

# 技術情報

No.170  
2023.3

令和4年度カラマツ林業等研究会特集

長野県林業総合センター



新型コロナウイルス感染症対策のため、2021年から研究発表会の開催を見送っていたため、今回は2年振りの開催となりました。当日は140名の方にご参加いただきました。

## もくじ

1	ドローンによるクマ剥ぎ被害木の把握 —AIを活用した自動抽出による被害把握の省力化について—	2
2	急傾斜地で萌芽更新した広葉樹3種の幹傾斜	6
3	広葉樹の建築構造材料利用に向けた課題と研究	10
4	高密度植栽・短伐期によるカラマツ杭材生産の試み —現地適応化実証試験の取組から—	14
5	信州カラマツ大径材の非住宅・中大規模木造建築物での利用に向けて	18
6	近年のカラマツ林業研究会の活動からみた森林・林業の動向	22

## ドローンによるクマ剥ぎ被害木の把握

### － AI を活用した自動抽出による被害把握の省力化について －

北信森林管理署 主事 朝日 莞二、信州大学 陌間 芳野

#### 要旨

北信森林管理署管内に設置したセンサーカメラのクマの撮影頻度が増加し、合わせてクマ剥ぎ被害が顕著となる一方で、踏査によって広範囲のクマ剥ぎ被害を把握するのは困難である。中部森林管理局と信州大学農学部との協定に基づき、霊仙寺山国有林において、ドローンによる空撮画像からAIを用いてクマ剥ぎ被害木を自動抽出する技術を検証した。高い精度でクマ剥ぎ被害木を抽出することが可能であり、今後の施業や被害対策への活用が期待される。

#### はじめに

北信森林管理署は長野県飯山市に位置しており、約 48,800ha の国有林野を管理している。そのうち約 9,150ha が人工林であり、樹種構成はカラマツ 60%、スギ 37%、ヒノキ 2%、その他 1% である。有害鳥獣の生態及び行動把握のために平成 26 年度からセンサーカメラを設置しており、平成 30 年度から令和 3 年度にかけてクマの撮影頻度が増加していることから、クマの個体数が増加している可能性がある（表 1、写真 1）。また、管内では以前からクマ剥ぎ被害があることは知られていたが、収穫調査や各事業の完了検査、林野巡視など業務中にクマ剥ぎによる枯死木を確認することが多くなったといわれている（写真 1）。

表 1 センサーカメラによるクマの撮影頻度

年度	累計カメラ稼働日数	合計撮影回数	撮影頻度
平成 30	4,494	56	0.0125
令和元	4,342	85	0.0196
令和 2	8,013	192	0.0240
令和 3	5,555	288	0.0518

$$\text{撮影頻度} = \frac{\text{合計撮影回数}}{\text{累計カメラ稼働日数}}$$

※年度ごとにカメラの設置箇所及び設置台数は異なる。  
 ※同時に 2 頭撮影された場合は 2 回とカウントした。



写真 1 クマ及びクマ剥ぎ被害木

（左）霊仙寺山国有林（信濃町）令和 4 年 4 月 23 日センサーカメラにより撮影

（中央）霊仙寺山国有林（信濃町）令和 3 年 5 月 16 日撮影

（右）黒姫山国有林（信濃町）令和 3 年 9 月 16 日ドローンにより撮影

クマ剥ぎは、クマが歯や爪で樹皮を剥がすことを指し、管内では特にスギに顕著に見られる。材の変色や腐朽、樹木の枯死を引き起こし、木材としての市場価格が著しく低下するため、経済損失に繋がる。業務中にクマ剥ぎ被害木が確認された小班の林地面積を集計すると、約 1,345ha となった（表 2）。管内スギ林の全面積 3,278ha のうち、約 4 割の箇所被害が確認されたことになる。

表 2 管内スギ林のうち業務中にクマ剥ぎ被害木が確認された林地の面積

管内スギ林全面積 (ha)	被害木が確認された小班の林地面積 (ha)	被害率 (%)
3,278.00	1,345.14	41.0

被害の有無を記録できたのは業務中に確認できた林地のみであり、実際の被害箇所は更に多い可能性がある。しかし、踏査によって広範囲のクマ剥ぎ被害の全容を把握するには多大な労力と時間がかかり、現実的には困難である。

そこで、信州大学農学部との連携協定に基づき本課題に対する検討を行った。中部森林管理局と信州大学農学部は平成 25 年度から連携協定を結んでおり、当署としても森林計測・計画学研究室と平成 30 年度からスマート精密林業技術の共同開発を行っている。同研究室において、国有林野のフィールドを活用して調査を行い、ドローンによる空撮画像から AI を用いてクマ剥ぎ被害木を自動抽出する技術を検証した。

## 1 調査地

調査地は、長野県上水内郡信濃町に位置する霊仙寺山国有林 1033 林班である（図 1）。39～41 年生のスギ人工林で、クマ剥ぎ被害が確認されている。プロットを 3 箇所を設定し、現地調査を実施した。

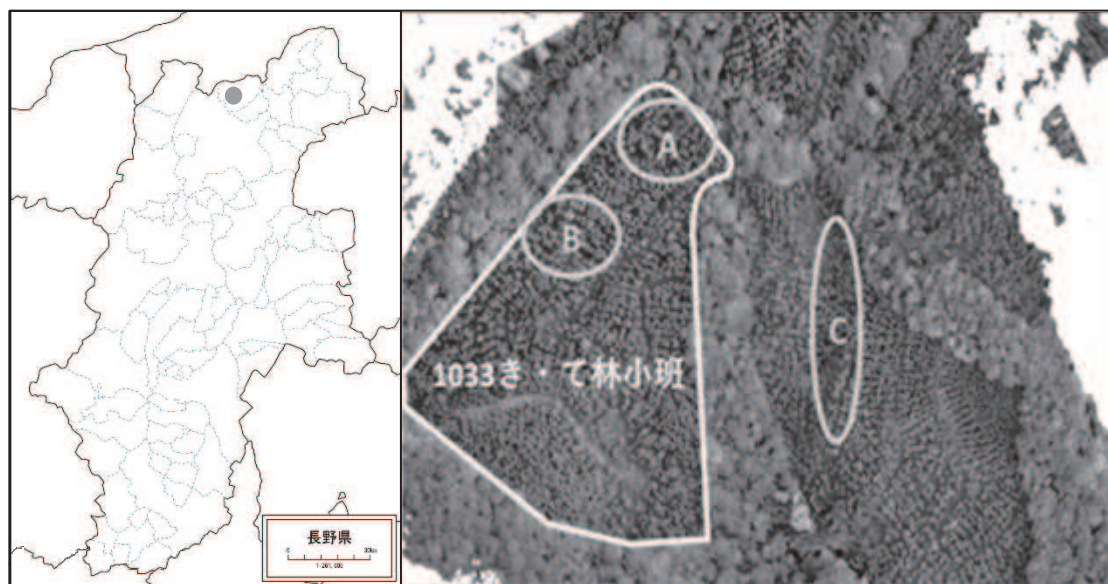


図 1 調査地

- ：霊仙寺山国有林 1033 林班（長野県上水内郡信濃町）
- プロット A：0.19ha   モデル検証   現地調査あり
- プロット B：0.43ha   モデル作成   現地調査あり
- プロット C：0.70ha   モデル作成   現地調査あり
- き・て林小班：5.96ha   剥皮状況予想   現地調査なし

## 2 使用ツール

調査に使用した機材は表3、写真2のとおり。

表3 使用機材・ソフトウェア

使用機材・ソフトウェア	使用作業
Geo 7 X (Trimble 社) TRUPULSE 360R (LASER TECHNOLOGY 社)	調査木の位置測定
Phantom 4 RTK (DJI 社)	ドローン空撮
Metashape (Agisoft 社) QGIS	オルソ画像の作成 画像解析
MATLAB (MathWorks 社)	健全木と被害木の 自動分類



写真2 Phantom 4 RTK

## 3 調査方法

### 3.1 現地調査

プロットA～Cで剥皮状況調査を行い、立木位置と剥皮の有無を記録した。その後ドローンで調査地を空撮し、撮影画像を補正して繋ぎ合わせることで一枚のオルソ画像を作成した。

### 3.2 データセットの作成

現地調査により取得した立木位置情報に剥皮の有無を紐付けし、次にオルソ画像から樹冠を切り出した。自動分類モデルを構築するための学習用データは数が多い方が精度が高くなる傾向にあるため、1本の立木から9種類の樹冠抽出方法を用いて樹冠を切り出した。

用いた樹冠抽出方法は、7種類のサイズの円形バッファ・樹冠抽出によく用いられる Watershed 法・目視での樹冠縁取りの9種類である。

本研究では色を特徴量としたため、切り出した樹冠内で赤緑青それぞれ5個ずつ、合計15個の特徴量を指定し抽出した。重回帰分析を用いてどの特徴量が健全木と被害木の分類に影響を与えているのかを分析し、関連度が高いとの結果を得た「緑平均値・赤平均値・緑範囲・青範囲・緑中央値」の5種類の特徴量を用いて自動分類を行った。

### 3.3 モデル構築

前項により作成した学習用データセットを用いてモデル構築を行った。構築されたモデルと検証用データセットの特徴量を用いて剥皮の有無を推定し、推定結果と検証用データセットの正解データ（剥皮の有無）を用いて精度を検証した。

また、作成したモデルを1033き・て林小班に適用し、広域での剥皮状況予想を行った。

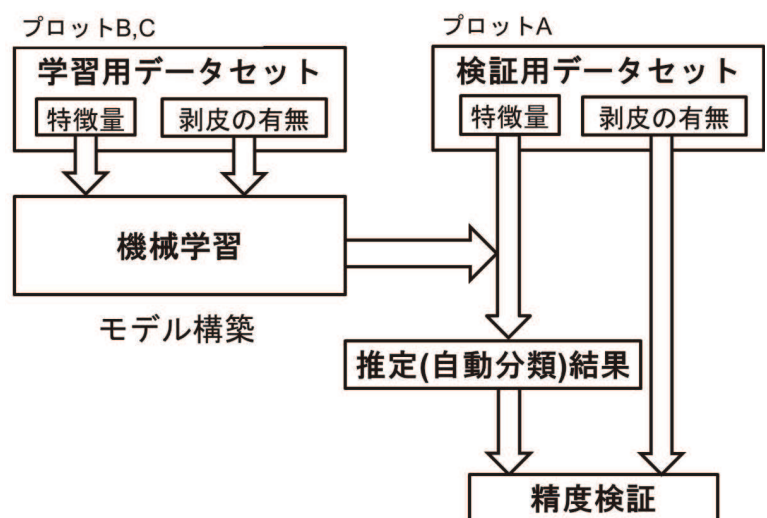


図2 モデル構築フローチャート

#### 4 結果と考察

検証に用いた 100 本の立木のうち 80 本について現地調査結果と自動分類の推定結果が一致し、構築された自動分類モデルの正解率は 80%となった。

誤分類された 20 本については、被害木を健全木として誤分類した場合は、樹冠全体が濃い色で樹冠内の色の差が小さい傾向があり、健全木を被害木として誤分類した場合は、樹冠内に変色が見られ、樹冠内の色の差が大きい傾向があった。こうした立木を色で分類することは困難であり、今後、誤分類立木を減らし、正解率を 100%に近づけるには色以外の新たな特徴量を検討する必要があると考えられる。

自動分類モデルを 1033 き・て林小班に適用した結果を図 3 に示した。青が健全木、赤が被害木の位置を示している。この区域では、健全木よりもクマ剥ぎ被害木の方が本数が多いと推測され、深刻なクマ剥ぎ被害地であることが予想された。

上記のように、作成した自動分類モデルは広域への適用が可能である。広域へ適用する場合は、ドローン空撮の際に取得した高さ情報から、局所最大値フィルタリングという手法を用いて樹頂点を抽出し、樹頂点をもとに樹冠を作成する。樹冠から特徴量を抽出し、自動分類モデルに適用すると図のような結果を得ることができる。

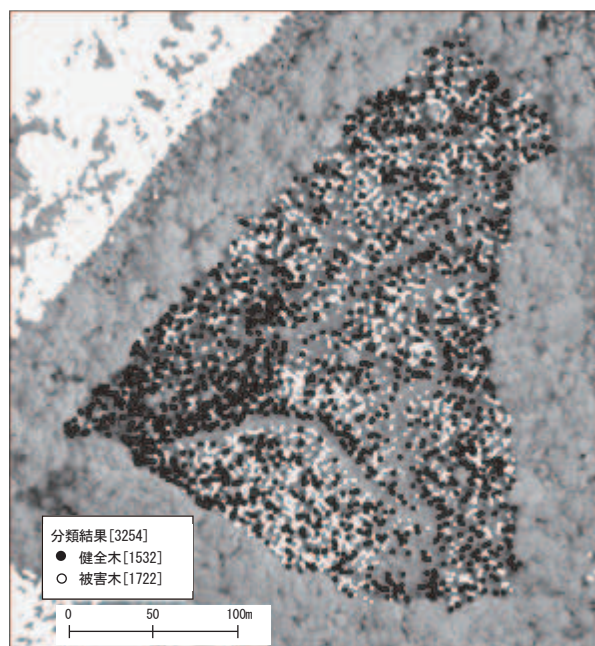


図 3 自動分類モデルによる剥皮状況予想  
(霊仙寺山国有林 1033 き・て林小班 : 5.96ha)

#### 終わりに

この技術を用いることで、短時間での作業が可能であり、作業自体の負荷も小さいため、広範囲における被害把握の省力化が可能となる。加えて上空からの調査となるため林内深くに立ち入る必要がなく、クマとの遭遇リスクを回避して作業者の安全を確保できる。また、小班ごとの被害状況の判定が容易に可能である。さらに同じ場所で継続的に調査することで、被害状況の推移を把握することも可能と考えている。活用の可能性としては、伐採計画等における低質材率の把握や、分収育林や分収造林、試験地等の被害の把握、ナラ枯れ・マツ枯れの調査、森林計画策定時の指針としての利用などが挙げられる。

クマ剥ぎ被害を受けていても樹冠が変色しない場合もあり、全ての被害を把握できる訳ではないが、AIにより統一的に判断できることや、およその被害率を把握できることで、今後の施業方法や被害対策の判断材料として、実用の可能性があると考えられる。当署としては、この技術を活用し、被害把握の省力化を行い、従来からの取り組みと併せ、クマ剥ぎ被害対策を進めていきたい。衛星画像やドローンなど ICT (情報通信技術) を活用したスマート精密林業の重要性は高まってきている。引き続き、信州大学をはじめ、関係機関と連携を密にして ICT を用いた技術開発に取り組みたい。

# 急傾斜地で萌芽更新した広葉樹3種の幹傾斜

信州大学大学院総合理工学研究科（修士課程） 大野田 直弥

## 1 はじめに

広葉樹材自給率が低い日本では、輸入減少や国内の需要増加に対応するために自給率の向上が求められている。これに対応するためには、現在の主な生産地である北海道や東北だけではなく、長野県を含めた広葉樹蓄積が多い本州内陸部や日本海側で生産量を増やすことが提案されている<sup>1)</sup>。

一方、家具・内装材や建築材に利用できる高品質材の生産には、あて材や材の曲がりが発生させ品質や材価を下げる幹傾斜が課題になる。幹傾斜は、日本に多く存在する傾斜地に発生した個体<sup>3,5)</sup>や、萌芽等に由来する複数の幹を持つ株立ち個体<sup>2)</sup>などの条件でよく確認されている。同様の条件では、樹冠可塑性という個体間の競争回避や光資源獲得に適した方向に樹冠を成長させる性質<sup>7)</sup>がよく発揮される。樹冠可塑性によって樹冠位置が偏ることで樹木が傾く<sup>6)</sup>ことが指摘されているが、個体全体の傾斜をもたらすこの性質に幹傾斜がどの程度影響されるのかは明らかになっていない。

従って本研究では、急傾斜地で萌芽更新した広葉樹林において幹傾斜に対する斜面傾斜と株立ち個体の影響を樹冠可塑性の観点から考察する。

## 2 調査地と方法

### 2.1 調査地

信州大学 AFC 手良沢山演習林 7 林班い小班と長野県上伊那郡箕輪町の民有林の 2 箇所に設置し、それぞれ手良プロット、萱野プロットとした。共に斜面傾斜は 35° 以上の急傾斜地で、林齢は 50 年生程度と同じである。手良プロットは林冠をコナラ、ミズナラ、クリ等の複数の種が林冠を優先する株立ち個体の多い非攪乱地である。一方、萱野プロットはコナラのみが林冠を優占し幹が 1 本の単幹個体が多いプロットである。これらの単幹個体は株立ち状に更新した複数幹を減らす伐採の結果である。この伐採を幹数整理と呼ぶ。

### 2.2 方法

現地調査で樹種、樹高、胸高直径を記録する毎木調査、個体位置の測量、8 方向の樹冠半径の計測を行った。株立ち個体については幹 1 本ごとに全ての項目を計測した。得られた 8 方向の樹冠端から水平投影樹冠を作成した。

個体全体の水平面での傾きを表現する手法として樹冠ベクトル<sup>8,9)</sup>を使用する。このベクトルは樹木の根元位置から水平投影樹冠の重心（以下、樹冠重心）までの水平距離と方向を持つ。株立ち個体の根元は癒合していて根元位置を正確に計測できなかったため、胸高位置で代用した。また、樹冠を構成する最も低い枝の発生位置（以下、枝下位置）を境界として個体を幹と枝に分け、それぞれの傾きの大きさと方向を表現する幹ベクトルおよび枝ベクトルを定義した。さらに、樹冠ベクトルを斜面方向とそれに垂直な等高線方向に分解し、それぞれ斜面ベクトルおよび等高線ベクトルと定義した。

## 3 結果

### 3.1 急傾斜地における樹冠可塑性

急傾斜地における樹冠可塑性の働きを調べるために、樹冠位置の移動方向と樹冠可塑性による競争緩和の有無について検討した。

調査を行った 2 つのプロットにおいて、幹および枝ベクトルは共に 1 個体を除いて斜面上方向へは向かず、両ベクトルを合わせた樹冠ベクトルは全ての個体で斜面下方向へ向いていた（図 1）。

株立ち個体の樹冠ベクトルについて見てみると、同じ株内の他の個体を避ける動きが見られた。

これは樹冠可塑性による競争回避に起因すると考えられた。統計的に表現するために最も近い他個体との距離（以下、最近隣接距離）を胸高位置と樹冠重心で比較した。より他個体との距離が離れる一様分布に近い分布であれば、最近隣接距離の平均値が大きくなる。t 検定を行った結果、両プロットにおいて胸高位置よりも樹冠重心の最近隣接距離の平均値が有意に大きくなった（表 1）。

### 3. 2 樹冠可塑性に寄与するベクトル

樹冠可塑性による個体全体の傾きを表現する樹冠ベクトルに対してどのベクトルが大きく寄与するかを調べるため、目的変数を樹冠ベクトル、説明変数を斜面ベクトルと等高線ベクトル、および幹ベクトルと枝ベクトルとして重回帰分析を行った。図 2 に目的変数に対する説明変数の重要度を表す標準化偏回帰係数の棒グラフを示す。

斜面ベクトルと等高線ベクトルでは、重回帰式の係数の推定値がそれぞれ 0.879, 0.573（共に  $p < 0.001$ ）と斜面ベクトルでやや大きくなった。標準化偏回帰係数はそれぞれ 0.91 ( $p < 0.001$ ), 0.08 ( $p = 0.508$ ) であり、斜面ベクトルの寄与が大きかった。

幹ベクトルと枝ベクトルでは係数の推定値がそれぞれ 0.979, 0.893（共に  $p < 0.001$ ）と幹ベクトルでやや大きかった。標準化偏回帰係数もそれぞれ 0.95 ( $p < 0.001$ ), 0.51 ( $p = 0.043$ ) であり、幹ベクトルの寄与が大きかった。

### 3. 3 幹傾斜と樹冠可塑性の関係

幹傾斜と樹冠可塑性による個体の傾きの関係を明らかにするため、それぞれを表現する幹ベクトルおよび樹冠ベクトルの大きさと方向を比較した。図 3, 4 に両ベクトルの大きさと方向をとった散布図を示す。

大きさと方向の両方でそれぞれ 0.722, 0.745 と正の相関係数が算出された (Pearson の積率相関検定,  $p < 0.001$ )。この結果は、幹傾斜と樹冠可塑性が関係した性質であることを示唆している。

### 3. 4 急傾斜地での幹傾斜に関わる要因

急傾斜地における幹傾斜に関わる要因を 3 点から解析した。

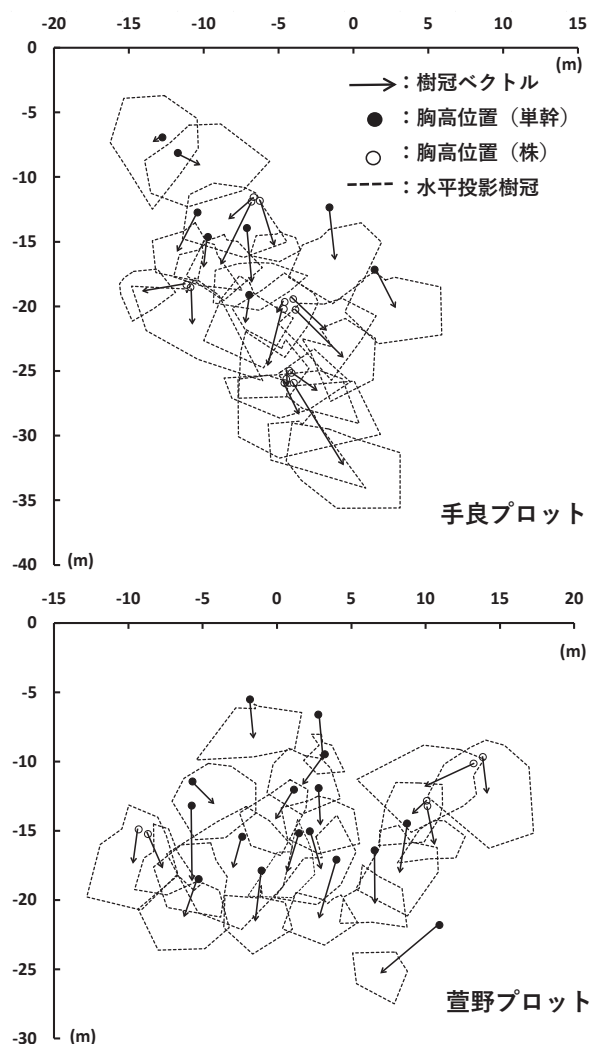


図1. 樹冠投影図および樹冠ベクトル  
図の下側が斜面下側である。

表1. 胸高位置と樹冠重心の最近隣接距離 (m) の比較

位置	手良プロット	萱野プロット
胸高	1.285 ± 1.449	2.090 ± 1.611
樹冠重心	2.714 ± 0.958	3.034 ± 1.018
統計量	t=3.859, p<0.001	t=2.323, p=0.025

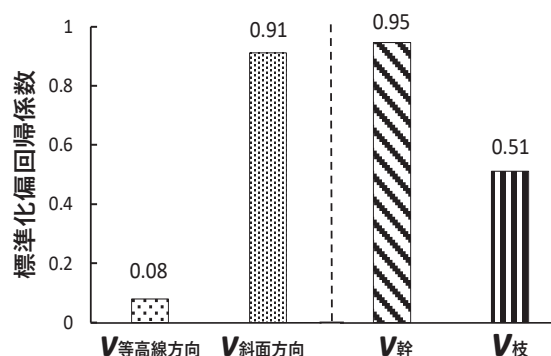


図 2. 標準化偏回帰係数

幹タイプを株立ち個体の斜面上側および下側に成立した株上幹・株下幹と根元から幹が1本のみ成立した単幹に分類した。幹数整理により幹が1本になった個体も単幹として扱っている。幹ベクトルの大きさ、すなわち幹傾斜の大きさを幹タイプごとに箱ひげ図に示した(図5)。多重比較の結果、株上幹の幹ベクトルの大きさは株下幹よりも有意に小さかった(一元配置分散分析およびTukeyの多重比較,  $p=0.026$ )。有意差はなかったものの、株上幹は単幹よりも幹ベクトルの大きさが小さい個体が多かった。

続いて、個体サイズと幹傾斜の関係を調べるため、幹ベクトルの大きさと胸高直径および樹高の相関関係を調べた(Spearmanの順位相関係数)。結果、胸高直径では $-0.645$ 、樹高では $-0.415$ と負の相関(共に $p<0.001$ )、すなわち個体サイズが大きいと幹ベクトルの大きさが小さくなる関係が見られた。

最後に両プロットの幹の傾斜角の分布をヒストグラムで示した(図6)。結果、萱野プロットでは手良プロットよりも幹傾斜角が大きい個体が少なかった。

#### 4 考察

樹冠可塑性による個体全体の傾きを表す樹冠ベクトルが全ての個体で斜面下方向に向いていたことや(図1)、樹冠ベクトルへの寄与が等高線ベクトルよりも斜面ベクトルで大きかったことから(図2)、樹冠可塑性による個体全体の傾きは斜面傾斜とその方向に大きく影響されることが示された。

また、個体の空間分布の解析(表1)では胸高位置よりも樹冠重心で他個体との距離が離れていることが示された。これは先行研究の結果とも一致する<sup>4)</sup>。この現象は競争を回避する方向に樹冠可塑性を働かせた結果と考えられる。

樹冠ベクトルと幹ベクトルの大きさおよび方向は相関関係を持つことが示された(図3, 4)。ベクトルの大きさに相関があったということは、樹冠ベクトルが大きい個体は幹ベクトルも大きくなることを示している。また、ベクトルの方向に相関があったということは、幹傾斜が樹冠可塑性による樹冠の移動方向に影響されていることを示している。以上から、幹傾斜は樹冠可塑性に影響を受ける形質であると推察された。

これまでの考察から、幹傾斜は樹冠可塑性による斜面傾斜への応答や競争回避に大きく影響を受けていると考えられた。樹冠可塑性は樹冠を移動させることで光資源の獲得効率を向上させて生産性を向上させる<sup>7)</sup>ものの、同時に幹傾斜を大きくすることで材としての品質低下を招くというトレードオフの関係に影響すると考察された。

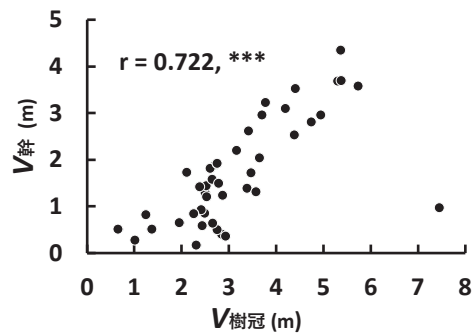


図3. 幹ベクトルと樹冠ベクトルの大きさの関係

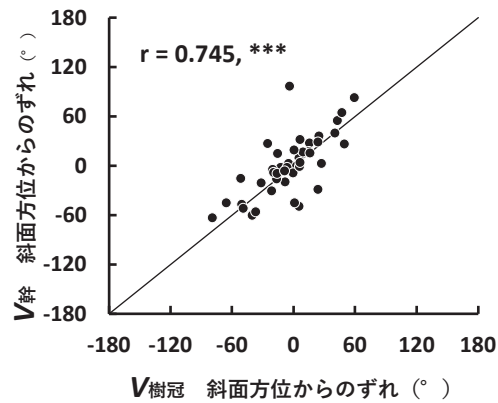


図4. 幹ベクトルと樹冠ベクトルの方向の関係  
0°が斜面下方向、±180°が斜面上方向を表す。

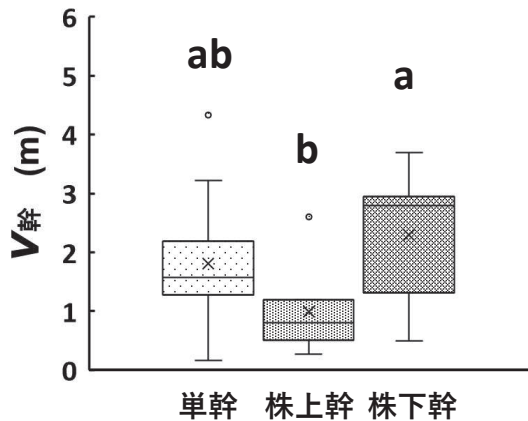


図5. 幹タイプごとの幹ベクトルの大きさ  
同じアルファベットの要素間は無差無し



株立ち個体の斜面上側の幹（株上幹）やサイズが大きい個体では幹傾斜が小さいことが示された（図5）。株上幹は株下幹と同様に斜面傾斜の影響を受けるものの、株下幹との競争を避けた結果として斜面下方向への大きな幹傾斜が起こらなかったと考えられる。サイズが大きい個体はもともと光資源を得やすく、樹冠を移動してまで資源を得る必要性が小さかったため、幹傾斜も小さくなったと推察された。幹傾斜角のプロット間比較では、萱野プロットで傾斜角が大きい個体が少なかった（図6）。個体の成立位置や斜面方位等の他の要因が関係している可能性もあるが、萱野プロットのように幹数整理を行って競合する他の幹を減らすことで、競争回避による樹冠の移動が抑えられ、幹傾斜が大きくならなかったと考えられた。

### 5 急傾斜地での高品質材生産の可能性

本研究では株上幹の幹傾斜は小さく、株下幹では大きいという結果が得られた。また、幹数整理により幹傾斜を抑制できる可能性が示された。以上から、急傾斜地では株下幹を伐採し、株上幹をあて材や曲がりの少ない高品質材として生産する整理伐が有効と考えられた。ただし、整理伐を行うと樹冠がそれまでよりも広い空間を利用できるようになるため、樹冠の成長次第では幹傾斜が大きくなる危険もある。そのため、整理伐を行う適切なタイミングの把握は今後の重要な課題である。

### 引用文献

- 1) 青井秀樹, 田中亙, 杉山真樹, 天野智将 (2016) : 国産広葉樹資源をマテリアル用途で活用する可能性. 森林バイオマス利用学会誌 11(2), 39-48.
- 2) 蜂屋欣二・大角泰夫・谷本丈夫・林敬太・尾方信夫(1986) 広葉樹林の育成法. わかりやすい林業研究解説シリーズ 82、林業科学技術振興所、東京、pp. 32-44
- 3) 橋詰隼人・黒井大・安井敏 (1991) 壮齡ケヤキ人工林の林分構造、生育状況および各種形質について. 広葉樹研究 6、59-77
- 4) 石塚森吉 (1984) 天然林における林木と樹冠の空間分布. 日本生態学会誌 34、421-430
- 5) 小谷二郎 (1996) 落葉広葉樹 6 種の根元曲がり と 2, 3 の要因との関係. 石川県林業試験場研究報告 28、5-14
- 6) Lang, A. C., Härdtle, W., Bruelheide, H., Geißler, C., Nadrowski, K., Schuldt, A., Yu, M. and von Oheimb, G. (2010) Tree morphology responds to neighbourhood competition and slope in species-rich forests of subtropical China. *Forest Ecology and Management* 260, 1708-1715
- 7) Sorrensen-Cothorn, K. A., Ford, E. D. and Sprugel, D. G. (1993) A model of competition incorporating plasticity through modular foliage and crown development. *Ecological Monographs* 63(3), 277-304
- 8) 滝口正三 (1983) 樹形の生態学的解析のための一試論. 現代生態学の断面 (生嶋功ほか編)、共立出版、東京、pp. 161-168
- 9) Umeki, K. (1995) Modeling the relationship between the asymmetry in crown display and local environment. *Ecological Modeling* 82, 11-20

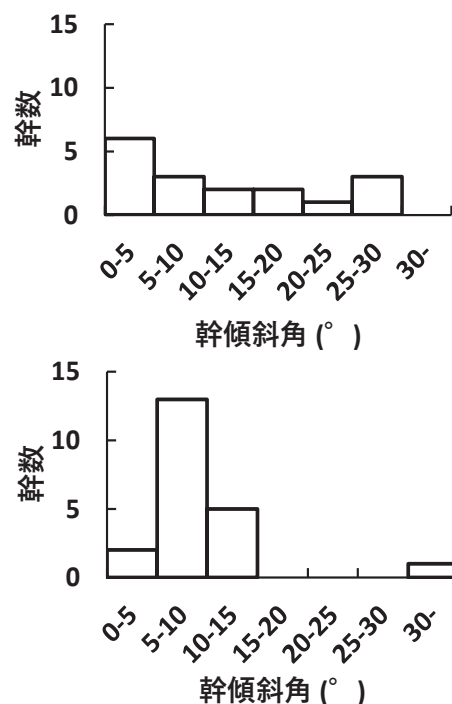


図6. 幹傾斜角

上が手良プロット、下が萱野プロット

# 広葉樹の建築構造材料利用に向けた課題と研究

信州大学農学部 未定拓時

## 1 はじめに

筆者は令和4年度に信州大学へ着任し、この度カラマツ等林業研究会にて発表の機会を得た。そこで、これまで行ってきた研究、特に広葉樹の建築構造材料利用に向けた研究について発表を行った。本稿では広葉樹を利用するための課題や、筆者が実施したこれまでの研究について概説する。なお、本稿における詳細な内容については参考文献をご確認いただきたい。

## 2 広葉樹を建築構造材として利用する動機

里山の森林は薪炭材や木材の採取などにより住民に利用され、コナラやクヌギなどの薪炭林では長くて20～30年程度の間隔で伐採と萌芽による更新を繰り返してきた<sup>1)</sup>。しかし、燃料革命により薪炭材需要が減少したことで、広葉樹の伐採が行われずに放置されるようになったことで、現在では広葉樹の高齢級化・大径化が進んでいる。コナラ等の里山林の広葉樹の多くは大径化すると萌芽能力が低下し、ナラ枯れが発生しやすくなる。このことは里山林の森林の持続性が低下する要因となっている<sup>2)</sup>。一方で、大径化した広葉樹は製材として利用できる可能性がある。そこで、大径化した広葉樹を製材として利用することができれば、広葉樹の伐採が進み里山林の整備につなげることができると考えられる。

国内の広葉樹製材の生産量は素材生産のうち1割未満と少なく、ほとんどが木材チップ用として利用されている<sup>3)</sup>。国産広葉樹を製材として建築物や家具に利用することができれば、国産広葉樹材の炭素固定能を向上させることができ、大気中への二酸化炭素の放出を抑制することにつながると考えられる。また、広葉樹製材の多くは海外からの輸入材が利用されてきたが、為替変動や輸出国の資源保護の動き、違法木材などのリスクがあり、このようなリスクを回避するために国産材の利用が期待されている<sup>4)</sup>。

密度が高く、強度性能に優れた広葉樹は柱や梁といった構造材のほか楔、車地栓といった接合具として古くから建築物に利用されてきたが、現在の一般的な建築物へ利用されることはほとんどない。一方で、建築物への木材利用の促進はこれまで公共建築物を中心に進められてきたが、令和3年10月1日に施行された「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」により、その対象が建築物一般に広げられた<sup>5)</sup>。民間建築物では非住宅分野や中高層建築物の木造化が低位にとどまっていることを背景に制定されたこの法律により<sup>5)</sup>、中高層建築物の木造化はこれまで以上に促進されることが考えられる。非住宅分野や中高層建築物といった木造建築物は低層の住宅よりも高い構造性能が要求されることが多い。そこで、カラマツやスギ、ヒノキといった針葉樹よりも密度が高く、強度性能の優れた広葉樹を有効活用することができれば、木造建築物の構造性能を高度化できると考えられる。

## 3 広葉樹を建築構造材として利用するための課題

広葉樹を建築構造材として利用するための課題として、まずは材料調達が難しいことが挙げられる。広葉樹は商業的な植林がほとんど行われていないため、まとまった量や安定した調達は難しい。また、製材として利用可能な広葉樹を択伐することは少なく<sup>4)</sup>、雑多な原木として伐採された広葉樹のほとんどは木材チップ用として利用される。用材として木材市場等に流通するのは、これらの材から選抜されたものである<sup>4)</sup>。これらの他にも木材市場で流通させるほどの量が発生しなかった

場合などは市場を経由せずに直接需要者が買い付けることもある。広葉樹製材は針葉樹に比べて安定的に流通しているわけではなく、建築構造材料として利用しようとする、必要な寸法・樹種の材の入手が難しいといえる。

次に、建築構造材料としての広葉樹の基礎的な研究が少ないということである<sup>6)</sup>。広葉樹製材には建築構造材料としての日本農林規格はなく、広葉樹製材を建築構造材料として利用するためには無等級材として利用する必要がある。無等級材として材料強度が示されている樹種は「かし、くり、なら、ぶな、けやき」の5樹種<sup>7)</sup>であり、これら以外の樹種についての基準強度は示されていない。さらに、無等級材の基準強度の値は無欠点小試験体から誘導されたもの<sup>8)</sup>であり、建築物で一般的に利用されるケヤキとクリについては実大材での強度が把握されている<sup>9, 10)</sup>ものの、他の樹種については検証の必要があると考えられる。さらに、広葉樹材を用いた木質構造に関する研究は伝統的建築物を対象としたものが中心であり、広葉樹を利用した部材や加工の安全性を担保するには、実際の仕様で試験を行う必要がある場合が多い。そのため、建築構造材としての広葉樹に関する知見をさらに蓄積し、体系的に整理することが求められる<sup>6)</sup>。

#### 4 これまでの研究

本章では建築構造材としての広葉樹に関する知見の蓄積のため、これまでに筆者が実施した研究について概説する。これまで特に木造建築物の接合部に広葉樹のめり込み性能活用するための研究を行った。非住宅分野や中高層建築物の木造化が進むことによって、その接合部にもより高い構造性能が求められる。そこで、針葉樹に比べて密度が高く、強度に優れた広葉樹を接合部に有効に用いることができれば、その構造性能を向上させることができると考えられる。さらに、小さな断面、長さの広葉樹材であれば比較的入手が容易だと考えられることから、広葉樹を補強的に利用することを想定した研究を中心に行った。

##### 4.1 広葉樹のめり込み試験

広葉樹のめり込み性能の把握と、性能の推定を目的として一連の研究を行った。その中で、密度と道管配列の違いによるめり込み変形挙動の違いを把握するため、ミズナラ、ウダイカンバ、シオジ、レッドメランチの部分圧縮試験を実施し、応力ひずみ関係や余長による特性値の増加率について報告した<sup>11)</sup>。次に、これらの試験結果についてめり込み基準式を前提とした剛性推定法<sup>12)</sup>及び降伏点以降の荷重-変位関係の推定方法<sup>13)</sup>を提案した。さらに、国内の広葉樹8樹種のめり込み性能について報告し、剛性推定法の妥当性を検証した<sup>14)</sup>。加えて繊維直交方向の余長による特性値の増加率について、小試験体において概ね針葉樹と同様の傾向となることを報告<sup>15)</sup>し、さらに剛性推定法の妥当性を検証した<sup>16)</sup>。このような研究を進めることで、任意の形状における広葉樹のめり込み性能を推定できるようになり、木造建築物の特に接合部に広葉樹を容易に用いることができると考えられる。

##### 4.2 木造接合部の広葉樹による補強

###### ア 貫接合部

貫接合部は嵌合による接合としては最も単純なものの一つであり、接合部の構造性能は貫材のめり込み性能に大きく依存する。そこで、貫材に広葉樹を利用した貫接合部の構造性能に関して研究を行った。貫材をすべて広葉樹としたものと一部に広葉樹を接着したものについて、貫接合部のモーメント抵抗試験を実施し、特に広葉樹としてシラカンを用いたものに関して構造性能が向上することを示した<sup>17)</sup>。一方で、一部に広葉樹を接着した貫材については接着層での剥離がみられるなど、広葉樹と針葉樹の接着性能や一部を広葉樹とする際の形状についてさらに検討を行う必要がある。また、貫接合部は降伏後も二次剛性を有し、変形が進むにつれ徐々に低下するといった、上に凸な形状のモーメント-変形角関係を示すことから、この挙動をより詳細に把握するための評価方法に

ついて提案を行った<sup>19)</sup>。さらに、貫材の全面横圧縮性能と貫接合部の接合部性能との関係を明らかにした<sup>19)</sup>。貫接合部は嵌合接合の中で最も単純なものの一つであることから、これらの研究成果は貫接合部に限らず、他の嵌合接合に対しても応用することが可能だと考えられる。

#### イ 柱頭・柱脚接合部

柱の横架材からの引き抜けに抵抗するための接合部について、広葉樹を用い木組みで補強した仕様を考案した。この接合部について引張試験を実施し、接合部性能を把握した。さらに、有限要素法解析等での耐力発現機構を解明し、接合部における各変形要素の力学的モデルを作成した。これらを組み合わせることで接合部の性能推定式を導出し、本接合部において一定の寸法を変更しても性能を推定可能な手法を提案した<sup>20)</sup>。本研究結果は他の仕様の接合部に直接適用することは難しいが、広葉樹を用いた接合部の性能推定式を導出する際に、本接合部の推定手法を導出した考え方は参考になると考えられる。

### 5 おわりに

本稿では広葉樹を建築構造材料として用いるための背景と課題について述べ、これまでに実施してきた研究について概説した。広葉樹を建築構造材料として利用するには多くの課題が残っており、今後も継続して研究を進めることが必要だと考えられる。

広葉樹を構造材として利用した建築物として、2022年には家具で用いられるような広葉樹の板材を構造材料とした「森の端オフィス」が建設された。筆者がこれまでに行ってきた研究は、小断面の広葉樹材を補強的に接合部に用いることを前提としてきたが、「森の端オフィス」ではトラスの構成材料として広葉樹板材を用いている。本稿において概説したような研究だけでなく、より多様な利用方法を想定し、これからも広葉樹材の用途を広げるための研究を行いたい。

#### 引用文献

- 1) 森林総合研究所：里山に入る前に考えること 行政及びボランティア等による整備活動のために (2010)
- 2) 森林総合研究所：里山管理を始めよう～持続的な利用のための手帳～ (2014)
- 3) 農林水産省：木材統計調査 (2021)
- 4) 青井秀樹, 田中亘, 杉山真樹, 天野智将：国産広葉樹資源をマテリアル用途で活用する可能性, 森林バイオマス利用学会誌, 11(2), pp. 39-48 (2016)
- 5) 林野庁 HP：脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律（通称：都市（まち）の木造化推進法）, 2023年2月9日閲覧, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/koukyou/index.html>
- 6) 末定拓時：建築構造材料としての広葉樹利用の現状と課題, 木材工業, 73(2), 46-51 (2018)
- 7) 平成12年5月31日建設省告示第1452号 (2000) (最終改正：平成27年8月4日国土交通省告示第910号)
- 8) 日本建築学会：木質構造基礎理論, 丸善出版株式会社, 40-41 (2010)
- 9) 井道裕史, 長尾博文：ケヤキ実大材の曲げおよび縦圧縮強度, 木材学会誌, 58(3), 144-152 (2012)
- 10) 井道裕史, 三浦祥子, 長尾博文：クリ製材品の強度性能－曲げ、縦圧縮、縦引張り、せん断、めり込み－, 森林総合研究所研究報告, 12(3), 143-152 (2013)
- 11) 末定拓時, 稲山正弘, 青木謙治：広葉樹のめり込み性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 22169 (2018)
- 12) 末定拓時, 宮本康太, 渋沢龍也, 稲山正弘, 青木謙治：広葉樹のめり込み剛性推定法に関する

実験的研究, 第 69 回日本木材学会大会(函館), D14-01-1430 (2020)

13) 未定拓時, 宮本康太, 渋谷龍也, 稲山正弘, 青木謙治: 広葉樹のめり込み変形における降伏点以降の荷重-変位関係の推定, 第 70 回日本木材学会大会(鳥取), D18-04-0915 (2021)

14) 未定拓時: 広葉樹 8 樹種のめり込み性能に関する実験的研究, 第 71 回日本木材学会大会(東京), 1P76 (2022)

15) 未定拓時, 宮本康太: 繊維直交方向の余長が広葉樹のめり込み性能に及ぼす影響, 第 72 回日本木材学会大会(名古屋・岐阜), D15-04-1515 (2023)

16) 未定拓時, 宮本康太: 縁距離を有する広葉樹のめり込み剛性の推定に関する実験的研究, 日本建築学会学術講演梗概集(北海道), 22034 (2022)

17) Hiroto Suesada, Kohta Miyamoto, Tatsuya Shibusawa, Kenji Aoki, Masahiro Inayama ; Reinforcing effect of hardwoods on the moment resistance performance of traditional Japanese "nuki"-column joints, Journal of Wood Science, 65, 65 (2019)

18) 未定拓時, 宮本康太, 渋谷龍也, 稲山正弘, 青木謙治: 広葉樹で補強した柱-貫接合部のモーメント抵抗性能 -降伏以降の特性値算出法の提案及び、貫材の横アシユク性能と接合部性能との関係の把握-, 森林総合研究所研究報告, 19(2), 185-194 (2020)

19) 未定拓時, 森田仁彦, 稲山正弘, 青木謙治: 伝統的木造建築物柱頭柱脚接合部の木組みによる引張性能向上に関する研究 その 1 引張性能発現機構の解明と力学的モデルの提案, 構造工学論文集 Vol. 66B, 17-26 (2020)

# 高密度植栽・短伐期によるカラマツ杭材生産の試み

## — 現地適応化実証試験の取組から —

長野県林務部信州の木活用課 天田 葉

### 1 はじめに ～現地適応化実証試験について～

長野県では現在、森林・林業に関する課題の解決に向けて開発・考案された新たな技術・知識等を地域の特性に応じた実用的なものとするを目的として、現地適応化実証試験に取り組んでおり、令和4年度現在、県内8箇所それぞれテーマを設定し、実証試験を実施している〔表1〕。

実証試験の実施に当たっては、地域振興局の林業普及指導員（AG）が、県庁の林業専門技術員（SP）や林業総合センターの研究員と連携し、各地域において具体的な試験を計画・実施するとともに、その結果の普及・定着を図ることとしている。

表1 現地適応化実証試験の取組状況一覧

No.	地域	期間	テーマ
1	佐久	R2-R6	高密度・短伐期によるカラマツ杭材生産と初期保育コストの低減
2	諏訪	R3-R7	カラマツ大苗の低密度植栽による植栽・保育コスト低減の検証
3	松本	R3-R4	低価格高精度 GNSS レシーバー等を用いた森林調査・測量技術の実証・普及
4	松本	R3-R5	広葉樹高齢林分における皆伐天然更新とニホンジカ食害の影響調査
5	北アルプス	R3-R4	広葉樹林の地上レーザー材積測定の実証と広葉樹材の品質・価格調査
6	南信州	R3-R7	平谷村における早生樹の適性評価と獣害防除資材の効果検証
7	木曽	R3-R4	ナラ枯れ被害拡大防止につなげるための被害材の薪利用への取組
8	上田	R4-R8	生育条件別カラマツ丸太原木強度試験

今回の報告では、このうち南佐久郡南牧村内に試験地を設定し調査を実施中の「高密度・短伐期によるカラマツ杭材生産と初期保育コストの低減」に向けた取組について紹介する。

## 2 実証試験の目的及び実施内容

### 2.1 試験の背景・目的

カラマツを中心とした県内の人工林資源は利用期を迎えているが、これに対し主伐・再生林の動きは十分に進んでいない状況にある。その背景として、主伐後の再生林に係る費用の負担とともに、次世代の森林を育成するまでには長い期間を要することが、森林所有者等が再生林を躊躇する要因の一つとなっている。

一方、カラマツは土木用材（杭材）としての需要も旺盛で、取引価格も高値で安定しているが、カラマツの若齢林がほとんどない現在、杭材に特化した素材生産はほとんどできておらず、素材生産の中で出た細物を仕分けて出荷しているのが現状である。そのため、杭材としてみればha当たりの生産本数が少なく、仕分け等のコストもかかっている。

こうした背景から本課題では、新たにカラマツの高密度植栽を行うことで、通直で枝下高の高い、杭材に適した立木を短期間で育て、収穫することが可能になるのではないかと考えた。そこで実証試験として、杭材に特化した高密度植栽（5,000本/ha）を行い、初期の成長動態、保育コスト及び施業上の課題を検証することで、短伐期での効率的な杭材生産技術の確立に向けた一助となることを目的とした。

## 2. 2 試験の実施内容

森林所有者（南牧村海ノ口財産区）及び林業事業体の協力を得て、カラマツ皆伐跡地に試験地を設置した。試験地は作業道に隣接し、傾斜は $15^{\circ}$ ～ $20^{\circ}$ 程度、地位は1～2となっており、主伐・再造林に適した条件と言える。試験地内には林地残材等の柵を残さないよう、機械地拵えを行った〔写真1〕。また、主な競合植生はクマイザサで、一部にタケニグサが生育している。

ここに令和2年春にカラマツ裸大苗を植栽した。植栽密度は、試験区では5,000本/ha、対照区では長野県における標準的な植栽本数である2,300本/haとした〔図1〕。なお、隣接する林業総合センターの試験地では同様の趣旨でより幅広い条件による試験を実施しており、図1の下段はその試験区を示している。

本試験において大苗を選択したのは、下刈年数の低減を意図したものである。そこで、下刈年数低減による保育コスト抑制の可能性について検討するため、試験区及び対照区のそれぞれを下刈有り区・下刈無し区に区分し、下刈有り区では令和2、3年に下刈作業を行った。現地には看板を設置し〔写真2〕、モデル事業地としての継続的な管理とともに、普及啓発の場としても活用を図っていくこととしている。

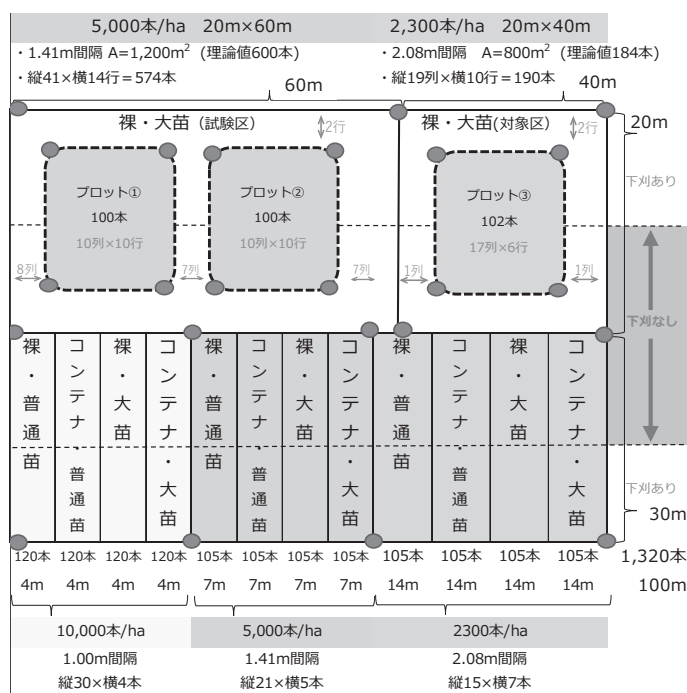


図1 試験区の見取り図

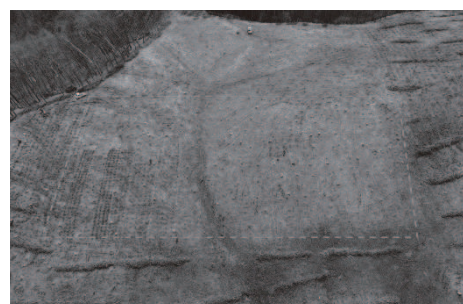


写真1 試験地全景（植栽前）



写真2 試験地に設置した看板

植栽を行った令和2年度以降は、毎年春に枯損率調査、秋に毎木調査（樹高、根本径及び樹幹幅の測定）を行った。なお、本試験では初期の成長動態の評価と下刈年数低減の可能性について検討することを目的とするため、苗木が5年生となる令和6年度までを当面の試験実施期間としている。

試験の実施体制としては、地元の佐久地域振興局林務課が企画調整、試験地管理を担い、林業総合センター育林部が技術的支援・助言を行い、県庁信州の木活用課が試験全般の進捗管理を行うといった形で、関係機関が役割分担しつつ連携して進めていくこととした。

## 3 ここまでの成果と今後の課題

### 3. 1 苗木の成長状況

植栽した苗木が3年生となった令和4年秋の毎木調査の結果は、表2のとおりである。苗木の生

存率は74～86%であり、下刈の有無による有意な差はなかった。この結果は、いずれの植栽条件においても下刈の省略または回数の低減が可能であったことを示唆している。

平均樹高は概ね180 cm～206 cmに達し、試験地の主な競合植生である稈高1 m程度のクマイザサを大幅に上回っていた[写真3]。平均樹幹幅は平均90 cm弱となっており、これは植栽間隔が約141 cmである5,000本/ha区においてはカラマツの優占が顕著な状況と言える。

表2 令和4年秋（3年生）時点の苗木の生育状況

区分		植栽本数	生存本数	生存率	平均樹高 (cm)	平均根本径 (mm)	平均形状比	平均樹幹幅 (cm)
プロット①② (5,000本/ha)	下刈有	100	86	86%	206.43	24.62	86.88	86.58
	下刈無	100	86	86%	202.14	24.96	84.89	86.06
	計	200	172	86%	204.29	24.79	85.88	86.32
プロット③ (2,300本/ha)	下刈有	51	39	76%	197.08	25.99	76.43	88.6
	下刈無	51	36	71%	179.23	24.92	73.01	87.47
	計	102	75	74%	187.80	25.43	74.85	88.01
下刈有 計		151	125	83%	203.51	25.05	83.82	87.21
下刈無 計		151	122	81%	195.38	24.95	81.38	86.48

苗木の樹高、根本径、形状比及び樹幹幅を下刈の有無で比較したところ、生存率と同様、いずれも有意な差はなかった。このことも、下刈の省略可能性を裏付けている。

一方、植栽密度による比較では、樹高と形状比において比較的顕著な差が生じており、対照区(2,300本/ha)より高密度(5,000本/ha)の方が樹高・形状比ともに大きかった。ただし、樹幹幅には差が生じていないこと等を踏まえると、この差が植栽密度の影響によるものかどうかは現時点では不明瞭であり、今後の調査を継続する中で引き続き検討していく必要がある。



写真3 平均樹高2m前後に達した植栽木 (令和4年9月 AG研修)

### 3.2 下刈年数の低減に関する検討

前述のとおり、本試験においては下刈の有無による苗木の生存率及び生育状況に大きな差が見られなかったことから、下刈の省略または回数の低減が可能であったことが示唆された。その要因としては、①大苗を植栽したこと、②主な競合植生が稈高1 m程度のクマイザサであり、木本類や高茎草本の発生が抑制されていたこと、③グラップルによる機械地拵えを行ったため、競合植生の発生が抑制されていたこと の3点が挙げられる。

このうち②に関しては、個々の現場に特有の条件であり、今回の試験地ではたまたま下刈を省略してもカラマツ苗木の成長に影響はほぼなかったが、異なる植生条件では結果は違っていた可能性がある。一方、①の大苗の植栽及び③のグラップル地拵えに関しては、競合植生の状況により多少の違いはあるにせよ、他の現場でも下刈年数の低減に寄与する可能性が高いものと期待され、初期保育の省力化・低コスト化に向けて普及を図っていききたい技術的ポイントの一つと言える。

### 3.3 ニホンジカによる被害について

再生林及び初期保育のネックの一つとなるのがニホンジカによる食害だが、本試験の試験地ではシカの食害率は比較的低いと予想されたことから、周囲への防護柵の設置や単木保護等の対策は講じていない。しかし実際、糞等の状況からニホンジカの出没は明らかであり、苗木の一部には食害



痕が認められている。現時点では苗木の生存率を著しく下げるほどの影響は出ていないが、今後調査を継続していく中で食害の状況も注意して観察する必要がある。

### 3. 4 今後の課題

今後の取組として、短期的には本課題の当面の試験実施期間である令和6年度末までの間、毎木調査を継続することとなる。表2に示したとおり、3年生の時点で苗木の平均樹幹幅は90 cm弱に達していることから、植栽間隔が約141 cmである5,000本/ha区においては林冠閉鎖が近いと考えられる。このため、試験実施期間中に植栽密度の影響が何らかの形で現れることを想定し、林冠閉鎖後の植栽木の成長動態及び林相の変化に着目して調査を継続していきたい。

そして長期的な課題としては、以下のことを検討していく必要がある。

まず、カラマツの植栽密度5,000本からの施業体系は確立されたものがなく、本試験地では3年生時点で4,000本/ha前後まで減少しているが、それでもまだ密度管理図の一番高密度側の自然枯死線よりも外側が現在地である。この状態から、本試験の元々のねらいである「短伐期での効率的な杭材生産」を目指していけるのかどうか、その過程での施業の要否等、その時々々の植栽木の成長状況と林相を踏まえた試行と検証を重ねていくことが重要である。当初意図したように、通直で枝下高の高い立木を高密度で仕立てることができるのか、それとも意図に反して優勢木と劣勢木の差が開き、立木の形状のばらつきも大きくなるのか。生産目標とする杭丸太用原木の規格に達したとき、成立本数はha当たり何本程度になるのか。いずれも現時点では未知数だが、本試験地における継続的な調査を通じて明らかになることがあるものと見込まれる。

また、林業経営の観点からは、植栽から収穫までのトータルでの収益性の評価も不可欠である。高密度植栽では当然ながら初期の植栽コストはかかり増しになっているが、その後の保育コストや主伐時のコストをどこまで低減できるか、また目標とする規格の原木をどの程度生産できるか、といったことが最終的な収支を左右する。今後は林分調査を適時に行いつつ、コストの最小化と収益の最大化も念頭においた現実的な施業方針をその都度関係者により検討することが望ましい。

いずれにしても、このように具体的な生産目標をもって再生林に取り組むことは、必然的に樹木の成長や林分の状況をより注意深く観察することとなり、ひいては森林所有者や林業事業者の技術力や経営意欲の向上にもつながっていくものと期待できる。

そうした意味でも、本課題を含めた現地適応化実証試験の取組みを今後も着実に進め、併せてその成果の普及を図っていくことには大きな意義があるものと言える。

なお、この報告をまとめるにあたり、多くの方々のご協力・ご指導をいただきました。試験地の設置にご協力をいただいた海ノ口財産区と双葉林業合資会社の皆様、実証試験の計画からデータの捉え方まであらゆる場面でご指導・ご助言をいただいた長野県林業総合センター育林部の小山部長・大矢主任研究員をはじめとする皆様、試験地の管理や計測作業、データ分析を全面的に担っていただいた佐久地域振興局林務課の関担当係長をはじめとする皆様に、この場をお借りして深く感謝申し上げます。

# 信州カラマツ大径材の非住宅・中大規模木造建築物での 利用に向けて

長野県林業総合センター 今井 信

## 1 はじめに

長野県の素材（丸太）生産量は、昭和40年以降減少していたが、平成15年を底に近年は40万 $m^3$ を超えカラマツが半数を占めている。素材の需要では、平成18年頃より生産が始まった針葉樹合板の需要が年々増加しており、平成29年には製材用と逆転し、現在20万 $m^3$ を超え主要な需要先となっている。一方で、製材品の出荷量は減少しており令和2年で10万 $m^3$ 以下となっている。このように、現在のカラマツ丸太の需要は、県外での合板利用が主体であり、県内での製材・加工利用にはつながっていない。一方、森林資源は、51年生（11齢級）以上の人工林の割合が全人工林面積の74%、人工林の約半数を占めるカラマツでは83%と高齢化が更に進んでいる。今後は、直径30cmを超えるカラマツ大径材の生産量の増加が見込まれている。

ここでは、信州カラマツ大径材の特徴と、大径材の利点を活かした構造材などの県内での製品化を目指し、平成30年、令和元、2年度に実施した試験結果を中心に報告する。

## 2 カラマツ大径材の特徴

カラマツなどでは、樹幹内において組織構造や物理的な材質指標が変動していることが明らかにされている。髄から樹皮側に向かって15～20年生位までは、仮道管長、細胞壁厚などが増加するなど、材質が向上していく部分であり「未成熟材」と呼ぶ。カラマツ利用で大きな問題となる乾燥時の「ねじれ」の原因である「らせん木理（旋回木理）」の繊維傾斜はこの「未成熟材」で最大となる。一方、15～20年生以降の部分は「成熟材」と呼び、仮道管長、繊維傾斜などの材質が安定し、ヤング係数などの物理的な指標も「未成熟材」とくらべて高い傾向にあることが報告されている。

写真1に示す長野県産カラマツ大径材50本、末口径32～36cm、長さ4mの髄付近の中心に近い内側から80×230mmの内層平割材を2体、外側から60×140mmの外層平割材を2体、合計各100体を製材、乾燥した。そのヤング係数の度数分布を図1に示す。成熟材部から製材した外層平割材のヤング係数の分布が高いことが確認できる。

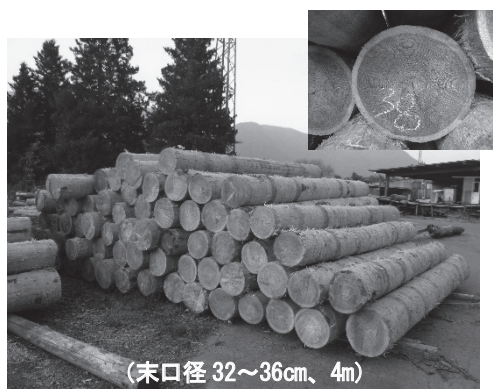


写真1 信州カラマツ50本

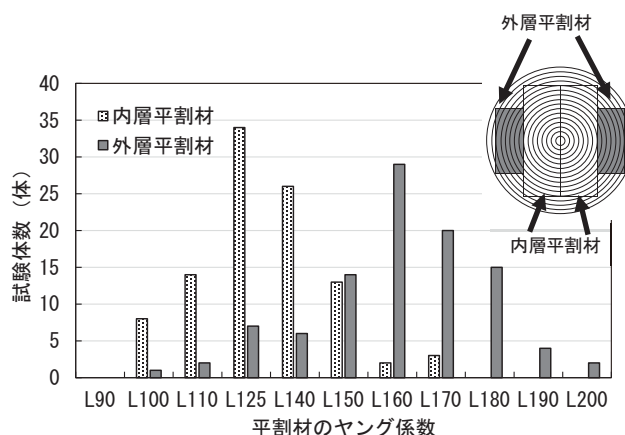


図1 平割材のヤング係数の度数分布

### 3 信州カラマツ大径材を利用した横架材

そこで、成熟材部の割合が高い大径材の大断面を活かした横架材としての利用を検討するため、カラマツ大径材（末口径 355～525mm）及びスギ大径材（末口径 355～490mm）各 60 本を用い、図 2 に示す、①「心持ち梁桁材木取り」、②「心去り梁桁材木取り」、③「枠組壁工法（以下、2×4 工法と略記する）で利用される 210 材木取り」の 3 つの木取りを実施した。あわせて、その外周部の成熟材部から平割材を製材し、集成材、接着重ね梁を作製し、製材及び製品歩留まり、乾燥及び強度特性等について検討した。ここでは、信州カラマツ大径材の外周部の成熟材部だけを利用して作製した、1) 集成材、2) 接着重ね梁 C タイプと、大径材の大断面を活かした 3) 2×4 工法で利用される 210 材、について報告する。

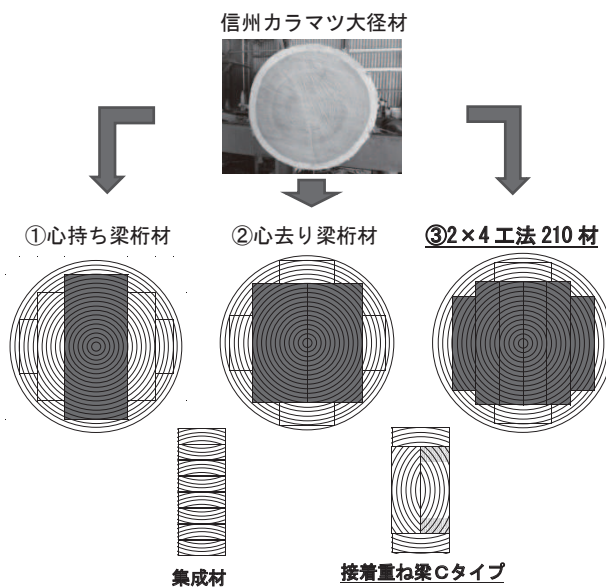


図 2 大径材の木取り方法と作製した横架材

#### 1) 集成材

構造用集成材は、外層平割材のうち製材寸法 40×125mm のラミナを使用し、製品寸法：梁せい 240mm、梁はば 105mm の構造用集成材を作製した。（写真 2）。試験体数は、使用できるラミナの枚数で最大の数の 10 体作製した。対称異等級構成集成材 3 体の強度等級は、E170-F495 を 1 体、E150-F435 を 2 体作製し、同一等級構成集成材の強度等級は、E150-F465 を 2 体、E135-F405 を 4 体、E120-F375 を 1 体作製した。集成材の構成ラミナの等級の組み合わせを図 3 に示す。



写真 2 高強度集成材

#### 対称異等級構成集成材

L200	L180
L160	L140
L125	L110
L125	L110
L125	L110
L125	L110
L160	L140
L200	L180
E170-F495	E150-F435

#### 同一等級構成集成材

L160	L140	L125
L160	L140	L125
L140	L140	L125
L140	L140	L125
L160	L140	L125
L160	L140	L125
L160	L140	L125
L160	L140	L125
E150-F465	E135-F405	E120-F375

図 3 集成材の構成ラミナの等級の組み合わせ（例）

曲げ強度試験では、支点と荷重点間の距離を十分確保できなかったため、6 体がせん断で破壊したが、全ての試験体で基準値を上回った。これらの強度等級の集成材は、国内で製造している集成材の中では高ヤング・高強度な構造用集成材である。通常、ベイマツ等の外材で作製されているが、信州カラマツ大径材の外層ラミナを使用することで、同等な等級の集成材が作製できた。

#### 2) 接着重ね梁 C タイプ

接着重ね梁 C タイプは、外層平割材のうち、製材寸法 60×170mm を中心材とし、製材寸法 60×125mm を上下材として使用して、梁せい 240mm、梁はば 105mm を作製した（写真 3）。基本的な平割材の組み合わせは、中心の平割材 2 枚及び上下 2 枚は同一機械等級で構成し作製した。試験体数は、使用できる平割材の枚数で作製できる最大の 7 体作製した。構成する平割材の等級の組み合わせを図 4 に示す。



写真3 接着重ね梁Cタイプ

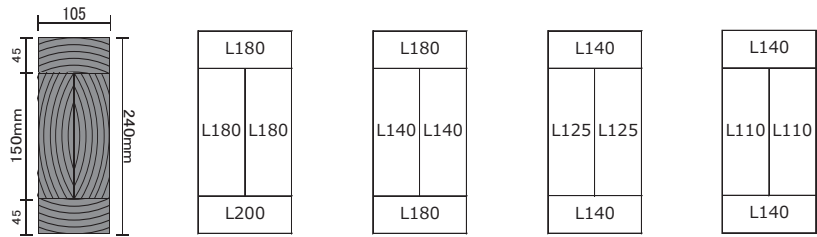


図4 構成する平割材の等級の組み合わせ (例)

集成材及び接着重ね梁で使用した外層平割材のヤング係数の度数分布を図5に示す。また、集成材と接着重ね梁Cタイプの曲げヤング係数と曲げ強さの関係を図6に示す。信州カラマツ大径材の成熟材部の外層平割材のヤング係数は、平均値で 15.76kN/mm<sup>2</sup> と高く、その平割材で作製した集成材と接着重ね梁Cタイプは、外材で作製する集成材と同等な高ヤング・高強度な構造材となった。

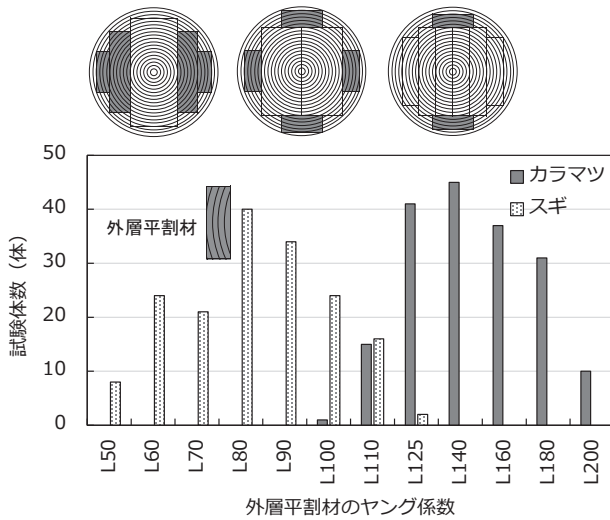


図5 外層平割材のヤング係数の度数分布

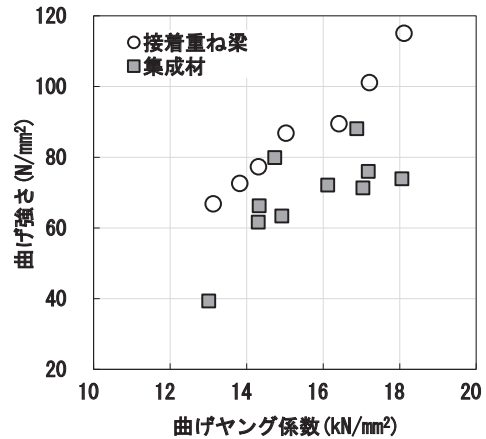


図6 集成材と接着重ね梁Cタイプの曲げヤング係数と曲げ強さ

### 3) 2×4 工法で利用される 210 材

信州カラマツは現在、針葉樹合板・LVL 等での利用が主であり、4 m 造材が一般的である。そのため、大径材の大断面を活かした2×4 工法で利用される 210 材が必要とされる 16 フィート (約 4.88 m、以下 16f と略記する) 以上の長物に対応するためには、山側への特別な発注となり、流通材である 4 m 原木で、16f 以上の長さに対応するためには、たて継ぎ材での対応が必要である。そこで、信州カラマツ大径材から採材した 210 材のフィンガージョイントたて継ぎ材 (以下、FJ 材と略記する) とたて継ぎなしの材 (以下、NJ 材と略記する) との曲げ強度性能の比較を行った。また、等級区分機によるヤング係数の測定による MSR 等級の検討を行った。

同一丸太の木口面で中心からの位置でサイドマッチした一方の材を NJ 材とし、もう一方で FJ 材を作製し曲げ強さを比較したが、同等に扱えることが示された (図7)。また、信州カラマツ大径材 100 本から製材した 210 材 395 体の等級区分機によるヤング係数は、平均値が 12.9kN/mm<sup>2</sup> と高く、目視による区分より MSR 等級が有効と思われた (図8)。

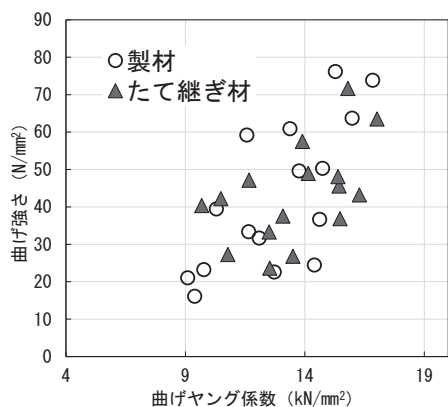


図7 NJ材とFJ材の曲げヤング係数と曲げ強さの関係

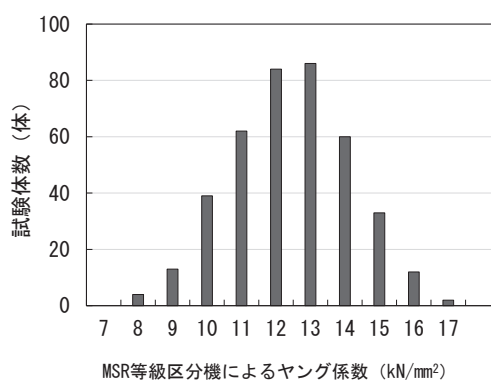


図8 MSR等級区分機によるヤング係数の度数分布

#### 4 おわりに

集成材、接着重ね梁、210材で利用している製材は、いずれも平割材であり、7～10日程度の中温乾燥で含水率12%前後に仕上げることが可能である。そのため、カラマツを構造材で利用する場合に危惧されている、高温乾燥に起因すると思われる熱劣化による強度性能の低下を回避できる。このことにより品質の安定した乾燥材が提供できる。また、集成材と210材は、たて継ぎ加工により長スパンに対応できる。

以上より、信州カラマツ大径材を構造材として利用する場合は、その大断面を活かし2×4工法で用いられる2×4製材の210材を製材しMSRたて継ぎ材として利用し、その外周部の成熟材部からは、集成材用ラミナを製材し高強度集成材として利用することが有効と考えられた(図9)。高ヤングで高強度な横架材を提供することにより、今後、国産材の活用が期待されている、非住宅・中大規模木造建築での利用が期待できる。

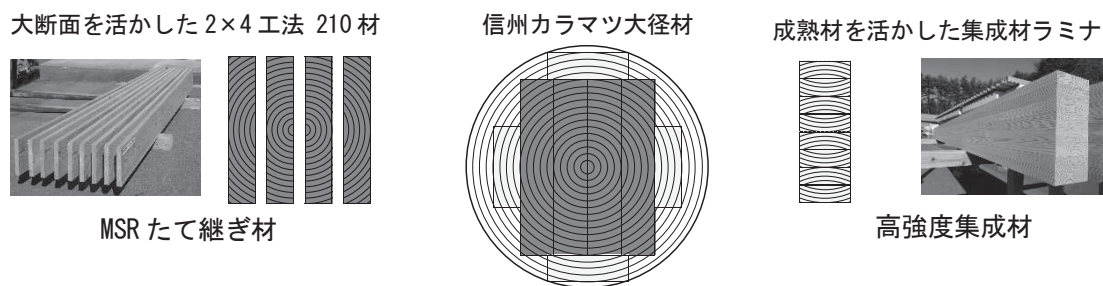


図9 信州カラマツ大径材の木取りと構造用利用

## 近年のカラマツ林業等研究会の活動からみた森林・林業の動向

長野県林業総合センター 小山泰弘

### 1 40年を迎えたカラマツ林業等研究会

本研究会は、本県を代表する人工造林樹種であるカラマツに関する技術開発や普及啓発をすすめるための研究会として昭和54年3月に発足した。当初は、県林務部と長野営林局といった行政機関と、信州大学や当センターなどの試験研究機関が連携して、新たなカラマツ材に利用開発を進めることが目的だった。その中でカラマツ林の間伐技術やカラマツ材の人工乾燥に向けた技術開発が始まった。技術開発を進める中、成果を広く紹介することも重要だとの判断で、発足から3年後の昭和57年1月に第1回の研究発表会を開催した。最初の研究発表会が好評だったこともあり、その後も継続して研究発表会が継続されるようになった。その後、森林林業に対する期待が多様化する中で、カラマツ以外の試験研究成果に対する期待も高まったことから、平成17年度からはカラマツを中心としながらもカラマツ林業にもつながるような形での研究会へと進化し、「カラマツ林業等研究会」と改称した。こうした経緯をたどりながらも、長野県を代表するカラマツを中心とした話題提供が示される研究会は常に盛会を極め、令和元年度に40年を迎え、令和2年1月に180名余が参加する記念シンポジウムを開催するまでになった。しかし、その直後から、新型コロナウイルスの影響を受け、人が集まることすらままならない状況となり、多くの参加者が予想される研究発表会の開催は困難となった。それだけでなく、幹事会も対面での開催はできないままだった。



図：コロナ禍で発表会が開催できなかった中でも発行し続けた成果報告

## 2 コロナ禍でも続けた成果報告

カラマツ林業等研究会では、1月初旬に行っている研究発表会が知られているが、研究発表会を開催するだけでなく、幹事会を開催している。幹事会では、近年の森林・林業の情勢を踏まえた中で、カラマツ林業にまつわる研究の進捗状況や本県林業にまつわる話題に関する意見交換を行いながら、内容を検討してきた。幹事会は林業総合センターが事務局となり、県内でカラマツ林業に関わる長野県林務部、中部森林管理局、信州大学農学部との3者で実施している。コロナ禍の2年間は、対面での開催が困難ということもあり、メール会議での幹事会しかできなかった。メール会議を行う中で、それぞれの機関で進めている事業や研究は成果が出てきていることがわかり、各機関で研究会に提供できると考えられる成果を報告する成果報告のみを行い、林業総合センターが発行する技術情報に「カラマツ林業研究会特集号」として発行を続けてきた。

## 3 ここ2年間で報告された内容を分析

研究会を開催できなかった令和2年度と令和3年度の成果報告は、技術情報165号と167号に掲載したが、3年ぶりの開催に合わせて改めて内容を整理した。成果報告には2年で11題が掲載され、うちカラマツをめぐる話題が7題、カラマツが直接話題に上らないものも4題あった。

### 1) カラマツをめぐる話題

今回の2年間の報告は、実用化に向けた現場からの報告と、カラマツという樹種を理解する基礎的な研究成果だった。現場からの報告は、カラマツ材の利用2題と、次世代のカラマツ林造成に関する話題が2題だった。

カラマツ材の利用では、当センターが長年取り組んできた乾燥技術の変遷が改めて整理され、大径材が利用できるようになった現状に合わせ、大径材生産時の端材となる側材の積極的な利用に向けた商品開発の話題も報告された。一方で、次世代のカラマツ林造成に関しては、苗木づくりの根幹にかかわる種子の安定供給に向けた取り組みと、天然更新技術に関する研究成果が報告され、低コストで安定的なカラマツ林造成に向けた課題の解決策が検討された。

カラマツに関する基礎研究では、フェノロジーや葉面積といった生理特性のほか、材料特性となる心持ち材の化学成分なども紹介された。

つまり、ここ2年間だけでも、基礎的な研究成果から実用化までの話題提供を行っている。

### 2) カラマツ以外の話題

カラマツを対象としなかった4題も、カラマツ林業につながる内容だった。

ヒノキを対象とした架線集材での生産性向上と、切り株の腐朽の課題は、カラマツでも応用可能な話題であり、ドローンを活用した野鼠駆除も、カラマツ造林地での課題である。森林整備とは一見無関係に思える蛾類による環境指標性の報告は、霧ヶ峰という半自然草原での解析だったことから、一時的に草原状態となるカラマツ林の再造林時における、生物多様性の保全を意識する意味でも重要といえた。

## 4 県政課題とも強く関係する

このようにカラマツ林業に特化しつつ、関連した話題にも足を踏み入れながら、長野県内で森林林業に関わる関係者を広く集めている本会であるが、長野県の県政課題と大きく関係している。

林業施策に特化すれば「伐って、植えて、育てる」という循環型林業の実現であり、県全体での課題としては、温室効果ガスの上昇に伴う脱炭素社会の実現と、人口減少に合わせた業務の効率化などを含めたDX社会の実現という2点になる。

ここ2年間の報告を振り返るだけでもこの3点の課題は大きく意識されていた。

### 1) 循環型林業の構築

長野県林政最大の課題といえば、充実してきた森林資源を背景として、「伐って、植えて、育てる」という森林・林業のサイクルを取り戻すことで、将来にわたって継続して木材生産ができるような森林づくりを進めていくことである。この点で見れば、木材利用の推進や皆伐再生林にむけた技術開発はさらに加速していくことが望まれる。

### 2) 脱炭素社会の実現

令和3年度に策定された長野県ゼロカーボン戦略では、2050年度に温室効果ガスの正味排出量をゼロにすべく、既存技術をフル活用しながら、新たな技術開発に取り組むことで持続可能な脱炭素社会の構築を目指している。本研究会でも炭素吸収源として知られる森林の吸収量をできるだけ効率よく確保するため、光合成をおこなう葉の動態を知る葉面積指数の研究が報告された。また、寒冷地に自生するカラマツが、温暖な環境に適応できるかどうかを考える基礎資料として、開葉から落葉までのフェノロジーの調査結果は、温暖化後のカラマツの適応策を考えるヒントになる。

### 3) デジタル社会の実現

令和2年度に定められた長野県DX戦略において、県内産業でのデジタル技術の推進が謳われ、スマート林業の推進が進んでいる。研究会でもドローンを用いた野鼠駆除によりデジタル化を進めていく実証事例が報告されるなどデジタル社会への意識が高まっていることがうかがえる。

### 4) 林業総合センターとして

このようにカラマツに関する研究が県政課題とも強く関係しており、事務局を担当している林業総合センターでも、カラマツに関する研究は広く取り扱っている。この2年間の話題とならなかった課題として、苗木の効率的な生産、下刈り等の初期保育、林内に発生するハナイグチ等の特用林産物利用、高齢林の育成、及び高齢級材の高付加価値利用など、カラマツ林の育成管理に関する研究は精力的に実施しており、カラマツ林業等研究成果発表会だけでなく、当所の研究成果発表会などの場でも積極的に成果の普及につとめている。

## 5 おわりに

今年度のカラマツ林業等研究発表会でも、カラマツをめぐる木材利用の面での提案と、新たなカラマツ林を育てていく植栽試験の結果が報告された。一方で、カラマツに限定しない話題として、今年度は広葉樹に関する話題が報告された。整備されたカラマツ林は、林内が明るいことから広葉樹が混交する事例も多く、広葉樹の取り扱いもカラマツ林業を効率的に推進するには欠かせない要素となる。

長野県では、令和5年度から長期計画が改定されるとともに森林づくり指針も新しくなり、その指針に沿う形で森林づくり県民税も再スタートを切ることとなっている。新たな長期計画や森林づくり指針においても、長野県の主要樹種であるカラマツの役割は非常に大きなものがあり、解明されていない課題も山積している。今後もカラマツ林業等研究会では、県政課題とも密接に連動しながら、必要な情報を届けていくことに力を注いでいく予定である。

掲載記事に関する詳しい問合せ等は、林業総合センター指導部までお気軽にどうぞ。					
郵便番号	〒399 - 0711	所在地	長野県塩尻市大字片丘 5739		
TEL	0263-52-0600(代)	直通	0263-88-7003	FAX	0263-51-1311
URL	<a href="https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/">https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/</a>				
E-mail	ringyosogo@pref.nagano.lg.jp				