

針葉樹人工林の低コスト更新技術の開発

大矢信次郎・近藤道治*・清水香代・小山泰弘・小林直樹*・西岡泰久

造林作業の効率化・省力化を図り、従来に比べて低コストで更新を行う技術を開発することを目的として、県内各地に試験地を設定し調査を行った。大岡県有林においてカラマツの大苗、コンテナ苗、普通苗を比較植栽した結果、活着率に差はなく、普通苗の5成長期後の樹高に大苗は3年、コンテナ苗は4年で達し、成長の優位性が認められた。また、坪刈りによる下刈り省力化を検討した結果、3苗種とも成長の抑制が認められ、低コスト化にはつながらないと判断された。浅間山国有林及び佐久穂町有林においてカラマツのコンテナ苗と裸苗を10月上旬～11月下旬に植栽し、活着率を春植えと比較した結果、カラマツの秋植えは、裸苗では10月下旬以降が望ましい一方、コンテナ苗では10月上旬でも可能であることが示唆された。根羽村の村有林において架線系作業システムによる一貫作業を実施し伐出作業と植栽作業の生産性を調査した結果、帯状伐採による小面積皆伐は間伐による伐出作業の3倍に相当する生産性を示した。高森町有林の林床植生が欠如していた41年生過密ヒノキ人工林において、普通間伐、強度間伐、列状間伐による搬出間伐を行った後に多数発生したヒノキ実生の動態を調査した結果、実生の生存率及び樹高は、相対光量子束密度と相関関係が認められ、過密ヒノキ林における間伐がヒノキ更新木の育成に寄与する可能性が示唆された。

キーワード：コンテナ苗，大苗，一貫作業，生産性，天然更新

1 はじめに

近年、県内の多くの針葉樹人工林では、搬出間伐が積極的に行われている。一方で、県内の人工林資源は成熟期を迎えつつあり、中でもカラマツは12歳級以上の林分面積の割合が73%に達している（長野県林務部 2017）。今後は、県産材を安定的に市場に供給するために、搬出間伐だけではなく小面積皆伐や帯状伐採、択伐等を計画的に行うことによって、素材生産量の増加を図りつつ次世代の木材生産林を着実に造成していくことが求められている。しかし、伐採作業後の地拵え・植栽・下刈りという一連の造林作業は多額の費用がかかるとされている（寺岡 2009）。

こうした状況は他県でも既に問題提起され、造林コストを削減しようという取り組みが広がっている。特に九州・四国を中心とした先行研究（中村 2012）では、伐採・造林一貫作業システム（以下、一貫作業）が検討され、伐採作業で用いた林業機械を地拵えや苗木運搬などの造林作業にも利用し、コストの削減を図る試みが全国に波及してきており（森林総研 2013, 森林総研 2015, 森林総研 2016, 森林総研 2017 など）、各工程の生産性も明らかになりつつある（大矢ら 2016a, 大矢ら 2018, 猪俣ら 2017 など）。これに併せて、一貫作業によ

り通年で行われる伐採作業に対応するため、植栽時期が従来の裸苗に比べて広いとされるマルチキャビティコンテナ苗（以下、コンテナ苗）を使用する動きも徐々に広がりを見せ、植栽後の活着のみならず良好な初期成長まで期待されている（林野庁 2010）。しかし、コンテナ苗の初期成長に関する報告は、普通苗に対して良好とする結果（金澤 2012, 横山・佐々木 2013）がある一方で、同等であるとする事例（山川ら 2013）や劣るとする事例（平田ら 2014）があり、その評価は未だ定まっていない。また、コンテナ苗以外でも、大苗はサイズが普通苗に比べて1～2年相当分大きいいため、下刈り期間の短縮に期待が寄せられるが、初期成長特性に関する調査事例は少なく、活着を不安視する声もある。

そこで本研究では、全国に広がりを見せる一貫作業とコンテナ苗利用に関連した諸課題に対処するとともに、造林作業の効率化・省力化を図り、従来に比べて低コストで更新を行う技術を開発することを目的とした。なお、本研究は県単課題として行い、成果の一部は中部森林学会大会及び森林利用学会学術研究発表会において発表した（大矢ら 2013, 大矢 2014, 大矢ら 2014, 大矢 2015, 大矢ら 2016b, 大矢・清水 2017）。

*元長野県林業総合センター

2 造林作業の低コスト化技術の開発

2.1 カラマツのコンテナ苗及び大苗の特性評価

2.1.1 研究の目的

カラマツは、高冷・寒冷地に適した樹種として、長野県の造林樹種の中で特に重要な位置を占めている。カラマツ材は、かつて土木用材としての利用が中心であったが、乾燥技術の向上によって建築用材にも用途が拡大したことや、合板用材としての需要が高まっていることから、カラマツ人工林の皆伐地においては、再びカラマツを造林する機会が多い。また、国有林を中心に植栽する苗木としてコンテナ苗が選択される機会が増えてきたが、その成長特性は明らかになっていない。さらに、下刈り期間を短縮することを目的として、大苗を活用することも有効である可能性があるが、その活着や成長の特性も不明である。

そこで本研究では、カラマツのコンテナ苗、大苗と従来の普通苗（裸苗）を用いて、活着と生存率、樹高初期成長、植栽作業工程を植栽から5成長期を経過する時点まで比較した。また、下刈り方法が各植栽木の成長に及ぼす影響についても検証した。

2.1.2 調査方法

長野市大岡の標高約 1,150mに位置する大岡県有林のカラマツ皆伐跡地において、2012年5月に試験地 1.12ha を設定した。試験地は、地位の違いを考慮し、斜面の上部・中部・下部に3分割した（図 2-1-1）。この3区域をさらにそれぞれ3分割し、2012年5月下旬に、普通苗、コンテナ苗、大苗を同じ種類が上下の区域に隣接しないよう植栽した。植栽した苗木は、普通苗が2年生の中規格（苗高 35cm 以上）で平均苗高 40cm (n=751)、大苗は2年生の大規格（苗高 70cm 以上）で平均苗高 86cm (n=602)、コンテナ苗は3年生の中規格（苗高 35cm 以上）で平均苗高 43cm (n=669, JFA150 コンテナ使用)であった。なお、大苗は普通苗と同じ2年生であるが、成長が速く相対的にサイズが大きかった苗木である。コンテナ苗は1年生裸苗をコンテナに移植し露地で2年間育成したものである。植栽時には、苗木の種類ごとの植栽効率を把握するため、熟練度が異なる3人の植栽作業工程をビデオ撮影により調査した。

各植栽木の初期成長量と生存率を明らかにする

ため、各植栽木の樹高及び根元直径の毎木調査及び生死判定を植栽直後と各成長期後（晩秋または雪融け後）に行った。

また、上部・中部・下部の各試験区の上半部分の下刈りを坪刈り（植栽木を中心とした直径 1m の円状）に、下半部分の下刈りを全刈りとして連年施業を行い、これらの下刈り手法が植栽木の成長に及ぼす影響を解析した。

2.1.3 結果及び考察

(1)カラマツのコンテナ苗・大苗の生存率の推移と成長量評価

各苗木の植栽当年秋における生存率（誤伐本数は母数から除く）は、普通苗が 80.7%であったのに対して、大苗は 80.2%、コンテナ苗は 82.3%であり、普通苗に対する有意差は認められなかった

（図 2-1-2, χ^2 独立性の検定, $p>0.05$ ）。その後、生存率は年数の経過とともに漸減し、5成長期後には普通苗が 47.8%、コンテナ苗が 50.9%、大苗が 58.8%となった。大苗は普通苗及びコンテナ苗に比べて有意に生存率が高く（ χ^2 乗独立性の検定, $p<0.01$ ）、普通苗とコンテナ苗の生存率には有意差がなかった（同, $p>0.05$ ）。この原因は、大苗の樹高が普通苗及びコンテナ苗より高いため、雑草木の被圧の影響を受けにくかったことが考えられる。

次に、樹高については、植栽時の平均樹高を比較すると、普通苗が 38.4cm、コンテナ苗が 40.8cm

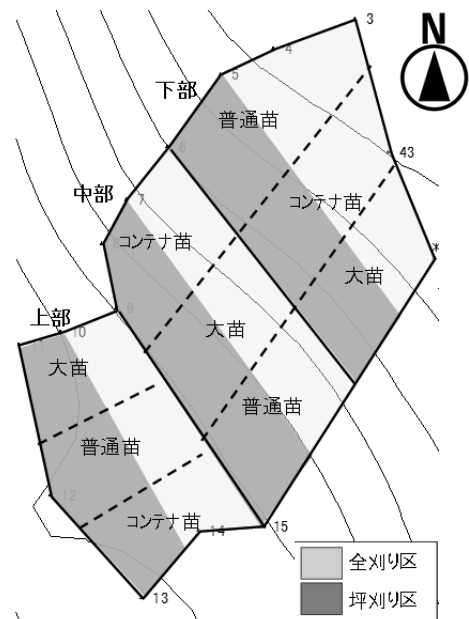


図 2-1-1 試験地平面図

で有意差がなく (Student の t 検定, $p>0.05$), 大苗はこれらより有意に大きい 86.4cm であった (Tukey-kramer の多重比較検定, $p<0.01$)。大苗は初期サイズの優位性をそのまま維持し続け, 5 成長期後における平均樹高は 225cm となった (図 2-1-3)。また, 5 成長期後における平均樹高は, 普通苗が 152cm, コンテナ苗が 198cm で, 3 者間にそれぞれ有意差が認められた (Tukey-kramer の多重比較検定, $p<0.01$)。大苗は植栽時の地上部のサイズが他の 2 種より大きく, 葉量及び蓄積していた養分量の差が成長量に反映しているものと考えられ, 活着できれば順調に生育することが示唆された。コンテナ苗は, 大苗との初期の樹高差が 46cm あったものの, 5 成長期後には 27cm 差にまで縮小した。それに対して普通苗は, 大苗との初期の樹高差 48cm が 5 年で 73cm 差に拡大した。コンテナ苗と普通苗の平均樹高の差は植栽時には有意差がなかったが, 5 成長期後には 46cm となり, 普通苗に比べて有意に樹高が高かった ($p<0.01$)。コンテナ苗の樹高成長の経緯をみると, 植栽当年には普通苗と変わらなかったものの, 2 年目から普通苗に比べて有意に成長量が大きくなり, その差は年を経過するごとに拡大した。その一方, コンテナ苗と大苗の樹高差は年々縮小した。この原因は明らかではないが, 今回のカラマツコンテナ苗は普通苗に比べて根系発達が顕著である可能性が考えられ, 今後の検証が待たれる。

根元直径についても, 苗種ごとの成長推移の傾向は概ね樹高と同様であった (図 2-1-4)。植栽時, 平均根元直径は大苗 (11.6mm) > 普通苗 (6.9mm) > コンテナ苗 (6.1mm) の順で有意に大きかった。大苗の根元直径は 5 成長期後でも最も大きく 34.8mm, 次いでコンテナ苗が 26.0mm, 普通苗が 21.9mm となった。コンテナ苗の根元直径は, 初期値では普通苗より有意に小さかったものの, 2 成長期後には普通苗を上回り, その差は年々拡大した。しかし, 大苗との差も年々拡大する傾向にあり, 樹高のように大苗に近づく傾向は認められなかった。

以上の結果から, 大苗は植栽時のサイズの優位性を 5 成長期後まで維持し, 最も成長が良い苗木と考えられるとともに, 活着・生存率においても普通苗に劣らないことが確認された。大苗の 3 成

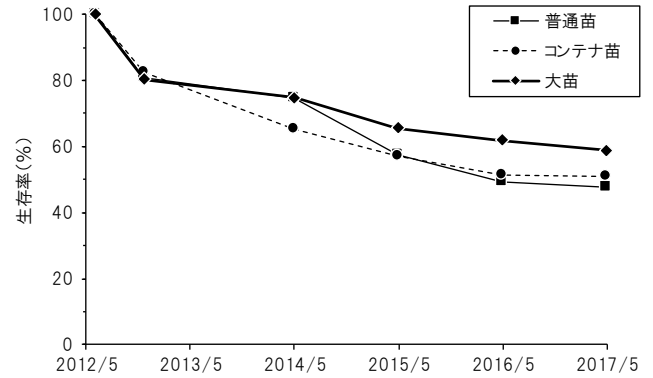


図 2-1-2 苗種ごとの生存率の推移

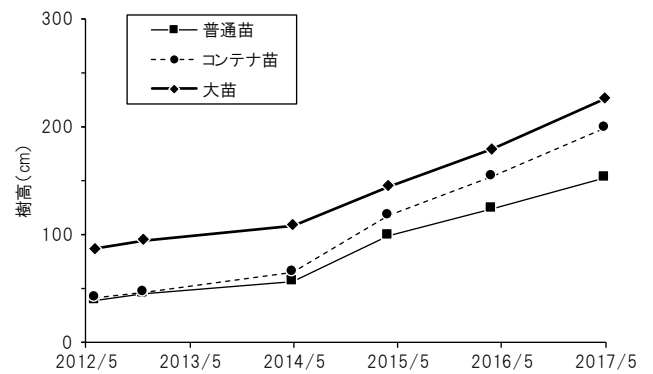


図 2-1-3 苗種ごとの平均樹高の推移

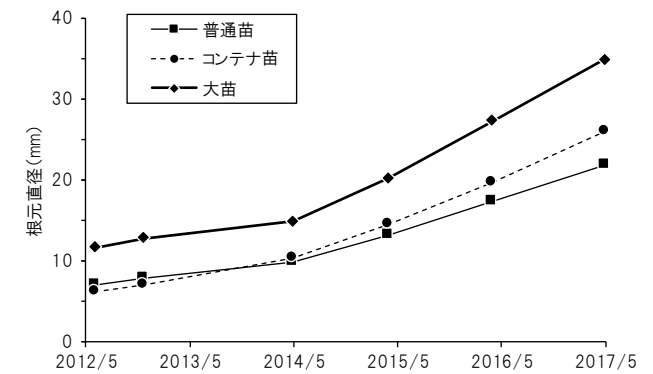


図 2-1-4 苗種ごとの平均根元直径の推移

長期後の樹高は普通苗の 5 成長期後の樹高に匹敵し, 普通苗より 2 年早く下刈りを終了できる可能性が示唆された。また, コンテナ苗も普通苗と比較して良好な成長を示し, 4 成長期後の樹高は普通苗の 5 成長期後の樹高に匹敵したことから, 普通苗より 1 年早く下刈りを終了できる可能性が示唆された。

(2) 下刈り方法と成長量の関係

(1) で述べた結果は, 下刈りを全刈りで行ったものであるが, ここでは下刈りを坪刈りによって行った植栽木の樹高及び根元直径の成長量を比較

する。

図 2-1-5, 図 2-1-6 に, 大岡県有林におけるカラマツの普通苗, コンテナ苗, 大苗の下刈り手法別の連年樹高成長量及び連年根元直径成長量を示した。普通苗では, 1~3 成長期目 (2012~2014) まで坪刈り区における樹高成長の抑制が有意に認められ, 4~5 成長期目には有意差が認められなかったが, 根元直径に関しては, 全期において坪刈り区での成長抑制が有意に認められた。コンテナ苗は, 1~2 成長期目には坪刈りによる樹高成長抑制は認められず, 3~5 成長期目には成長抑制が認められ, 普通苗と逆の傾向を示したが, 根元直径の抑制は普通苗と同様, 全期において認められた。大苗は, 1~3 成長期目には樹高成長抑制は認められず, 4~5 成長期目には樹高成長が抑制されていた。大苗の直径成長は, 普通苗及びコンテナ苗と異なり, 坪刈り区では 1~2 成長期目には成長抑制が認められなかったが, 3 成長期目以降は成長が抑制されていた。

植栽時の樹高が比較的小さかった普通苗及びコンテナ苗に対して, 大苗は初期サイズが大きかったことから, 競合植生との競争に有利であり, 坪刈りでも周囲の植生の影響を受けにくかったと考えられる。しかし, 大苗も 3 成長期目以降は根元直径に成長抑制が及び, 4 成長期目以降は樹高成

長にも成長抑制が及んでいる。坪刈り区では, 植栽木の周囲の直径 1 m 範囲外では競合植生が残り, それらには高木性の樹種 (ホオノキ, サクラ, ナラ, クリなど) も含まれ, 年々成長を続けていることから, 大苗であっても被圧されている個体が多い。坪刈り区では大苗であっても数年で受光量が減少することになるため, 坪刈りを継続的に行うことは避けるべきと考えられた。特にカラマツのような陽樹においては, 植栽木を速やかに成長させ, 下刈りを要する期間をいち早く短縮できる可能性のある全刈りの方が, 結果的に低コストとなる可能性が高いと考えられた。

(3) 各苗木の植栽作業時間

苗種ごとの植栽作業工程を調査した結果, 1 本あたりの植栽作業時間において熟練者は普通苗とコンテナ苗の差がなかったのに対し, 未経験者では有意差が認められた (図 2-1-7, Steel-Dwass の多重比較検定, $p < 0.05$)。植栽未経験者の平均植栽作業時間は, 普通苗及び大苗では熟練者に比べて 2 倍近い時間がかかっていたのに対して, コンテナ苗では熟練者と大きな差はなかった。これらのことから, 植栽作業に不慣れな作業者でもコンテナ苗であれば比較的短い作業時間で植栽することが可能であることが推察された。

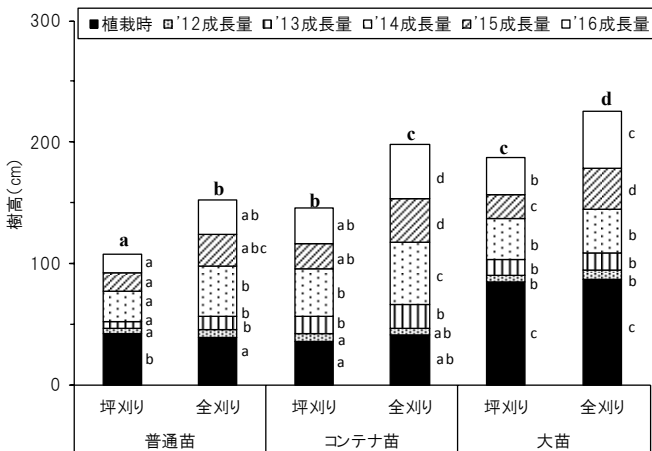


図 2-1-5 下刈り方法別の樹高成長量

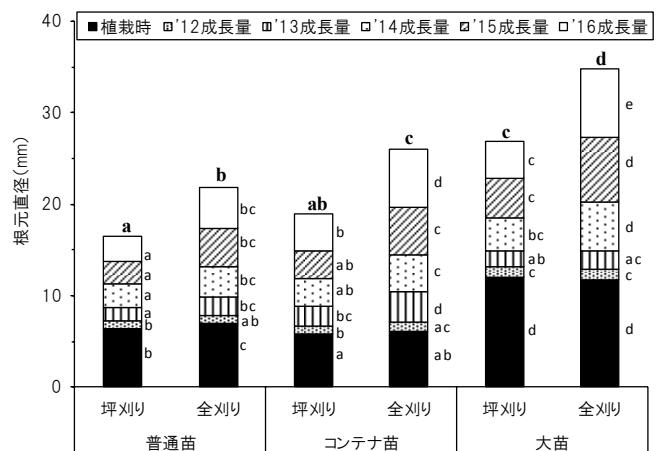


図 2-1-6 下刈り方法別の根元直径成長量

- ・各期の成長量の右の添字は, 各期間において同一文字を含まない試験区間に有意差があることを示す。
- ・各試験区の積上げ棒グラフ最上部の太字は, 5 成長期後の樹高・根元直径を比較している。
- ・成長量等は a<b<c<d<e の関係にある。

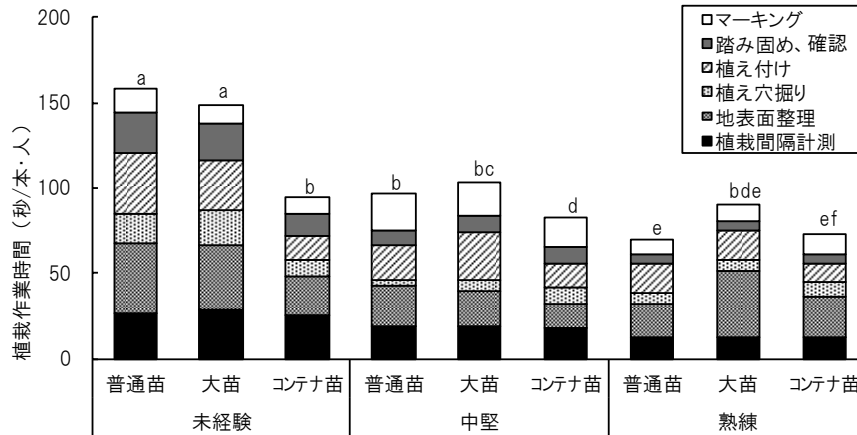


図 2-1-7 熟練度別にみた植栽木 1 本あたりの平均作業時間

※作業時間は、各区分における植栽作業のサイクルタイムの平均値 (n=50 本~135 本)
 ※Steel-Dwass の多重比較検定、異なるアルファベットは有意差があることを示す (p<0.05)

2.2 カラマツのコンテナ苗と裸苗の活着に及ぼす植栽時期の影響

2.2.1 研究の目的

一貫作業を行うにあたっては、植栽作業も伐採・地拵え後に直ちに行うことから、植栽時期の自由度が高いとされるコンテナ苗の利用が期待されている。現在、長野県では植栽時期として春季が一般的であるが、植栽適期が雪解け後から開葉前の 4 月下旬までという短期間とされており、森林組合等が大面積の植栽作業に対応することが困難な場合がある。カラマツのコンテナ苗に関しては、北海道において 6~7 月を除けば植栽可能という既往の結果 (原山ら 2016) があるが、同時に裸苗を植栽し比較した事例はない。そのため本研究では、カラマツのコンテナ苗及び裸苗で秋季に時期を違えた比較植栽を行い、活着率を評価した。

2.2.2 調査方法

コンテナ苗及び裸苗は、松本市の露地で育苗されたものを用いた。北佐久郡御代田町の標高 1250m 付近の浅間山国有林 (図 2-2-1) において、2015 年 10 月 2 日、10 月 28 日、11 月 25 日に、カラマツの裸苗 (育苗期間: 1 年半) とコンテナ苗 (同: 苗畑で 1 年+コンテナ移植後半年) を植栽した (供試数: 各時期・苗種ごとに 160-164 本)。翌春の 2016 年 4 月 15 日に裸苗を植栽し、開葉後の同年 5 月 30 日に各植栽木の活着率を調査した。また、南佐久郡佐久穂町の標高約 1550m 付近に位置する町有林の皆伐地においても、2015 年 10 月 20 日、11 月 19-21 日に、カラマツの裸苗 (育苗期間: 1 年半) とコンテナ苗 (同: コンテナ直播きまたは毛苗移植, 1 年半) を

植栽した (供試数: 各時期・苗種ごとに 42-104 本)。翌春の 2016 年 4 月 23-28 日に裸苗を植栽し、同年 6 月 30 日に各植栽木の活着率を調査した。植栽時期や苗種の活着率の比較は、 χ^2 検定を用いて解析した。

2.2.3 結果と考察

(1) 浅間山国有林

10 月 2 日に植栽した裸苗及びコンテナ苗の活着率は、裸苗で 0%、コンテナ苗で 98% であり、コンテナ苗の活着率には裸苗に対して優位性が認められた (図 2-2-2, $p<0.001$)。その約 1 ヶ月後の 10 月 28 日の植栽における活着率はいずれも高く、裸苗が 99%、コンテナ苗が 97% であり、両者間に有意差は認められなかった。さらにその約 1 ヶ月後の 11 月 25 日の植栽でも、裸苗・コンテナ苗とも 100% の活着を示し、有意差は認められなかった。また、秋季植栽の活着率を春季植栽の裸苗の活着率 (93%) と比較すると、10 月 2 日植栽の裸苗は有意に低く



図 2-2-1 試験地位置図

($p<0.001$), 10月28日のコンテナ苗は差がなく, その他は有意に高かった ($p<0.05$)。

これらの結果から, カラマツコンテナ苗は秋季のいずれの時期の植栽においても同時期に植栽した裸苗より活着率が有意に高いか同等であり, 春季植栽の裸苗と比較しても活着率は同等以上であることが確認された。一方, 裸苗は10月2日植栽では全く活着しなかった。これは, この時点では新梢の木質化が進んでおらず, 水分要求量が高かったことに起因すると考えられ, コンテナ苗は根系が裸苗に比べて充実していることが活着に好影響を与えたと推察された。しかし, 10月28日以降に植栽した場合には, 同時期のコンテナ苗, あるいは春季植栽の裸苗と比較して同等の活着を示したことから, 10月下旬以降であれば裸苗の秋季植栽も可能と考えられる。

(2) 佐久穂町有林

10月20日に植栽した苗木の活着率は, コンテナ苗が76%であったのに対して裸苗は52%であり, コンテナ苗が有意に高かった (図2-2-3, $p<0.01$)。続いて, 11月19-21日に植栽した苗木の活着率は, 裸苗が96%, コンテナ苗が71%で, 裸苗が有意に高かった ($p<0.01$)。これらを春植えの裸苗の活着率と比較すると, 10月20日植えの裸苗は有意に低

く ($p<0.01$), 11月19-21日植えの裸苗は有意に高く ($p<0.01$), 両時期のコンテナ苗は差がなかった。裸苗の春季植栽は活着率が70%という低い値であったが, 開葉が始まり水分を多く要求する時期の植栽で, 約2週間まとまった降雨がなかったことが影響したものと考えられた (図2-2-4)。コンテナ苗の活着は, 10月・11月とも70%台で浅間山に比べて低かった。当地に植栽したコンテナ苗は浅間山に比べて植栽時のサイズが小さく, 貯蔵養分が少なかったと考えられることから, 活着に影響した可能性がある。裸苗に関しては, 10月20日の植栽では50%程度の活着率にとどまったことから, 浅間山の結果を勘案すると, 少なくとも10月末までは裸苗の使用を控える必要があると考えられた。

拡大造林が盛んであった昭和30~50年代には, 落葉後のカラマツ苗木を雪が降る前に植栽していたとのことであり, むしろ春植えより多く行われていたようである (佐久地域の森林組合作業員からの聞き取り)。今回の試験結果はこのことを裏付けており, 裸苗であっても10月末以降であれば高い活着率が期待できることから, 植栽時期に応じて適切に苗木を選択し再造林コストを抑制することにより, 林業の収益性が少しでも高まることが期待される。

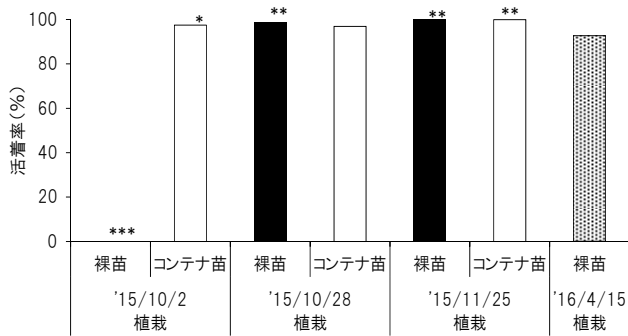


図 2-2-2 浅間山国有林におけるカラマツ苗木の活着率
*~***: 裸苗春植えと比較して有意差あり
(χ^2 検定, *: $p<0.05$, **: $p<0.01$, ***: $p<0.001$)

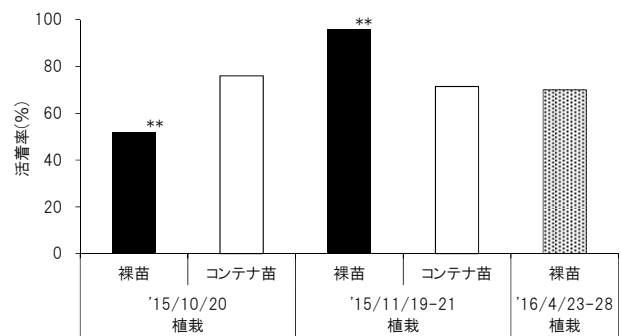


図 2-2-3 佐久穂町有林におけるカラマツ苗木の活着率
*: 裸苗春植えと比較して有意差あり
(χ^2 検定, **: $p<0.01$)

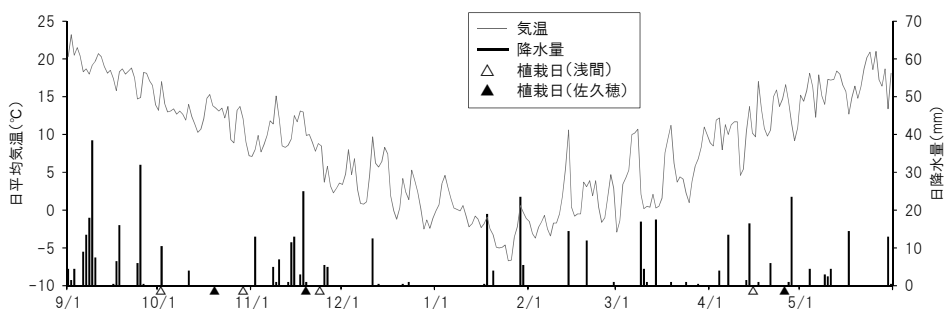


図 2-2-4 佐久市アメダスにおける平均気温と降水量

2.3 带状伐採による伐採-造林一貫作業システムの検討

2.3.1 研究の目的

長野県では、緩傾斜地～中傾斜地において車両系伐出作業システムによる一貫作業が行われることが多い(大矢ら 2016)が、県内には車両系作業システムを導入しにくい急傾斜地も多い。本研究では、架線系作業システムによる一貫作業の一事例として、スイングヤーダによる带状伐採と再生林の工期調査を行い、その生産性を評価するとともに、植栽木の活着状況を調査した。

2.3.2 調査方法

下伊那郡根羽村の岩名沢村有林の54年生スギ人工林において、2013年12月に带状伐採を実施した(図2-3-1)。伐採帯幅は、10・15・20・25mの4区分とし、伐採帯に隣接する林地は伐採幅と同幅で保残帯とした。これらのうち、25m幅の伐採帯において带状伐採地における伐出生産性を把握するため、2013年12月中旬に伐出作業の工期調査を行った。

伐出作業は、伐倒はチェーンソー、集材はスイングヤーダ(イワフジCT-500+GP532)によるランニングスカイライン方式、造材はプロセッサ(コマツPC120+イワフジGP-35A)により、根羽村森林組合が実施した。各作業工期についてビデオ撮影による時間解析を行い、各工期の生産性を求めた。

伐出作業に続いて行った造林作業では、全木集材であるため地拵は省略し、2013年12月中旬～下旬にヒノキ苗を植栽した。苗木は、3年生コンテナ苗(1年生普通苗をマルチキャビティコンテナに移植し2成長期育成したもの)及び3年生普通苗(裸苗)を使用した。植栽作業に際しては、コンテナ苗にはディブルと唐鋤、普通苗には唐鋤を使用し、緩傾斜(勾配10°未満)・中傾斜(10°以上30°未満)・急傾斜(30°以上)に分けて植栽作業を行った。これらの植栽工期をそれぞれビデオ撮影し、時間解析により植栽効率を求めた。

2.3.3 結果と考察

带状伐採における伐出作業全体の労働生産性は9.9m³/人日であり、根羽村森林組合が行う間伐作業の労働生産性(3～4m³/人日)の約3倍となった(表2-3-1)。伐倒作業は、間伐に比べて単木材積が大きいことや掛り木が生じないことから生産性が大きく向上した。しかし、大径材が多かったため、

スイングヤーダが小型であったことやチェーンソー造材の割合が多かったことなどが要因となり、集材及び造材に時間を要していた。

次に、植栽工期における苗木1本あたりの植栽作業時間を比較すると、傾斜の緩急にかかわらずコンテナ苗は普通苗より作業時間が短かった(図2-3-2)。特にコンテナ苗の優位性は緩傾斜地で明確となり、

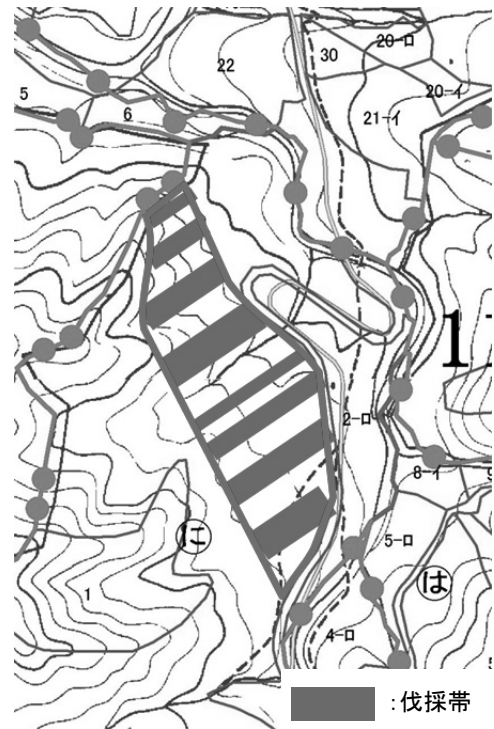


図2-3-1 一貫作業試験地平面図

表2-3-1 各作業工程の生産性及び労働生産性

作業工程	セット人員(人)	生産性(m ³ /時)	生産材積(m ³)	労働生産性(m ³ /人日)
伐倒	1	12.0	99.1	72.1
集材	2	6.4	97.9	19.3
造材	1	4.7	68.1	28.0

システム労働生産性：9.9m³/人日

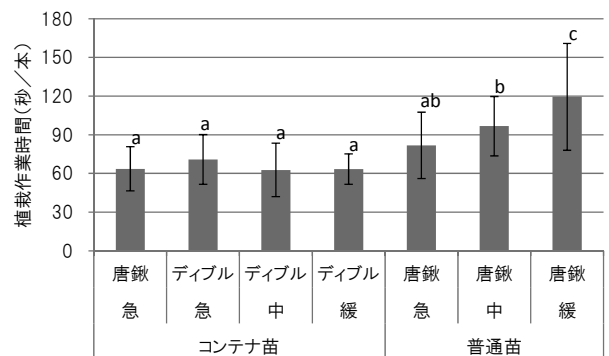


図2-3-2 各苗木1本あたりの植栽作業時間

※エラーバーは標準偏差。同じ符号を含む区分間には有意差なし(Tukey-Kramerの多重比較検定, $p < 0.01$)

1本あたりの平均作業時間は普通苗 119 秒/本に対して、コンテナ苗は約半分の 63 秒/本であり、約 340 本/人日の植栽が可能と考えられた。なお、活着率はコンテナ苗・普通苗とも 90%以上であり、冬植えであっても両者に差はなかった。しかし、2014 年 7 月上旬の時点において、10~15m 伐区で先枯れ症状を呈するものが普通苗では約半数を占めたのに対し、コンテナ苗は全て健全であった。

3 針葉樹人工林における針葉樹天然更新技術の開発ー過密ヒノキ人工林の間伐後に発生したヒノキ実生の消長ー

3.1 研究の目的

造林コスト削減の方策のひとつとして、針葉樹人工林における同樹種による天然更新が考えられる。日本では夏季の成長期における高温多雨によって多様な雑草木が繁茂するために、針葉樹の天然更新は難しいという見方があるが、ヒノキに関しては、木曾ヒノキを中心とした天然林における天然更新に関する研究が精力的に行われてきた(赤井 1972, 森澤ら 2010 など)ほか、人工林においても天然更新が成功した事例が多く報告されている(松澤・河原 2006, 山本 1985 など)。これら既往の研究により、ヒノキの天然更新は、コケ型林床、緩傾斜、土壌型 Bl_D、標高 750~1,000m などが適地とされ、条件によっては天然更新が成功することが示されているが、施業技術の体系化のためには、立地に加えて行

うべき施業種及びその時期などについて、更なる研究の積み重ねが必要である。

本研究では、過密状態にあったヒノキ人工林において 3 種類の間伐を行った後に発生したヒノキ実生について、間伐の強度及び方法(点状・列状)に着目し、個体数の推移、樹高成長及び光環境を調査し、それらの因果関係を解析した。

3.2 調査方法

調査地は、長野県下伊那郡高森町のヒノキ人工林である(表 3-1)。この林分では、植栽以来一度も間伐が行われず、林冠が閉鎖し林床植生が欠如した状態が続いていたことから、過密人工林の間伐効果を検証するため、2009 年 3 月(41 年生時)に林分を約 0.1ha ずつに区分けして、強度間伐、普通間伐、列状間伐を行った。以後、無間伐の対照区とともに直径成長量等を継続的に調査している林分である(表 3-2)。この林分において、2009 年にヒノキ残存木の球果が豊作となり、2010 年に多くの実生の発生を認めたことから、その消長調査を開始した。

2010 年の梅雨明け直後となる 7 月下旬に、ライントランセクト法により各試験区の中央部を横断する形で带状プロット(幅 0.5m×延長 30m)を設定した(図 3-1)。同時に、そこに発生していたヒノキ実生の横にナンバーテープを取付けた針金を立てることにより個体識別を行い、樹高、発生位置及び推定樹齢を記録した。樹高は、稚樹の自立状態における最高位置までの鉛直高さとした。その後、実生の

表 3-1 ヒノキ天然更新調査地の概要

所在地:	長野県下伊那郡高森町
林 齢:	41 年生 (2008 年時)
標 高:	930m
傾 斜:	ESE 8°
土壌型:	Bl _D
その他:	・間伐履歴なく林床植生が欠如 ・2009 年 3 月に間伐を実施

表 3-2 ヒノキ過密人工林の間伐前後の林況

	間伐率 %		立木密度 本/ha		収量比数 Ry	
	本数	材積	間伐前	間伐後	間伐前	間伐後
強度間伐区	55.4	43.6	2,130	950	0.95	0.76
普通間伐区	33.7	19.9	1,960	1,300	0.91	0.82
列状間伐区	26.5	25.5	2,127	1,564	0.92	0.84
対照区	—	—	1,870	—	0.90	—

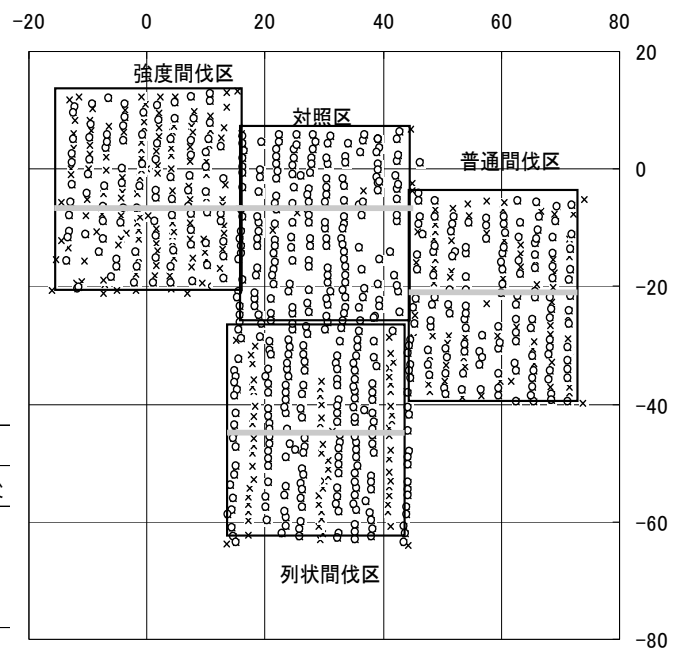


図 3-1 試験区及び調査ラインの配置

樹高測定は2010年10月下旬, 2011年7月上旬, 2012年8月中旬に行った。

また, 調査地内の光環境を把握するために, 光量子センサーにより各試験区の帯状プロット上の相対光量子束密度 (rPPFD) を高さ1.3mの位置で1mごとに測定した (小糸工業(株)製 IKS-27 光量子センサー及び同社製 MES-136 データロガーを使用)。なお, ヒノキ実生への獣類による採食の影響を回避するため, 調査地全体の周囲を高さ2.0mの防護柵 (15mmメッシュネット製) で囲った。

3.3 結果と考察

3.3.1 ヒノキ実生の発生本数と生存率

2010年7月時点の各試験区の調査帯内におけるhaあたりのヒノキ実生の発生本数は, 間伐以前に発生していたと考えられる2年生以上のものは各試験区とも10,000本/ha未満であった (表3-3)。間伐直後の2009年に発生したと考えられる1年生実生の本数は, 間伐前に発生したものに比べて, 対照区においては4倍の4,000本/haであったのに対して, 各間伐区では約7倍~38倍の56,000本~76,000本/haが残存していた。間伐から1年後に発生した2010年の当年生実生の本数は, 対照区が極端に少ないという傾向は認められず, 約98,000~215,000本/haの間であった。

次に, 2010年に発生した実生に着目し, 各調査区におけるヒノキ実生の個体数の変化を見るために, 生存率の推移を図3-2に示した。各間伐区では, 当年秋までに生存率が大きく低下し, 強度間伐区で76%, 普通間伐区で62%, 列状間伐区で72%となった。しかし, それ以後はほぼ横ばいで推移し, 発生2年後でも強度間伐区で59%, 普通間伐区で50%, 列状間伐区で70%の生存率を示し, 発生時の半数以上の個体数を維持していた。それに対して対照区では, 当年秋までに生存率が15%に激減し, 以後漸減して2年後の2012年8月中旬には2%にまで減少した。

これらの結果から, ヒノキの実生は間伐を実施したか否かにかかわらず一定量が発生するが, 無間伐の対照区ではそのほとんどが枯死するのに対して, 間伐が行われた各試験区では生存率が大きく向上することが確認できた。実生生存率は, 列状間伐区・強度間伐区・普通間伐区の順で高く, 間伐率とは必ずしも比例していなかった。

3.3.2 ヒノキ実生の樹高成長

各試験区における, 2010年に発生したヒノキ実生の2012年8月現在の平均樹高は, 強度間伐区では対照区に比べて有意に高かった (図3-3, Tukey-Kramerの多重比較検定, $p < 0.01$)。列状間伐区の平均樹高は, 強度間伐区に次いで高い数値を示したが, バラツキが大きく対照区との有意差は認められなかった。また普通間伐区は, 生存率は50%であったものの, 平均樹高は対照区と変わらず, 樹高成長していなかった。

2010年の当年生実生の樹高階分布の推移に注目すると, 強度間伐区では, 年数が経過するにつれて

表3-3 ヒノキ実生の成立本数(2010年7月, 千本/ha)

	間伐後		間伐前	計
	当年生	1年生	2年生以上	
強度間伐区	98	76	2	176
普通間伐区	210	57	6	273
列状間伐区	153	56	8	217
対照区	215	4	1	220

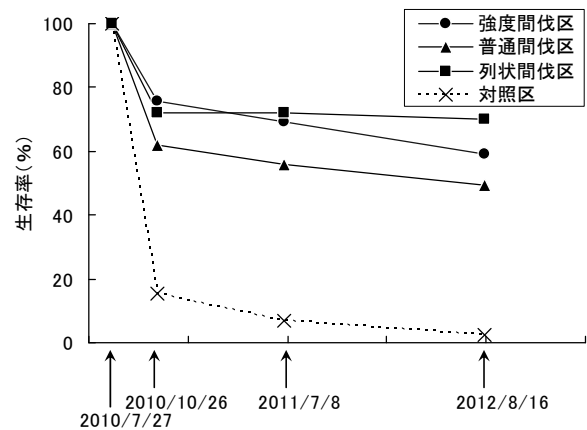


図3-2 ヒノキ実生の生存率の推移 (2010年当年生実生)

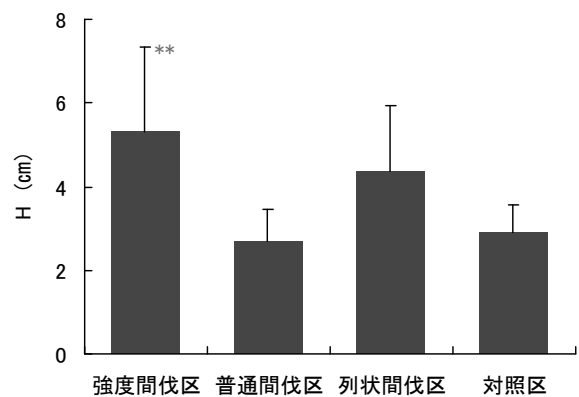


図3-3 ヒノキ実生の平均樹高(2010年当年生実生) (Tukey-Kramerの多重比較検定, **は対照区に対して有意差あり($p < 0.01$))

頻度分布のピークが樹高階上位に移動していくことが見てとれる(図3-4)。列状間伐区も強度間伐区と似た頻度分布の推移を示したが、2年後にも樹高階下位の個体が多く認められる。普通間伐区は、年数が経過しても樹高階上位への頻度分布ピークの移動はわずかであった。対照区は個体数が激減しピークが不明瞭になるとともに、その樹高階上位への移動量はわずかであった。

これらの結果から、間伐によるヒノキ実生の樹高成長促進効果は、強度間伐区で最も顕著に現れることが確認された。次いで列状間伐区の成長が良好であったが、樹高が伸びない個体も存在しており、成長のバラツキが生じていた。

3.3.3 光環境と生存率及び樹高の関係

各試験区内におけるrPPFDの平均値を比較すると、最も高かったのは列状間伐区で7.7%、次いで強度間伐区が6.5%で、普通間伐区は2.5%、対照区は1.3%であった(図3-5)。すべての間伐区が対照区より有意に明るい環境であるとともに、各試験区どうしのすべての組み合わせにおいて有意差が認められた(一元配置の分散分析及びTukey-Kramerの多重比較検定, $p < 0.01$)。

各試験区内のrPPFD値の分布をみると、ほぼ一様

な分布を示しているのは対照区のみであった(図3-6)。強度間伐区はラインの起点から約20mまでは7%以上の値を示したが、それ以降は隣接している対照区に近づくにつれて漸減し、30mの位置では2.3%まで低下した。列状間伐区は、伐採列と残存列が交互に現れるため、5.3~10.0%の間で大きく変動した。普通間伐区は、間伐によって生じたギャップ周辺及び試験区外近くにおいて値の上昇がみられたが、変動幅は1.8~3.8%であり比較的小さかった。

実生の生存率と光環境の関係を明らかにするために、調査帯内で2010年に発生した全実生に、それぞれ最も近い測定地点のrPPFD値を対応させ、各帯を1m単位で30分割して各単位に属する実生の2012年における生存率を算出した。その結果、rPPFD値が高い箇所では実生生存率が高い傾向が認められた(図3-7)。すなわち、間伐を行うことによってギャップが生じ、林床の光環境が改善された場所においては、発生した実生が生残する可能性が高いと考えられる。

次に、2010年に発生した実生の2012年における樹高と、その最も近い測定地点におけるrPPFD値との関係をみると、rPPFD値が高い箇所において樹高

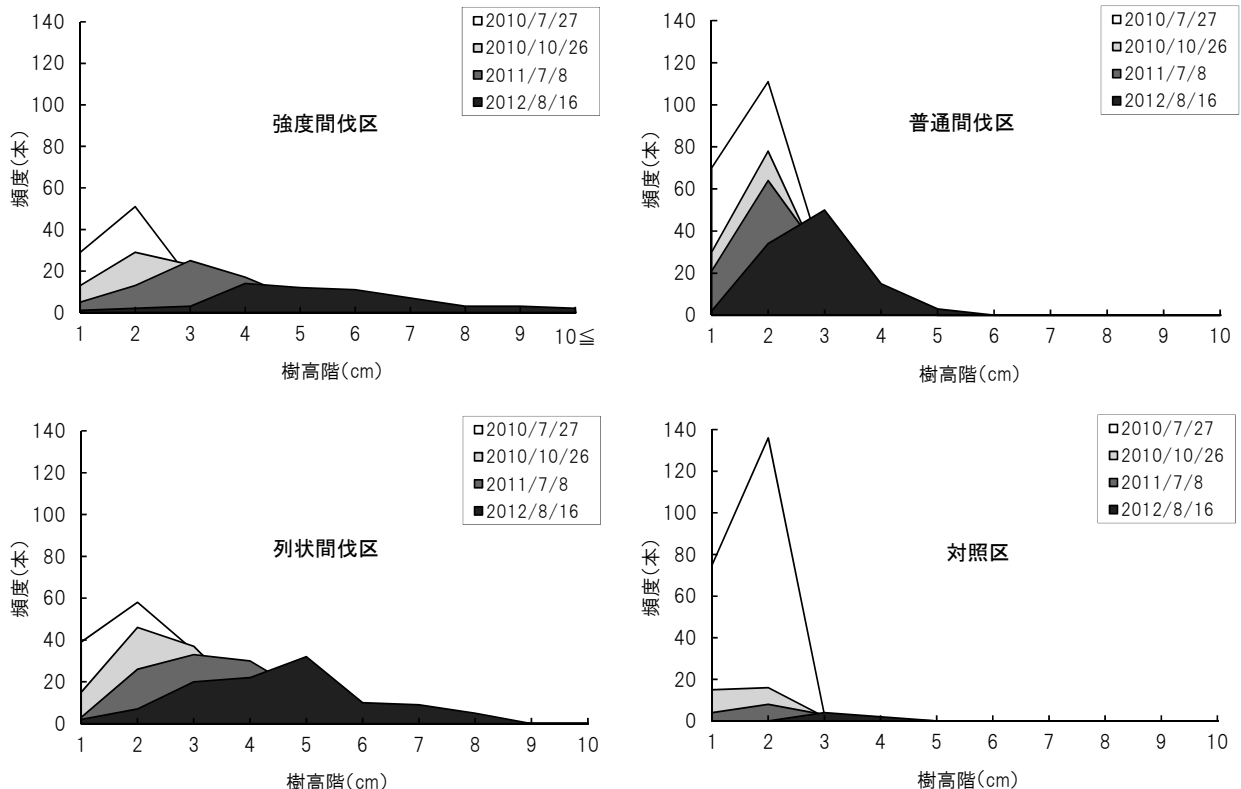


図3-4 ヒノキ実生の樹高階分布の推移(2010年当年生実)

が高くなる傾向が認められた(図3-8)。rPPFD値が高い地点が多い強度間伐区及び列状間伐区では、対照区及び普通間伐区に比べて相対的に樹高が高い傾向が認められ、間伐によって生じたギャップが実生の樹高成長を促進したと考えられた。

今回調査を行った過密ヒノキ人工林では、間伐が行われず過密状態にある場合でも、落下する種子量に応じてヒノキ実生が発生するが、その大部分は光量不足により枯死することが確認された。また、普通間伐区では、発生した実生の半数は生残したものの、樹高成長は停滞していた。それに対して、強度間伐区や列状間伐区では、実生の生存率は高く維持され、樹高成長も促進された。これらのことから、過密ヒノキ人工林において天然更新を図る際には、通常程度の間伐率(本数で30%程度)では不十分であり、強度間伐または列状間伐を行うことによって林床の光環境を大きく改善する必要があると考えられる。

4 おわりに

長野県において、「人工林が成熟してきた」と言われるようになってまだ日は浅い。伐採・再生林を行うにあたっては、その林分の現況と将来の姿を見極め、収支を考慮した上で更新の必要性を判断する必要がある。本研究では再生林の低コストをテーマとして取り組んできたが、更新を確実にし得なければ本末転倒である。コンテナ苗の有効利用と育苗技術の改良、造林作業の機械化など、再生林の課題は山積しており、今後も技術の改良とその検証を推進していく必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、長野地方事務所林務課、長野森林組合西山支所、大岡森林塾、佐久穂町役場、佐久地方事務所林務課、中部森林管理局東信森林管理署、根羽村森林組合、根羽村役場、信州大学農学部森林科学科、高森町役場の皆様に調査にご協力いただきました。ここに厚く感謝申し上げます。

引用文献

赤井龍男(1972)天然更新に関する研究(II)木曾三浦実験林におけるヒノキの更新. 京大演報 44:68-87

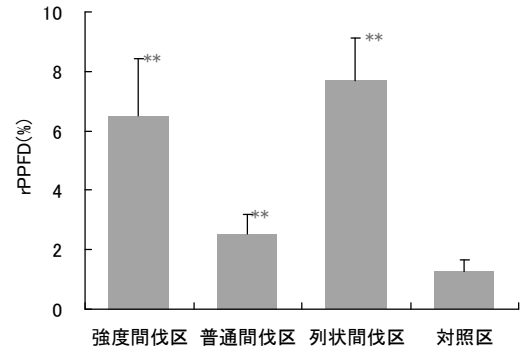


図3-5 各試験区における平均相対光量子束密度 (Tukey-Kramerの多重比較検定, **は対照区に対して有意差あり, $p < 0.01$)

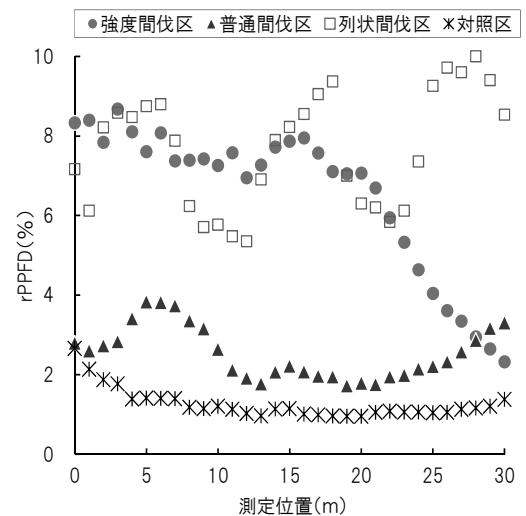


図3-6 各試験区における相対光量子束密度の水平分布

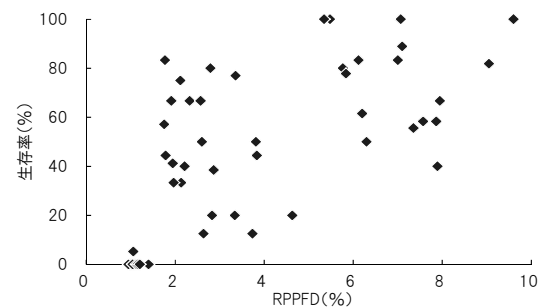


図3-7 ヒノキ実生の生存率と相対光量子束

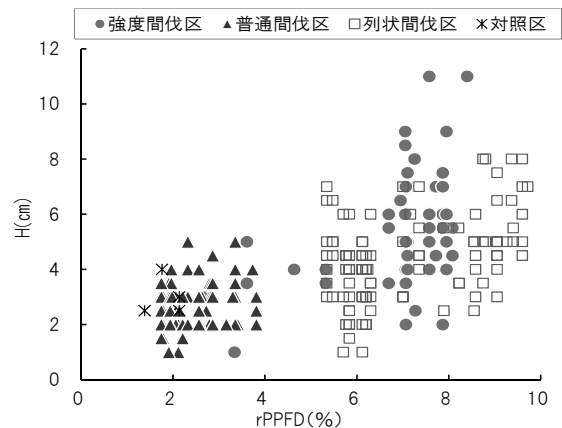


図3-8 ヒノキ実生の樹高と相対光量子束密度の関係

- 原山尚徳・来田和人・今博計・石塚航・飛田博順・宇都木玄 (2016) 異なる時期に植栽したカラマツコンテナ苗の生存率, 成長および生理生態特性. 日林誌 98: 158-166
- 平田令子・大塚温子・伊藤哲・高木浩 (2014) スギ挿し木コンテナ苗と裸苗の植栽後2年間の地上部成長と根系発達. 日林誌 96:1-5
- 金澤巖 (2012) コンテナ苗木生産と低コスト造林. 現代林業 555:26-30
- 松崎誠司・河原輝彦 (2006) ヒノキ人工林における天然更新施業の可能性—多変量解析に基づく適地診断ソフトの作成—. 東京農大農学集報 51(1):1-7
- 森澤猛・杉田久志・橋本良二・赤井龍男 (2010) 空中写真から解析した木曾地方三浦実験林のヒノキ帯状皆伐天然更新試験地におけるササおよび更新木樹冠被覆の36年間の変遷. 日林誌 92:22-28
- 長野県林務部 (2017) 長野県民有林の現況. オンライン, (<https://www.pref.nagano.lg.jp/rinsei/sangyo/ringyo/toukei/minyurin/h29.html>) 2017年12月1日参照.
- 中村松三 (2012) 再造林の低コスト化とコンテナ苗. 森林技術 847: 24~27.
- 大矢信次郎 (2014) カラマツ再造林における低コスト化技術の検討—マルチキャビティコンテナ苗と大苗の初期成長および植栽作業時間—中森研 62:35-36
- 大矢信次郎 (2015) カラマツのコンテナ苗及び大苗の植栽2年後における成長量評価. 中森研 63:45-46
- 大矢信次郎・近藤道治・小山泰弘 (2013) 過密ヒノキ人工林の間伐後に発生したヒノキ実生の消長. 中森研 61:75-78
- 大矢信次郎・中澤昌彦・猪俣雄太・陣川雅樹・宮崎隆幸・高野毅・戸田堅一郎・柳澤賢一・西岡泰久 (2018) 緩傾斜地から中傾斜地における機械地拵え作業の生産性とコスト. 森林誌 33:15-24
- 大矢信次郎・斎藤仁志・城田徹央・今村豊・宮崎隆幸・守谷和弘・松橋亮輔・大塚大・今坂圭祐・千代苑加・植木達人 (2014) 帯状伐採による伐採・造林一貫作業システムの検討. 森林学会講演要旨集 21:21
- 大矢信次郎・斎藤仁志・城田徹央・大塚大・宮崎隆幸・柳澤信行・小林直樹 (2016a) 長野県の緩傾斜地における車両系伐出作業システムによる伐採・造林一貫作業の生産性. 日林誌 98:227-234
- 大矢信次郎・清水香代 (2017) カラマツのコンテナ苗と裸苗の活着に及ぼす植栽時期の影響. 中森研 65:9-10
- 大矢信次郎・清水香代・小林直樹 (2016b) カラマツの各種苗木における植栽後3年間の成長量とそれに及ぼす下刈り手法の影響. 中森研 64:19-20
- 林野庁 (2010) 平成21年度森林・林業白書.
- 森林総合研究所 (2012) 森林・林業の再生: 再造林コストの削減に向けて—低コスト化のための5つのポイント—. 8pp, 森林総研九州支所, 熊本.
- 森林総合研究所 (2013) 低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集. 46pp, 森林総研九州支所, 熊本.
- 森林総合研究所 (2015) 近畿・中国四国の省力造林事例集. 46pp, 森林総研四国支所, 高知.
- 森林総合研究所北海道支所 (2016) 緩中傾斜地を対象とした伐採造林一貫作業システムの手引き. 20pp, 森林総研北海道支所, 札幌.
- 寺岡行雄 (2009) 造林コストはどこまで下げうるか. 持続可能な森林経営研究会第7回セミナー議事概要. オンライン, (http://www.jafta.or.jp/14_jizoku_hp/web/semminer/sfm_seminar07.pdf) 2017年12月1日参照.
- 山川博美・重永英年・久保幸治・中村松三 (2013) 植栽時期の違いがスギコンテナ苗の植栽後1年目の活着と成長に及ぼす影響. 日林誌 95:214-219
- 山本進一 (1985) ヒノキ人工林における天然生ヒノキ値樹の個体群動態 (V) —実生の発育と生存過程—. 日林誌 67(11):427-433
- 横山誠二・佐々木尚三 (2013) コンテナ苗植栽試験について—北海道でのコンテナ苗生長状況—. 北森研 61:101-104