

## カラマツの天然更新を活用した革新的施業技術の確立

育林部 大矢信次郎・清水香代，木材部 今井信

カラマツの天然更新の確実性を高めるため、4～5月の雌花着花の見極め、種子落下前の9月までの伐採と地表処理、母樹の樹高以上の伐開幅の確保、等を組み合わせることによって、カラマツ実生の発生と定着、成長を促進することが可能であることを確認した。また、天然更新材の特性を調査した結果、天然更新材は人工植栽材と年輪幅・強度とも差が認められず、その原因は除伐等の施業や気象害による立木密度の低下によるものと考えられた。

キーワード：カラマツ，天然更新，伐採幅，成熟材，未成熟材，木材強度

### 1 はじめに

カラマツ (*Larix kaempferi*) は、高冷・寒冷地に適した樹種として広く造林され、長野県の人工林の約50%を占めており、現在12齢級以上の面積が70%に達している(長野県林務部2019)。現在、これらのカラマツ資源を効率的に伐採・搬出し、利用することが進められているが、森林所有者にとっては伐採後の再造林費用が負担となっている。造林コスト低減策のひとつとして、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(赤井1998)が、中でもカラマツは、スキー場跡地や崩壊地などにおいて天然更新した実生が頻繁に認められ、天然更新の可能性が高い樹種と考えられている(小山・小山2002)。既往の研究から、カラマツの生態的特徴として、①裸地には侵入しやすいが、草本類や低木類及び腐植に覆われた地表では発芽・定着しにくいこと、②陽樹であるため、通常の間伐程度のギャップでは林床に稚樹が生育できないこと、③種子の豊凶周期が長い(5～7年)ため、種子の結実・落下が連年安定して得られないこと、等が明らかになってきている(五十嵐ら1987, 柳原ら1960, 小沢1962)。しかし、これまで北海道や長野県等でカラマツの天然更新が検討されてきた研究例(中川2014, 小須田1997など)があるものの、技術が体系化されるには至っていない。そこで、本研究では以下の2項目について検討を進める。

1つ目は、カラマツ人工林におけるカラマツ天然更新の誘導とコスト評価である(大矢, 清水担当)。近年施業実績が増加している帯状複層林の造成は、カラマツの再造林の手法として一部で試行されている。カラマツは陽樹であるため、従来の列状間伐程度のギャップでは光量が足りず林床にカラマツ

稚樹が生育できないが、更新伐では概ね樹高の2倍までの伐開幅で伐採を行うためカラマツでも更新面上に生育できることから、人工植栽を行う事例が増えてきた。しかし、カラマツの天然更新施業を帯状伐採地において行った例は少ない。そこで本研究では、帯状の更新伐を行った更新面において、カラマツの天然更新の可能性を追求するとともに、人工植栽とのコスト比較を行う。

2つ目は、カラマツ天然更新材の特性調査である(今井, 大矢担当)。天然更新では、若齢期の立木密度が高いため、未成熟材生産期(中心部分15年輪分程度)において、直径成長が抑制され年輪幅が狭くなる可能性がある。その後、除伐や間伐を適切



写真 1-1 スキー場跡地に天然更新したカラマツ

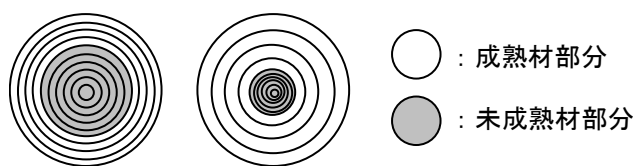


図 1-1 カラマツ人工林(左)と天然更新林分(右)の年輪構成比較予想図

に行い、直径成長が回復すれば、未成熟材割合が低い木材が生産されることとなる(図1-1)。そのため天然更新では、カラマツ材の欠点とされている「ねじれ」の原因となる未成熟材の割合が低い良質な木材が生産されることが予想されるが、実態は明らかになっていない。本研究では、天然更新由来のカラマツ材の強度特性を年輪構成と関連づけて調査し、人工植栽によるカラマツ材との材質面での差を明らかにする。

なお、本研究はJSPS 科研費 JP26450222 の助成を受け信州大学と共同で行い、本稿は当センター担当分をとりまとめたものである。また、本研究の一部は日本森林学会大会(大矢ら 2015, 大矢・清水 2017, 清水・大矢 2017), 日本木材学会大会(今井ら 2018), FORMEC International Symposium on Forestry Mechanization (OYA & SHIMIZU 2018) において発表した。

## 2 カラマツ人工林における更新伐施業によるカラマツ天然更新の誘導とコスト評価

### 2.1 カラマツ天然更新の誘導と更新コスト

#### 2.1.1 調査方法

カラマツ天然更新に係るコストを評価するため、南佐久郡南牧村に位置する南牧県有林の67年生カラマツ人工林(68林班に小班1-1)において帯状伐採と地表処理作業を実施し、功程調査を行った。

当林分において2014年4月に雌花の着花が比較的多数認められたことから、当年の天然更新施業が可能であると判断した。カラマツ種子が成熟し落下する前の9月17~19日に帯状伐採を行い、伐出作業(伐倒、木寄せ、造材)の功程調査を実施した。伐採エリアは、林道を起点として10m、20m、40m幅の伐採帯を設け、同幅の保残帯を各伐採帯に隣接して設定した(図2-1)。また、伐採長は林道から奥行50~80mとした。伐採に先立ち、伐採帯内の立木をナンバリングし、樹高と胸高直径の計測値から各個体の幹材積を把握した。伐出作業システムは、伐倒はチェーンソー、木寄せはグラップルとトラクタ、造材はプロセッサとした。各人員の作業状況をデジタルビデオカメラにより撮影し、伐倒・木寄せ・造材作業を立木ナンバーと関連づけて記録した。次に、カラマツの天然更新と人工植栽の更新に係るコストを比較するため各伐採帯を3分割し、①天然更新

誘導のための地表処理(天然更新区)、②コンテナ苗植栽(コンテナ苗区)、③裸苗植栽(裸苗区)の3区画を設定した(図-1)。天然更新区では、同年9月26日に地表処理(かき起こし)作業を行い、バックホウのバケットによってササの根を土壌ごと剥ぎ取ることでB層を露出させた。コンテナ苗区及び裸苗区の植栽作業は同年11月6日に実施し、植栽密度は2400本/haとした。植栽作業はデジタルビデオカメラにより撮影し、作業員、苗木の種別、植栽器具、植栽方法(裸苗:丁寧植え、一鍬植え)ごとにサイクルタイムを計測した。

#### 2.1.2 結果および考察

南牧県有林における帯状伐採のシステム全体の労働生産性は、14.3m<sup>3</sup>/人日であった(表2-1)。同年に浅間山国有林で行った車両系作業システムによる2.32haの皆伐作業の労働生産性は15~22m<sup>3</sup>/人日であった(大矢ら2016)ことから、本調査地のような帯状伐採地においてもほぼ遜色ない生産性

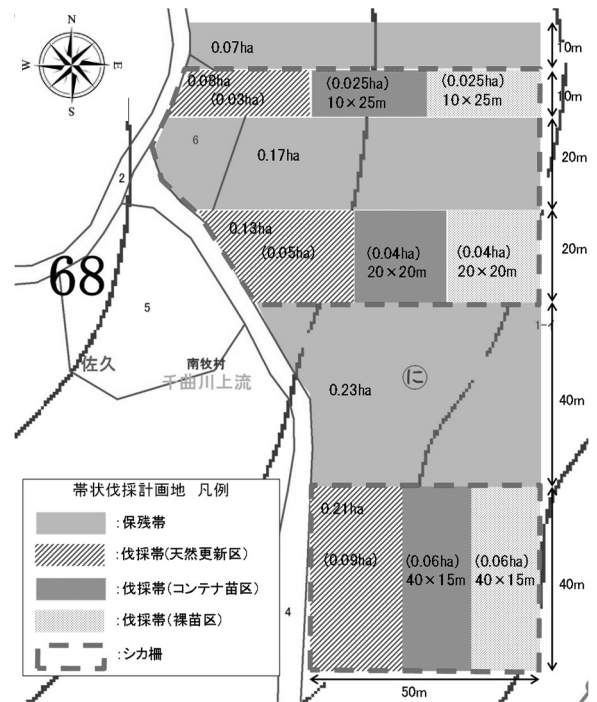


図2-1 南牧県有林 試験地平面図

表2-1 南牧県有林における帯状伐採の生産性

作業工程	セット人員 (人)	観測サイクル数	生産性 (m <sup>3</sup> /時)	生産材積 (m <sup>3</sup> )	労働生産性 (m <sup>3</sup> /人日)
伐倒	1	65	7.5	52.9	44.7
木寄せ	1	66	9.2	54.2	55.3
造材	1	56	5.6	37.0	33.9
システム労働生産性: 14.3 m <sup>3</sup> /人日					

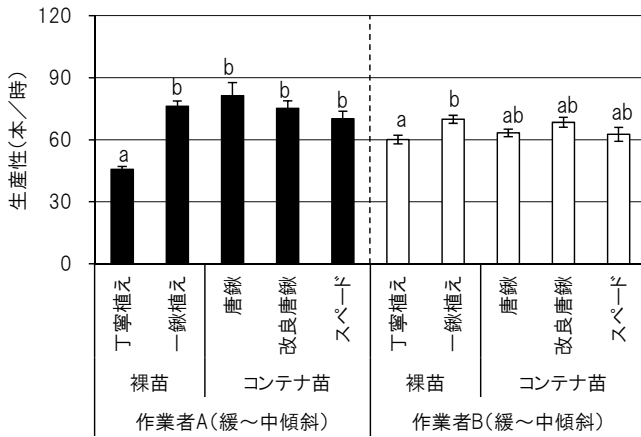


図 2-2 南牧県有林における植栽作業の生産性  
 ※エラーバーは標準誤差  
 ※異なる符号は各作業員の中で有意差があることを示す  
 (Tukey-Kramer の多重比較検定, P<0.05)

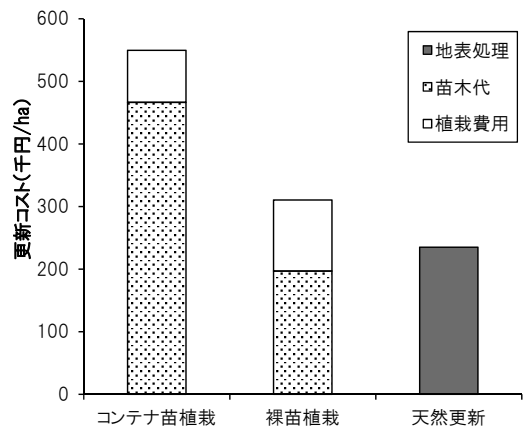


図 2-3 カラマツの天然更新と植栽による更新コストの比較

表 2-2 カラマツの天然更新と植栽の生産性とコスト

更新種別	生産性		苗木代(運賃・税込) (円/本)	コスト (千円/ha)	備考
	植栽 (本/時)	地表処理 (m <sup>2</sup> /時)			
植栽:コンテナ苗	72.3	-	194.4	550	唐鋤, 2人の平均
植栽:裸苗	52.9	-	82.1	311	丁寧植え, 2人の平均
天然更新:地表処理	-	274.6	-	235	7サイクルの平均

植栽密度:2,400本/ha, 人件費:15,000円/人日, グラップル費用(オペレーター込):38,732円/日

を上げることができると考えられた。なお、伐出作業に係るコストは 2,640 円/m<sup>3</sup>であった(実労働時間を 6 時間/日として算出)。

続いて行ったカラマツの天然更新誘導のための地表処理作業の生産性は平均 275m<sup>2</sup>/時で、コストは平均 235 千円/ha であった(表-2)。一方、植栽の生産性は、裸苗の丁寧植えが 2 人の作業員の平均で 53 本/時であったのに対して、唐鋤によるコンテナ苗植栽は約 1.4 倍の 72 本/時であった(図-2)。しかし、両者の苗木代を比較すると、運賃・消費税込で裸苗が 82 円/本であるのに対して、コンテナ苗はその 2.4 倍相当の 194 円/本である(表-2)。そのため、植栽にかかるコストは、2,400 本/ha 植栽の場合、裸苗が 311 千円/ha, コンテナ苗が 550 千円/ha と試算された。

これらの結果から、初期段階における更新コストは、天然更新<裸苗植栽<コンテナ苗植栽と判断された。なおこの後、裸苗及びコンテナ苗植栽区において度重なる野鼠害を受け大半の植栽木が枯死したことから、下刈り、除伐も含めたコスト評価は困難であった。野鼠害を助長した原因は、地表処理による枝条やササの根系及び土壌を集積した棚が、野

鼠の生息地として機能したこと(山田ら 2018)と考えられた。

## 2.2 カラマツ種子の落下量と落下範囲

### 2.2.1 調査方法

カラマツの種子落下量と落下範囲を把握するため、前述の南牧県有林の帯状伐採地(以下、南牧)、及び北相木村有林の小面積皆伐地(以下、北相木、図 2-4)において、2014 年 9 月 29 日に各伐採帯にシードトラップを設置した。トラップ数は、南牧では 10m 伐採帯に 5 基、20m に 15 基、40m に 35 基の計 55 基とし、天然更新区に 33 基、植栽区に 22

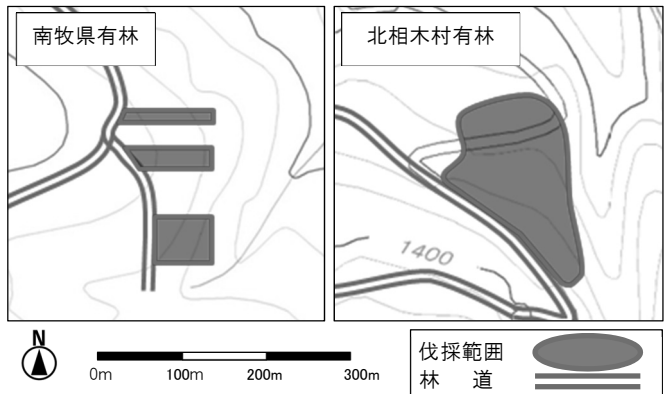


図 2-4 カラマツ天然更新施業地の概略図

基の配分でそれぞれ均等に設置した。また、北相木では、伐採地の中央部から林縁に向かって13基、林縁部に21基、計34基とした。トラップに捕捉された種子はおおむね2週間ごとに回収し、同年12月5日まで調査を続けた。

### 2.2.2 結果及び考察

南牧県有林のカラマツ種子の落下は、11月下旬以降には急速に少なくなった(図2-5)。各伐採帯における平均種子落下密度は、10m帯で52粒/m<sup>2</sup>、20m帯で39粒/m<sup>2</sup>、40m帯で31粒/m<sup>2</sup>となり、伐採幅の拡大とともに減少する傾向にあった。この原因は、伐採幅が狭いほど残存帯に存在する母樹からの距離が近く、かつ母樹の密度が高まるためと考えられた。また、20m・40mの各伐採帯内における種子落下密度の分布は、伐採帯中央より林縁に近い方がやや密度が高い傾向がみられた(図2-6)。しかし、帯内における密度差は大きくなく、40m程度までの伐採幅であれば、種子は両側の残存帯から伐採帯内にほぼ均一に供給されると考えられた。

北相木においても、南牧と同様、10月中旬～11月中旬の種子落下量が多かった(図2-7)。また、林縁

からの距離が遠くなるにしたがって種子密度は減少する傾向が見られたものの、林縁から最も遠かった42mの位置でも34粒/m<sup>2</sup>の密度で供給されていた(図2-8)ことから、カラマツ種子は概ね樹高の2～2.5倍まで落下することが確認できた。今後は、カラマツ種子の豊凶と種子落下量の関係、落下限界距離、林縁からの距離と発芽率との関係等について調査する必要がある。

### 2.3 カラマツ実生の消長

#### 2.3.1 調査方法

カラマツ天然更新の誘導により、カラマツ実生が発生し生残するのかわらかにするため、2カ所の試験地において実証試験を行った。試験地は、種子落下量調査と同様、南牧県有林(標高1,580m、伐採時67年生)と北相木村有林(標高1,380m、伐採時63年生)に設定した。南牧では帯状伐採、北相木では小面積皆伐を実施し、種子が落下する前の9月に地表処理を行った。伐採翌年にカラマツ実生発生を確認(写真2-1)し、南牧では、2015年6月26日に2m×2mのコドラートを各伐採帯の中央部に各4カ所、20m・40m伐採帯の北側林縁及び南側林

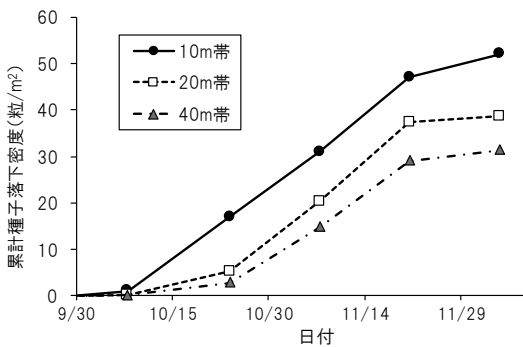


図2-5 各伐採帯におけるカラマツ種子の累計落下密度の推移(南牧)

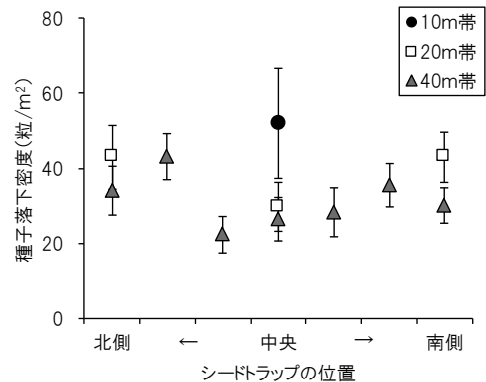


図2-6 各伐採帯におけるカラマツ種子の落下密度(南牧)

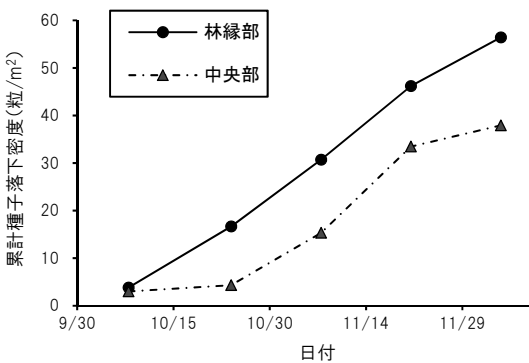


図2-7 伐採地の林縁及び中央部におけるカラマツ種子の累計落下密度の推移(北相木)

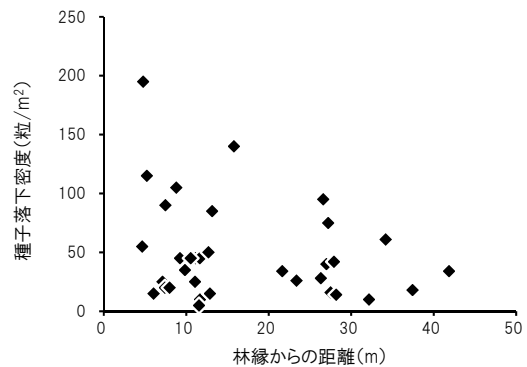


図2-8 林縁からの距離と種子落下密度の関係(北相木)

縁から5m中央寄りの各4カ所、計28カ所に設定した。北相木では、2015年6月5日に2m×2mのコドラートを全伐採帯の中央部に13カ所、林縁部に21カ所、計34カ所に設定し、さらにその中を4分割してカラマツ実生の発生数を調査した。両試験地での各コドラートでは、実生の数と樹高を毎年秋に測定した。

### 2.3.2 結果及び考察

カラマツ実生の発生量は、带状伐採地（南牧）では伐採幅が狭いほど多く、小面積皆伐地（北相木）では中央部より林縁部の方が多い（図2-9）。母樹からの距離が影響していると考えられた。実生発生から4成長期が経過した2018年秋には、南牧では7,000～73,000本/haの実生が残存していた。一方、北相木ではかき起こしを行いA層土壌が露出した部分では16,000～32,000本/haの実生が残存していたものの、かき起こしの結果生じた棚の上やそれらの脇では、競合植生の旺盛な繁茂により実生が被圧され消滅していた。また、競合植生が生えにくい林道路肩でも4,000本/ha程度の実生が残存していた。これらのことから、実生の生残は競合植生の多寡に影響を受けやすく、標高が高いことやかき起こし強度が強いこと、土壌の圧密化等の条件が競合植

生を抑制する方向に働き、実生生残の可能性を高めていると考えられた。

また、2018年秋のカラマツ実生の平均樹高は、南牧の带状伐採地では伐採幅40mの北部林縁と中央、伐採幅20mの中央において高い傾向が認められ、4成長期を経て50cm前後まで成長した（図2-10）。これらは各伐採帯において測定した相対光量子束密度とほぼ比例していたが、最も平均樹高が低かったのは伐採幅40mの南側林縁であり、光環境はそれほど悪くないものの冬季の凍上被害が多かったことが影響したものと考えられた。北相木の小面積皆伐地では伐採地中央の地表かき起こし部分におい



写真 2-1 発生したカラマツの実生  
(南牧, 2015年6月26日)

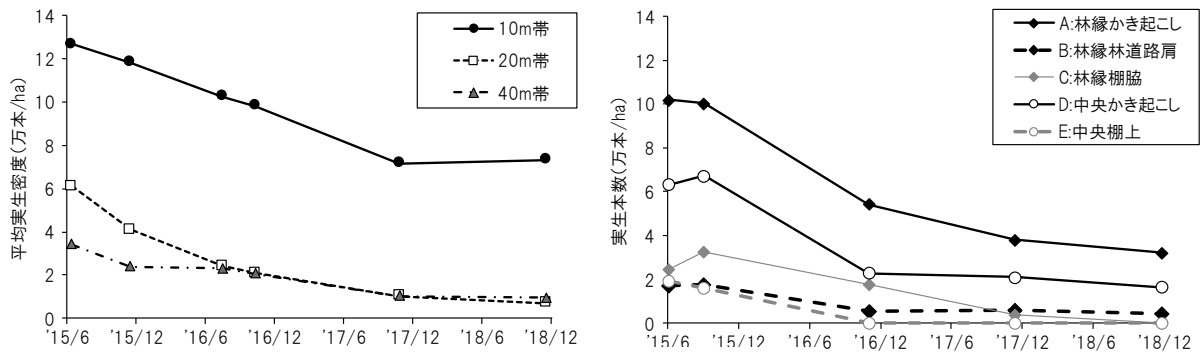


図 2-9 カラマツ実生の本数密度の推移

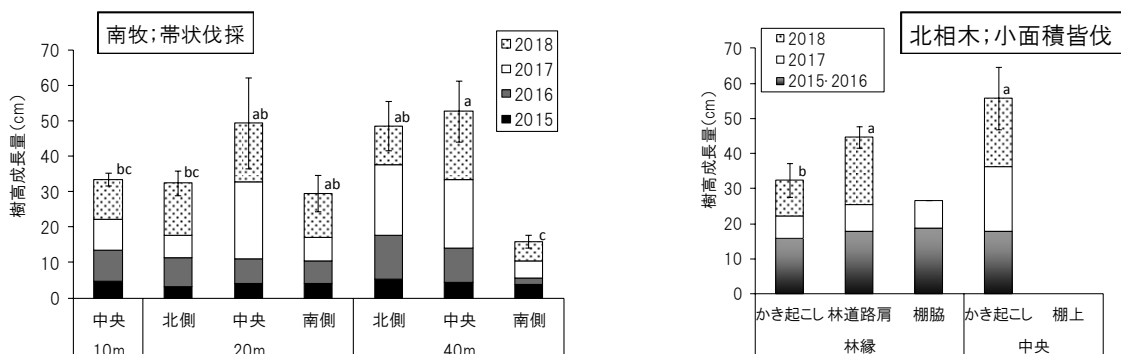


図 2-10 カラマツ実生の平均樹高

(Bonferroni の多重比較検定, 同一符号を含まない区間で有意差あり,  $P < 0.05$ )

て最も平均樹高が高く 56cm であった。南牧, 北相木とも競合植生との競争を脱するには樹高が少なくとも 1.5m 程度に達する必要がある, 天然更新の成否を判断するにはあと数年を要すると考えられる。

### 3 カラマツ天然更新材の特性調査

#### 3.1 天然更新林分と人工植栽林分の年輪構成

##### 3.1.1 調査方法

天然更新材と人工植栽材の年輪構成を比較するため, 2015年10月に, 北佐久郡御代田町に位置する浅間山国有林に成立した30年生カラマツ天然更新林分(2027わ林小班:以下,天然)及び隣接する同齢のカラマツ人工林(2027か林小班:以下,人工)から,各40本ずつ元玉3mの丸太を採取した。各40本のうち,20本は4寸角柱材を採材できる径級(A区分:末口径20cm以上),もう20本は3寸角柱材を採材できる径級(B区分:同16cm以上)を想定して選木した(表3-1)。すべての丸太の元口と末口から3cm厚の円盤を採取し,年輪解析装置(VELMEX社製TA Measurement System)により年輪幅を測定した。測定した年輪の中心から15年輪分を未成熟材とし,その外側を成熟材として,それぞれの年輪幅,面積,3m材における体積を算出し,

天然更新材と人工植栽材の年輪構成を比較した。

##### 3.1.2 結果および考察

天然(N)と人工(P)のA区分の3m材元口の平均年輪幅は,未成熟材では有意差が認められなかったものの(図3-1,3-2),成熟材では有意差が認められた(図3-1,t検定, $p<0.01$ )。しかし,小径材であるB区分では,未成熟材,成熟材とも有意差が認められなかった。また,3m材末口の年輪幅は,A,B両区分において,未成熟材,成熟材とも天然と人工に差は認められなかった。今回サンプリングを行ったカラマツ天然更新林分は,下刈りによって立木密度が平均で6,400本/ha程度にまで低下しており(小須田・杉村2009),年輪幅に影響を及ぼすほどの高密度ではなくなったと推察され,このため生育初期の年輪幅に人工林との差が生じなかったと考えられた。A区分の天然更新材の成熟材年輪幅が有意に大きかったのは,除伐や1998年の雨水害によって局所的に密度が人工林以上に低下したためと推察される。また,元口の成熟材面積割合(%),3m材の成熟材体積割合(%))についても,差が認められなかった(図3-3,3-4)。以上のことから,カラマツ天然更新林分において未成熟材割合が低い木材を得るためには,少なくとも更新後15年程度は十分に高い立木密度を保つことが必要であ

表 3-1 天然更新林分と人工植栽林分の年輪構成比較試験における供試木データ

	試験区名	供試数	発生年・植栽年	サンプリング時の樹齢	平均樹高(m)	平均胸高直径(cm)
天然更新	NA	20	S61(1986)	29	18.9	24.4
	NB	20	S61(1986)	29	16.7	17.8
人工植栽	PA	20	S63(1988)	29	18.2	24.3
	PB	20	S63(1988)	29	16.7	18.0

※P…人工植栽, N…天然更新, A…4寸角柱材用, B…3寸角柱材用

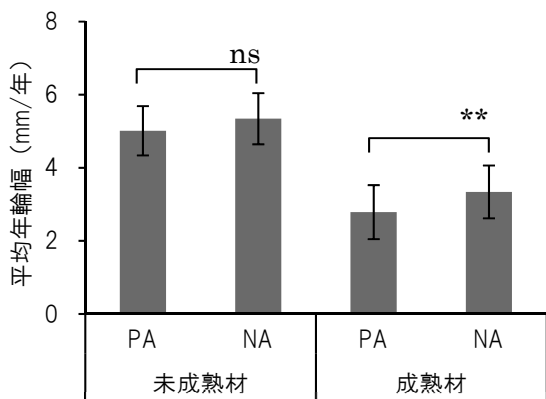


図 3-1 元口における未成熟材, 成熟材の平均年輪幅 (A 区分: DBH20-28cm)

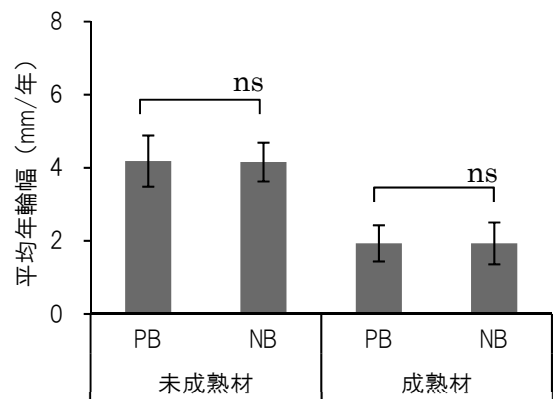


図 3-2 元口における未成熟材, 成熟材の平均年輪幅 (B 区分: DBH16-20cm)

り、今後は様々な天然更新林分における密度と年輪幅の関係を明らかにする必要がある。

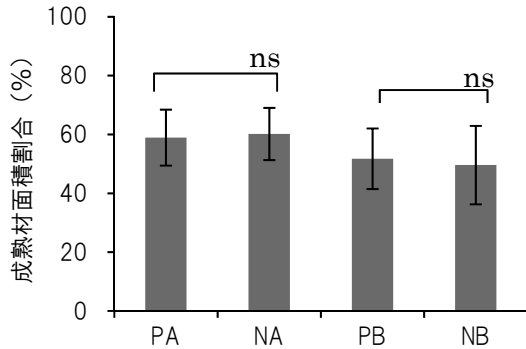


図 3-3 元口における成熟材の面積割合

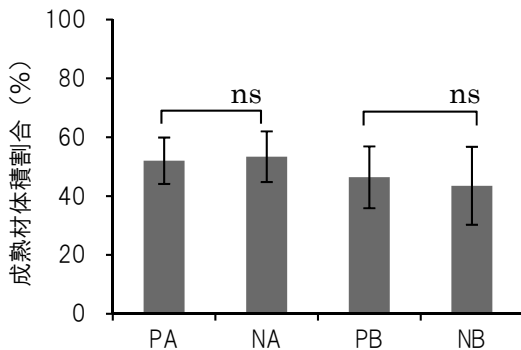


図 3-4 元玉 3m 材における成熟材の体積割合

### 3.2 天然更新材と人工更新材の乾燥及び強度の特性

#### 3.2.1 調査方法

試験体は 3.1.1 と同様、浅間山国有林において昭和 61 年(1986 年)に天然更新により発生したカラマツ林及び隣接林分で人工植栽した同齢のカラマツ林の間伐材とした。各林分から、胸高直径 20~28cm を 20 本、16~20cm を 20 本選木し、合計 80 本を試験体とした。

次に、丸太の段階で、末口木部の短径・長径、元口木部の短径・長径及び丸太の長さを mm 単位で測定した。また、クレーンスケールで丸太を吊るして重量を 0.5kg 単位で測定し、ハンディングレーダー HG-2001 を用いて丸太の縦振動数を Hz で測定し、動的ヤング係数 (Efr) を計算した。

次に、胸高直径 20~28cm の丸太は、120mm 及び 145mm の心持ち正角材各 10 体に製材し、その内丸身等の少ない材について、寸法、重量、含水率計含水率、縦振動数を測定した。測定の終了した正角材

各 20 体と胸高直径 16~20cm の丸太各 20 体は、曲げ強度試験に供するため小林木材(株)の土場で 2016 年 2 月より天然乾燥を開始し、約 18 か月経過した 2017 年 9 月に天然乾燥を終了とし、再度、寸法等を測定した。

正角材の曲げ試験体 (40 体) は、長さ 3,000mm 超の製材の一端から 2,400mm までの部分とした。曲げ試験体の鋸断時には、その隣接部から含水率試片を 1 枚切り出し、全乾法による含水率、比重、平均年輪幅を測定した。正角材曲げ試験体は、モルダーで、105mm 角及び 120mm 角に仕上げ後、再度、寸法等を測定した。

一方、丸太曲げ試験体 (40 体) については、長さ調整は行わず曲げ試験を実施した。試験終了後、材端部木口面より約 1m の位置で含水率試片を 2 枚ずつ切り出し、各 1 枚については、全乾法による含水率、比重、平均年輪幅を測定し、残り 1 枚の約半数は、水分傾斜の測定に供した。

曲げ試験は、実大材曲げ強度試験機 UH-1000kN(島津製作所製)を用いた。105mm 角正角材は、下部支点間距離 (以下スパン) 1890mm、上部荷重点間距離 630mm、120mm 角正角材はスパン 2160mm、上部荷重点間距離 720mm の 3 等分点 4 点荷重方式で実施した。一方、丸太試験体は、スパン 2700mm、上部荷重点間距離 900mm の 3 等分点 4 点荷重方式で実施した。丸太試験体の試験機への設置は、最大矢高が凸型となるよう試験体を設置しその矢高を測定した。

#### 3.2.2 結果及び考察

##### (1) 丸太の動的ヤング係数

天然更新材の調査結果の概要を表 3-2 に、人工林材の調査結果の概要を表 3-3 に示す。天然更新材と人工林材では、胸高直径 20~28cm の丸太及び胸高直径 16~20cm の丸太の末口径、元口径、丸太材積、重量に大きな違いは見られなかった。Efr については、平均値と最大値、最小値を図 3-5 に示し、順位化した Efr を図 3-6 に示した。天然更新材の胸高直径 20~28cm の Efr の平均値が最小値を示したが、有意差はなかった (一元配置分散分析法)。

##### (2) 正角材の曲げ強さ

乾燥後の測定結果では、ねじれ、曲がり、比重、平均年輪幅、Efr において、天然更新材と人工植栽材には有意差はなかった (t 検定)。また、曲げ強度試験結果においても、見かけのヤング係数、真の曲

表 3-2 天然更新材の調査結果の概要

天然更新材 (16~20cm)	末口平均径 (mm)	元口平均径 (mm)	平均径 (mm)	材積 (m <sup>3</sup> )	重量 (kg)	Efr (kN/mm <sup>2</sup> )
平均	146	179	163	0.063	49.4	10.82
標準偏差	12	14	13	0.010	7.5	1.71
変動係数(%)	8.5	8.0	7.7	15.3	15.2	15.8
最小	121	154	142	0.048	35.5	6.63
最大	162	208	184	0.080	62.5	13.83
データ数	20	20	20	20	20	20

天然更新材 (20~28cm)	末口平均径 (mm)	元口平均径 (mm)	平均径 (mm)	材積 (m <sup>3</sup> )	重量 (kg)	Efr (kN/mm <sup>2</sup> )
平均	208	260	234	0.131	100.5	10.10
標準偏差	21	30	25	0.028	20.5	1.18
変動係数(%)	10.2	11.5	10.5	21.3	20.4	11.7
最小	174	208	193	0.089	71.0	7.96
最大	246	312	277	0.181	131.5	11.83
データ数	20	20	20	20	20	20

表 3-3 人工林材の調査結果の概要

人工林材 (16~20cm)	末口平均径 (mm)	元口平均径 (mm)	平均径 (mm)	材積 (m <sup>3</sup> )	重量 (kg)	Efr (kN/mm <sup>2</sup> )
平均	146	182	164	0.064	51.5	11.07
標準偏差	12	20	12	0.009	9.9	1.44
変動係数(%)	8.5	10.8	7.3	14.6	19.2	13.0
最小	121	149	145	0.050	32.0	8.92
最大	162	213	182	0.079	66.0	13.65
データ数	20	20	20	20	20	20

人工林材 (20~28cm)	末口平均径 (mm)	元口平均径 (mm)	平均径 (mm)	材積 (m <sup>3</sup> )	重量 (kg)	Efr (kN/mm <sup>2</sup> )
平均	201	244	223	0.119	94.5	10.60
標準偏差	16	24	19	0.020	15.1	0.88
変動係数(%)	7.8	9.6	8.6	17.0	16.0	8.3
最小	177	210	199	0.094	67.6	8.65
最大	232	284	257	0.154	120.0	12.38
データ数	20	20	20	20	20	20

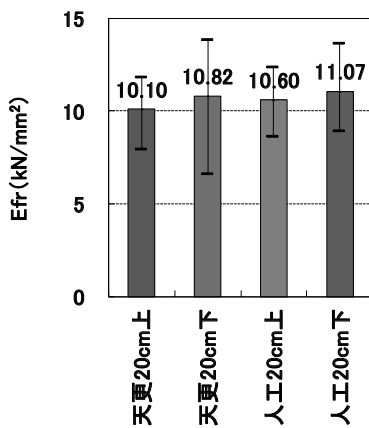


図 3-5 丸太の Efr

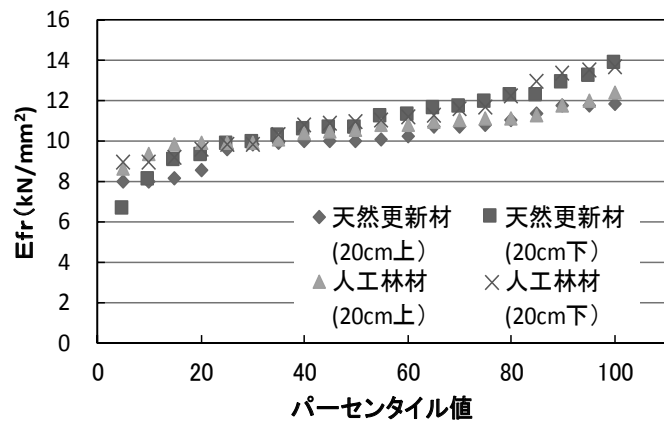


図 3-6 丸太 Efr の順位化

げヤング係数, 曲げ強さにも有意差はなかった (t 検定)。

(3) 丸太材の曲げ強さ

乾燥後の測定結果では, 全乾法含水率, 全乾比重, 平均年輪幅, 矢高, Efr において, 天然更新木と人工植栽木には有意差はなかった (t 検定)。また, 曲げ強度試験結果においても, 見かけのヤング係数, 曲げ強さにも有意差はなかった (t 検定)。

(4) 成熟材率と曲げ強さの関係

各試験体の木口断面内の一定の年輪以上の占める割合 (成熟材率) と曲げ強さの関係を検討した。正角材については, 各試験体の 10 年輪以上の割合を成熟材率として曲げ強さとの関係を図 3-7 に示し, 丸太材について, 各試験体の 15 年輪以上の割合を成熟材率として曲げ強さとの関係を図 3-8 に

示した。105mm 角, 120mm 角の正角材曲げ試験体においては, 成熟材率の割合が高くなると曲げ強さが高くなる傾向が確認された。また, 丸太材曲げ試験体においても, 成熟材率の割合が高くなると曲げ強さが高くなる傾向が確認された。

以上のように, カラマツ天然更新材と人工植栽材の強度特性を調査した結果, 両者の比重, 平均年輪幅及び曲げ強さ等で統計的な差は確認できなかった。これは, 天然更新木においても, 隣接した人工植栽木とほぼ同様の下刈り等保育作業が行われ, 成立本数に大きな差がなくなり, 結果として未成熟材・成熟材の割合に差が生じなかったためと推察された。ただし, 各試験体においては, 木口断面内の成熟材率が高くなると曲げ強さも高くなる傾向が確認された。



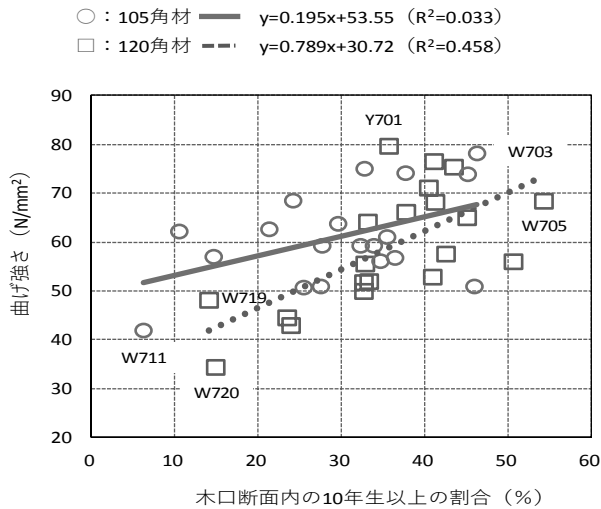


図 3-7 正角材曲げ試験体の木口断面の 10 年輪以上の割合と曲げ強さの関係

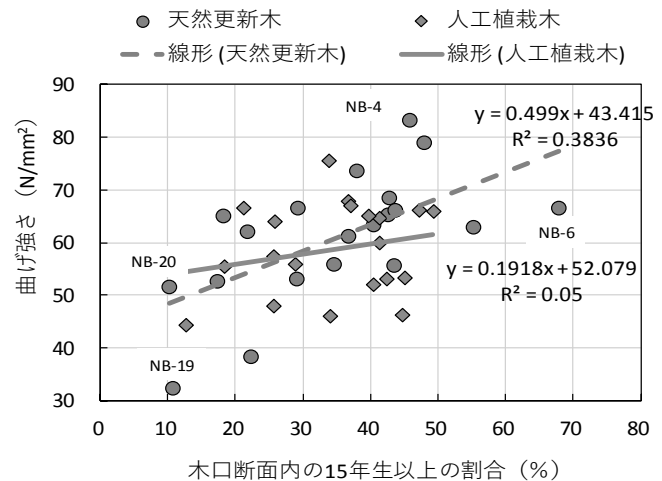


図 3-8 丸太材曲げ試験体の木口断面の 15 年輪以上の割合と曲げ強さの関係

#### 4 まとめ

本研究では、複数の施業等を組み合わせることによって天然更新の誘導が可能であることを示すことができた。また、カラマツ天然更新材の強度特性に関しては、人工植栽との差は見出せなかったものの、未成熟材と成熟材の割合が強度に影響を及ぼすことが確認できた。

本研究によって、カラマツの天然更新が再生林の選択枝のひとつとして新たに加わり、造林コストの低減につながるものと考えられる。今後は、天然更新のみでなく、材質に着目したカラマツの高密度植栽による施業体系の検討も必要である。

#### 謝辞

本研究の実施にあたっては、(有)中島林業、南佐久中部森林組合、小林木材(株)、林野庁中部森林管理局、同東信森林管理署、南牧村役場、北相木村役場、長野県佐久地域振興局林務課、長野県林務部森林づくり推進課の皆様にご多大なるご協力をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。なお、本研究は JSPS 科研費 JP26450222 の助成を受けたものです。

#### 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

五十嵐恒夫・矢島崇・松田彊・夏目俊二・滝川貞夫 (1987)カラマツ人工林の天然下種更新. 北海道大学農学部演習林研究報告 44(3): 1019-1040

今井信・吉田孝久・奥原祐司・山口健太・大矢信次郎 (2018)カラマツの天然更新木と人工植栽木の曲げ強度特性. 第 68 回日本木材学会大会講演要旨集:

小山泰弘・小山桂子 (2002) 放置されたスキー場における 20 年間の植生変化. 志賀自然教育研究施設研究業績 39: 1-6.

小須田啓(1997)浅間山麓におけるカラマツの天然更新について. 林業技術 665: 28-29

小須田啓・杉村智春 (2009) 浅間山麓におけるカラマツの天然更新について (中間報告). 平成 20 年度中部森林技術交流発表集: 6-11.

小沢準一郎(1962)針葉樹のタネ生産と管理一. 地球出版 451pp

長野県林務部 (2019) 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/r1.html>) 2020.1.28

中川昌彦 (2014) 過去に報告された道内のカラマツ天然更新地の現況. 北海道林試研報 51: 13-30.

清水香代・大矢信次郎 (2017) カラマツ天然更新地における種子散布と実生発生の関係. 第 128 回日本森林学会大会学術講演集: 255

大矢信次郎・斎藤仁志・大塚大・城田徹央 (2015) 伐採・造林一貫作業による再生林コスト低減の検討. 第126回日本森林学会大会学術講演集:

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 (2016) 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(5): 233-240.

大矢信次郎・清水香代 (2017) カラマツ人工林におけるカラマツ天然更新の誘導—実生の消長とコスト—. 第128回日本森林学会大会学術講演集: 208

Oya, S. and Shimizu, K. (2018) The induction from Japanese larch (*Larix kaempferi*) man-

made forest to naturally regenerated larch forest -Comparison of the cost with artificial regeneration-. FORMEC Spain 2018 51st Edition of the International Symposium on Forestry Mechanization PROCEEDINGS: 468

山田健・佐々木尚三・倉本恵生・上村章・原山尚徳・宇都木玄・斎藤丈寛 (2018) 地拵え用クラッシュの作業性能と造林作業にもたらす効果. 森利誌 33(1):67-71.

柳原利夫・棚秋一延・荒井国幸 (1960) カラマツ結実の豊凶と気象の関係について. 日林誌 32(10): 347-351