

# 技術情報

No.165  
2021.3

令和2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予防の観点で、今年度の研究発表会は開催しませんでした。  
そこで本号では、幹事の皆さんから研究会にふさわしい話題を提供していただきました。

## もくじ

- |      |  |    |
|------|--|----|
| 1    | カラマツ種子の安定供給に向けた取組～清万採種園の整備 .....             | 2  |
| 2    | 霧ヶ峰高原の異なる植生環境における蛾類群集の組成と構造および環境指標性の検討 ..... | 6  |
| 3    | ヒノキ切株における粗根の腐朽と真菌類の関わり .....                 | 10 |
| 4    | 架線集材地域における生産性向上の取組 .....                     | 14 |
| 5    | カラマツ乾燥技術の変遷 .....                            | 18 |
| 6    | カラマツの外構部材利用 .....                            | 22 |
| おしらせ |  |    |
| •    | マツ材線虫病被害拡大防止への取組 .....                       | 26 |
| •    | 林業総合センター基本計画を策定しました .....                    | 28 |

# カラマツ種子の安定供給に向けた取組～清万採種園<sup>せいまん</sup>の整備～

中部森林管理局 東信森林管理署 加藤 良彬  
 中部森林管理局 東信森林管理署 島田 純樹

## 1 はじめに

清万採種園は、長野県北佐久郡御代田町清万、浅間山国有林 2045 イ林小班で、浅間山の裾野に位置する。昭和 35～37 年にかけて、全国的にも例をみないクローン数が均等配置された約 45ha の事業採種園として設定された。カラマツを主体として精英樹クローンが配植され、カラマツは地元佐久地方を始め長野県内各地及び群馬、新潟、福島、栃木、山梨、岐阜の各県、アカマツは長野、山梨県から集められた。その後、規模が縮小され、現在の面積は約 5.7ha となっている。また、平成 28 年度には、長野県のカラマツ指定採種源（育種母樹林）に指定された。

現在長野県のカラマツ人工林の多くは主伐期を迎え、当署においてもカラマツ皆伐面積が増加している。それに伴い、植付面積の大幅な増加が見込まれており、カラマツ種子の安定供給は近々の課題となっている。カラマツ種子の豊凶周期は 5～7 年と他樹種と比較して長いこと、種子の安定供給及び確保が困難な状況である。豊凶の要因として、気象条件、光環境、遺伝要因、樹木へのストレスなど様々なものが挙げられている。先行研究で、カラマツ種子は、6 月下旬の気温が高く、6 月下旬から 7 月上旬にかけての日照時間が多い場合（翌年）豊作となる傾向<sup>1)</sup>があることや、環状剥皮は（翌年）雌花の着果量を増加する効果がある<sup>2)</sup>ことが分かっている。近年のカラマツ種子の不足を受け、長野県が整備している採種園でカラマツ種子が賄えるまでのリリース役として、平成 27 年度から、約 30 年ぶりとなる再整備に取り組んだ。本稿では、その取組概要と 5 年間の着果調査の結果を報告する。

## 2 清万採種園での取組

以下の 3 点を中心に平成 27 年度から整備を実施した（表-1）。また、並行して着果調査や球果採種を行い、整備の成果を確認した。

- ① 採種木に物理的な刺激を施すための環状剥皮（葉と根の同化産物のバランスを人為的に崩し上部の C/N 比を大きくする）
- ② 光環境改善のための間伐、路網作設
- ③ 林床の乾燥促進のための除伐、刈払

表-1. 平成 27～30 年度に実施した整備内容

整備内容	実施年度			
	H27	H28	H29	H30
① 環状剥皮 (日付, 本数)	○ (6/2, 40本)		○ (5/31, 20本)	○ (6/5, 10本)
② 間伐・路網整備	○			○
③ 林床刈払		○	○	○
枯損木処理		○	○	○

### 2.1 環状剥皮

環状剥皮とは、鉋と鋸等を用いて幅数 cm で樹皮を 2 段はぎ取り、対象木にストレスを与えることで着花を促す方法である。当署で実施した際は、幅 3～5 cm で剥皮した。また、上段と下段の間隔を幹の半径から直径の長さ程度に空け、端どうしを 2 cm 程度重ねると良いとされている（写真-1）。今回は平成 29 年度に環状剥皮を行った木について効果を検証した。



写真-1. 環状剥皮実施後の立木

## 2.2 着果調査

着果調査は平成26～30年度に実施した。表-2の基準を用いて球果の着果数・着果範囲を、複数人で木の下から双眼鏡で確認した。また、平成26年度に立木の系統名調査を行い、再整備の参考にした。系統名は採種した地域・地名を表しており、例えばNKS4であれば、「長野県(N)」の「北佐久(KS)」地区の「4号(4)」であることを示している。

また、他の採種園と比較を行うための指標として豊凶度を使用した。表-3の基準を用いて、調査した着果数・着果範囲から、立木毎に豊凶度を計算し、全立木の豊凶度の平均値を清万採種園全体の豊凶度とした。求めた採種園全体の豊凶度を豊凶の基準(表-4)に当てはめ、年ごとの豊凶を決定した。

表-3. 着果数・着果範囲を基準とした豊凶度

豊凶度	着果数	着果範囲	観察木の着果状況
5	4	3	樹冠全体に濃く着果している
4	4	2	樹冠全体に薄く着果している
	3	3	多くの枝に多数着果している
3	4	1	樹冠全体にまばらに着果している
	3	1～2	数本の枝に多数着果している
2	2	1～2	樹冠全体にわずかに着果している
	1	1～3	数本の枝に少数着果している
1	0	0	全く着果が見られない

## 2.3 球果の採取

高所作業車などでカラマツの枝を地上に切り落とし、落ちた枝から球果を採取した。これらの球果を袋詰めにして搬出を行った。

## 3 実行結果と考察

### 3.1 環状剥皮の結果

平成28年度に着果が全く見られなかった392本の中から20本選定し、平成29年度に環状剥皮を行った。また、環状剥皮処理を行った木と処理を行わなかった木について、それぞれ平成28～30年度の豊凶度を求めた。剥皮を行った木の翌年の豊凶度は、無処理の木と比較して2.55と高くなり環状剥皮の効果が示唆された(図-1)。

### 3.2 着果調査の結果

#### ア 豊凶度の推移

平成26～30年度の清万採種園の豊凶は並下、凶、凶、並下、並下であった(表-5)。これは長野県の採種園の豊凶とほぼ同じであり、豊凶の地域差は無かったと考えられる。

#### イ 平成28～30年度における着果回数

図-2は、調査本数が増加した平成28～30年度の間に459本のカラマツを対象として、球果が1個以上観察された回数とその割合を調査した結果を示している。全体の12%のカラマツで、3年間毎回球果が確認できたが、23%では1回も確認できなかった。着果の確認できなかったカラマツで、今後着果が確認できるようになるのか、引き続き調査を実施する必要がある。

表-2. 着果調査の項目と判定基準

調査項目	判定基準
着果数	4 鈴なりで球果が多い
	3 鈴なりの球果が一部確認できる
	2 鈴なりの球果はないが球果は確認できる
	1 ごく少数の球果が確認できる
	0 全く着果が確認できない
着果範囲	3 広範囲に確認できる
	2 部分的に確認できる
	1 ごく一部の枝に確認できる
	0 全くない

表-4. 採種園全体の豊凶の基準

豊凶	豊凶度
豊	4.5～
並上	3.5～4.5
並	2.5～3.5
並下	1.5～2.5
凶	1.0～1.5

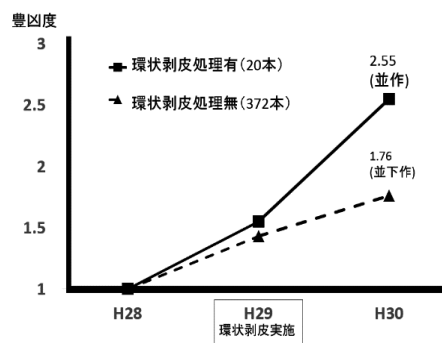


図-1. 環状剥皮処理と豊凶度の関係

表-5. 採種園ごとの年度別豊凶度

年度		H26	H27	H28	H29	H30
豊 凶 度	清万採種園	並下	凶	凶	並下	並下
	実数値	1.77	1.01	1.22	1.58	1.87
	長野県採種園 (参考)	並	凶	凶	並	凶

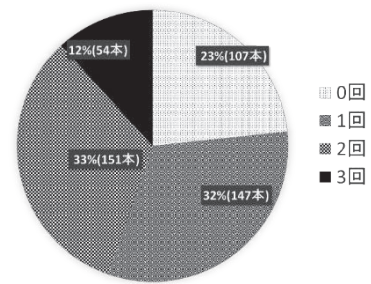


図-2. カラマツ球果が1個以上観察された回数別の割合及び本数

ウ 鈴なりにになりやすい系統

110 系統あるカラマツの内、平成 28～30 年度の間、1 回以上鈴なり（着果数 3 以上の個体）といえる程度着果が確認された系統は 34 系統であった（図-3）。この結果から、鈴なりにになりやすい系統となりにくい系統があることが示唆された。しかし、各系統のサンプル数は 1～13 本であるため、他の採種園のデータも合わせて考察する必要がある。

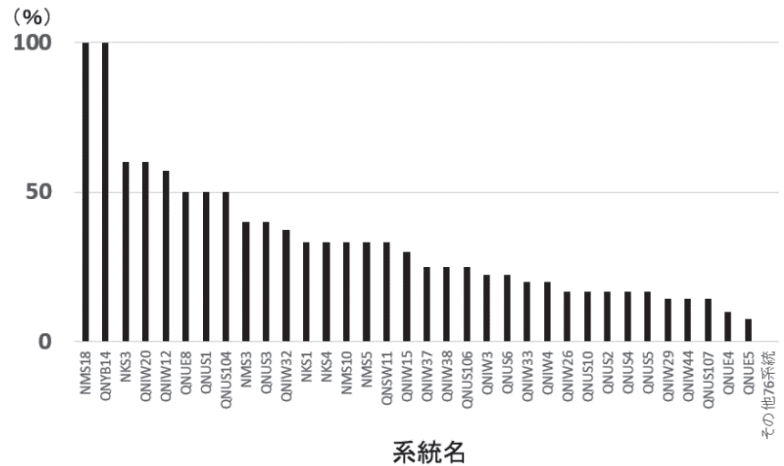


図-3. 1 回以上鈴なり（着果数 3 以上）が確認された系統と割合

エ 気象要因と豊凶度の相関

気象要因と豊凶度の関連について調査を行った。先行研究で 6 月下旬の気温が高く、6 月下旬から 7 月上旬にかけての日照時間が多い場合（翌年）豊作となる傾向<sup>1)</sup>が示されたが、この傾向は確認できなかった（図-4、図-5）。

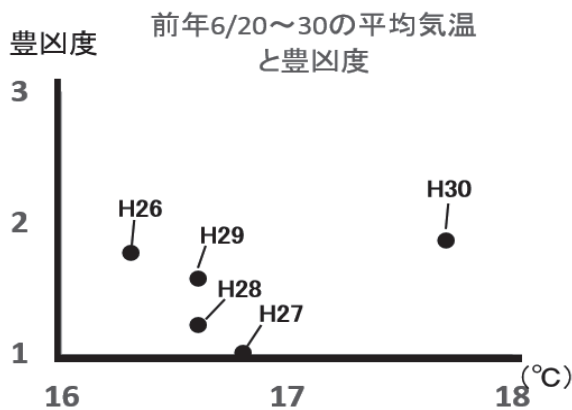


図-4. 前年度 6 月 20～30 日の平均気温と豊凶度の関係

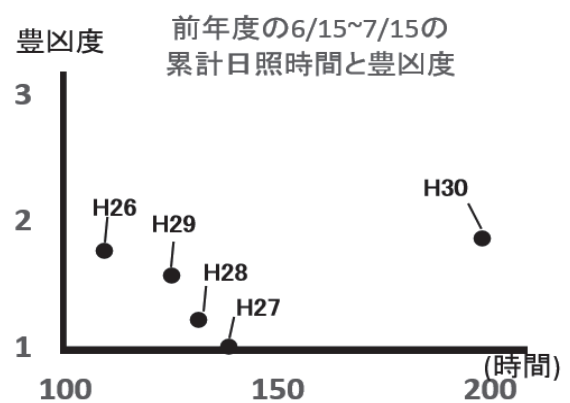


図-5. 前年度 6 月 15 日～7 月 15 日の累計日照時間と豊凶度の関係

3.3 光環境改善による効果

図-6 に清万採種園の概略図を示した。四角の一つ一つが調査木を表しており、平成 28～30 年度の間、鈴なりにになった回数に応じて色分けした。この図から、林道・作業道の付近に鈴なりにになった木が多いことが分かった。また、平成 27 年度環状剥皮エリアでは平成 28 年度に 20 本立木が枯れ、その周辺にも鈴なりの木が確認できた。このように、光環境が良好な箇所では鈴なりの木は多く確認されたことから、光環境を改善したことによる効果があったと考えられる。

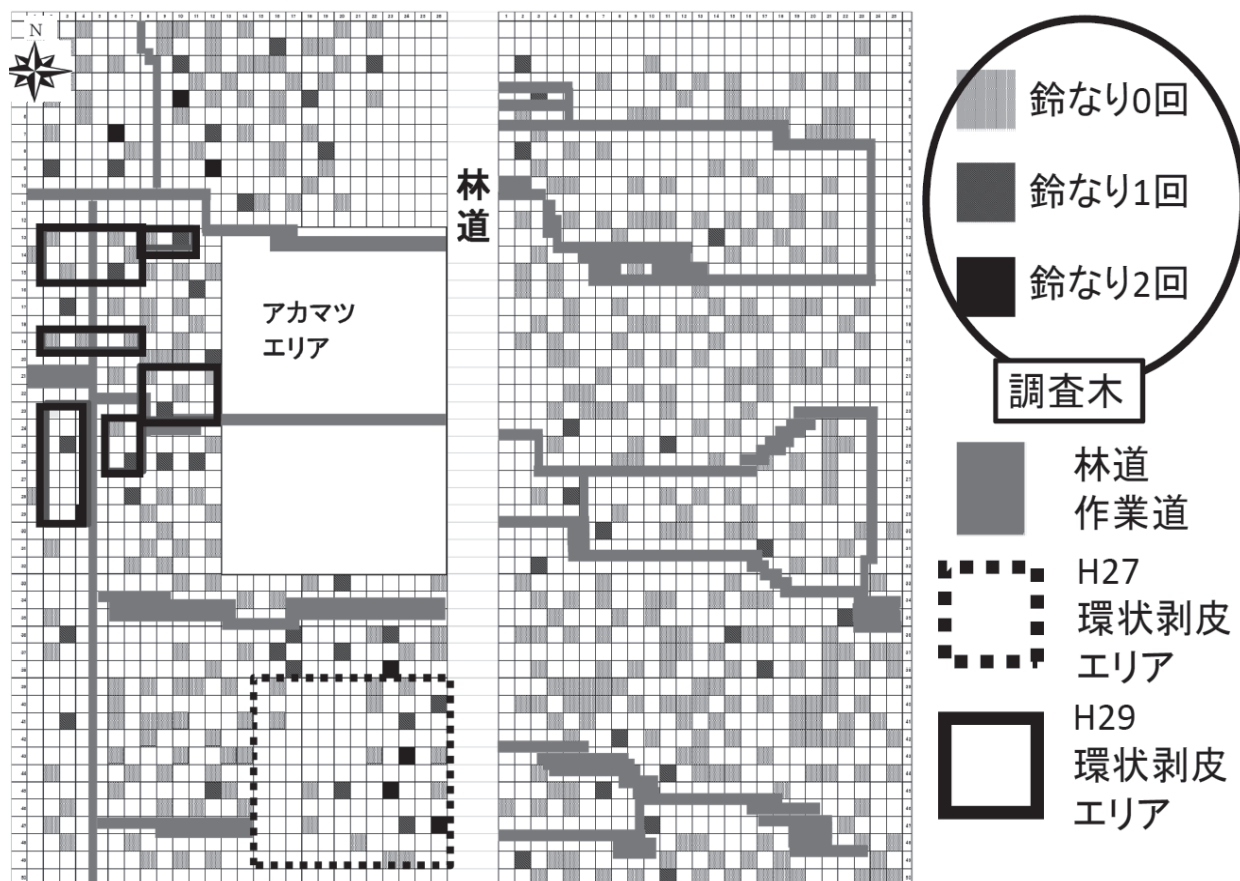


図-6. 清万採種園概略図

### 3.4 球果採取の実績

採種園での種子採取量は平成26年度2.17kg、平成28年度2.00kg、平成29年度1.20kg、平成30年度0.26kgであった。長野県の資料より、球果36kg $\div$ 種子1kg $\div$ 苗木24,000本分と換算できるため、採種した種子を合計し、苗木に換算すると約13万本分になる。

### おわりに

長野県でも清万採種園と同様に、3つの箇所の採種園を管理し、整備に取り組んでおり、今後ともデータを共有するなど、長野県等と協力・連携を行いカラマツ種子の安定供給に一層取り組んでいきたいと考えている。

※本稿は、平成30年度「中部森林技術交流発表会」で発表された内容を一部編集したものである。

### 協力団体

国立研究開発法人 森林研究・整備機構森林総合研究所 材木育種センター  
長野県林業総合センター

### 引用文献

- 1) 岡田充弘ほか(1997): 優良育種苗木の生産技術に関する研究, 長野県林業総合センター研究報告, 第11号, 1-10.
- 2) 蓬田英俊ほか(2015): カラマツ種子増産に向けた国有林カラマツ採種園再生利用と着花促進試験の取り組み, 森林遺伝育種, 第4巻, 26-30.



# 霧ヶ峰高原の異なる植生環境における蛾類群集の組成と構造 および環境指標性の検討

信州大学総合理工学研究科 田島 尚・信州大学学術研究院農学系 大窪久美子

## 1 はじめに

蛾類は国内に約 6000 種が生息し、極めて多様性が高い分類群である。また、植物食者を主として地衣類、菌類、腐った植物体等多様な食性種を含むため森林環境における植生や林床環境の指標生物としての有効性が示唆されている。一方、半自然草原を始めその他の植生環境における指標性を示した研究は少ない現状にある。また、国内の半自然草原は 1960 年代以降の生産的価値の低下から面積を急速に縮小させ、それに伴い近年、草原性生物の減少が著しい。蛾類も例外でなく、環境省の第 4 次レッドリスト種の約 6 割が草原や湿地に依存する種で構成されている。しかしながら、国内の草原生態系における蛾類の調査・研究は未だ少なく、現状把握が急務とされる。本研究では本州中部最大規模の半自然草原を有する霧ヶ峰高原において草原性蛾類の生息現状の把握と草原における蛾類群集の指標生物としての有効性を検討することを目的とした。

## 2 調査地区と方法

調査地区として植生や管理手法の異なる霧ヶ峰高原の草原 8 地区を選定した。A はススキ・オニゼンマイ優占群落であり、年 1 回の刈り取りが実施されるスキー場である。B・G・I・D は無管理の群落であり、B・G・I はススキ・レンゲツツジ群落、D はススキ・ワラビ優占群落である。F は亜高山帯植生であり、ニッコウザサ・ヒゲノガリヤス群落である。2013 年から部分的な刈り取りが不定期に行われている。H は約 50 年以上継続した火入れが行われてきた群落であるが、2019 年度以降火入れは停止されたススキ・マルバハギ・ハシバミ群落である。J は A 同様にスキー場利用のため年 1 回の刈り取りが行われるススキ・トダシバ・マルバダケブキ群落である。また、比較対象としてミズナラ林を主体とする森林 3 地区 (C・E・K) を設けた。E のみドイツトウヒやカラマツの植林地を含む。なお、調査区 H は火入れ停止から 1 年後、2 年後の群集の年次変動を比較するため両年度とも蛾類調査を実施した。

蛾類群集調査は 2019・2020 年度の 7~10 月にそれぞれの調査区における月 1 回の定量調査に加え、種類相の補完を目的とした定性調査を月数回行った。定量調査には自作したボックストラップを用いた (写真 1)。これは光源に飛来した蛾類が衝突板にぶつかり、下部の漏斗を通じてポリバケツ内に捕獲される仕組みとなっており、1 晩設置した。その他、植生・立地環境調査を蛾類調査実施年の 8 月に調査区内で実施した。

## 3 解析方法

採集した蛾類群集を研究室に持ち帰り、汚染した個体を除き種名とその種の食性を調べてリスト化した。また、このリストを用いて各調査区の蛾類の個体数を食性別に分類した。4 つの多様度指数を用いて各調査区の蛾類群集の多様性を評価した他、Czekanowski(1909)の類似度係数 PS を用いて調査区間の蛾類群集および植生の類似性を評価した。蛾類群集が調査区をどのように区別するか、特定の環境でどのような種群が形成されているかを把握するために各調査区で 5 個体未満の種を除いた TWINSpan による群集の分類を行った。

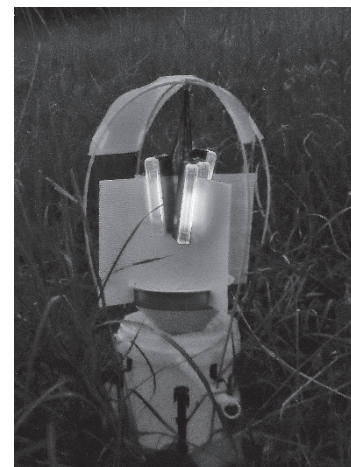


写真 1. ボックスライトトラップ

## 4 結果・考察

2年間の蛾類調査の結果、定量調査にて未同定を除く593種14,759個体が得られ、全体で環境省および長野県版レッドリスト種16種の他、数多くの草原性希少種が確認された。これら草原性希少種の大半は国内の分布が極めて限定的ながら、分布の中心をユーラシア大陸の温帯草原に持つ種であり、霧ヶ峰高原が国内の草原性蛾類にとって退避地的役割を果たしていると考えられた。また、蛾類群集を食性で分類し、個体数で割合化した結果(図1)、草原では草本食および多食性種、森林では広葉樹木本とタケ・ササ食の割合が高く、植生環境の差が明瞭に示唆された。一方、ワラビの優占度が高いDではシダ食の割合が高く、マルバハギ・ハシバミといった低木類が優占する草原Hでは広葉樹低木の割合が高い等、一部の群落的な特性が反映された。これは蛾類の個体数が周辺の餌資源量を割合で示唆した可能性を示している。

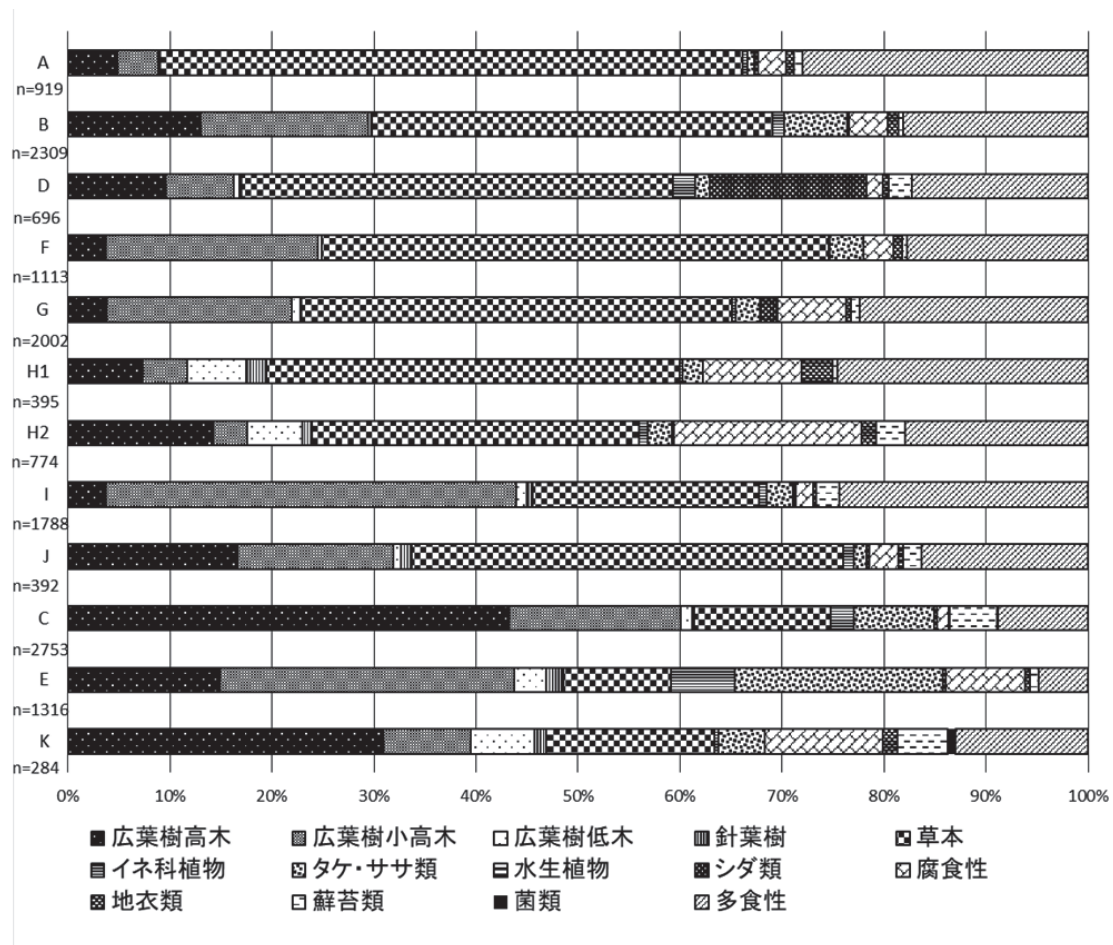


図1. 各調査区における蛾類の食性別個体数割合

蛾類群集の多様性評価(表1)においては、全多様度においてレンゲツツジ等の低木類の侵入した草原等の遷移の途中相の群落や森林で多様性が高く評価され、スキー場利用のA・Jの群落で評価が低かった。遷移途中相の群落は草原性と森林性双方の蛾類の生息が可能とすること、霧ヶ峰高原の森林は極相林等と違い林齢の若い疎林的な環境であり、草原的要素を多く含む点から蛾類群集も複雑化したと考えられる。一方、スキー場の調査区はゲレンデとしての利用による一様な継続した人為的圧力の蓄積が群落および蛾類群集の多様性の低下を招いている可能性がある。

表 1. 各調査区の蛾類の種数・個体数および多様度指数

調査区	種数	個体数	相対多様度		平均多様度		全多様度
			Pielouの均衡度指数J'	Simpsonの1/λ	Shannon-WienerのH'	N/λ	
A	110	971	0.6697	8.6598	4.5414	8408.6257	
B	209	2412	0.7293	20.0735	5.6209	48417.2729	
C	210	2916	0.5881	6.7842	4.5364	19782.8190	
D	145	787	0.7856	18.8707	5.6408	14851.2518	
E	205	1496	0.6939	12.6742	5.3289	18960.6483	
F	112	1158	0.6990	12.5799	4.7585	14567.4843	
G	173	2193	0.6754	14.0077	5.0213	30718.9217	
H1	124	474	0.8335	28.9144	5.7966	13705.4099	
H2	161	907	0.8053	26.4702	5.9040	24008.5039	
I	176	2068	0.5883	6.8420	4.3885	14149.2200	
J	110	515	0.7886	20.5456	5.3475	10581.0036	
K	141	376	0.9006	54.4822	6.4298	20485.3168	

表中の多様度指数の数値は小数点以下第5位を四捨五入した

多様度指数には属までの未同定種を含む

調査区間の蛾類群集の類似性評価の結果(表2)、調査区間の蛾類群集の類似度係数PSは各調査区の推定距離と有意な負の相関関係、植物相の類似度係数PSと有意な正の相関関係( $p < 0.01$ )があった。これは各調査区の距離および標高が近く、植物相が類似する程蛾類群集も類似傾向にあることを示している。一方でそれぞれの調査区を草原と森林、草原を刈り取りや火入れといった継続的な人為的管理の有無で区別し、類似度を同様のグループ間、異なるグループ間の2群として区別したところ、2群間には有意な差が認められた( $p < 0.01$ )。これは草原と森林の大きな遷移段階の違い、草原における刈り取りや火入れ等の継続的な人為的管理の有無で蛾類群集が明瞭に異なることを示唆している。つまり、これは蛾類群集が標高や距離に応じた植生帯の変化に沿って類似するだけでなく、大きな遷移段階の違いや人為的圧力による攪乱の影響を区別したと考えられる。

表 2. 各調査区の蛾類群集の類似度係数 PS と推定距離・植生の PS

距離\蛾類	A	B	C	D	E	F	G	H1	H2	I	J	K
A		0.421	0.228	0.372	0.142	0.402	0.326	0.264	0.256	0.255	0.291	0.137
B	861		0.410	0.308	0.336	0.411	0.594	0.164	0.258	0.414	0.228	0.103
C	981	155		0.186	0.408	0.267	0.315	0.086	0.140	0.349	0.141	0.109
D	1254	1656	1805		0.150	0.284	0.321	0.279	0.285	0.266	0.218	0.124
E	2350	1650	1500	3302		0.294	0.299	0.106	0.141	0.329	0.154	0.141
F	2655	1805	1655	3261	1061		0.434	0.216	0.224	0.381	0.268	0.087
G	2251	1500	1450	2306	2051	1334		0.196	0.319	0.491	0.194	0.078
H1	5922	5103	4953	6280	4093	3344	4006		0.491	0.191	0.194	0.118
H2	5922	5103	4953	6280	4093	3344	4006	0		0.258	0.250	0.164
I	2850	2100	2070	2803	2450	1537	622	3604	3604		0.235	0.134
J	6970	6081	6021	7050	5410	4525	4801	1583	1583	4261		0.229
K	6781	5903	5833	6970	5142	4291	4695	1130	1130	4183	513	

植生\蛾類	A	B	C	D	E	F	G	H1	H2	I	J	K
A		0.421	0.228	0.372	0.142	0.402	0.326	0.264	0.256	0.255	0.291	0.137
B	0.245		0.410	0.308	0.336	0.411	0.594	0.164	0.258	0.414	0.228	0.103
C	0.074	0.129		0.186	0.408	0.267	0.315	0.086	0.140	0.349	0.141	0.109
D	0.330	0.490	0.132		0.150	0.284	0.321	0.279	0.285	0.266	0.218	0.124
E	0.000	0.012	0.370	0.000		0.294	0.299	0.106	0.141	0.329	0.154	0.141
F	0.295	0.236	0.125	0.285	0.060		0.434	0.216	0.224	0.381	0.268	0.087
G	0.406	0.483	0.136	0.586	0.008	0.386		0.196	0.319	0.491	0.194	0.078
H1	0.281	0.265	0.135	0.376	0.077	0.310	0.319		0.491	0.191	0.194	0.118
H2	0.281	0.265	0.135	0.376	0.077	0.310	0.319	1.000		0.258	0.250	0.164
I	0.325	0.560	0.174	0.545	0.062	0.304	0.608	0.431	0.431		0.235	0.134
J	0.338	0.409	0.125	0.543	0.016	0.241	0.562	0.336	0.336	0.619		0.229
K	0.001	0.015	0.434	0.002	0.401	0.062	0.008	0.078	0.078	0.062	0.012	

推定距離は直線距離と標高差の斜距離から算出した

蛾類群集および植生の類似度係数 PS は小数点以下第4位を四捨五入した



TWINSPAN の群集分類 (図 2) でも前述の結果は裏付けられた。調査区の種類において各調査区が第 1 分割で草原 (群集型 I~III)、森林 (群集型 IV) で区別された他、第 2 分割以降で草原は大きくススキ・マルバハギ・ハシバミ群落 (群集型 I)、イネ科優占群落 (群集型 II)、ススキ・レンゲツツジ・ワラビ群落 (群集型 III) として区別され、これは火入れ・刈り取り・管理無の草原の管理手法とも一致した。森林では針葉樹植林の有無により区別された。一方、種群の分類では 14 種群に分類され、これらは大きく草原性種群 (種群 1~4)、共通種群 (種群 5~12)、森林性種群 (種群 13~14) に区別され、同様の食性や類似した生活史を有する種が同様の種群に分類された。

これらの結果から蛾類群集は植生の遷移や人為による攪乱の程度を明瞭に反映し、半自然草原においても指標生物として有用であることが示唆される。

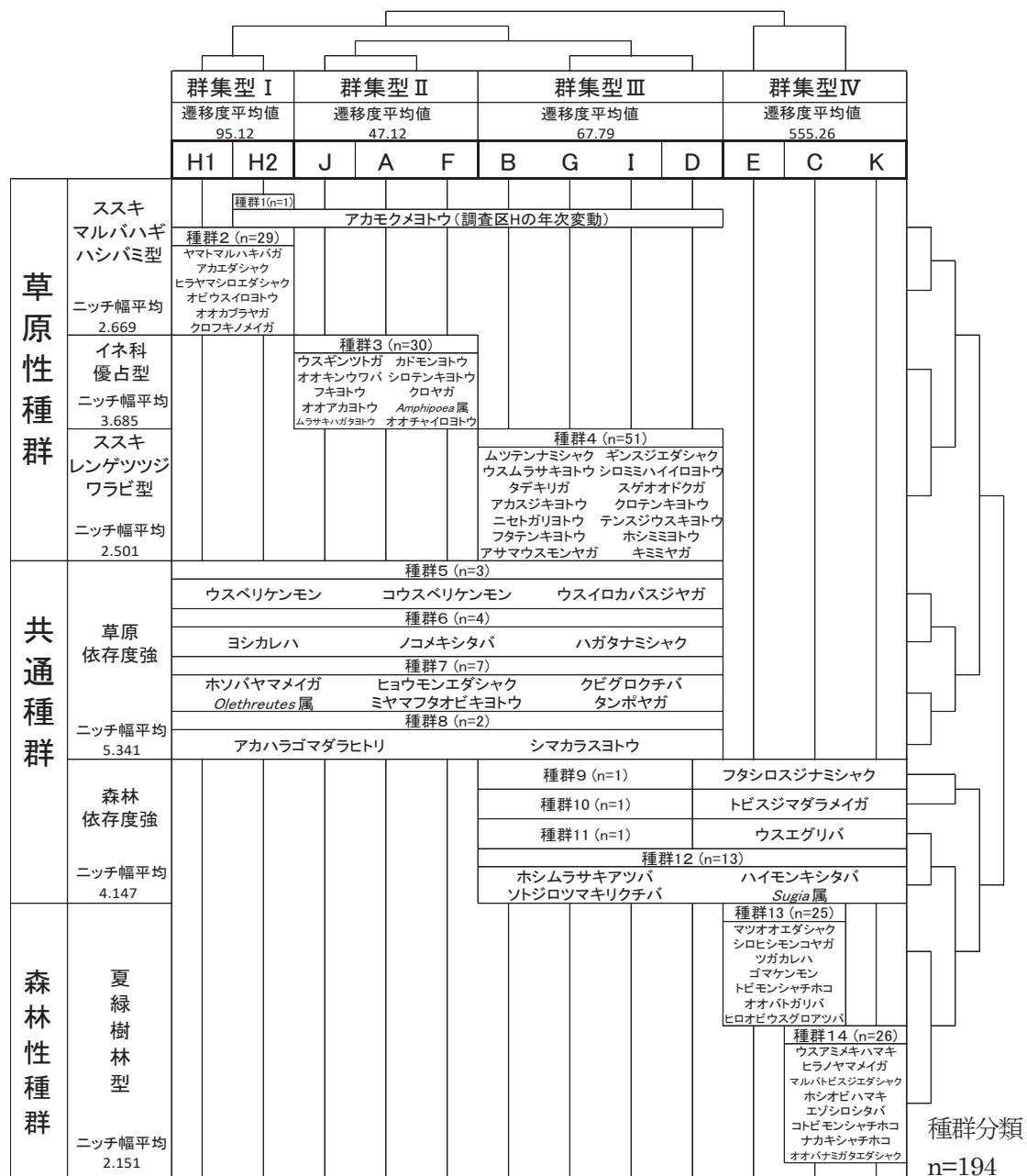


図 2. TWINSPAN 解析による蛾類群集の分類の模式図

## ヒノキ切株における粗根の腐朽と真菌類の関わり

信州大学大学院 総合理工学研究科 日名子結衣

### 1. はじめに

枯死木における腐朽の進行は、森林生態系の物質循環過程や生物多様性の評価を行う上で重要な現象である<sup>2)</sup>。腐朽の進行過程には多くの真菌類が関与しているが、このとき菌類群集の種組成や優占種の遷移を伴うことが知られている<sup>3)</sup>。これら真菌類の動態は、温度や水分などの周辺環境、利用資源量に影響を受けることから、気候変動の影響や森林利用との対応といった観点からも重要である<sup>4)</sup>。

これまでに、腐朽に関わる真菌類の動態については樹木地上部の倒木や立ち枯れ木を対象として研究が進められてきた。その一方で、人工林では施業により樹木地上部の多くが搬出されるため、相対して林地に残る地下部の粗根は重要な枯死資源となる<sup>1)</sup>。しかし、粗根の腐朽過程に関わる真菌類について検証したものは少なく、未解明な部分が多い。

そこで本研究では、日本の人工林の主要樹種であるヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) に着目し、伐採木の粗根から検出された真菌類の類型化を行うことで、粗根においても倒木と同様に菌類の遷移を伴った腐朽の進行がみられるという仮説を検証した。

### 2. 調査地と方法

調査地は信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター、手良沢山ステーション4林班に小班の50年生ヒノキ人工林とし、同一斜面上にある除伐や間伐後2~3年、7~8年、25~26年経過した切株の根系を用いて、年代学的観点から調査を行った。調査および試料の解析は、2018年8月から2020年1月にかけて行った。

各伐採後年数の切株5個体を対象とし、掘り取り調査を行った。調査では切株から1m範囲の根系を掘り取り、斜面方向を基準とした上下左右、4方向の側根(U, D, L, R)について10cm~20cm単位で切断、サンプリングを行った。外観的特徴に基づき各サンプルの腐朽段階(Decay class: DC)を5段階で評価した。DC1が枯死直後の材の状態を、DC5が腐朽の最終段階を表す。また、1個体につき2本の粗根をランダムに選択し、ドリルによりDNA解析用木くず試料を採取した。木くず試料について、DNAの抽出およびPCRによる真菌DNAの増幅、サイクルシークエンスによる塩基配列の読み取り、系統解析による菌種の同定を行った。また、個体から得られた子実体についても同様の手順を踏み菌種の同定を行った。得られた菌類のデータを4つの機能的に異なる群(木材腐朽菌、菌根菌、その他の担子菌、その他の子囊菌、以下「機能群」)に分類し、伐採後年数ごとに出現個体を比較検証した。

### 3. 結果

腐朽段階の評価の結果、伐採後2~3年、伐採後7~8年の段階では、個体内で各サンプルの腐朽段階が不均一であった。また、DC2およびDC3のサンプルが半数以上を占めていた。これに対して、25~26年では均一で全てのサンプルがDC4に判定された(図2)。

次に、菌類の検出の結果を表に示す。各機能群の出現割合に有意な差はみられなかったものの(Fisherの正確確率検定、 $p=0.5165$ )、伐採後の経過年数によって出現する菌類が異なる様子が

みられた。

伐採後2～3年では、木材腐朽菌が8種、菌根菌が4種、その他の担子菌が5種、その他の子囊菌が5種、検出された。また、木材腐朽菌のうち、倒木の腐朽過程において初期から定着し、腐朽能力の高い種が4種含まれていた。

伐採後7～8年では、木材腐朽菌が6種、菌根菌が5種、その他の担子菌が3種、その他の子囊菌が3種、検出された。また、木材腐朽菌のうち、倒木の腐朽過程において初期から定着し、腐朽能力の高い種が3種、中期以降に定着し、腐朽能力が比較的低い種が2種含まれていた。

伐採後25～26年では、木材腐朽菌が1種、菌根菌が3種、その他の担子菌が2種、その他の子囊菌が3種、検出された。木材腐朽菌は、倒木の腐朽過程において初期から定着し、腐朽能力が高いとされる属に属していた。

#### 4. 考察

##### 4.1. 粗根の腐朽と木材腐朽菌

結果から、木材腐朽菌の動態が材の腐朽状態に反映されていることが考えられた。各部の腐朽段階が不均一であった伐採後2～3年、7～8年の段階は、DC2およびDC3のサンプルが半数以上を占めており、腐朽過程の初期から中期にあたることが考えられた。倒木の腐朽過程において、初期から中期は多孔菌類等の木質構造を効率的に分解する木材腐朽菌が優占し、これら菌種間の競争が激しくなる<sup>5)</sup>。今回の結果においても、多様な木材腐朽菌が検出された。各段階で検出された菌種は異なり、2～3年の段階から7～8年の段階にかけて木材腐朽菌の遷移がみられることが示唆された。また、段階ごとにみられた菌種の特性を鑑みると、2～3年の段階では腐朽能力の高い菌種がみられ腐朽の進行が急速であり、7～8年には腐朽能力の高い種に加えて、部分的に腐朽能力の低い菌種の介入あるいは置換が起こり、腐朽の速度が緩やかにな

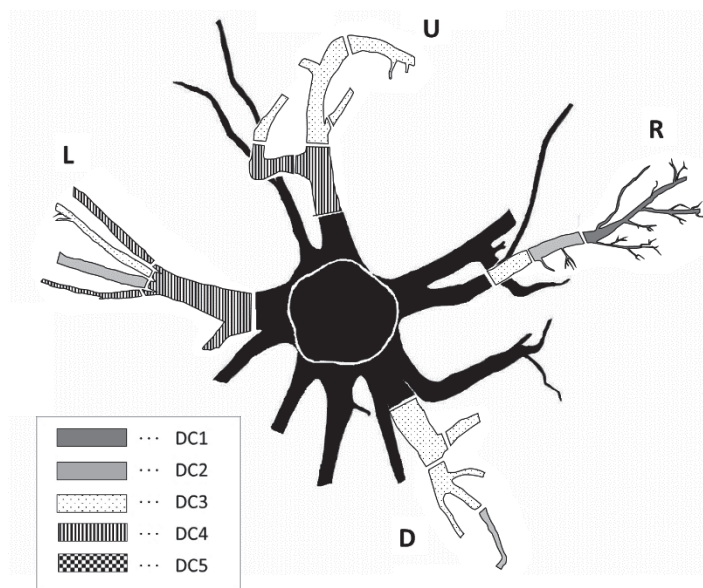


図1. 各サンプルの腐朽段階 (DC) の評価例

図は切株を真上から見た状態であり、サンプリングを行った側根についてDCを異なるパターンで示した。DC1からDC5にかけて5段階評価で腐朽の進行を評価した。

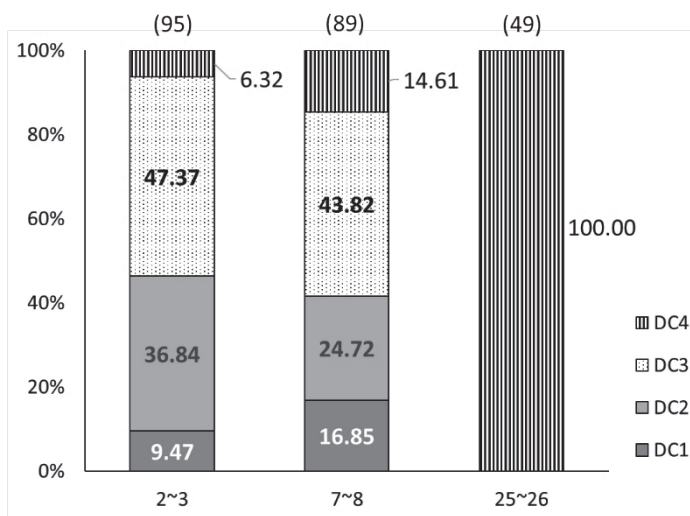


図2. 伐採後年数ごとの各部の腐朽段階 (DC) の構成割合  
図上部の ( ) 内の数字は、各年代におけるサンプルの総数を表す。

りつつあることが考えられた。

これに対して、伐採後 25～26 年の段階では各部が均一で DC4 であったことから、腐朽過程の後期にあたることが考えられた。倒木の腐朽過程において後期は、腐朽が進行した後の残存物を利用するハラタケ類が優占する<sup>5)</sup>。今回、木材残存物を利用する菌種は確認されなかった。しかし、腐朽途中にある軟らかい材部がなく、心材が堅く残る状態であったこと、木材腐朽菌の検出が 1 種のみであったことから、腐朽の進行が緩やかあるいは停滞していることが考えられた。

以上のことは、伐採直後には腐朽の進行による炭素放出が大きく、その後は緩やかに減少すること、心材部は長期の炭素ストックとして機能することを示唆している。

#### 4.2. 腐朽過程にみられたその他の真菌類

腐朽過程には木材腐朽菌以外の菌類の出現も多く確認された。倒木の腐朽過程では利用資源の相違から、枯死直後に子囊菌類が、腐朽の最終段階で菌根菌が優占することが知られる<sup>5)</sup>。今回、菌根菌やその他の担子菌類、子囊菌類は段階を通して出現しており、倒木とは異なる傾向があることが示された。ここでは、粗根は土壌中にあるため菌糸束や共生関係にある根の伸長による定着が容易である等、倒木との物理的、生物的環境の違いが影響している可能性が考えられる。また、これらの菌類は腐朽後の残存物の利用者である他、材の腐朽に関わっていることも考えられており<sup>5)</sup>、木材腐朽菌との相互作用が腐朽過程に影響を及ぼしている可能性がある。

#### 5. おわりに

本調査では、伐採後の経過年数の異なる個体を用いて、粗根における腐朽の進行と真菌類の関わりについて検証を行った。結果、粗根においても倒木と同様に、木材腐朽菌の遷移を伴った腐朽の進行がみられることが明らかになった。その一方で、木材腐朽菌以外の菌類の出現様式に関しては倒木とは異なる可能性が示唆された。これらの菌類については腐朽に果たす役割が明確でないが、木材腐朽菌の出現に加えて、その他菌類の生態や菌種間の機能的な関わりに着目し、粗根の腐朽過程を明らかにしていくことが必要である。

#### 引用文献

- 1) Debeljak, M. (2006) : Coarse woody debris in virgin and managed forest, *Ecological Indicators* 6, 733-742
- 2) Harmon *et al.* (1986) : Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems, *Advances in Ecological Research* 15, 133-302
- 3) 升屋勇人 (2018) : 森林科学シリーズ 10 森林と菌類、共立出版
- 4) Rayner and Boddy (1988): *Fungal decomposition of wood -Its biology and ecology*, John Wiley & Sons
- 5) Stokland *et al.* (2014) : 枯死木の中の生物多様性、深澤遊・山下聡 訳、京都大学学術出版会



表. 伐採後年数ごとの真菌類の検出結果

学名	和名	腐朽型	伐採後			出現時期
			2~3年	7~8年	25~26年	
<b>木材腐朽菌</b>						
<i>Hyphodontia aspera</i>	(和名なし)	W	1	-	-	P-E
<i>Pleurotus</i> sp.	ヒラタケ属	W	1	-	-	n.d.
<i>Sistotremastrum</i> sp.	(和名なし)	W/B	1	-	-	n.d.
<i>Phlebia radiata</i>	コガネシワウロコタケ	W	1	-	-	P-L
<i>Trichaptum abietinum</i>	シハイタケ	W	1	-	-	E
<i>Hyphoderma mutatum</i>	(和名なし)	W	1	-	-	n.d.
<i>Sarcomyxa edulis</i>	ムキタケ	W	1	-	-	n.d.
<i>Bjerkandera adusta</i>	ヤケイロタケ	W	1	-	-	E-L
<i>Armillaria</i> sp.	ナラタケ属	W	-	*	-	P-L
<i>Trichaptum bifforme</i>	ハカワラタケ	W	-	1	-	P-E
<i>Skeletocutis odora</i>	(和名なし)	W	-	1	-	M-L
<i>Hyphodontia alutaria</i>	(和名なし)	W	-	1	-	E-L
<i>Psathyrella</i> sp.	ナヨタケ属	-	-	1	-	E-M
<i>Skeletocutis kuehneri</i>	(和名なし)	W	-	1	-	M-L
<i>Phlebia georgica</i>	(和名なし)	W	-	-	1	E-M
<b>菌根菌</b>						
<i>Tricholoma matsutake</i>	マツタケ		3	-	-	n.d.
<i>Inocybe</i> sp.	アセタケ属		1	-	-	n.d.
<i>Tuber himalayense</i>	アジアクロセイヨウショウロ		8	9	4	n.d.
<i>Tricholoma</i> sp.	キシメジ属		2	1	2	n.d.
<i>Tomentella</i> sp.	ラシヤタケ属		-	4	1	L-F
<i>Amanita cesareoides</i>	タマゴタケ		-	2	-	n.d.
<i>Clavulina</i> sp.	カレエダタケ属		-	2	-	n.d.
<b>その他の担子菌類</b>						
<i>Filobasidium magnum</i>	(和名なし)		1	2	1	n.d.
<i>Wallemia sebi</i>	(和名なし)		1	-	-	n.d.
<i>Rhodospordiobolus ruinenii</i>	(和名なし)		1	-	-	n.d.
Uncultured fungus 1	(未分類)		1	-	-	n.d.
Uncultured fungus 2	(未分類)		1	-	-	n.d.
Uncultured fungus 3	(未分類)		-	1	-	n.d.
Uncultured fungus 4	(未分類)		-	1	-	n.d.
Uncultured fungus 5	(未分類)		-	-	1	n.d.
<b>その他の子囊菌類</b>						
<i>Penicillium</i> sp.	アオカビ属		1	-	-	n.d.
<i>Mycosphaerella</i> sp.	(和名なし)		1	-	-	n.d.
<i>Verticillium</i> sp.	(和名なし)		2	-	-	n.d.
<i>Geotrichum candidum</i>	(和名なし)		1	-	-	n.d.
<i>Talaromyces</i> sp.	アオカビ属		2	4	4	n.d.
<i>Hypocreales</i> sp.	ボタンタケ目		-	1	2	n.d.
<i>Pleosporales</i> sp.	プレオスポラ目		-	1	-	n.d.
Uncultured fungus 6	(未分類)		-	-	1	n.d.

数字は検出された供試体の数を、- は検出されなかったことを、\*は子実体での検出を示す。腐朽型について、W は白色腐朽菌、B は褐色腐朽菌、W/B は白色腐朽菌と褐色腐朽菌の両方がその属に含まれることを示す。出現時期は、P: 枯死直後、E: 初期、M: 中期、L: 後期、F: 最終段階を示し、過去の報告事例をもとに表記した。

# 架線集材地域における生産性向上の取組

木曾森林管理署南木曾支署 森林整備官 千村知博  
 有限会社 ヤマカ木材 常務取締役 勝野泰平

## 1 はじめに

かつての木曾谷は木曾ヒノキの森林鉄道輸送や林業機械化のメッカと全国的に注目され、林業生産活動の先導的役割を担っていた。(写真-1)

近年、全国的に低コスト・高効率作業システム(以下:車両系作業システム)が普及し、併せて中部局の生産性向上実現プログラム(以下:生産性向上プログラム)により局管内の生産性が向上する中、木曾森林管理署南木曾支署(以下:当支署)管内は急峻な地形、脆弱な地質などのため林道密度が少なく、架線系集材が中心の地域であり、生産性の向上には遅れをとっている。

しかし、架線系集材による林内生産性を高めることは、この地域における林業生産活動を継続させるための必須事項となっている。そのため令和元年度に有限会社ヤマカ木材(以下:ヤマカ木材)の請負箇所に生産性向上プログラムモデル事業地を設定し事業を行ったことからその取組事例を報告する。これまでの取組の経過は表-1となる。



写真-1 森林鉄道

表-1 取組の経過

年度	実施者	内容
19	ヤマカ木材	スイングヤード導入
20	林野庁	車両系作業システム開始
26	ヤマカ木材	高性能自走式搬器の導入
27	中部森林管理局	生産性向上プログラム開始

## 2 作業方針と実行結果

### 2.1 中部森林管理局の林内生産性の推移(低コスト全事業地)

年度別労働生産性を確認したところ、平成23~25年度は3.6 m<sup>3</sup>/人日が全事業地の平均値だったが、平成30年度の実績では6.2 m<sup>3</sup>/人日と向上した。(図-1)

間伐生産性推移では、令和7年度までに林野庁で示された間伐の達成すべき水準の林内生産性「8.2 m<sup>3</sup>/人日」以上の事業体の割合は、平成25年度までは無く、平成28年度の合計では8%の割合となり、平成30年度は23%までに増加した。平成23年度~平成25年度は、2~4 m<sup>3</sup>/人日の事業体が50%を占めていたが、平成30年度実績では、3~6 m<sup>3</sup>/人日が50%と推移した。(図-2)

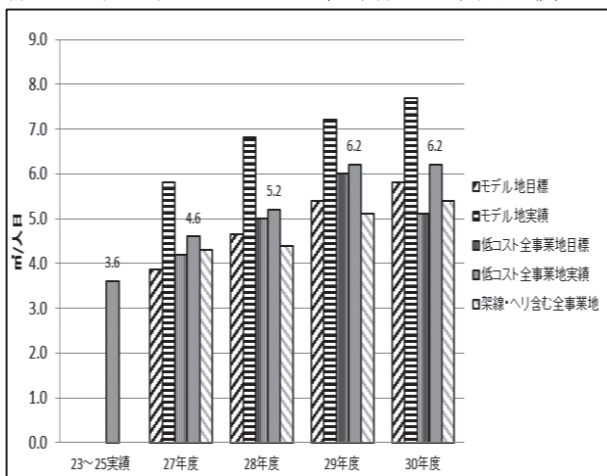


図-1 林内労働生産性の推移 (中部局素材生産請負事業)

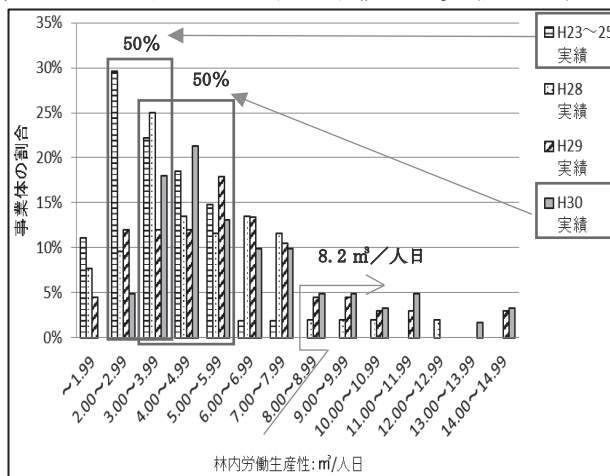
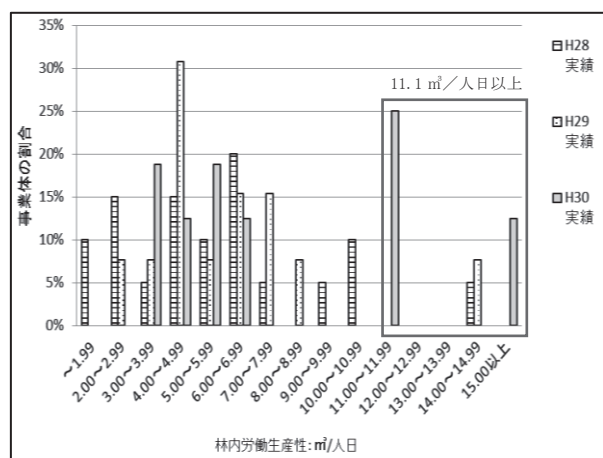
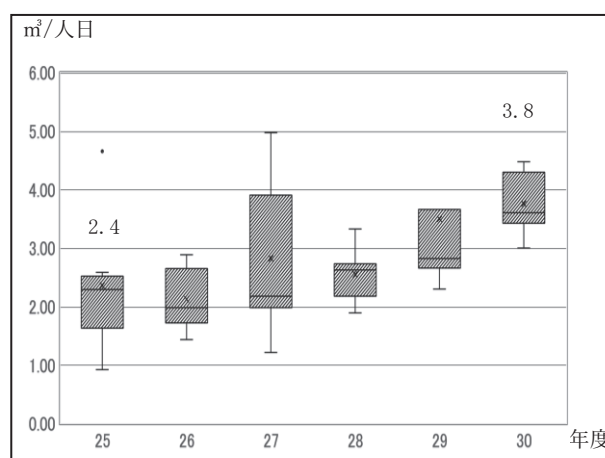


図-2 中部局事業体の林内生産性推移 (間伐)

同じく林野庁で示された主伐の達成すべき水準の林内生産性「11.1 m<sup>3</sup>/人日」以上の事業体の割合は、平成 28 年度においては 14.00 m<sup>3</sup>/人日～14.99 m<sup>3</sup>/人日の間の 5%であったが、平成 30 年度は 11.00 m<sup>3</sup>/人日～11.99 m<sup>3</sup>/人日の割合が 25%と増加し、15.00 m<sup>3</sup>/人日までの間の割合は 38%にまで増加した（図－3）。



図－3 中部局事業体の林内生産性推移（主伐主体箇所）



図－4 当支署林内生産性の推移

## 2.2 当支署の生産性推移（架線系・主間伐）

管内事業体の林内生産性の推移は、高性能自走式搬器の導入や生産向上プログラムの取組により、平均値では平成 25 年度 2.4 m<sup>3</sup>/人日から平成 30 年度 3.8 m<sup>3</sup>/人日と上昇した（図－4）。

## 3 令和元年度モデル事業地における取組

### 3.1 事業箇所の概要

請負事業体はヤマカ木材。モデル事業地は 2.51 ヘクタールの皆伐予定箇所を選定し、主要樹種は 101 年生のヒノキ、平均林地傾斜は 36 度の箇所となる。また、多様な森作りのため広葉樹保残を実施した。

### 3.2 生産性向上のための作業方針の設定

- ア. 林内生産性の目標を 5.62 m<sup>3</sup>/人日とした。
- イ. リモコン付スイングヤーダを使用した。
- ウ. 全木集材と未利用材（以下：D材）の販売を行った。

## 4 実行結果

### 4.1 林内生産性

今回の事業地での林内生産性は目標の 5.62 m<sup>3</sup>/人日に対して、106%の 5.95 m<sup>3</sup>/人日となった。工程別では伐倒の生産性が目標を上回り、集材と造材が目標を下回る結果となり、生産量も予定量の 73%の数量であったことから生産性に影響を与えたと考えられた。（表－2）

作業行程別ごとにみると、目標を上回った伐倒作業では、大径材が多く生育していたこと、全木集材を行わない先山での枝払い作業を省略できたことから生産性が上昇したと考えられた。反面目標を下回った集材では、大径材は重量がありスイングヤーダでの上荷作業では全木集材に向かなかったこと、スイングヤーダのワイヤーが摩耗し張り替えを行ったこと、リモコン付きスイングヤーダの電波が届かないことなどで集材の生産性が上がらなかった。（図－5）

表－2 作業方針と実行結果

作業工程 (m <sup>3</sup> /人日)	伐倒	集材	造材	林内生産性	生産量
目標(予定)	12.6	16.8	50.4	5.62	830m <sup>3</sup>
実行	21.6	14.1	20.6	5.95	605m <sup>3</sup>
割合	171%	84%	41%	106%	73%



造材においては、狭い林道での造材となり極積み箇所が限られたこと（写真－2）、大径木はチェーンソーを使用せざるを得なかったこと（写真－3）等でボトルネックになったと考えられた。作業種ごとの延べ人工数では集材と造材のボトルネックが黒点線の全木集材の伐倒でカバーされ、林内生産性の結果は目標と若干上回る数値となった（図－6）。

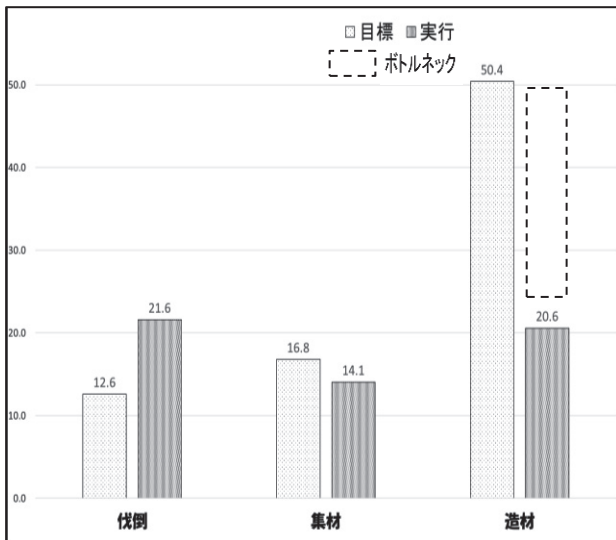


図-5 作業工程別生産性 (モデル事業地)

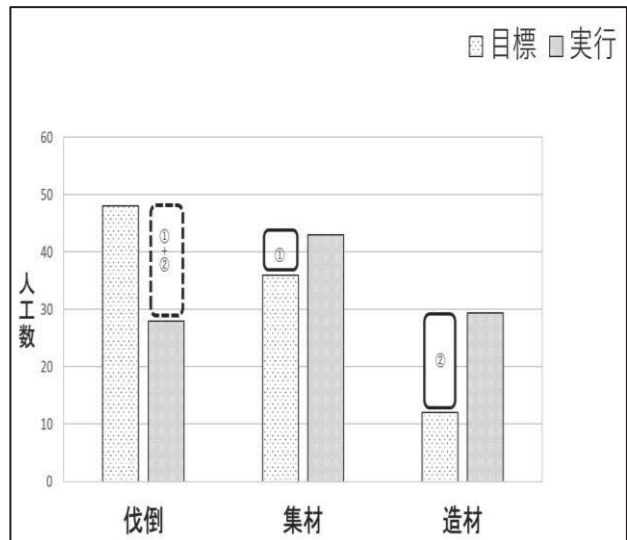


図-6 作業種ごとの延べ人工数



写真-2 林道への集積



写真-3 大径材の造材

#### 4.2 リモコン付スイングヤーダによる集材

リモコン付きスイングヤーダを使用することにより、オペレータと造材手との兼務で1名減らすことができた。しかし、作業箇所が急傾斜地であり荷外しは安全のためハーベスタで材を掴み作業を行った。作業スペースが狭いことから、造材と集材作業がボトルネックとなった。(写真-4) また、地形の凹凸によってはリモコンの電波が届かないこともあり、集材に手間取る事案も発生したことから、電波の指向性を高めることを目的に、アンテナの改良を行った。(写真-5)

荷上げ作業においては伐根に集材木が掛かる恐れがあるため、伐根の切り下げを事前に実施した。しかし、スイングヤーダ自体の集材線が低いことから、摩耗し張り替えを何度か行う結果となった。そのため今後、急傾斜地での実行の際は先柱を高く設



写真-4 スイングヤーダ集材



置ることにより、集材線の損傷防止と伐根へ掛かるリスク低減ができる可能性があると考えられた。

#### 4.3 全木集材とD材の販売

本事業地は当初よりD材販売を行うことが計画されていた箇所のため全木集材を実施した。このことにより先山での枝払い作業が無くなり、切創のリスクが低減され安全作業となったと考える。

また、従来全木集材では枝葉は先山へ戻す作業が必要だが、販売することにより不要となり片付け作業が省略できた。(写真-6) 単木材積が大きいものはスイングヤードでの集材に向かないため、先山で玉切り枝払いを行い、集材可能な大きさへ造材する作業が必要となったこと、単木材積が大きいものはハーベスタ造材に向かない大径材が多く、チェーンソー造材を行う必要があったが、全木を対象に行う必要が無いことから生産性の向上へつながった。

#### 5 まとめ

各機械の特徴を踏まえ集材距離により使用する機械を整理した。林地傾斜、搬出数量等、作業条件にも左右されるが、基本的には集材装置を表の通り使い分けることにより生産性向上へも繋がると考える。(表-3)

今回は生産性向上実現に向けて令和元年度の実行箇所での事例を取り上げた。急傾斜地、脆弱な地質の地域で行う架線系集材は、林地を痛めにくいなどのメリットがある一方、マンパワーには限界があることから架線集材地域における更なる機械化と林道網の整備が不可欠であると考えられた。本事業を終え、今後の改善に向けての会議の中では、事業体としての目標は、生産性の高い作業仕組みの体系化や安全で効率的な索張り方法検討・実施、新たな機械の導入も行いながら、スパン1,200mに及ぶ架線集材技術の継承等人材育成を行うことが必要と言う意見が出された。また、発注者としての目標は、全木集材によるD材販売への体型化の確立や皆伐箇所の広葉樹保残等の条件整備など取組を継続する必要があるという意見が出された。

中部森林管理局における生産性向上プログラムモデル事業地を設定しての取組は、平成27年度から実施し、令和元年度で終了となった。この取組を通じて発注者と請負者の連携が深まり、双方から学ぶことも多くあり、また全体の意識改革など副次的効果も生まれたと考える。

最後に、本取組について、多大なるご協力を賜った関係者の皆様に厚く御礼を申し上げる。



写真-5 改良アンテナ



写真-6 D材集積状況

表-3 集材装置の選択基準

集材距離(m)	使用機械及び索張方式			
	スイングヤード	自走式搬器 (ラジキャリア)	高性能自走式搬器 (ウッドライナー)	エンドレスタイラー等
150未満	○	×	×	×
150~500	×	○	○	△
500~1200	×	×	△(700まで)	○

作成:(有)ヤマカ木材

## カラマツ乾燥技術の変遷

長野県林業総合センター 吉田孝久

### 1 はじめに

近年の木造住宅建築では、生活様式の多様化、スピード化、あるいは品格法に代表される品質保証の重要性の増大などから、その建築工法は現場加工からプレカット工法へと大きく変化し、それに伴って構造用材の乾燥使用が飛躍的に増大した。

在来構法で用いられる心持ち柱材は、15年ほど前までは背割りを入れたものが一般的であったが、時代の流れとともに背割りを入れない心持ち材が強く望まれるようになった。現在では背割りの柱を見る方が珍しい。心持ち材は、収縮異方性のために、割らずに乾燥することが非常に難しく、無背割りの心持ち材を割れなく乾燥するためには、長期間の乾燥が必要とされた。この時から、「短時間で割れのない乾燥法」の開発研究が全国で展開され始めた。

長野県では、カラマツの「ヤニ」、「割れ」、「ねじれ」の欠点克服のため、早くからカラマツの高温高湿乾燥に着手し（現在は100℃以上の乾燥を高温乾燥と呼ぶが、当時は90～100℃の乾燥を高温乾燥と呼んだ）（1970年代）、板材・平割から柱材へと研究を進める中で、現在普及している高温セット乾燥スケジュールの提案となった。

### 2 全国での高温乾燥の研究

高温乾燥法は、1955年（S30）に北海道の林業指導所に装置が導入され、中川宏氏らによって試験された記録がある。しかし、その時はこれと言った成果は見られなかったが、その後、柱材の高温乾燥として本格的な試験を行ったのが北海道林産試験場の大山幸夫氏らである。大山氏らは1975年（S50）にカラマツ心持ち正角の乾燥による割れを防止するため、種々の乾燥スケジュールについて研究し、高温高湿スケジュールが最適であるとした<sup>1)</sup>。

その後、同試験場の信田聡氏らは、トドマツの正角材について、100～115℃の試験を行っており、その中で乾燥時間が中温（80～90℃）乾燥に比べて約1/2になること、仕上がり含水率のばらつきが大きいこと、材が褐色化すること等、その乾燥特性について1985年（S60）に報告している。この時のスケジュールは温度差を段階的に開けていくもので、湿球温度は終始100℃であった<sup>2)</sup>。

柱以外での高温乾燥の先鞭をつけたのは、国立林業試験場（現森林総研）の鷲見博史氏によるダグラスファー（ベイマツ）での枠組み壁工法構造用製材についての研究であった。110℃の高温乾燥試験が行われ、この中で乾燥材の品質を低下させずに、乾燥時間が従来の乾燥スケジュールに比べ約1/5まで短縮可能なことを1976年（S51）に報告している<sup>3)</sup>。また、熊本県林業研究指導所の東正彦氏は、短時間乾燥を目的に行った2.6×12×300cmのベイツガ高温乾燥材（110℃）の材質調査を行い、高温乾燥材は仕上がり含水率にばらつきはあるものの、一般の中温乾燥材（80℃）と比較して、曲げ強度性能も含め、材質的には同程度の乾燥材が得られたことを1987年（S62）に報告している<sup>4)</sup>。

そして、1990年代に入ると、各地で針葉樹構造用製材を対象に高温乾燥の研究が始まり、数多くの報告が見られる。1990年（H2）以降の高温乾燥に関わる文献は100を超える数に及んでいる。中には、過熱蒸気を用いた高温乾燥の報告も新しい乾燥法として注目を浴びてきた<sup>5)</sup>。

乾燥温度90～100℃の乾燥から始まった高温乾燥は、現在では120℃程度で運転され、その方法も、高温高湿乾燥から高温低湿乾燥（高温セット乾燥）へとその変貌を遂げてきた。

### 3 長野県における高温乾燥の研究

現在では、「高温乾燥」と言えば100℃以上の乾燥を指すが、一昔前までは、高温乾燥と言えば90℃～100℃の温度域での乾燥のことであった（前述）。

1977年（S52）頃から始めた試験により、カラマツ小中径から製材された壁板用板材の乾燥スケジュールは、90℃～100℃の温度で乾かすため、スギやヒノキの板材を60℃～70℃で乾かしていたことと比べれば、遥かに高温だったため「高温高湿乾燥」と呼んだ。

### （1）板材の高温高湿乾燥（90～100℃）スケジュールの確立

木材の割れ発生で、最もその危険があるのは板目の厚板あるいは心持ちの角材である。いずれにしても、収縮率の大きい板目面での割れ発生の危険性は高い。この割れ防止のための乾燥スケジュールを確立するため、試験材はあえて開発対象の板材ではなく、割れの危険の大きい7cm正割材と9cm正角材の無背割り心持ち材を対象として行った<sup>6)</sup>。乾燥温度を55℃、75℃、100℃に設定し試験を行った。

その結果、割れ防止のためには、高温ほど効果があることが明らかとなり（図1、写真1）、この高温高湿乾燥スケジュールでは、ヤニ滲出防止にも効果があることが確認された。また、栈積みの上部に重石を載せることで振れ防止にも繋がり、現在、民間では壁板用板材や集成材用ラミナは85℃～95℃の乾球温度で高湿、低湿を問わず一般に普及している。

この高温高湿乾燥スケジュールの確立により、カラマツ板材の住宅分野への進出が年を追う毎に増え、壁板は1982年（S57）に県立高校体育館を皮切りに（写真2）、小中学校や公民館等に広く使われ、また、カラマツ集成材は、長野オリンピックスピードスケート会場の「エムウェーブ（写真3）」建設1997年（H9年）までにその地位を完全に確立した。

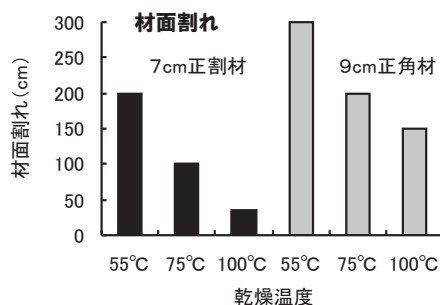


図1 乾燥温度別による試験材一本当たりの割れ長さ（1980） 写真1 割れの様子（左：55℃乾燥、右：100℃乾燥）



写真2 カラマツ壁板のデビュー作（1982）  
（高校体育館用壁板21mm厚）

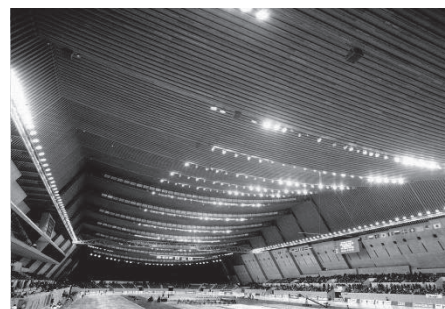


写真3 カラマツ集成材で建築された（1991）  
「エムウェーブ」（写真提供：株林友）

### （2）心持ち柱材の高温乾燥① 一灯油・廃食用油での乾燥

間伐材が盛んに市場に出回るようになり、カラマツを板材として使用する一方で、柱材としての利用を期待する人も多くなった。四材面が板目で、板材より遥かに大きな断面を持った心持ち柱材の乾燥は、割れ防止と乾燥時間の短縮にかなりの困難が予想された。

1988年（S63）頃から本格的に始めた柱材の乾燥試験は、当時まだ当センターに高温乾燥装置が無かったことから、従来の中温タイプの乾燥装置（100℃以下）を使用して、乾燥温度95℃を主体に行っていた。背割りが有る材での乾燥では、材面割れの発生はそれほど気にせず低湿で行え、



乾燥時間も、目標含水率が15~20%であったため4日程度の乾燥であった(カラマツ柱材の生材含水率は40%程度)。これは、70℃程度の中温乾燥と比較して約1/3の時間短縮であった。これに対して無背割り材での乾燥では、材面割れの発生と乾燥時間の長さが問題として残された。この時、スギの無背割り材についても試験を行っているが、流石にスギは、初期含水率が高いこともあって、12日間の乾燥で試験を打ち切ってしまったが、この時の含水率はおよそ30%で、その後の乾燥を考えても非常に長時間の乾燥が予想された。この試験でスギ無背割り柱材の乾燥の難しさが示され、同時に背割り材の乾燥時間短縮の有効性が明らかとなった。

その後、1992年(H4)頃から無背割り材に絞った試験を始めたが、その当時も高温乾燥装置がまだ設備されていなかったため、この時、検討したのが「120℃灯油や廃食用油中での高温乾燥」であった<sup>7)</sup>。「材内から如何に水分を早く抜くか」を考えた場合、水の沸点100℃を超える温度で乾燥することが単純明快な答えであった。勿論、これまでに、他県では減圧乾燥と高周波乾燥の組み合わせで100℃以下でも急速乾燥が可能な研究「内部加熱法」も進められていたが、装置も高額になることに加え、なかなかいい結論を見出せない状態が続いた。この灯油乾燥は、灯油を入れた容器内で木材を浮かさない様に固定し、浴槽を熱板ヒーターで120℃に加熱し乾燥するもので、言わば木材の素揚げ状態の乾燥方法であった。この試験で、スギ柱材が1週間以内で乾燥したこと、材面割れ防止に効果があること、内部割れの発生があること等を明らかにした。この乾燥方法は、現在、パラフィンやパルミチン酸、エンジン廃油等様々な液体を利用した液相乾燥として普及している。

**(3) 心持ち柱材の高温乾燥② ー水分傾斜低減法ー**

その後、乾燥試験は高温の蒸気式乾燥に移行して行ったが、長野県内にあった乾燥機メーカーの住金ヒルデブランドに実験用の高温乾燥装置が設備されたことにより、1994年(H6)からこの試験機を借りての共同研究が始まった。この時の成果は学会等でも発表しているが、発表課題名が、これまでの高温乾燥が90~100℃の乾燥温度であったことから、これと区別をするために「カラマツ柱材の高温乾燥(100℃以上)」とわざわざ注釈を入れていることが、今になっては滑稽である。当時の乾燥スケジュールは、まだ今で言う高温セット乾燥法ではなく、初期乾球温度105℃で12時間乾燥した後、末期を110℃、120℃、130℃の条件に設定し、湿球温度は終始98℃の試験であった。言わば段階的に温度差を開いていくという従来型の乾燥スケジュールであった。この試験での問題点として、半数以上の材に材面割れが発生したこと、仕上がりの水分傾斜が大きいこと、130℃乾燥の材に内部割れが多く発生したことであった。

以上のように、この時までの蒸気式高温乾燥の試験は、従来の木材乾燥の考え方である乾燥初期に表層の水分蒸発を抑えて乾燥を進めようとする考え方(乾燥初期を高湿状態とする)、いわゆる「水分傾斜低減法」が主流であった。

**(4) 心持ち柱材の高温乾燥③**

**ー高温セット乾燥法ー**

1996年(H8)に当センターに待望の蒸気式高温乾燥装置が導入され、本格的に無背割り柱材乾燥スケジュールの確立に向けた高温乾燥試験が始まった。まず、始めたのは、灯油乾燥により短時間で材面割れのない乾燥ができたことから、一気に表層を乾燥してしまう方法として、乾燥初期に乾球温度120℃~130℃、温度差を30℃~50℃とした乾燥試験を繰り返した<sup>8)</sup>。これと並行して、乾燥初期に高温低





湿とすることが応力的な視点から、材面割れの少ない乾燥方法であることが藤本登留氏や徳本守彦氏により確認され、この乾燥方法の有効性が証明された<sup>9)</sup>。しかし、問題も多く、高温のまま末期まで乾燥する当時のスケジュールでは、内部割れ、強度低下、耐久性等の課題が提起され、これらの課題解決に向けた試験は、その後も繰り返され、現在でも多少問題は残るものの、改良された高温セット乾燥法はほぼ確立された<sup>10)</sup>。乾燥初期の高温セット処理を完了した材は、既に表面が圧縮応力に転換しているため、その後、天然乾燥、中温乾燥、高周波乾燥などを行っても材面割れはほとんど発生しないことも実証され、このことから高温セットは、各乾燥法の前処理としてのメリットも持っているため、現在では広く応用されている（図2）。

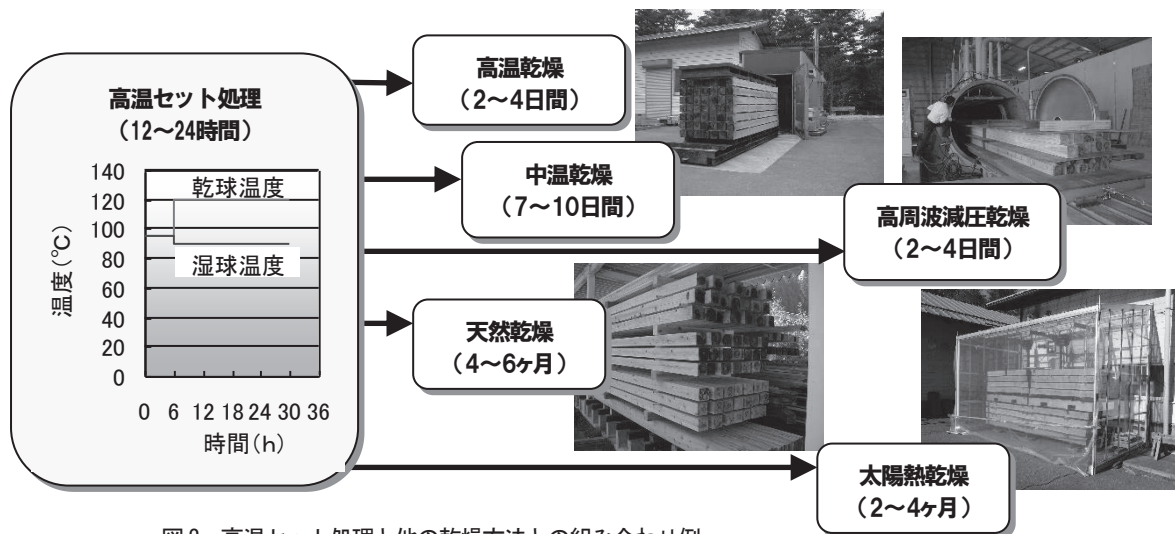


図2 高温セット処理と他の乾燥方法との組み合わせ例

#### 4 おわりに

カラマツの乾燥は、人工造林材の樹齢とともにその研究対象は板、ラミナ、2×4材などの断面の小さい材から、現在では、柱・桁といった断面の大きな構造材へと変わった。また、ヤニ処理を原点とした乾燥スケジュールは、100℃以下で行っていた乾燥から、現在では110～120℃の高温セット乾燥へと大きく変貌を遂げた。今後は、平角材等断面の大きな材に対して、減圧乾燥等の他の乾燥方法との組合せによる、「より高速な乾燥方法」の開発が必要になると思う。本稿が今後のカラマツ乾燥の一助となれば幸いである。

#### 【参考文献】

- 1) 大山幸夫、奈良直哉ほか：林産試験場月報、P1-4、1975. 10
- 2) 信田聡、中嶋厚、千葉宗昭、奈良直哉：北海道林産試月報、NO. 399、1985. 4
- 3) 鷺見博史：林業試験場研究報告、NO. 285、P1-28、1976
- 4) 東正彦：熊本県林業研究指導所業務報告、第26号、P84-92、1987
- 5) 小林功：木材工業、Vol. 60、No. 9、P439-444、2005
- 6) 三村典彦、橋爪丈夫、吉田孝久他：長野県林業指導所研究報告第1号、P19-43、1986
- 7) 吉田孝久：第43回日本木材学会大会研究発表要旨集、P211、1993
- 8) 吉田孝久、馬渡栄達、橋爪丈夫：第48回日本木材学会大会研究発表要旨集、P137、1998
- 9) 徳本守彦、帆苺謙一、武田孝志、安江恒、吉田孝久：材料、第53巻、第4号、P370-375
- 10) 吉田孝久、橋爪丈夫ほか：長野県林業指導所研究報告第18号、P125-141、2004

## カラマツの外構部材利用

株式会社テオリアランバーテック 専務取締役 丸山 淳治

### 1 はじめに

当社、株式会社テオリアランバーテックは長野県内のハウスメーカー・工務店向けにシロアリ防除を提供してきた。また昭和63年に薬剤注入缶を設置し、現在まで木材の耐久性にこだわって木材をより安全で確実に長期の耐久性を得られる水溶性薬剤による保存木材の製造や、外構設計・施工を行ってきた。当社の水溶性薬剤による加圧式木材保存処理の対象は、注入性の良い長野県産のスギを主に扱ってきた。しかし、乾燥木材に水溶性薬剤を注入するため、処理後の含水率は高く、塗装性は悪い、設置後の割れや反りが起こるなど寸法安定性が低いなどといった問題を解決する必要がある。さらに世間的には国連が唱えるSDGsの観点からも、今後は持続可能な資源を用いる時代であり、化学処理への抵抗感も高まっていることより、当社としてはノンケミカルで耐久性の強い木材処理方法の探求する必要がある。

そこで長野県内で60%の蓄積量を占めるカラマツに着目し、長野県林業総合センターと老舗乾燥機メーカーであるヒルデブランド社と協力して、減加圧高熱処理技術を中心に研究し、ノンケミカルで耐久性の強い、ねじれない・反らない寸法安定性の高い、付加価値のある外構部材の開発に着手した。



写真 1. 減加圧高熱処理装置で処理された木材

### 2 減加圧高熱処理(熱処理)について

木材に200℃以上の熱処理をするとヘミセルロースが分解し、木材の水分を取り込みづらくする<sup>1,2)</sup>。その結果、腐朽菌に侵されない耐朽性や水分変化を小さくすることで寸法安定性を得ることができた。

国内外含めて他社でも熱処理の歴史は古いが、ヒルデブランド社のこだわりは減加圧熱処理であり、酸素を完全に脱気することで処理後も木材を酸化させず中性であるため、熱処理木材の独特な匂いが少なく、内装材でも使用できるといったメリットが大きい。

ヒルデブランド社では全国で蓄積量が多いスギの熱処理について多くの実験結果を得ているものの、当社としては長野県に蓄積量が多いカラマツ・アカマツ・ヒノキについても、性能向上が得られるか興味があり、長野林総セ、富山木研、日本大学、ヒルデブランド社等とともに試験を行っている。

### 3 減加圧高熱処理木材の性能試験

当社では経済産業省「地域資源開発事業」を皮切りに、「JAPANブランド育成事業」や長野県庁・松本市役所の補助事業に採択を受け、県内4樹種の熱処理による耐久性・寸法安定性などの性能向上の試験を行ってきた。

本稿では、カラマツの耐朽性および寸法安定性等の性能について記載する。

### 3.1 耐朽性

耐朽性試験では JIS K 1571:2010 木材保存剤-性能基準及びその試験方法およびその性能を参考にして行い、耐朽性の基準は質量減少率 3% 以下である。

カラマツの中温乾燥材は褐色腐朽菌が 8%、白色腐朽菌は 11% となった (図 1)。これに対し、熱処理木材は褐色腐朽菌および白色腐朽菌ともに質量減少率が 1% となり、耐朽性の基準の 3.0% 以下を満たした。

なお、本試験は富山木研で実施した。

### 3.2 寸法安定性

優良木質建材等の品質性能評価基準 K-1 熱処理壁用製材を参考に、浸せき前に試験材の寸法を端部から 10 cm および中央部の厚さおよび幅を 3 箇所測定する。試験材を室温 (10~25°C) の水中に 24 時間浸せきした後、同じ箇所を測定、膨潤率を求めた。膨潤率は式 1 により算出した。なお、本試験は長野総セで実施した。

カラマツの熱処理木材は 0.3% と中温乾燥材の 1/3 の膨潤率となった。

$$\text{膨潤率 (\%)} = (L_2 - L_1) / L_1 \times 100 \quad \dots \text{(式 1)} \quad L_1: \text{浸漬前寸法} \quad L_2: \text{浸漬後寸法}$$

### 3.3 曲げ強度性能

JIS Z 2101 木材試験を参考にし、中央集中荷重により曲げ強度試験を行った。試験材から 30 × 30 × 480 mm の試験体を採取し、恒温恒湿室 (温度 20°C、湿度 65%、平衡含水率 11.7%) に 3 か月間養生した (木材は含水率の違いにより強度が異なるため同じ条件にした)。なお、本試験は長野総セで実施した。

カラマツの熱処理木材の曲げ強さは平均 55.6 N/mm<sup>2</sup>、中温乾燥は 91.9 N/mm<sup>2</sup> となり、熱処理木材と中温乾燥と比較して 6 割程度低下し、曲げヤング係数に違いは見られなかった。

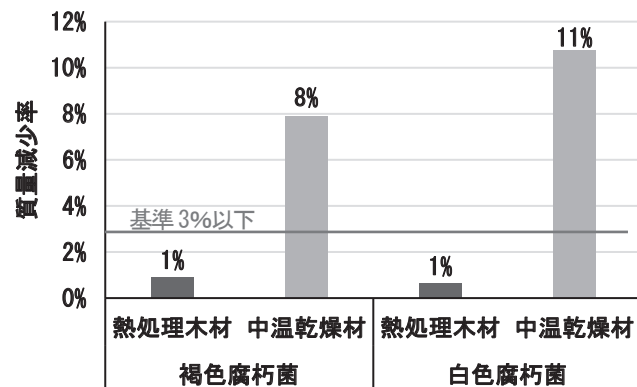


図 1. カラマツの耐朽性

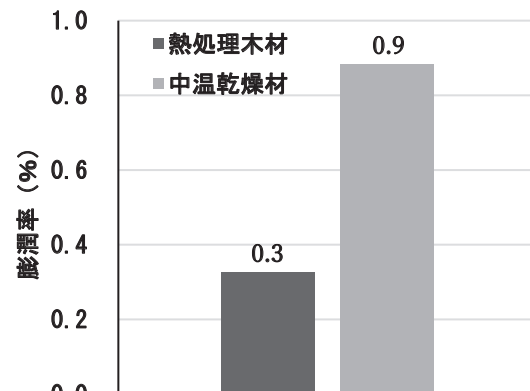


図 2. カラマツの寸法安定性

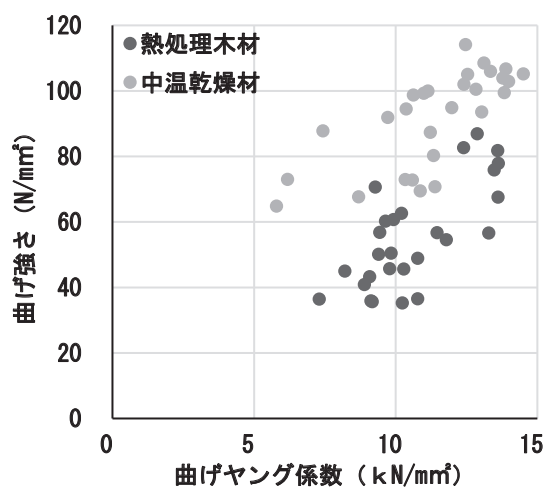


図 3. カラマツの曲げ強さ性能

### 3.4 注入性

試験材から 29×29×140mmを採取した。両木口面は、2液型エポキシ樹脂を2～3回塗ってシールした。試験材を、耐圧容器内でイオン交換水中に完全に浸漬して、注入操作した。条件は減圧が-0.09MPa、加圧が0.9MPa、減圧60分→減圧30分+加圧60分→減圧30分+加圧60分を行った。減加圧高熱処理により減圧および蒸煮による前処理の回数で注入性が異なるとされていたため、前処理の回数最小の1回と最大の3回の試験材を比較した。なお、本試験は富山木研で実施した。

前処理1回の熱処理木材の注入量は52 kg/m<sup>3</sup>、前処理3回の熱処理木材の注入量は49 kg/m<sup>3</sup>、中温乾燥材の注入量は173 kg/m<sup>3</sup>となり、カラマツに関しては、減加圧高熱処理の前処理の回数による違いはなかった。さらに、減加圧高熱処理による注入量は低下した。

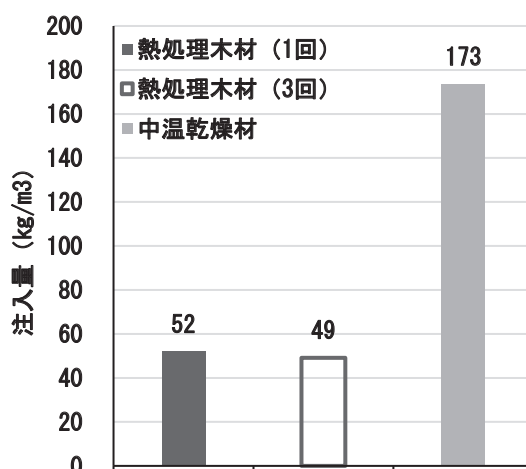


図4. カラマツの注入性

### 3.5 材色

カラマツの試験材を風雨にさらされる屋外に設置し、1年経過した時の写真を表1に示した。なお、本試験は長野総セで実施した。

表1. カラマツの退色変化 (約1年経過)

熱処理木材		中温乾燥材	
① 2019年11月	② 2020年11月	③ 2019年11月	④ 2020年11月

カラマツは減加圧高熱処理により①のように黒褐色に変色し、1年経過には②のように退色変化はあるものの、中温乾燥材の③から④のように灰白色にはなっていない。

この独特の色味を建築家に見せると高評価であることが多い。これは建築家が塗装の再現性に苦慮しており、塗装経年後のメンテナンスに困っているためである。しかし、塗装を行わないと腐朽のリスクが高まり、メンテナンスの手間やコストが高いことや寸法変化などにより防水性が損なわれるリスクが高いことなどが問題となっている。

その中で、カラマツ熱処理木材は無塗装なのに独特の褐色が長く保持する可能性があり、その上耐朽性と寸法安定性が高いことから、高い関心を示している。



#### 4 カラマツ熱処理木材の課題点

減加圧高熱処理したカラマツを使用する上での課題点として、目離れが起りやすいことである。目離れは晩材部の一部が早材部から分離することで、トゲが発生する（写真2）。外壁など手に触れにくい部分での使用は可能だが、当社が当初想定していたウッドデッキなど素足・素手が触れる可能性が高い箇所の使用は難しいと考えられる。確かに靴を履いて使用するのであれば問題ないが、リビングの延長と捉えている傾向があるため、カラマツよりも目離れしない代替材が必要となった。

そこで、長野県はカラマツの他にアカマツの蓄積量も多く、現在松枯れの進行で問題を抱えているアカマツを候補とした。アカマツの熱処理木材はカラマツ独特の色は出ないがトゲが出づらく、ウッドデッキなどの肌に触れる可能性の高い箇所の代替材に最適であると考えている（写真3）。



写真2. カラマツの目離れ



写真3. アカマツのウッドデッキ

#### 5 今後の展開

長野県内のカラマツは高齢級が増えており、梁桁材などへの利用が促進されている。それに伴い、梁桁材を生産した後の側材の利活用が求められている。側材は成熟材であり良質な材料であるが、付加価値を付けないと競合製品と値段競争になれば明るい未来はないと考えている。

当社ではカラマツの側材（成熟材）を熱処理することで耐久性や寸法安定性などの付加価値を高め、他のスギ・ヒノキでは得られない強度を持ちながら、カラマツ独特の色味を生かした外壁材としての利活用を進め、今後広くPRする予定である。

また、先にも述べたが、経産省「JAPANブランド育成事業」で、日本貿易振機構（JETRO）の調査結果とマッチング支援を受けて、ベトナムにおける市場調査を行った。東南アジアは熱帯気候であるがゆえに針葉樹のような直材がなく、ベトナムは予てより家具生産のメッカであり世界企業が工場を構える。加えて国の人口構成が若く急激に経済発展しており日本のODAも得ながら建築物なども多く作られている。外構木材・家具木材の輸入量も多く、欧州産熱処理木材も多く輸入されている。長野県にユニークなカラマツを高付加価値化させ、世界のサプライチェーンの中心になりつつあるASEAN・ベトナムにも出荷することが将来の展望である。

#### 引用文献

- 1) 松永正弘：最新 木材工業事典 [新版]、(公社) 日本木材加工技術協会、p. 142 (2009)
- 2) 村田誠四：改訂4版 木材工業ハンドブック、丸善株式会社 p. 893 (2004)

おしらせ

## マツ材線虫病被害拡大防止への取組

### 1 はじめに

林業総合センターは、1988年に塩尻市の東にある高ボッチ山の麓、標高850mに位置するアカマツに囲まれた当地へ移転しました。

この時開館したに森林学習展示館は、地域の方々を始めとする多くの皆様に親しまれており、林業総合センターはアカマツの林というイメージが定着しています(写真-1)。

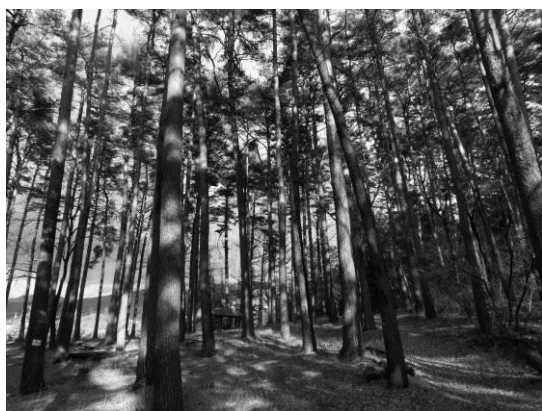


写真-1 アカマツに囲まれる当センター

しかし近年、60年生前後にまで成長したアカマツが、一般に「松くい虫」と呼ばれるマツ材線虫病の被害を受けはじめようになり、構内でも枯死木が発生するようになりました。現在新たな森へと生まれ変わるべく、積極的に樹種転換を進めています。

### 2 マツ材線虫病に関する試験研究

長野県でマツ材線虫病の被害が初めて確認されたのは1981年のことです。本被害が全国的にも重大な問題であることから、当センターでも1983年から被害の拡大防止に向けた研究に取り組んできました。

研究を始めた当初、県内の被害は微害で推移していたため、微害地での防除法として、幼虫の天敵であるキツツキを誘致することなどを検討しました。しかし、1990年から被害量も被害面積も急増したため、被害木を伐採し燻蒸処理を続けてきました。これにより長野市などでは2000年頃

に被害が一時的に鎮静化した時もありました。しかし、2004年に松本市で被害が確認されたところから被害が再び増大してしまいました。2005年頃の調査では、標高800m以上の地域では被害が発生しにくいとされていましたが、現在は標高800mを超える地域でも被害が目立っています。そして、2015年に塩尻市でも被害が確認されると、当センター構内でも被害が心配されるようになりました。

### 3 センター構内での取組

43haの敷地の大半がアカマツ林となっている当センターでも、職員による見回り巡視を積極的に行うようになりました。見回りで、枯れたばかりのアカマツがあると、その時にマツ材線虫病の被害を受けていなくても、被害を拡大させる原因になりかねないことから、職員自らで伐採し、当センターで被害木を発生させないように努めてきました(写真-2)。



写真-2 枯死木を伐倒処理する職員

それでも、隣接する松本市でアカマツの枯損が激しくなると、徐々に当センター構内にも被害が及ぶ危険が迫ってきました。

そんな中塩尻市は、2017年に市内への被害拡大を防止するため、隣接する松本市境から2.5km以内のアカマツ林については、被害拡大防止のための防護帯化を進めるとの方針が出されました。このエリアにある当センターでは、所内で検討す

ームを設けて被害対策に乗り出しました。その結果、塩尻市の方針を参考に標高 850m 以下のアカマツを全て伐採することを決定し、概ね3年間をかけて樹種転換を図ることとしました。

初年度となる 2019 年度は、標高が低く松本市に近い敷地の北側から伐採作業を開始しました(写真-3)。



写真-3 伐採作業

その際、アカマツ以外の樹木は可能な限り残すことで、次の森林への転換が緩やかに行われるように配慮しました。

2年目となる 2020 年度は、本館や森林学習展示館といった建物周辺から敷地の南側を整理することとして、アカマツの伐採を進めました。森林学習展示館から下の区域では、アカマツ以外の樹木を伐らないようにしましたが、本館周辺は、アカマツが非常に多かったことから、皆伐を行い、次世代の森林づくりに向けた試験地として活用するように進めています(写真-4)。



写真-4 皆伐地を造林試験地に

最終年となる 2021 年度には、残された場所の伐採を行うことで、当センター構内の標高 850m 以下の区域にあるアカマツの伐採を完了し、次の

世代への森づくりが始まります。

なお、当センターの敷地には、標高 850m よりも高いところもありますが、被害を受ける危険性は残ります。この区域については、当センターで実施している林業技術者向けの研修で、アカマツの伐採を進める予定です。その結果、近い将来には、アカマツ林に囲まれた林業総合センターから別の林へと変化していくこととなります。

#### 4 今後に向けて

2020 年度に皆伐を行った本館周辺(写真-5)では、アカマツに囲まれていた景色が一変し、塩尻市域全域が見渡せるようになり、一気に明るくなりました。



写真-5 明るくなった本館周辺

現在のアカマツが育つ前までは、草刈り場として利用されていたことを考えると、昔の姿に戻ったという言い方が出来るのかもしれませんが。林業は、「伐って、植えて、育てる」サイクルを繰り返せることが、持続可能な資源とされる最大の特徴です。当センターでも、そのサイクルを積極的に活かし、現在技術開発を進めているカラマツの植栽を行うことで、新たな技術開発につなげていきたいと考えています。

景色が一変した林業総合センターですが、アカマツを伐ったことで次世代の森林づくりへ向けた第一歩を歩みはじめました。

今までは風景が変わってしまったと感じる方もいるかと思いますが、植栽木の成長とともにこれからも温かく見守っていただければと思います。

(指導部 小山泰弘)



おしらせ

## 林業総合センター基本計画を策定しました

### はじめに

林業総合センターでは、2005年に策定された「長野県ふるさとの森林づくり条例」と「森林づくり指針」を踏まえ、2008年に「長野県林業総合センター試験研究等基本計画」を策定し、試験研究を進めてきました。前回の計画策定から10年以上が経過し、間伐を中心とした「育てる時代」から、皆伐再造林による「伐って植える時代」へと変化してきました。そこで、2021年から10年後にあたる2030年をゴールとして、地域の産業振興や山村の活性化に必要な試験研究や技術指導を進めていくための新たな基本計画を策定しました。

### 策定の方法

本計画を策定するにあたり、当センターが長期的視点に立って進めてきた研究を推進する課題をそのまま進めることだけでなく、幅広いニーズを把握するため、過去5年間に当センターと関わりのあった、264カ所の県内機関から意見照会を行いました。その結果、94カ所から回答を頂き基本計画の中に取り入れました。

これにより、今回の基本計画では、専門分野を活かして各部で取り組む内容を整理するとともに、当センター全体で横断的に取り組むべき内容を整理しました。

### 計画の内容

今回の基本計画では、「森林を活かし健全な姿で次の世代に引き継ぐために」を当センターの目標に据え、それぞれの項目ごとに10年後にめざす姿を定めるとともに、実際の課題ごとに5年後の中間目標と10年後の到達目標を設定しました。

それぞれの項目で取り上げた主な内容は次のと

おりです。

**指導部**では「林業に関わる人材の育成指導」を柱に、県民にむけた普及啓発、林業技術者の養成、安全で効率的な林業の実現の3項目で技術指導を進めつつ、必要な試験研究も行います。

**育林部**では「健全な森林づくり」を柱として、優良な苗木生産、多様な森林の育成管理技術の開発、森林被害の低減、山地災害の防止と早期復旧技術の開発という4点で試験研究や技術協力を進めます。

**特産部**では「豊かな地域づくり」を柱として、菌根性きのこ増殖技術の開発、地域の再生に寄与する腐生性きのこ栽培技術の開発、里山等の幅広い地域資源の活用の3点で試験研究を進めるとともに技術指導を行います。

**木材部**では「信州カラマツ等の県産材活用」を柱に、安全・安心な木質建築部材の開発、暮らしの中で活かす県産広葉樹製品の開発、新たな技術を活用した高品質木材開発といった3点で試験研究を進めながら、技術協力などにも対応します。

**当センター全体で連携する取組**は、「新たな時代の森林・林業を切り拓く」を柱に、新たな森林資源の有効活用による経営改善、生産現場からの要請に応える技術支援、持続可能な形でのゼロカーボン政策の推進に向けた取組の3点を主要施策としました。

新年度からは、この計画に基づいて当センターの事業を進めながら、進捗状況について評価検証を行っていきます。

なお、今回策定した「長野県林業総合センター基本計画」の全文は、長野県林業総合センターのホームページで公開しています。

(指導部 小山泰弘)

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5739z

TEL 0263-52-0600(代) 直通0263-88-7003 FAX 0263-51-1311

URL <https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/>

E-mail ringyosogo@pref.nagano.lg.jp