉樹を下木とする複層林では調査事例が多く（たとえば鈴木ほか1996、菅原ら2002など）、この解決方法として上木の伐採が最適である（小野寺・今2006）といわれている。

広葉樹の樹型は、大きく分けて箒状型と羽状型がある（藤森2003）が、これまでの章で成長停滞が観察されたミズナラとブナは、いずれも箒状型であり、羽状型の樹種では検討していない。そこで、本章では羽状型の樹型を持つカツラをカラマツの樹下に植栽した事例について、成長経過を追跡するとともに、成長停滞が確認できた段階で、上木の一部を伐採し、成長回復が可能となるのかどうかを検証した。

8.2 調査地と調査方法

調査は、長野県塩尻市片丘にある長野県林業総合センター構内で行った（表8-1）。調査地は、もともと耕作地であったが耕作の放棄にあわせて1951年にカラマツが植栽された。調査地周辺は、斜面下部に位置し土壌水分が停滞しやすく、含水率が高い場所にある。このため、調査地周辺に植栽されたカラマツには根株心材腐朽病の発生が確認されている。

調査地では1993年春に、カラマツ林を強度間伐しその後2m間隔でカツラを41本植栽した。植栽から7年経過した2000年にカツラの調査を開始し、2009年まで成長経過を観察した。調査は、上木のカラマツを含めて林内に成立している全木を対象として樹高、枝下高、胸高直径（1.3m）を測定した。

なお、2005年12月には、試験区を半分ずつ分け、半分の区画を対象として上木のカラマツを伐採し、被圧が継続した場合と疎開させた場合の成長比較を行った。この伐採に当たっては、試験区が比較的小さいことから原則として試験区外への伐採を行い、試験区内では下木への損傷は発生し

なかった。

8.3 結果と考察

8.3.1 カラマツの成長

上木のカラマツは、複層林の下木成長が期待できる相対照度（片倉ら1995）を確保するため、42年生時の1993年に、成立木の半数を間伐する強度間伐を行い、収量比数を0.58に調整した（表8-2）。間伐から12年経過した2005年現在でも林冠は閉鎖していなかったが、下木であるカツラの樹高成長が停滞していることがわかったため、試験区の半分で上木を伐採した。なお、58年生時の2009年には樹高26.9m、平均胸高直径38.2cmに達している（図8-1）。

8.3.2 カツラの成長

1993年に植栽したカツラは、植栽後7年で平均樹高6.7mと良好な成長を見せ、枯損木は2本（5%）と少なかった。この時点で、すでに樹高階の優劣がついており最大樹高は10mを超えていた。その後も、10年生時までは平均樹高が8.7mになるなど順調な成長を見せていたが、12年生時の2005年には、平均樹高が9.3mに留まり樹高成長が鈍化していた（図8-1）。このとき、カツラの最大個体は13.1mと、上木のカラマツの平均枝下高12.1mを上回っており、カツラが上木であるカラマツの枝下高に近づいたことで、樹高成長が停滞したと考えられた。なお、これまでに知られているカツラの人工造林事例で、良好な成長を示したのものとしては、10～15年で10mに成長（深沢1999、松浦2006）した例が挙げられる。これは、今回の成長とほぼ同等といえることから、当地での成長はカラマツの樹下植栽であることを考えると良好といえた。

8.3.3 上木伐採の効果

2005年12月に、試験区の一部を伐採したことで、上木の有無による下木への影響に違いが発生した。そこで、上木伐採によって被圧から逃れた「疎開」個体と、被圧を受けたままの「被圧」個体、さらに部分的に被圧を受けている「一部被圧」個体の3つに区分しその後の成長経過を観察した。

その結果、被圧を逃れた疎開個体は伐採後に樹高成長と胸高直径成長が回復し、伐採から4年間で2.2mの樹高成長が認められたが、被圧個体は4年間の樹高成長が0.2mに留まり、その差は歴然としていた。加えて、胸高直径成長も疎開個体は伐採から4年で3.1cm成長した一方、被圧個体は4年間で0.9cmしか成長せず、両者の差が大きく拡大していた。

以上の結果から、広葉樹は筈状型でも羽状型でも下層に存在している限り光環境の悪化などで樹

高成長が停滞することが確認でき、樹高成長が停滞したとしても針葉樹の場合（小野寺・今 2006 など）と同様に、上木を伐採することで成長が回復することが確認できた。

また、下木として植栽したカツラの成長が良好だったことから、含水率が高いことで根株心材腐朽病害が発生しているような斜面下部のカラマツ林では、カツラへの樹種転換も効果的だと思われる。

表 8-1 試験地の概要

| 調査地 | 対象面積 (ha) | 標高 (m) | 地形 | 傾斜 | 土壌 | 年平均降水量 (mm) | 年平均気温 (°C) | 最深積雪深 (cm) | 温量指数 |
|-------|-----------|--------|------|----|-----|-------------|------------|------------|------|
| 塩尻市片丘 | 0.028 | 800 | 斜面下部 | 平坦 | 埴壤土 | 1179.6 | 10.1 | 40 | 75 |

表 8-2 カラマツの施業履歴

| | 1993年 | 2000年 | 2005年 | 2009年 |
|----------|------------|-------|-----------|-------|
| 林齢 | 42 | 49 | 54 | 58 |
| 本数(本/ha) | 650→318 | 318 | 318→212 | 212 |
| 収量比数 | 0.81→0.58* | 0.61 | 0.68→0.55 | 0.57 |
| 樹高 | 22.8 | 24.1 | 26.1 | 26.9 |
| 胸高直径 | 24.2 | 30.4 | 34.4→35.3 | 38.2 |
| 施業 | 強度間伐 | | 一部伐採 | |

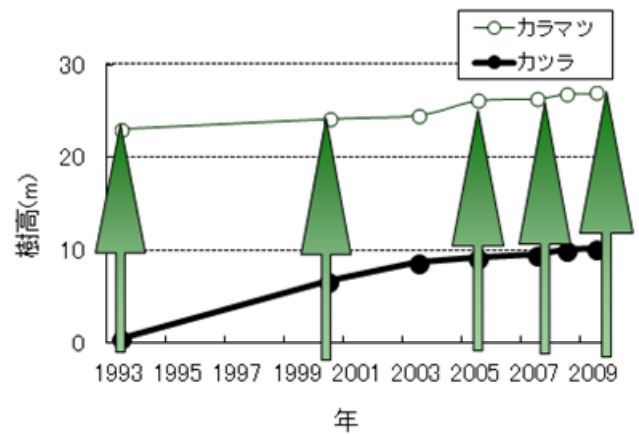


図 8-1 カラマツとカツラの樹高成長

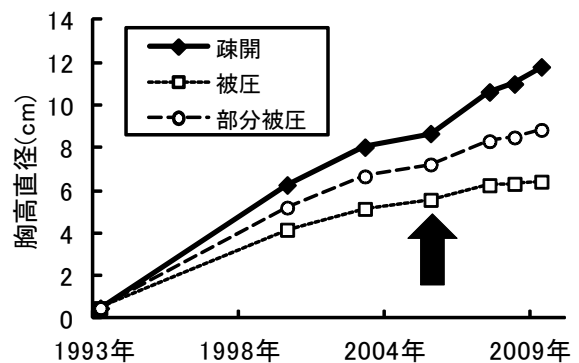
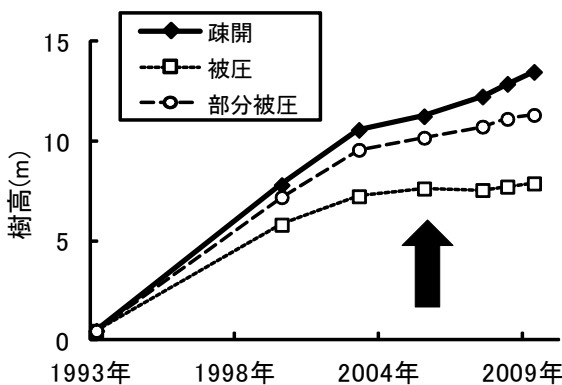


図 8-2 : カラマツ下木として植栽されたカツラの被圧程度別成長 (左: 樹高成長・右: 胸高直径成長 矢印は上木伐採年を示す)

9 林冠閉鎖による影響

9.1 目的

針広混交林を造成する目的で、上木の強度伐採を行っても、時間の経過とともに下木への光環境が悪化し、1回の施業だけでは下層木の樹高成長が停滞することが明らかとなった。

カラマツ及びアカマツは、収量比数が高くても林分内が明るく（片倉ら 1995）、一般的に過密林分とされる収量比数 0.8 を超えても、15%程度の相対照度が確保されている。しかし、これまでの調査で収量比数が低くても実際の開空度が低い事例（第7章）や、相対照度が 20%程度確保されていても、樹高成長が停滞してしまうこと（第2章）が確認されている。樹高成長が停滞しても、上木を伐採すれば回復する事例もあり（第8章）、針広混交林化を進めるためには、初回の強度間伐だけでなくさらなる施業が必要である。とはいえ、間伐後の時間経過により林内の光環境が悪化すると、下層植生の現存量が低下する（宇都木ら 2007）ため、下木の枯死につながる危険性がある。

今回、松本市のドイツトウヒ林分で、下層木として植栽したトチノキの一部が枯死していることが確認された。枯死本数は僅かであったが、当該林分では林内が暗く、光環境の悪化により枯死した可能性が高いと推察し、どのような光環境の場合に枯死に至るのかを検討することを目的として、下木の樹高及び生死並びに当該樹木に対する相対照度の関係を調査した。

9.2 調査地と調査方法

調査は、長野県松本市入山辺のドイツトウヒ林で行った（表 9-1）。当地は、2002年にドイツトウヒを本数間伐率 67%、断面積間伐率 50%の割合で強度に抜き切りを行い、林床まで光を入れて、広葉樹の発生を促した林分である。しかし、間伐を行っても下層植生の発達が認められなかったため、2004年にトチノキを植栽した。なお、植栽時には周辺山林でニホンジカによる被害が散見されていたことから、植栽エリア全体を獣害防止柵で囲み、獣害は回避されている。

トチノキは、獣害防止柵の効果もあり順調に生育していたが、植栽後7年が経過した2011年に現

地を踏査したところ、植栽したトチノキの一部が枯損していた。枯損木を観察したところ、病虫害等以外の外的要因による痕跡が認められなかったことから、光環境の悪化による枯損と考えられた。

そこで、2011年9月に林分内にみられるトチノキ 80本と、枯死したトチノキ 3本のあわせて 83本を対象として、樹高を測定する（枯損木は枯損時の最大高）とともに、トチノキの発生箇所における光環境を推定するため、全天写真を撮影した。全天写真は、植栽されたトチノキの枝葉を避けるように、カメラに写らないように対象木を曲げるなどして、トチノキよりも高い位置で撮影した。撮影した全天写真は、パソコンに取り込み、Gap Light Analyzer, Version 2.0 (Frazer et al., 1999) を用いて開空度を測定した。使用したカメラはニコンのクールピクス 950、レンズは同フィッシュアイコンバーター (FC-E8) である。なお、調査対象木の選定に当たっては、何らかの外的要因で成長阻害を受けた可能性を排除するため、主幹が通直で枝分かれをしていない個体のみを対象とした。また、主幹が現地に残された枯死木についても、枯死木の上で全天写真を撮影し、生残木との比較検討を試みた。

9.3 結果と考察

測定した 80本の生残木は、平均樹高は 2.8mで、樹高階分布を見ても 2～3mを中心とする一山型の分布を示し、最大個体は 5.1mで、最小個体は 74cm だった（図 9-1）。

光環境の悪化が成長停滞につながり、やがて枯死に至ると考えて、樹高と開空度との関係を調べたが（図 9-2）、個体上部の開空度は、最も明るい場合でも 9.6%と低く、平均で 5.8%だった。また、樹高と開空度との間に関係は認められず、明るいほど樹高が高いとは言えなかった。加えて、林分内で確認できた 3本の枯死木上部の開空度は 5.5～7.1%と、生残木を含めた全体の開空度の平均値より高めの数字となっており、枯死木の光環境が、特に暗いということではなかった。

いずれにしても、当地では本数間伐率で 67%、断面積間伐率でも 50%という強度な間伐を行っていたにもかかわらず、間伐から 10年以内に開空

度が10%以下に低下していた。前章までのカラマツ林では、強度間伐を行った林分において、間伐後10年目までは下層木の成長は停滞しなかったが、ドイツウヒ林では、間伐後9年で下層木の枯損が発生するほどの照度低下となっており、ドイツウヒ林では、間伐後の林冠再閉鎖は、カラマツ以上に早い可能性が示唆された。

加えて、下層に植栽したものの枯損したトチノキにおける上部の開空度が5~7%程度だったこ

とから、開空度が5%近くまで低下すると、植栽木が光環境の悪化で枯損する可能性が高まる可能性が高くなると考えられた。

当該林分は、現在すでに平均開空度が5.8%まで低下しており、このままでは下層木が全滅する可能性も考えられた。

表 9-1 調査地の概要

| 調査地名 | 場所 | 林班名 | 樹種 | 間伐前(2002年7月) | | | | | | 間伐後(2002年10月) | | |
|------|--------|--------|-------|--------------|------------|-------|----------|-----------------------------|------------|---------------|----------|-----------------------------|
| | | | | 林齢(年) | 成立本数(本/ha) | 樹高(m) | 胸高直径(cm) | 胸高断面積合計(m ² /ha) | 下層植生植被率(%) | 成立本数(本/ha) | 胸高直径(cm) | 胸高断面積合計(m ² /ha) |
| 入山辺 | 松本市入山辺 | 36-ろ-8 | ドイツウヒ | 25 | 870 | 14.8 | 22.7 | 122 | 1%以下 | 300 | 29.6 | 61 |

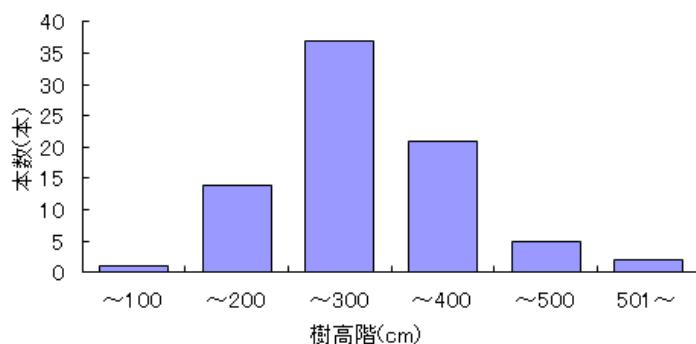


図 9-1 ドイツウヒ林の樹下に植栽した7年生トチノキの樹高階分布

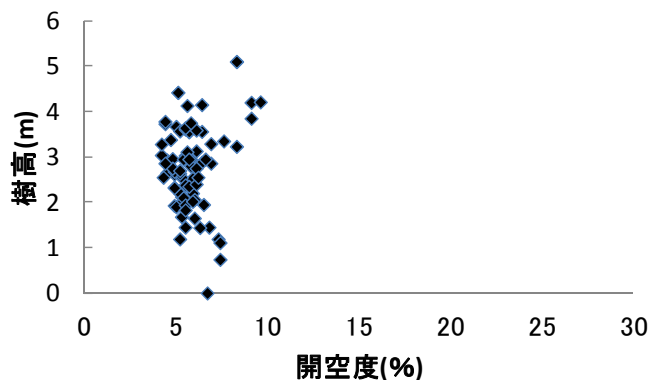


図 9-2 間伐後9年が経過したドイツウヒ林の開空度と、林床に植栽したトチノキの樹高との関係

10 まとめ

今回の調査では、上木の施業方法として点状間伐、列状間伐及び帯状間伐の3種類と皆伐を対象とし、下木の施業方法として萌芽更新に期待する「林床整理」、下木を残す「下木残存」及び新たに植栽を行う「下木植栽」の3種類で検討した（表10-1）。

今回の調査で、全ての事例を検証できたわけではなく、調査期間が短いものもある。また、複数事例での検討は、点状間伐による下木植栽の事例だけで、その他は一事例の結果にとどまっている。しかし、カラマツ林における針広混交林化を進める上での課題は、今回の結果から見えてきた。

これまでの調査でも、カラマツ林では下層に広葉樹が多く成立しており（小山・山内 2011）、今回の調査でも、仮に林床を整理したとしても下層の広葉樹が萌芽更新により発生したことが確認できた。針広混交林への誘導という点で考えると、下層に広葉樹が存在しない場合には、たとえ間伐をしても広葉樹が侵入しないこともあり（小山・山内 2011）、広葉樹を侵入させるための施業について検討されている（森林総研 2010、島田・野々田 2009 など）が、広葉樹の侵入定着が難しい（森林総研 2010 など）ことが課題となっている。このことを考えると、カラマツ林では広葉樹を定着させることには問題が少ないことから、針広混交林化に向けたハードルはほかの樹種に比べて低い。

今回の調査では、上木伐採方法の違いと、下木の施業方法の違いで調べたが、下木の樹高成長に注目して整理すると（表 10-2）、上木の伐採方法の違いによって、下層広葉樹の成長に差が認められた。下層広葉樹の成長がうまくいかなかったのは、帯状伐採を行った第3章、第4章及びドイツトウヒ林で調査を行った第9章の事例である。第3章及び第4章の事例では、帯状伐採を行うことで、光環境の改善につながることはわかったが、明るくなりすぎること、ツル植物や雑灌木の繁茂を招き、遷移後期種であることが多いため初期成長が遅い高木性広葉樹にとっては、こうした雑灌木に被圧されることで成長が阻害されていた。カラマツ林は、もともと明るいことから列状間伐や点状間伐であっても、雑灌木等の発生を抑えら

れることで、競争関係が発生せず、高木性広葉樹の成長には一定の効果があることが示された。

なお、今回の調査で下層木を残す施業を行ったのは、帯状伐採の一事例だけであったが、この施業において、枯損木が直径4 cm 以下又は形状比100 以上の形質不良木であったことは、下層木を残す施業を行う際の指針として重要であろう。針広混交林化を目指して、カラマツ林の強度間伐を行う場合、上木伐採時には安全面などから林床整理を行うこともあるが、カラマツ林内には、比較的大きな高木性広葉樹が残っている場合もあり、伐採木と残存木を検討する基準として、今回の結果を活かすことができると思われる。

また、今回良好な成長が確認されたのは、皆伐の場合と列状間伐の2例に限られるが、注意すべき点は両者の調査期間が5年以内であるということである。今回、最も長い調査期間だったのは、第2章で行った点状間伐における20年間の調査結果であるが、この調査でも10年生時（古川 2002）では、下層のミズナラが良好に生育していたことが報告されており、人工林の成長結果を見ても、間伐から10年程度は良好な成長が確保されていた。一方、第9章で取り上げたドイツトウヒ林では、本数間伐率67%という残存木の方が少ないという非常に強度な間伐を行ったにもかかわらず、伐採から9年で、開空度が5%程度にまで低下し、光環境の悪化で下層木が枯損するという事例があった。

カラマツ林では、15年程度で下層木の樹高成長が停滞する事例が多くなっていたが、上木を再度伐採することで樹高成長が回復しており、10年から20年程度で再度施業を行うことで、下層に成立している広葉樹の成長が促されると思われた。

なお、これまでの調査（小山・山内 2011）で、カラマツ林であってもササが優占する場所や谷筋では、林床に高木性広葉樹が成立していないことが指摘されており、広葉樹を植栽する必要がある。今回の調査では、広葉樹を植栽した場合でも天然更新と同様に一定期間の良好な成長が見られたことから、植栽による針広混交林化も有効であることは確認されたが、産地系統の異なる広葉樹を植栽した場合には、成長阻害が発生することがあり

(小山 2012), 広葉樹を植栽する場合にはこうした点に注意する必要がある。

これまでの結果を踏まえて考えると, カラマツ林を対象として針広混交林化を進めるためには, 光環境が大きく変わらず, 明るくなりすぎない点状又は列状伐採を行い, 上木伐採時には, 直径4 cm 以上で形状比が低く将来の成長が期待できる一部の広葉樹のみを残し, 残りは萌芽更新に期待して林床整理を行えば良いと判断できる。

ただし, カラマツ林を針広混交林に移行させるためには, 一度の強度間伐だけでは難しく, 初回の施業から10年以上が経過した段階で, 再度上木の施業を行い, 針広混交林へ移行させることが重要ではないかと判断できた。

今回の施業では, 上木の2回目施業については, 第8章で実施した小面積のカツラの事例しかなく, 2回目伐採の方法については不明な点が多い。複層林の上木伐採については, 下木への損傷が大きいことが指摘されており(近藤 2010), 下木損傷を防ぐためには, 上木を3列以上残す列状(帯状)複層林と残存木を300本/ha程度まで少なくする点状複層林が良いとされている。とはいえ, 針広混交林を目指す林分では, 下層の広葉樹は天然更新由来であることが多く, 人工林と違って植栽位置が不均一であり, 損傷を少なくすることが難しいと思われる。加えて, 広葉樹は針葉樹のように円錐型の樹型ではなく, 上部に広がった箒状又は羽状である。複層林による下木の損傷は, 伐倒作業による損傷が多く, 伐倒時に倒伏した上木の樹冠内に入ると損傷しやすいこと(近藤 2010)から, 上部が広がる広葉樹では針葉樹以上に上木の伐採時に倒伏した樹冠に入りやすくなり, 上木伐採時の損傷は更に大きくなることが予測される。

今後は, 上木伐採時に下木広葉樹の損傷を少なくする方法や, 損傷を受けたとしても健全な回復

が可能になる方法を検討する必要がある。損傷を防ぐためには, 林床整理を行って萌芽更新による再生を行うことも考えられるが, 上木の施業を行うたびに林床整理を繰り返していれば, いつまでたっても同一階層で針葉樹と広葉樹が並ぶ針広混交林は成立することは不可能であり, 林床整理を繰り返すことはできない。

また, 今回の報告では触れなかったが, 近年増加傾向にあるニホンジカの分布拡大は, 天然更新に対する重大な阻害要因となっており, 光環境が改善されてもニホンジカの食害により更新が困難になる事例が県内でも報告されている(小山ほか 2010)。ニホンジカの食害が激しい地域では, たとえ上木を間伐したとしても, 食害によって下層の広葉樹が発達しない事例もあり(小山ほか 2011), ニホンジカの被害が激しい地域では更新そのものが困難となることも十分に予測される。

今回の調査では, 下層の広葉樹が発生又は植栽してから20年間の調査にとどまり, 下層木が成長して, 上層木と同じ林冠に育つ段階までの検討は行っていない。針広混交林の育成を考えるためには, 下層に成立した広葉樹が針葉樹と同一の樹冠に進展していくことが望まれる。

今後は, 下層の広葉樹が上層に進展していく過程については検討することが必要で, これまでに調査を行った林分を含めて, 下層に成立した高木性広葉樹の成長を追跡しながら, 針広混交林に育つまでの研究を行い, 針広混交林の施業体系の確立に努めていく必要がある。

なお, 本研究における成果の一部は, 日本森林学会中部支部大会(小山 2007, 小山・古川 2009, 小山ら 2011)や, 公開シンポジウム(小山 2012), 広葉樹林化ハンドブック(森林総合研究所 2012), 長野県林業総合センター技術情報(小山 2008)で報告した。

表 10-1 今回調査を行った事例と調査年次

| 施業方法 | 上 木 | | | |
|--------|-----------------|------------|------------|------------|
| | 点状間伐 | 列状間伐 | 帯状伐採 | 皆伐 |
| 下 林床整理 | 2章 ~20年後 | 5章 ~4年後 | 3章 ~4年後 | 6章 ~当年秋 |
| | 下木残存 | | | 4章 ~8年後 |
| 木 下木植栽 | 7~9章 ~最大16年後 | | | |

表 10-2 調査結果のまとめ

| 章 | 調査地 | 上木 | 下層優占種 | 由来 | 上木施業方法 | 下木の施業方法 | 調査年次 | 樹高成長 | 成長悪化の原因 |
|---|-----|--------|---------|------|------------|----------|-----------|---------------------|---------------------------------|
| 2 | 川上村 | | ミズナラ | | 点状の強度間伐 | 林内整理 | 10年後と20年後 | 10年〇～△ 20年(樹高停滞) | 上木の成長に伴う光環境の悪化 (相対照度 推定23%) |
| 3 | 松本市 | | | | 帯状伐採(22m幅) | 林内整理+下刈り | 下刈り終了4年後 | ×(不良) | 下層の雑灌木の生長 |
| 4 | 小海町 | | ミズナラ等 | 天然更新 | 帯状伐採(10m幅) | 残存 | 8年後まで | ×(枯死) | 環境の急激な変化 |
| 5 | 飯綱町 | カラマツ | ウミズザクラ等 | | 列状間伐(1伐3残) | 林内整理 | 4年後 | 〇 | |
| 6 | 長野市 | | | | 皆伐 | | 1年以内 | 〇 | |
| 7 | 上田市 | | ブナ | | | | 16年後まで | △(徐々に停滞) | 上木の成長に伴う光環境の悪化 (樹冠空隙率16%) |
| 8 | 塩尻市 | | カツラ | 植栽 | 点状の強度間伐 | 伐採後植栽 | 16年後まで | △(徐々に停滞) | 上木の成長に伴う光環境の悪化 (上木を伐採したら再成長) |
| 9 | 松本市 | ドイツトウヒ | トチ | | | | 7年後 | ×(一部枯死) | 上木の成長に伴う光環境の悪化 (樹冠空隙率10%以下) |

謝辞

最後になりましたが、本研究を進めるに当たり、長野県林務部、佐久地方事務所、上小地方事務所、松本地方事務所、長野地方事務所の関係者の皆様には、調査地の提供とともに、現地調査での多大なご協力を賜りました。

また、川上村の杉山要氏、松本市の永田千恵子氏、元長野県林務部の高野弑夫氏、元林業総合センターの片倉正行氏、橋爪丈夫氏、森林総合研究所の正木隆氏を始めとする皆様には、現地調査や試験地造成に係る技術的な指導や研究成果の検討などの場において、多大な協力をいただきましたので、この場を借りて感謝申し上げます。

引用文献

荒木真岳・宇都木玄・石塚森吉(2000)ヒノキ人工林内における相対照度と全天空写真による開空度の検討, 日林関東支論 51 : 83-84.
 宇都木玄・飯田滋生・阿部真・田内裕之(2007)人工林施業に伴うトドマツ林内下層植生現存量の変化, 日林誌 89 : 174-182.
 大住克博(2011)森林利用における萌芽の役割(大住克博・湯本貴和編, 林と里の環境史 シリーズ日本列島の三万五千年-第3巻), 文一総合出版.
 小野寺賢介・今博計(2006)スギ・ヒバ二段林における上木伐採方法の違いが下木の損傷率と成長に及ぼす影響, 日林誌 86, 546-549.
 河原輝彦(2001)多様な森林の育成と管理, 東京農大出版会, 2001
 片倉正行・遊橋洪基・大木正夫・古川仁(1995)

カラマツおよびアカマツを上木とする二段林の管理技術に関する研究.長野県林総セ研報 9 : 16-29
 紙谷智彦(1986)豪雪地帯におけるブナ二次林の再生過程に関する研究(Ⅱ) 主要構成樹種の伐り株の樹齢と萌芽能力の関係, 日林誌 68 : 127-134.
 韓海栄・橋詰隼人(1991)コナラ萌芽更新に関する研究(Ⅰ) 壮齢木の伐根における萌芽の発生について, 広葉樹研究 6 : 99-110.
 小山泰弘・岡田充弘・古川仁(2002)ブナを主体とした広葉樹人工林の初期管理技術の開発—冷温帯地域における広葉樹林施業技術の確立—. 長野県林総セ研報 16:1-22.
 小山泰弘・岡田充弘(2006)ブナを主体とする広葉樹林の造成管理技術の開発. 長野県林総セ研報 20:1-20.
 小山泰弘(2007)カラマツ林の樹下に植栽したカツラの成長, 中部森林研究 55 : 27-28.
 小山泰弘(2008)カラマツ林における下層広葉樹の成長, 長野県林総セ技術情報 132, 2-3.
 小山泰弘・古川仁(2009)カラマツ林の下木として萌芽更新したミズナラの成長, 中部森林研究 57 : 37-38.
 小山泰弘・岡田充弘・山内仁人(2010)ニホンジカの食害による森林被害の実態と防除技術の開発, 長林総セ研報 24 : 1-24.
 小山泰弘・岡田充弘・山内仁人(2011)下層植生が欠落した針広混交林の施業—ニホンジカが増加している地域での防護柵の効果-, 中部森林研究 59, 31-34.
 小山泰弘・山内仁人(2011)針広混交林造成に

- に向けた更新技術の開発, 長野県林総セ研報 25号, 29-44.
- 小山泰弘 (2012) 針広混交林化に向けた長野県のとりくみ, 公開シンポジウム「広葉樹林化の可能性 -天然更新のリスクとその回避-」, 公開シンポジウム講演要旨集, 8.
- 小山泰弘 (2012) ブナの保全単位の設定に関する保全遺伝学的研究, 名古屋大学博士学位論文, 156pp.
- 近藤道治・小山泰弘 (2006) 森林施業が森林環境に及ぼす影響 -森林資源調査データ解析事業の調査結果から-, 長野県林総セ研報 20: 21-30.
- 近藤道治・今井信 (2007) 長期育成循環施業に対応した高性能林業機械化等作業システムの開発 (II) -機械化作業が森林に与える影響-, 長野県林総セ研報 22: 11-32.
- 近藤道治 (2010) 複層林の上木間伐にともなう下木損傷軽減と複層林造成に関する研究, 長野県林総セ研報 24:
- 島田博匡・野々田稔郎 (2009) ヒノキ人工林内の常緑低木が高木層処理後 1 年目の広葉樹侵入に及ぼす影響, 日緑工誌 35, 154-157.
- 森林総合研究所 (2010) 広葉樹林化ハンドブック 2010-人工林を広葉樹林へと誘導するために-, 森林総合研究所, 36pp.
- 森林総合研究所 (2012) 広葉樹林化ハンドブック 2012-人工林を広葉樹林へと誘導するために-, 森林総合研究所, 48pp.
- 杉田久志・高橋誠・島谷健一郎 (2009) 八甲田ブナ施業指標林のブナ天然更新施業における前更更新の重要性, 日林誌 91:382-390.
- 菅原泉・寺田学・河原輝彦 (2002) カラマツ・ヒノキ二段林におけるヒノキの成長モデル構築と検討, 東京農業大学農学集報 47, 210-218.
- 鈴木誠・龍原哲・南雲秀次郎 (1996) スギ二段林下木の成長-低密度の上木による庇陰が下木の成長に与える影響-, 日林誌 78, 50-56.
- 長野県 (1991) カラマツ人工林・長伐期施業の手引き, 長野県林務部 115pp.
- 長野県 (2001) 有用広葉樹林造成の手引き (平成 12 年増補), 長野県林務部, 32pp.
- 長野県 (2005) 長野県森林づくり指針, 長野県, 89pp.
- 沼田真編 (1978) 植物生態の観察と研究, 東海大学出版社, 275pp.
- 長谷川幹夫 (1998) 多雪地のスギ造林地に侵入したウダイカンバの消長に及ぼす下刈り, 除伐の影響, 日林誌 80, 223-228.
- 深沢光 (1999) 岩手県における有用広葉樹人工植栽試験. 雪と造林 11: 4-7.
- 藤森隆郎 (1989) 複層林の生態と取り扱い, わかりやすい林業解説シリーズ 93, 林業科学技術振興所, 96pp.
- 藤森隆郎 (2003) 新たな森林管理 持続可能な社会に向けて, 全国林業改良普及協会, 428pp.
- 古川仁・片倉正行 (2001) 混交林等多面的機能に適した森林造成管理技術の開発, 長野県林総セ研報 15号, 12-25.
- 古川仁 (2002) カラマツ・ミズナラ複層林造成の一方法 -カラマツの強度間伐に伴うミズナラの萌芽発生, 中部森林研究 49:23-24.
- Frazer, G. W., Canham, C. D., and Lertzman, K. P. (1999) Gap Light Analyzer, Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.
- 松浦崇遠 (2006) 森林吸収源計測・活用体制整備事業-カツラ人工林のバイオマス調査-. 富山県林業技術センター業務成績報告書 p14.
- 松浦光明・小林達明・有田ゆり子 (2002) 大径化したコナラ二次林の萌芽更新規定要因, 日本緑化工学会誌 28: 115-120.
- 林野庁 (2001) 冷温帯地域における広葉樹林施業技術の確立. 林野庁新技術地域実用化研究成果. 林野庁. 210pp.