

# 技術情報

令和3年度カラマツ林業等研究会特集

No.167  
2022.3

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、2年続けて研究発表会が開催できませんでした。そこで本号も、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 カラマツの天然更新で造林コストの削減は可能か…………… 2
  - 2 無人航空機活用による野鼠駆除の省力化に向けた取組…………… 6
  - 3 高温セット乾燥したカラマツ心持ち材の化学成分量…………… 10
  - 4 長野県におけるカラマツ葉群フェノロジーの地域特性…………… 14
  - 5 落葉を用いた葉面積指数の直接推定に関する研究…………… 18
- おしらせ
- ・ 現地適応化事業への協力をすすめています…………… 22
  - ・ これからの積極的なPRにつとめます…………… 24

# カラマツの天然更新で造林コストの削減は可能か

長野県林業総合センター 大矢信次郎

## 1 再造林コストの低減に向けて

長野県では全国に先駆けてカラマツ造林が行われてきたことから、令和3年9月現在、カラマツ人工林面積のうち12歳級以上(56年生以上)が80%を占め(長野県林務部2021)、いよいよ「伐って使う時代」に入ってきた。ところが、4歳級以下(20年生以下)の若齢林の面積はわずか0.3%に過ぎない。北海道や岩手県等では近年カラマツの造林面積が大きく伸びており、平成29年3月時点で、4歳級以下のカラマツ林面積は北海道で長野県の100倍以上、岩手県で10倍以上となっている(林野庁2017)。「カラマツのふるさと」である長野県としては、次世代カラマツ林の造成をより一層進め、産地としての地位を堅持したいところである。

しかしながら、再造林にはコストが掛かる。現状では、森林所有者が主伐時に得られる収益で再造林費用のすべてをまかなうことは補助金がなければ困難である。そのため当センターでは、再造林コストの低減のために、地拵えの機械化、下刈り省力化等の低コスト施業技術の開発に取り組み(大矢ら2021)、諸外国の低い造林コストに徐々にではあるが近づきつつある。一方で、従来の再造林技術、低コスト再造林技術に続く第3の選択肢として「植えない、下刈りもしない」カラマツの天然更新についても検討を進めているので、本稿ではその内容の一部を報告する。

## 2 カラマツの天然更新の可能性

カラマツは、閉鎖されたスキー場跡地や、崩壊地、林道の法面、土場跡地、土捨て場などに天然更新した実生が頻繁に認められ、長野県内にも成林した事例が多数ある(写真-1)。しかし、カラマツは種子の豊凶周期が5~7年と長く(小沢1962)、種子の結実・散布が連年安定して得られないこと、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(五十嵐ら1987など)、等の生態的特性があり、いつ、どこでも容易に天然更新するわけではない。そのため、人為的にカラマツの天然更新を成功させるためには、これらの阻害要因を排除する必要がある。



写真-1 閉鎖されたスキー場に天然更新したカラマツ

## 3 カラマツ人工林における皆伐と地表処理による天然更新の誘導

カラマツの天然更新林分はいたるところで見ることができるが、人為的にカラマツの天然更新をねらって施業を行い、成林した例は多くない。また、天然更新をコスト面から評価した例もほとんどない。そこで当センターでは、カラマツ天然更新の施業体系の確立を目指し、南佐久郡南牧村の南牧県有林のカラマツ人工林において、天然更新の誘導試験を行った。主な手順は以下のとおりである。

### (1) カラマツ種子の豊作年の見極め

カラマツの球果が多く着生した年でないとは十分な量の種子の落下が期待できず、天然更新成功の可能性が極めて低くなる。したがって、天然更新施業を行う場合には、伐採予定地に隣接する母樹となりそうなカラマツの着果(着花)状況を早期に見極め、伐採の判断をする必要がある。本試験

では、2014年4月に南牧県有林（標高1580m、伐採時林齢67年生）でカラマツ雌花の着花を多数認めため、その年の伐採を決定した。

### (2) 十分な光が確保できる更新面を用意

カラマツの実生が順調に生育できる光環境の条件は不明な点が多いため、本試験では10m・20m・40mの帯状伐採を2014年9月中旬に行い、実生の成長を比較することとした（図-1）。

### (3) A<sub>0</sub>層～A層土壌の剥ぎ取り（地表処理）

カラマツの種子が発芽・定着し順調に生育するためには、競合植生を少なくすることと、種子の発芽や生育を阻害する菌類の影響を回避する必要がある。そのために行う施業が地表処理（かき起こし）で、ササの根系やその他競合植生の埋土種子、暗色雪腐れ病菌等の害菌が含まれる表層土壌を除去する。伐採～地表処理は、母樹から種子が落ち始める前までに終わらせておく必要がある。本試験では、2014年9月下旬に油圧ショベルによりササの根とともにA層までの表土を除去する作業を行った。

以上の施業の後、各伐採帯におけるカラマツ種子散布密度と実生の発生量及び成長量の推移を調査した。まず、各伐採帯の2014年のカラマツ種子散布密度をシードトラップにより調査した結果、カラマツ種子の落下は10月上旬頃始まり、11月下旬以降には急速に少なくなっていた（図-2）。また、10m帯で約50万粒/ha、20m帯で約40万粒/ha、40m帯で約30万粒/haとなり、伐採幅の拡大とともに減少する傾向がみられた（図-3）。この原因は、伐採幅が広いほど残存帯に存在する母樹からの距離が遠くなるためと考えられる。

2015年に発生したカラマツ実生（写真-2）の平均密度は、10m帯で約13万本/ha、20m帯で約6万本/ha、40m帯で約3万本/haで、種子落下密度から推定される発芽率は11～25%程



図-1 南牧県有林 試験地平面図

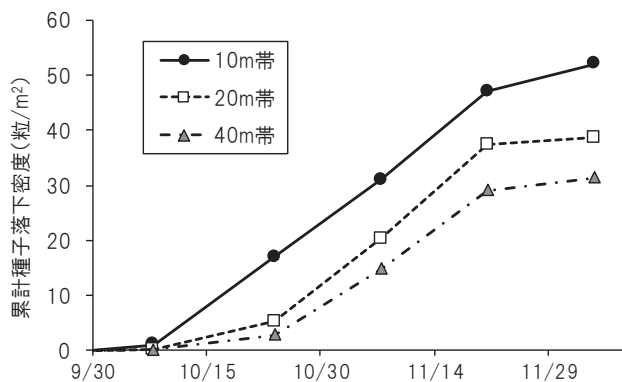


図-2 各伐採帯におけるカラマツ種子の累計落下密度の推移(南牧)

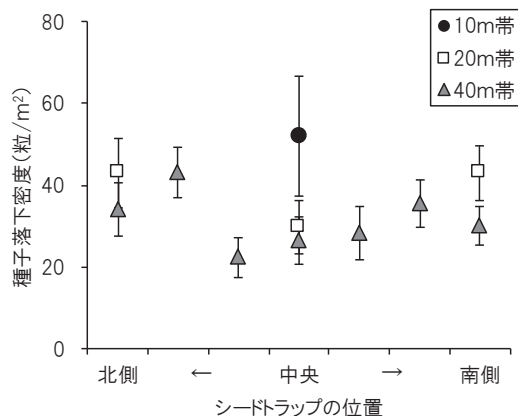


図-3 シードトラップの位置と種子散布密度の関係(南牧県有林:2014年, エラーバーは±標準誤差)



度にとどまった。実生は年を経るごとに漸減し、3成長期経過後の2017年の11月以降はほぼ横ばいとなり1~7万本/haになっている(図-4)。実生の消失原因としては、冬季の凍上による枯死、競合植生による被圧、野鼠による食害等が認められた。

また、各伐採帯における実生の樹高成長量を比較すると、伐採帯が広いほど成長量が高い傾向があるものの、伐採帯の林縁では成長が抑制される傾向が認められた(図-5)。実生発生から4成長期を経た2018年秋の平均樹高は30~50cmであり、まだ成林したとは言えない段階である。再生してきたササや草本類、カンバ等の木本類との競合も一部で認められ、予断を許さない状況が継続している。

以上の結果から、春にカラマツ雌花が多数認められる年であれば、受粉及び球果の成熟に特別な阻害要因がない限り、带状伐採と地表処理の組み合わせによりカラマツ実生を発生させることが可能であることが確認された。今後の実生の成長は、競合植生との競争に勝ち残れるか、また成長に必要な光量を確保できるかが重要であると考えられる。



写真-2 発生したカラマツ実生

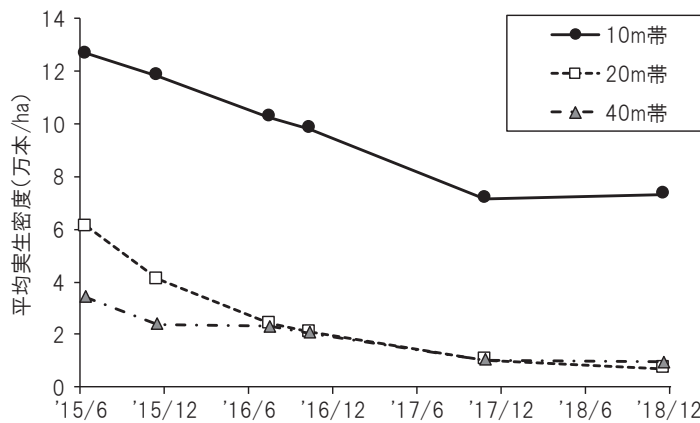


図-4 各伐採帯におけるカラマツ平均実生密度の推移

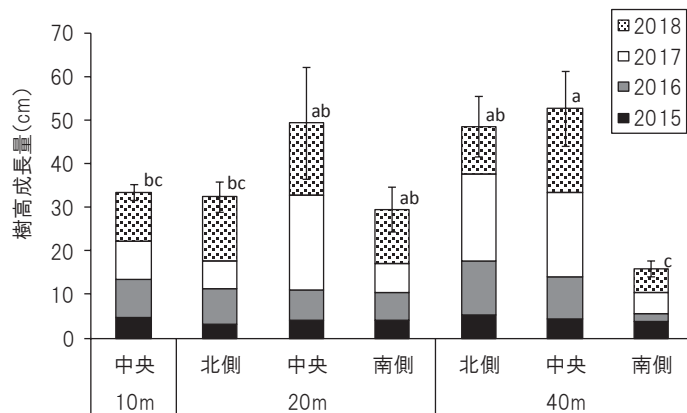


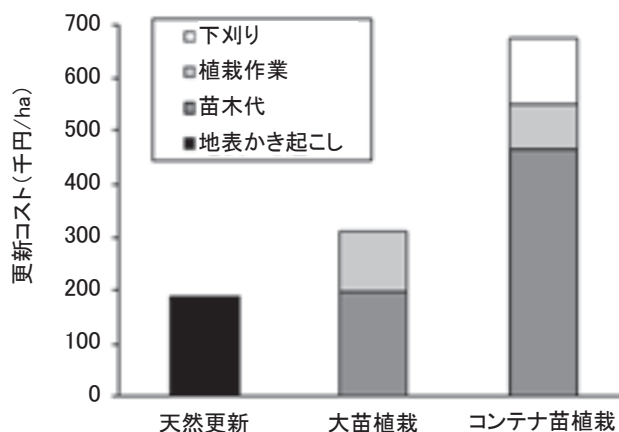
図-5 カラマツ実生の樹高成長量

※エラーバーは土標準誤差

※Tukey-Kramerの多重比較検定により各群の2017年秋の樹高を比較。同じ符号を含まない群間に有意差あり(p<0.01)

#### 4 天然更新と人工植栽のコスト

では、カラマツの天然更新のコストはどの程度なのだろうか。功程調査を行った結果、天然更新誘導のための地表処理（かき起こし）のコストは約 189 千円/ha と算定された（図－6）。一方、植栽の生産性は、コンテナ苗が大苗（裸苗）の約 1.4 倍の生産性を上げたが、2,400 本/ha 植栽の場合、苗木代も含めた植栽経費の合計は、コンテナ苗が 550 千円/ha、裸苗が 311 千円/ha と試算された。さらに、大苗は競合するササの稈高を植栽時に超えていたため下刈りは不要であったが、コンテナ苗は下刈りが 1 回必要であったため、約 125 千円/ha のコストが上乗せされた。したがって、天然更新がそのまま成立すれば、大苗植栽、コンテナ苗植栽より約 40～70% のコスト削減が図られることになる。ただし、除伐が掛かり増しになることも考えられ、継続的な調査が必要である。



図－6 天然更新と人工植栽のコスト比較

#### 5 おわりに

天然更新には様々な不確定要素がある。今回の試験では、カラマツ種子の豊凶リスクを最小化するため、春にカラマツ雌花の着生を見極めることにより夏季の伐出と地表処理を決定したが、それでも天候不順などによって種子が正常に形成されなければ、天然更新の成功は望めない。実生の発生密度や生育状況、競合植生の状態を随時観察し、場合によってはカラマツ稚樹の刈り出しや再度の地表処理等、追加の施業が必要となることも想定される。

また天然更新では、微地形、微気象等の影響により実生の密度にムラが生じやすく、本数の多い箇所と少ない箇所ができやすい。密度の低い箇所を目的樹種で埋めるのであれば、密度の高い箇所からの移植を検討すべきであるし、目的樹種に準ずる樹種でもよければナラ類、サクラ類、カンバ類等の有用と考えられる樹種の密度も評価する必要がある。

いずれにしても、天然更新施業は決して「伐採しただけで放置できる施業」ではなく、森林所有者、管理者はむしろ人工林より成林の経過を注意深く見守り、状況に応じて適切に対処する姿勢が求められる。どちらかと言えば玄人向きで難易度の高い施業と言えるだろう。

#### (引用文献)

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. 北大演習林研報 44(3) : 1019-1040

今井元政 (1978) カラマツ造林の発祥. (信州カラマツ造林の歩み. 長野県編, 657pp, 長野県, 松本) 7-32.

大矢信次郎・倉本恵生・小山泰弘・中澤昌彦・瀧誠志郎・宇都木玄 (2021) 機械地拵えによる競合植生抑制効果と下刈り回数の削減. 森林利用学会誌 36(2) : 99-110.

小沢準二郎 (1962) 針葉樹のタネ. 451pp, 地球出版, 東京.

長野県林務部 (2021) 令和3年度 長野県民有林の現況.

林野庁(2017)樹種別齢級別面積(平成29年3月31日現在).オンライン.(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/4.html>). 2022年3月10日参照.

# 無人航空機活用による野鼠<sup>やそ</sup>駆除の省力化に向けた取組

東信森林管理署 一般職員 舟木<sup>ふなき</sup> 武<sup>たける</sup>、一般職員 志水<sup>しみず</sup> 茉衣子<sup>まいこ</sup>

## 1 はじめに

日本の人工林の半数が主伐期である 50 年生を超え、本格的な利用期を迎える中、資源の循環利用の観点からも、主伐後の効率的な再生林が求められている。再生林を妨げる要因のひとつは野生鳥獣による食害であるが、野鼠によるものは全国の造林地で発生しており、被害面積は平成 12 年度の 300ha から、令和元年度の約 700ha と、20 年間で倍増している<sup>2)</sup>。東信森林管理署（以降、当署）でも平成 26 年度から造林面積が増加する中で、平成 28、29 年度に大門山国有林（長野県長和町）において、カラマツ植栽木の 40%が野鼠による被害を受けた。今後造林面積の更なる増加が見込まれる中、食害により、苗木代に加えて植付や保育にかかるコストが無駄になるだけでなく、補植が必要な場合はコストがさらに掛かり増しになることから、効果的・効率的な対策が必須となる。

今回は、野鼠被害の現状と対策に係る令和元年度の報告<sup>1)</sup>に続き、作業の省力化に向けた取組について報告する。

## 2 野鼠対策の取組と経過

現在中部森林管理局では、局作成の造林業務提要に基づいて「野ねずみ生息予察調査」（以降、予察調査）を実施し、調査結果と直近の被害状況等を踏まえて「野ねずみ防除計画」を策定することとなっている。令和 2 年度も 2 回の殺鼠剤散布を含め、図 1 のとおり実施した。

5月	春駆除	令和元年度計画
6月	効果調査	
7月	予察調査	令和2年度計画
9月	予察調査 計画策定 (R2秋・R3春)	
10月	秋駆除	

### 2.1 予察調査

予察調査では、林小班ごとに 0.5ha（50×100m）の標準地を設定し、これを 50 等分した区画に 2 個ずつ、計 100 個のトラップ（写真 1）を設置し、翌日から 3 日間、捕殺数を毎日記録する。調査の結果、小班ごとの捕殺数が計 20 匹/ha 以上となった場合は、殺鼠剤散布を実施し、散布実施後には予察調査と同様の方法で、「効果調査」を実施し、駆除の効果を確認することと規定されている。

当署では、令和 2 年度の取組として、令和元年度計画に基づき行った駆除を対象とした効果調査を 6 月に実施し、予察調査を 7 月と 9 月に 4 つの林小班で実施した（図 1）。

平成 28 年 6 月の調査で 42 匹/ha 以上の生息が確認された林小班（5 年間で計 7 回散布）では、令和 2 年度に実施した 3 回の調査で平均 0.67 匹/ha、平成 29 年 9 月の調査で 76 匹/ha 以上の生息が確認された林小班（4 年間で計 6 回散布）では、令和 2 年 6 月の調査の結果 0 匹/ha だった。

林小班によっては生息数の変化に波があったものの、平成 28 年度頃から野鼠が急激に増加した大門山国有林の造林地において、調査を行ったすべての林小班で捕殺数が基準値を下回ったことか

図 1 令和 2 年度の取組状況

一度に当年度秋と次年度春の駆除を計画する。  
令和 2 年度計画に基づいた春駆除は令和 3 年 5 月頃に実施予定。

ら、殺鼠剤散布の効果があったと考えている。

## 2. 2 殺鼠剤散布による野鼠駆除

当署で使用している殺鼠剤の主成分はリン化亜鉛であり、5～10m間隔の格子状に1ヶ所あたり1～2gをそのまま又は紙袋にして配置することが求められている（図2）。当署における散布の実施状況は図3のとおりだが、平成30年秋から造林地の周囲30mにも散布を開始したため、実行面積が大幅に増加し、令和元年度の散布面積は258.97ha、計7日間75人工を要することとなった。令和2年度は、予察調査の結果を踏まえて計画した秋駆除で散布面積が大幅に減ったものの、春と合わせて135.8ha、5日間53人工を要した。

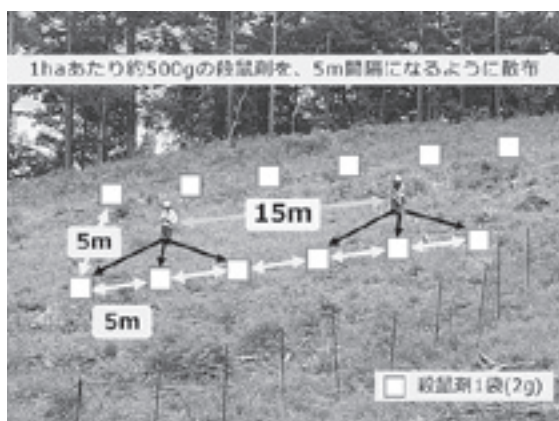


図2 殺鼠剤散布の様子

15m間隔で1列に並び、足下、左右に1袋ずつ散布する。

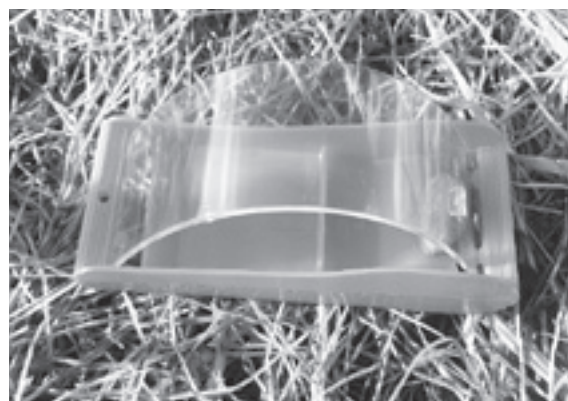


写真1 野ねずみ捕殺トラップ

餌に生落花生を用いた。餌を取ろうとすると、たわんでいる蓋のストッパーが外れて捕殺される。

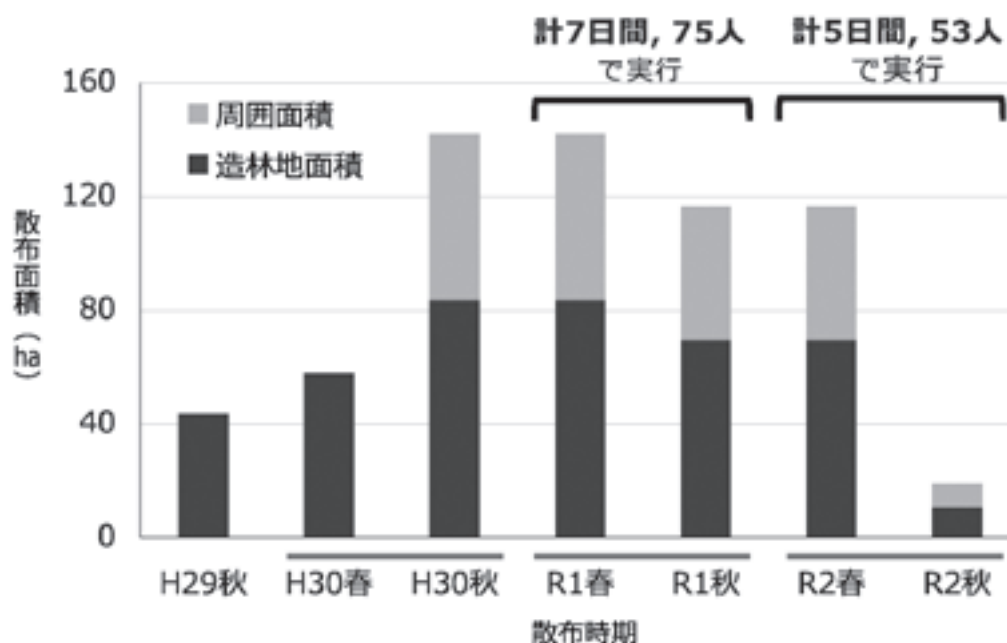


図3 殺鼠剤散布面積の推移

## 2. 3 現状の問題点

今後、皆伐の進捗に合わせ造林面積が増加することも見込まれることから、野鼠被害の拡大が懸念される。野鼠による被害はひとたび発生すると広範囲にわたることが知られており、野鼠の移動



も考慮すると被害箇所に加え近隣の造林地への早急な対処が必要となる。林地の更新が落ち着くまでではあるものの、これ以上散布面積が増加すると現状の人力散布を続けていくことは困難であるため、当署では解決策の一つとして無人航空機（UAV）による殺鼠剤散布を検討している。

### 3. UAVの導入による作業の省力化

#### 3. 1 UAVによる散布の試行

薬剤の使用にあたっては、散布方法にかかわらず、登録された使用方法（以下、仕様）に従う必要がある。しかし当署で使用している殺鼠剤はUAVでの散布事例がなく、仕様に従った散布の可否を事前に検証する必要性が生じたため、UAVによる農薬散布の実績を有する事業者（相馬商事株式会社）に協力を依頼し、令和2年5月に、既存の農薬散布用の装置を用いた散布試験を実施した。試験は殺鼠剤を紙袋に入れた状態と紙袋に入れない粒剤の状態の2つのパターンで行い、UAVにより散布された殺鼠剤の間隔、散布量が基準を満たすのかについて確認した。

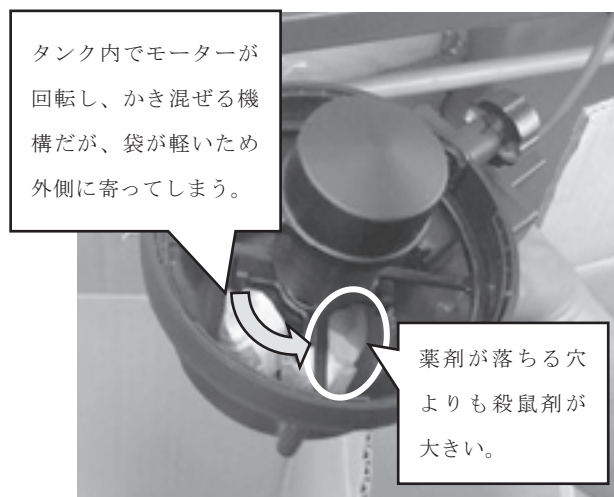


図 4 農薬散布装置内部に詰まった袋状の殺鼠剤



写真 2 開発した殺鼠剤散布装置

その結果、袋状では1つあたりのサイズが大きいうえに軽いため、図4のように散布装置の中で詰まってしまう、殺鼠剤を排出することができなかった。また、粒剤の状態では装置の機構上拡散してしまい、格子状に殺鼠剤を一定量ずつ配置することはできなかった。

#### 3. 2 散布装置の開発

既存の散布装置では殺鼠剤の仕様を遵守できないことが判明したことから、UAVの設計、製造を行っている事業者（株）クエストコーポレーションと連携し、令和3年3月に写真2の散布装置を開発した。中央の棒状の部品の先端は針のようになっており、この部品が上下して殺鼠剤入りの紙袋をタンクから摘出し、投下口へ誘導する仕組みとなっている。この摘出の速度や装置を搭載するUAVの飛行速度を変更することで散布の間隔を調整する。



#### 4. 今後の課題

今後は開発した散布装置をUAVに搭載し、殺鼠剤の仕様に適合し、かつ最も効率的に散布が可能となる飛行速度、高度、散布装置の投下間隔を検討していく必要がある。また、散布は林内で行われることから、障害物の回避や、傾斜に対応した高度調整など飛行の安全性を確保することが重要である。

今後造林面積の増加に合わせ、野鼠被害も拡大することが予想される中、効率的な野鼠対策を確立することは確実に持続可能な再生林を実現するうえで必要となるので、試験を行うことを通じて貢献していきたい。

#### 参考文献・引用文献

- 1) 舟木武, 加東良彬 (2020) 野鼠駆除の現状と確実な再生林に向けた今後の取組. 令和元年度中部森林技術交流会発表集: 103-107.
- 2) 林野庁 (2020) 令和元年度森林・林業白書.

#### 協力企業

相馬商事株式会社

株式会社クエストコーポレーション

# 高温セット乾燥したカラマツ心持ち材の化学成分量

信州大学学術研究院農学系 細尾佳宏

## 1 はじめに

日本では近年、新設住宅着工戸数（一戸建、長屋建、共同住宅を含む）の半数以上が木造であり、一戸建における木造率は約 90%と高い水準にある<sup>6)</sup>。新設木造住宅の約 4 分の 3 は在来工法（木造軸組構法）によるもので、多くの心持ち材が構造部材として利用されている。木造軸組構法においては、施工期間の短縮、施工コストの低減などの理由からプレカット材の利用が主流となっており、その利用率は 90%を超えている<sup>1, 6)</sup>。プレカット材には寸法精度が高く曲がりや狂いのない製材が求められ、そのため人工乾燥材の需要が増大している。

高温セット法は、蒸気式乾燥機を用いて心持ち材を無背割りで乾燥する人工乾燥法である<sup>10, 13)</sup>。この方法は、生材状態の心持ち材に対して乾球温度 110~120°C程度の高湿低湿条件下で急速に乾燥を行うことで材の表層に引張セットを発生させ、乾燥に伴う材面割れを抑制するものである<sup>8)</sup>。材面割れの抑制、乾燥時間の短縮などの利点から、現在では広く普及が進んでいる。

カラマツの心持ち材では、高温セット乾燥材の性質について強度特性、水分傾斜、内部応力など物理的・力学的な研究が多く行われてきた<sup>4, 7, 9, 10, 11)</sup>。その中で、高温セット乾燥材は天然乾燥材よりも曲げ強度が低く、特に材の中心部で低いことが指摘されている<sup>7)</sup>。この強度低下の原因を明らかにするためには、高温セット乾燥が化学成分に与える影響について研究を行うことが必要である。木材の主成分はセルロース、ヘミセルロース、リグニンであり、これらが木材全体の約 95%を占めている。本研究では、カラマツ心持ち材を対象として、高温セット乾燥の主成分量への影響を高温セット乾燥材と天然乾燥材の化学分析により調べた。

## 2 試料と方法

### 2.1 試験材

長野県産カラマツ丸太から製材した心持ち材（135mm 角、長さ 3m）9 本を用いた。これらを 3 本ずつの 3 グループ（HS、HL、AS）に分け、それぞれ以下の条件で乾燥を行った。各乾燥処理は、長野県林業総合センターにおいて行った。

- ①HS：蒸煮（95°C、7 時間）＋高温セット処理（乾球 120°C・湿球 90°C、18 時間）
- ②HL：蒸煮（95°C、7 時間）＋高温セット処理（乾球 120°C・湿球 90°C、48 時間）
- ③AS：天然乾燥

乾燥後、各心持ち材から厚さ約 20mm のディスクを採取した。採取したディスクを木口面が 4×4 の 16 等分になるように切断し、さらに心材と辺材を切り分けた。得られた木片を心材中心、心材周囲、心材角、辺材の 4 部位にグループ分けし（図 1）、各部位について化学分析を行った。

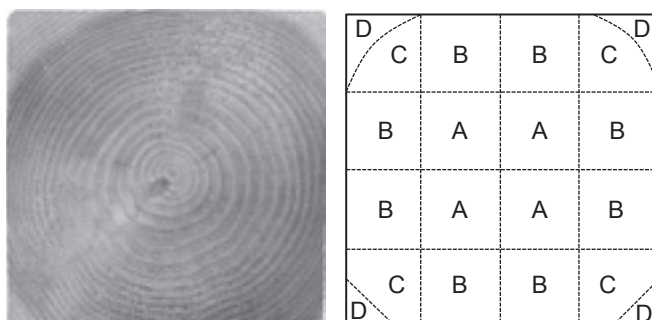


図 1 乾燥後のカラマツ心持ち材から採取したディスクの部位によるグループ分け  
 A：心材中心 B：心材周囲 C：心材角  
 D：辺材

## 2. 2 ホロセルロースの定量

各部位の木片から、ロータリーマイクロトームを用いて厚さ約 15  $\mu\text{m}$  の切片を作製した。Wise 法<sup>5)</sup>に従い、切片を亜塩素酸ナトリウムと酢酸で処理することで脱リグニンし、残渣をホロセルロース（セルロースとヘミセルロースを合わせたもの）として定量した。

## 2. 3 $\alpha$ -セルロース、ヘミセルロースの定量

2. 2 で得られたホロセルロースを 17.5%水酸化ナトリウム溶液で処理し、溶解したものを除いた残渣を  $\alpha$ -セルロース（セルロースと少量のアルカリ難溶のヘミセルロースからなる）として定量した<sup>5)</sup>。ヘミセルロース量は、ホロセルロース量から  $\alpha$ -セルロース量を減じることで算出した。

## 2. 4 リグニンの定量

2. 2 で作製した切片を 72%硫酸中に浸漬させた後、硫酸濃度を 3%に希釈して煮沸することでリグニン以外の多糖などを分解・除去した。そして、残渣を Klason リグニン（酸不溶性リグニン）として定量し、分解液の紫外線吸光度を測定することで酸可溶性リグニンを定量した<sup>5)</sup>。

## 3 結果と考察

ホロセルロースの定量結果を図 2 に示す。心材では、3 部位全てで高温セット乾燥材（HS 材、HL 材）のホロセルロース量は天然乾燥材（AS 材）と比べて少なかった。HS 材と AS 材のホロセルロース量の差は心材の 3 部位とも同程度であったが、HL 材と AS 材のホロセルロース量の差は心材中心で他の部位よりも大きかった。心材における HS 材と HL 材のホロセルロース量を比較すると、全部位で HL 材の方が少なく、心材中心での差が他の部位と比べて大きかった。辺材においても、HS 材と HL 材のホロセルロース量は AS 材と比べて少なかったが、差は心材よりも小さかった。

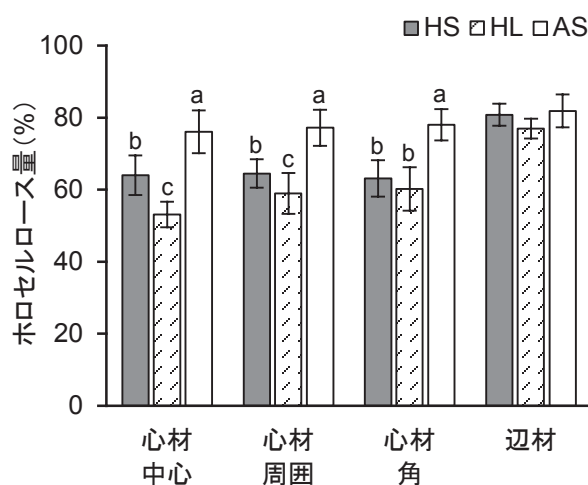


図 2 カラマツ心持ち材の各部位における乾燥条件別のホロセルロース量

平均値±標準偏差を示す（心材中心と心材角は n=12、心材周囲は n=24、辺材は n=4-8）。

異なるアルファベットは同一部位での乾燥条件間の有意差を示す (Tukey-Kramer 検定、 $p < 0.01$ )。

$\alpha$ -セルロースとヘミセルロースの定量結果を図 3 に示す。心材では、 $\alpha$ -セルロース量、ヘミセルロース量ともに、3 部位全てで HS 材と HL 材の方が AS 材よりも少なかった。心材における HS 材と AS 材の  $\alpha$ -セルロース量の差は 3 部位で大きな違いは見られず、この傾向はヘミセルロース量の差についても同様であった。HL 材では、 $\alpha$ -セルロース量、ヘミセルロース量ともに、AS 材との差は心材中心で他の部位よりも大きかった。HS 材と HL 材を比較すると、 $\alpha$ -セルロース量は心材中心と心材周囲で、ヘミセルロース量は心材の全部位で HL 材の方が HS 材よりも少なく、どちらも心材中心で最も差が大きかった。辺材では、HS 材と HL 材のヘミセルロース量は AS 材と比べて少なかったが、差は心材よりも小さかった。

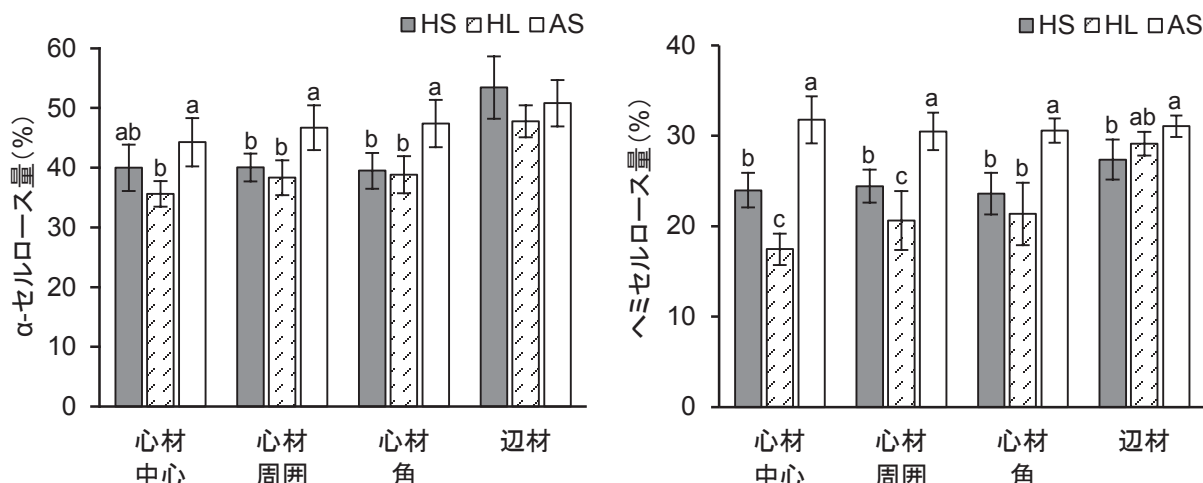


図3 カラマツ心持ち材の各部位における乾燥条件別の $\alpha$ -セルロース量とヘミセルロース量  
 平均値±標準偏差を示す（心材中心と心材角はn=12、心材周囲はn=24、辺材はn=4-8）。  
 異なるアルファベットは同一部位での乾燥条件間の有意差を示す（Tukey-Kramer 検定、 $p < 0.01$ ）。

ホロセルロース、 $\alpha$ -セルロース、ヘミセルロースの定量結果から、カラマツ心持ち材は高温セット乾燥（蒸煮+高温セット処理）を行うとヘミセルロース量が減少し、その減少量は辺材よりも心材で多いと考えられる。心材では、ヘミセルロース量だけでなくセルロース量も減少すると考えられる。そして、これらの成分量への高温セット乾燥の影響は、高温セット処理時間が長くなるほど大きく、また材の外側部分よりも中心部において大きいと予想される。

リグニンの定量結果を図4に示す。Klason リグニン量は、全ての部位で乾燥条件間に大きな差は見られなかった。一方、酸可溶性リグニン量は、全ての部位でHS材がAS材・HL材よりも少ない傾向が見られた。しかし、リグニン全体に占める酸可溶性リグニンの割合は低く、酸可溶性リグニン量はKlason リグニン量に比べて値が非常に小さいため、Klason リグニン量と酸可溶性リグニン量を合わせた値はKlason リグニン量と同じ傾向を示した。これらの結果から、高温セット乾燥によるカラマツ心持ち材のリグニン量への影響は小さいと考えられる。

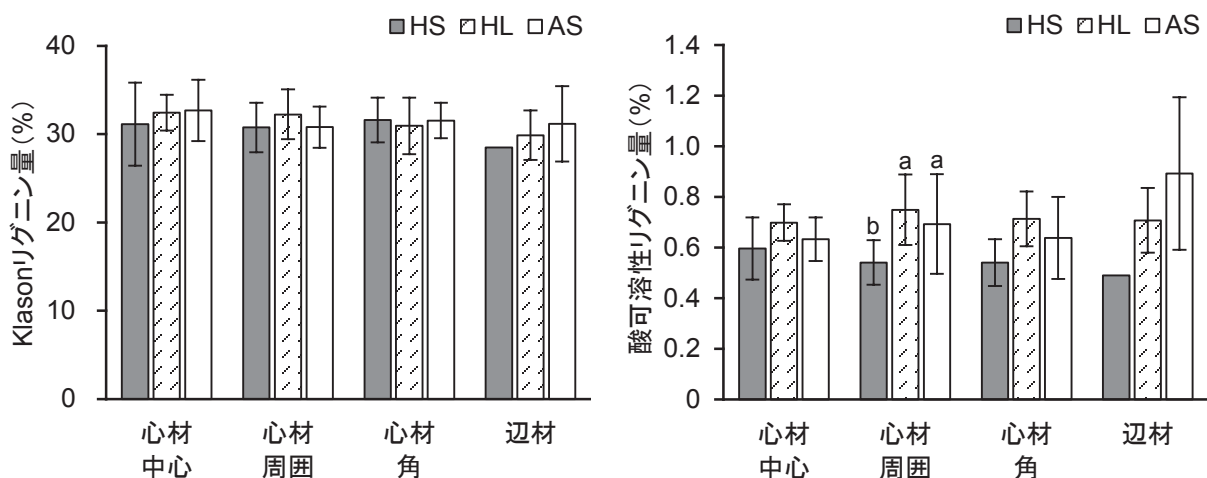


図4 カラマツ心持ち材の各部位における乾燥条件別のKlason リグニン量と酸可溶性リグニン量  
 平均値±標準偏差を示す（心材中心と心材角はn=11-12、心材周囲はn=23-24、辺材はn=1-6）。  
 異なるアルファベットは同一部位での乾燥条件間の有意差を示す（Tukey-Kramer 検定、 $p < 0.01$ ）。



木材を構成する実体は、木部細胞が形成する細胞壁である。木部細胞壁は、結晶性の高いセルロースマイクロフィブリル（セルロース分子鎖が集合して形成される繊維状の構造体）がヘミセルロースとリグニンを主体とする非晶性のマトリックス中に埋め込まれた複雑な構造を持つ。カラマツ心持ち材では、高温セット乾燥材の引張試験後の破壊面を走査電子顕微鏡で観察すると、平滑で脆性的な細胞壁の破壊面を示す木部細胞が多く見られ、この傾向は中心部で顕著であった<sup>2, 3)</sup>。また、高温セット乾燥材の曲げ強度は天然乾燥材よりも低く、特に中心部で低い<sup>7)</sup>。これらのことと本研究の結果を合わせて考えると、高温セット乾燥によってセルロース量とヘミセルロース量が減少することで木部細胞壁の構造に変化が生じ、このことが脆性化や強度低下につながると予想される。

#### 4 おわりに

カラマツ心持ち材において、高温セット乾燥材と天然乾燥材で化学成分量（主成分量）に違いが見られた。高温セット乾燥材は、心材、辺材ともにヘミセルロース量が天然乾燥材よりも少なく、心材では $\alpha$ -セルロース量も少なかった。高温セット乾燥材と天然乾燥材のヘミセルロース量の差は、辺材よりも心材で大きかった。 $\alpha$ -セルロース量、ヘミセルロース量ともに、高温セット処理時間が長くなるとより少なくなり、この傾向は材の中心部で顕著であった。高温セット乾燥によってセルロース量とヘミセルロース量が減少し、このことが強度低下につながると予想される。

高温セット乾燥がカラマツ心持ち材の化学成分に与える影響については、未解明な部分が多く残されている。例えば、セルロースの結晶化度、結晶サイズ、重合度への影響については、不明なままである。また、ヘミセルロースについては、グルコマンナンやキシランといった各成分（どちらも針葉樹ヘミセルロースの主成分）をそれぞれ単離し、量、構造、分子量への影響について分析を行うことが必要である。このようにまだ課題は多いが、さらに研究を進めることにより、高温セット乾燥によるカラマツ心持ち材の強度低下メカニズムの解明、さらには強度低下を起こさない新たな乾燥法の開発につながるものと期待される。

#### 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科学研究費補助金（22580180）の助成を受けて実施した。

#### 引用文献

- 1) 飯和哉（2021）：立法と調査，439，37-48
- 2) 五十嵐康太（2014）：長野県林業総合センター技術情報，148，12-15
- 3) 五十嵐康太，武田孝志，細尾佳宏，徳本守彦，吉田孝久（2013）：第63回日本木材学会大会研究発表要旨集，E27-05-1130
- 4) 中嶋康，武田孝志，吉田孝久，橋爪丈夫（1999）：木材工業，54，265-268
- 5) 日本木材学会（2000）：木質科学実験マニュアル，92-97
- 6) 林野庁（2021）：令和2年度 森林・林業白書，171-213
- 7) Takeda T, Nakashima Y (2005): Eurasian Journal of Forest Research, 8, 105-110
- 8) 徳本守彦，帆苺謙一，武田孝志，安江恒，吉田孝久（2004）：材料，53，370-375
- 9) 徳本守彦，北原誠，武田孝志，細尾佳宏，吉田孝久（2010）：材料，59，279-284
- 10) 吉田孝久（2003）：林業技術 36，14-20
- 11) 吉田孝久，橋爪丈夫，藤本登留（2000）：木材工業，55，357-362
- 12) 吉田孝久，橋爪丈夫，中嶋康，武田孝志（1999）：木材工業，54，122-125
- 13) 吉田孝久，橋爪丈夫，武田孝志，徳本守彦，印出晃（2004）：材料，53，364-369

# 長野県におけるカラマツの葉群フェノロジーの地域特性

長野県環境保全研究所 栗林正俊

## 1 はじめに

長野県は2021年6月に長野県ゼロカーボン戦略を策定し、2050ゼロカーボンを達成するための基本方針となる数値目標を示した<sup>1)</sup>。この目標では、2050年度までに2016年度実績に対して最終エネルギー消費量を7割削減し、再生可能エネルギー生産量を3倍以上に拡大した上で、残るCO<sub>2</sub>排出量を森林吸収と再生可能エネルギー余剰分で相殺することにより、実質的なゼロカーボンを達成することとしている。

全国3位の森林面積を有する長野県は、人工林の半分以上をカラマツ(*Larix kaempferi*)が占めている。カラマツは落葉樹であるため、展葉・落葉のタイミングと気象要素の関係を正確に評価することが、光合成によるCO<sub>2</sub>吸収量を高精度に予測する上で不可欠である。この展葉・落葉は生物季節(フェノロジー)の一種で、カラマツの葉群フェノロジーは有効積算気温に明敏に応答することが知られている<sup>2)</sup>。有効積算気温とは、ある閾値を超えた気温の積算値のことで、これがある一定の値に達した時に展葉・落葉が生じる。人工衛星搭載型放射計MODISの画像から算出される植生指数に基づいて展葉開始日と落葉完了日の空間分布を推定し、展葉に関する閾値を2°C、落葉に関する閾値を18°Cと設定して有効積算気温を計算した研究では、高緯度や高標高域のように寒冷な地域の方が温暖な地域に比べて展葉開始や落葉完了に必要な有効積算気温は低いことが示されている<sup>3)</sup>。しかしながら、気象観測が乏しく地形も複雑な高標高域では、葉群フェノロジーと有効積算気温の関係に不確実性が大きい。そこで、本研究では長野県における異なる標高帯のカラマツの葉群フェノロジーと有効積算気温の関係を地上観測に基づいて評価し、地域特性を明らかにするとともに既往研究で示された衛星観測に基づく関係と比較・検証することを目的とする。

## 2 方法

### (1) 観測サイト

観測サイトは、表1に示した標高が異なる5つのカラマツ林とした。長野県林業総合センター(以下、林総セ)の観測サイトはほぼ平坦な地形上に位置し、年平均気温は10.3°C、年降水量は1218mmで、5つの観測サイトの中では最も標高が低く温暖で降水量が少ない。長野県環境保全研究所飯綱庁舎(以下、飯綱)の観測サイトは、飯縄山(標高1917m)の中腹の南東向きの緩やかな斜面上に位置し、年平均気温は8.3°C、年降水量は1551mmで、5つの観測サイトの中では林総セの次に標高が低く温暖であるが、降水量は最も多く積雪も1mを超えることが珍しくない。筑波大学菅平高原実験所(以下、菅平)の観測サイトは、四阿山(標高2354m)の中腹の西向きの緩やかな斜面上に位置し、年平均気温は6.6°C、年降水量は1343mmで、5つの観測サイトの中で標高は3番目だが最も寒冷である。筑波大学八ヶ岳演習林(以下、八ヶ岳)の観測サイトは、赤岳(標高2899m)の麓の緩やかな東向き斜面上に位置し、年平均気温は7.0°C、年降水量は1465mmで、菅平より標高は高いが僅かに

表1 本研究のカラマツ林観測サイトの位置、標高、林齢、年平均気温、年降水量、電源の有無。

観測サイト名	略称	北緯	東経	標高	林齢	年平均 気温	年降水量	電源
筑波大学川上演習林	川上	35° 55' 26"	138° 30' 1"	1559 m	48年	6.6°C	1429 mm	なし
筑波大学八ヶ岳演習林	八ヶ岳	35° 57' 12"	138° 27' 19"	1418 m	66年	7.0°C	1465 mm	なし
筑波大学菅平高原実験所	菅平	36° 31' 25"	138° 20' 50"	1348 m	60-70年	6.6°C	1343 mm	なし
長野県環境保全研究所飯綱庁舎	飯綱	36° 43' 31"	138° 9' 13"	1030 m	60-70年	8.3°C	1551 mm	あり
長野県林業総合センター	林総セ	36° 8' 27"	138° 0' 0"	888 m	60-70年	10.3°C	1218 mm	なし

気温が高い。筑波大学川上演習林(以下、川上)の観測サイトは、横尾山(標高 1818 m)の中腹の北西向きの斜面上に位置し、年平均気温は 6.6°C、年降水量は 1429 mm で、菅平と並び最も寒冷である。

## (2) 地上観測

飯網のカラマツ林内には、2018 年に温湿度センサー(HMP155 ; VAISALA 社)を強制通風筒に入れて設置し、10 分間隔でデータを取得するとともに<sup>4)</sup>、林床から樹冠を自動的に撮影するタイムラプスカメラを設置し、3 時間間隔で画像を取得した。タイムラプスカメラは、Nikon 社製のデジタル一眼レフカメラ(D5600)にシグマ光機社製の魚眼レンズを使用し、タイマーリモートスイッチで 0:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 に撮影した。ただし、カメラの樹冠画像から植物面積指数(PAI)を推定する場合、太陽が入らず一定の明るさがある時刻に撮影することが望ましいので、日が短い秋には太陽が飯縄山の陰に隠れる 17:00 の画像を狙って撮影時刻を 1 時間ずつ早めた。デジタル一眼レフカメラの主な設定は、表 2 のとおりである。

飯網を除く 4 つのカラマツ林には、2019 年に飯網と同じタイムラプスカメラを表 2 の設定で設置するとともに、おんどとり Jr. (T&D 社)を自然通風シェルターにセンサー部を入れて設置した。おんどとり Jr. による気温のデータは 10 分平均値を記録するようにした。各観測点におけるカメラの撮影時刻は、基本的に 0:00, 6:00, 12:00, 18:00 としたが、前述の飯網における撮影と同様に日の短い秋には 1 時間ずつ早めた。

飯網を除く 4 つのカラマツ林には、2019 年に飯網と同じタイムラプスカメラを表 2 の設定で設置するとともに、おんどとり Jr. (T&D 社)を自然通風シェルターにセンサー部を入れて設置した。おんどとり Jr. による気温のデータは 10 分平均値を記録するようにした。各観測点におけるカメラの撮影時刻は、基本的に 0:00, 6:00, 12:00, 18:00 としたが、前述の飯網における撮影と同様に日の短い秋には 1 時間ずつ早めた。

## (3) 画像解析

表 1 の 5 地点に設置したタイムラプスカメラの樹冠画像は、幅 4000 ピクセル、高さ 6000 ピクセルで、水平方向の解像度と垂直方向の解像度は 300dpi、ビットの深さは 24bit カラーの JPG 形式である。基本的に日没時の直達光が入らない樹冠画像を、森林生態学分野での利用を目的に開発された植生画像解析ソフト LIA for Win32 (以下、LIA32)により、植物体(葉、枝、幹)と非植物体(間隙)に分ける二値化処理をして日々の PAI を計算した。LIA32 で二値化処理する際は、魚眼レンズが捉えた円形の画像全体を解析対象範囲に指定し、Intermeans アルゴリズムを用いて画像の青(B)の画素値から閾値を算出する方法<sup>5)</sup>を選択した。また、PAI は解析対象範囲の天頂角 0~74° の範囲に対して計算されるようにした。

展葉開始や落葉完了を PAI から評価する際は、まず、日々の観測条件に応じた PAI のばらつきを小さくするため、5 日間移動平均をとった。この 5 日間移動平均した PAI が、7 日以上連続で上昇する最初(最後)の日を展葉開始(完了)日、7 日以上連続で減少する最初(最後)の日を落葉開始(完了)日と定義した。これらの観測・解析から葉群フェノロジーと有効積算気温の関係を評価する。有効積算気温は Nagai et al. (2015)に基づいて、展葉季は日平均気温( $T_a$ )が 2°C 以上の日の( $T_a - 2$ )の積算、落葉季は  $T_a$  が 18°C 以下の日の( $T_a - 18$ )の積算とした<sup>3)</sup>。

## 3 結果と考察

### (1) 葉群フェノロジーの地域性

タイムラプスカメラの画像解析による各観測点の PAI の季節変化、およびそれに基づく展葉の開始日と完了日、落葉の開始日と完了日を図 1 と表 3 に示す。どの観測サイトも 2020 年の展葉季のカラマツは 4 月中旬から 5 月中旬に展葉を開始して 5 月下旬から 6 月上旬に展葉を完了している。標高が低い林総セでは他の標高が高い観測サイトに比べて落葉が遅く、展葉が早い。標高が高い川

表 2 カメラの主な設定。

設定オプション	本研究の設定
撮影モード	絞り優先モード(A)
絞り値	f8
感度自動制御	ON
ISO感度 制御上限感度	1600
低速限界設定	AUTO
測光モード	中央重点測光
ホワイトバランス	曇天
画質モード	RAW+F
色空間	sRGB

表3 各観測サイトにおける展葉・落葉の開始日・完了日と有効積算気温。

地点	標高 (m)	2019年落葉季の( $T_a-18$ )		2020年展葉季の( $T_a-2$ )	
		開始日 ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ )	完了日 ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ )	開始日 ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ )	完了日 ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ )
川上	1559	9/21 -57	11/1 -334	5/13 224	6/1 392
八ヶ岳	1418	10/23 -216	11/20 -562	5/3 151	5/22 319
菅平	1348	10/26 -261	11/18 -559	4/26 78	5/28 370
飯綱	1030	10/21 -148	11/13 -385	4/30 150	5/20 381
林総セ	888	11/7 -259	11/29 -521	4/17 <sup>a)</sup> 148 <sup>a)</sup>	5/23 573

a) 2020年の値が欠測となったため2019年の値を使用。

上では展葉開始日が全観測サイトの中で最も遅い5/13であったので(表3)、林総セと川上の間で展葉開始日には1ヵ月程度の差があったと推察される。一方、2020年の展葉完了日は全ての観測サイトが5/20~6/1の2週間足らずの期間内に収まった(表3)。展葉開始日に比べて展葉完了日の方が地点間のばらつきが小さい理由として、飯綱や八ヶ岳は林総セに比べると急激に展葉が進んだことや、菅平では2019年に比べて2020年は顕著に早く展葉していること、川上ではPAIの上限が小さいことなどが考えられる(図1)。日平均気温 $2^{\circ}\text{C}$ 以上の日の積算値( $T_a-2$ )は、菅平の2020年の展葉開始日は78( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ )で他の観測サイトに比べてかなり低い反面、林総セの2020年の展葉完了日は573( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ )で他の観測サイトに比べてかなり高い(表3)。この原因は不明であるが、標高差に対して展葉のタイミングのばらつきを小さくする要因になっている。

2019年の落葉は、前述の2020年の展葉に比べると地点間のばらつきが非常に大きく、落葉開始日は川上が9/21なのに対して、林総セは11/7だった(図1; 表3)。飯綱、菅平、八ヶ岳の落葉開始日が10/21~10/26の5日間の期間内に収まっており(表3)、川上はこれらの地点に比べても1ヵ月早く落葉が開始された。川上は落葉開始が非常に早い、落葉の進行する速度は遅く、落葉完了日は11/1となっていて、この特徴は2019年も2020年も同じであったことから、何らかの地域特性を反映していると考えられる(図1; 表3)。落葉開始日は川上と林総セで1ヵ月半の違いがあったが、落葉完了日は全ての観測サイトが11月中となり1ヵ月以内に収まった。日平均気温 $18^{\circ}\text{C}$ 以下の日の積算値( $T_a-18$ )は、川上の落葉開始日が $-57$ ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ )で他の観測サイトに比べてかなり高いことから、川上の落葉開始の早さは単純に標高が高く気温が低いだけではないことが分かる(表3)。また、各観測サイトにおける落葉完了日の( $T_a-18$ )も地点間のばらつきが大きく、気温以外の要因も落葉に影響している可能性がある。

(2) 衛星観測との比較・検証

本研究で観測された展葉開始日と日平均気温 $2^{\circ}\text{C}$ 以上の日の積算値( $T_a-2$ )の関係、および、落葉完了日と日平均気温 $18^{\circ}\text{C}$ 以下の日の積算値( $T_a-18$ )の関係について、Nagai et al. (2015)<sup>3)</sup>の衛星

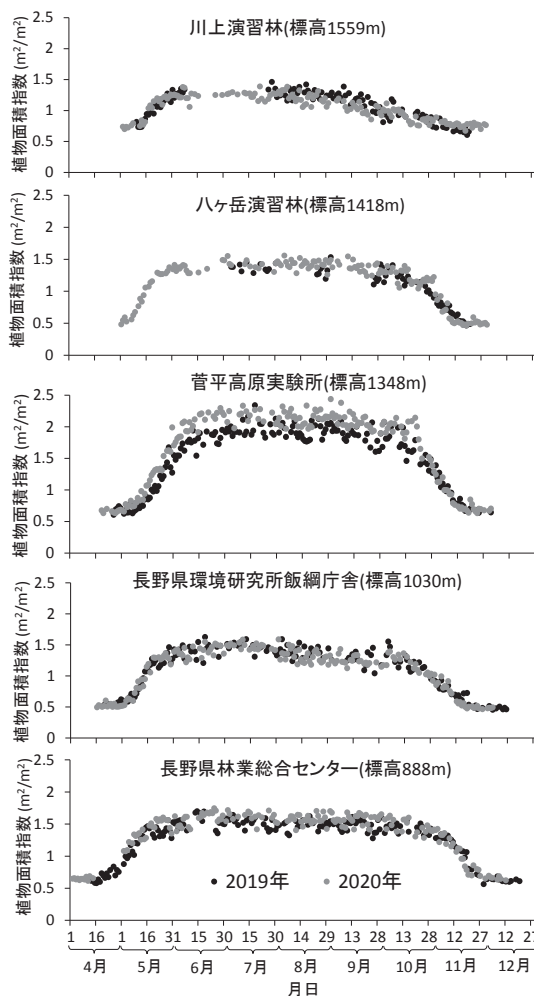


図1 各観測サイトにおけるタイムラプスカメラによる植物面積指数の季節変化。



観測に基づく評価結果と比較した。展葉開始日については、地上観測と衛星観測で20~60 (°C・日)程度の差があり、地上観測の方が衛星観測に比べて標高に応じたばらつきが大きい、ある程度整合性のある結果となった(図2a)。一方、落葉完了日については、地上観測の方が衛星観測に比べて120~300 (°C・日)低く、展葉開始日に比べると地上観測と衛星観測の違いが顕著に表れた(図2b)。

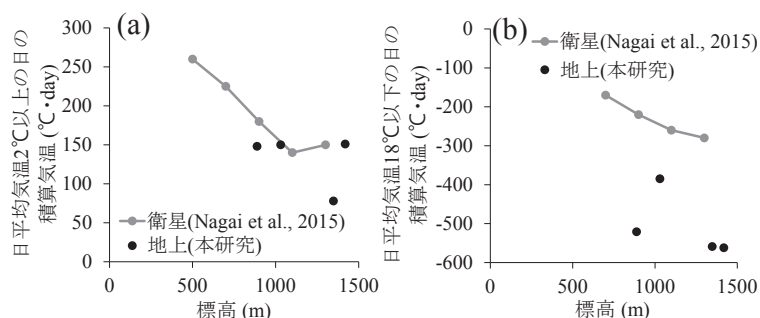


図2 地上観測と衛星観測に基づいて評価された標高帯別の葉群フェノロジーと有効積算気温の関係。(a)展葉開始日と日平均気温2°C以上の日の有効積算気温の関係。(b)落葉完了日と日平均気温18°C以下の日の有効積算気温の関係。

衛星観測の場合、葉群フェノロジーを面的に捉えているので、各標高帯の領域で平均化されて標高に応じたばらつきは小さくなるのに対し、地上観測の場合は点で捉えているので、タイムラプスカメラが捉えている個体の特徴や斜面方位など、標高以外の因子も強く影響してばらつきが大きくなることが考えられる。展葉開始日は落葉完了日に比べると有効積算気温に対する応答性が高いことや<sup>2)</sup>、展葉開始は葉がない空間的に一様な状態をベースに変化することなどから、展葉開始日の方が落葉完了日より有効積算気温との関係において空間的な一様性が高く、展葉開始日に関しては地上観測と衛星観測である程度の整合性が得られたと思われる。一方、落葉完了日に関しては、衛星観測に比べて地上観測は一貫して有効積算気温が低く、衛星観測で捉えられた落葉完了日は早すぎる可能性がある。衛星観測の場合、植生指数の変化から葉群フェノロジーを捉えているので、葉が黄葉してから徐々に落ちる過程での植生指数の変化は不明瞭になり、黄葉と落葉を区別することが難しいと考えられる。

#### 4 おわりに

本研究では、標高1000 m以下で比較的気温が高い林総セにおいて、他の標高の高い観測点よりもカラマツの展葉が早く落葉が遅い特徴は捉えられたが、標高1000 m以上の地域では葉群フェノロジーと有効積算気温の関係が不明瞭であった。この原因として、高標高域は地形が複雑なため、日射や風の影響に地域差が生じやすいことが考えられる。今後、観測を継続して、各観測点における葉群フェノロジーの年次変化を解析するとともに、有効積算気温との関係を高度化することが課題である。また、Sentinel-2など高頻度・高空間分解能の衛星観測を用いた解析も重要である。

#### 【参考文献】

- 1) 長野県、長野県ゼロカーボン戦略：  
<https://www.pref.nagano.lg.jp/kankyo/keikaku/zerocarbon/index.html> (2022年3月確認)
- 2) 只木良也、北村秀夫、蟹江清丞、佐野弘美、重松明子、大津慎一：標高に伴うカラマツの葉の開葉と落葉の挙動。日本生態学会誌、第44巻、第3号、P305-314、1994
- 3) Shin Nagai, Taku M. Saitoh, Kenlo Nishida Nasahara, Rikie Suzuki : Spatio-temporal distribution of the timing of start and end of growing season along vertical and horizontal gradients in Japan. International Journal of Biometeorology, Vol.59, P47-54、2015
- 4) 栗林正俊、浜田崇：飯綱高原のカラマツ人工林における2018~2019年の気象観測。長野県環境研究所研究報告、第16号、P59-64、2020
- 5) Kazukiyo Yamamoto : Estimation of the canopy-gap size using two photographs taken at different heights. Ecological Research, Vol.15, P203-208、2000

# 落葉を用いた葉面積指数の直接推定に関する研究

信州大学大学院・総合理工学研究科・農学専攻・環境共生学分野 小枝慧子

## 1 はじめに

森林の CO<sub>2</sub>吸収量を推定するには植物群落の有する葉面積を正確に評価することが重要となる。植物群落の葉面積は葉面積指数 (Leaf Area Index, 以下 LAI とする) として定量化される。LAI は単位土地面積あたりの片側の葉面積の総和である。LAI の推定方法には直接法と間接法がある。直接法は破壊的な調査や多大な労力を要することから、LAI の推定は間接法で行われることが多い。間接法は光学的手法を用いて非破壊で簡便に LAI を推定できるが、補正係数を乗する必要がある。直接法で LAI を正確に推定することは間接法の補正係数を求める上でも重要な課題である。落葉樹林における LAI の有効な直接測定法の一つにリタートラップ法がある。リタートラップ法ではリターフォール (落葉) 量に比葉面積 (葉面積を葉重で除した値, Specific Leaf Area, 以下 SLA) を乗じて LAI を求める。しかしながら、リターフォールの SLA は同一の種内においても様々な要因によって変動することが知られている。本研究では落葉針葉樹であるカラマツのリター SLA の時空間変動を検討し、リター法によるカラマツ林の正確な LAI の推定法を確立することを目的とした。

## 2 調査地と方法

調査は山梨県富士吉田市の国立環境研究所富士北麓フラックスサイトの約 65 年から 70 年生カラマツ人工林で行った。本調査地のカラマツ林は、上層木にはアカマツ、ミズキ、ミズナラ、下層には低木のフジザクラ等が混交している。上層木の木数密度は 224 (本数/ha) で、本数密度比の 80%、胸高断面積比の 86% をカラマツが占めている。200 m × 200 m の 4ha の試験地の中に、開口部 0.5 m<sup>2</sup> のリタートラップを 15 個設置した。リターフォールの回収を 2016 年から 2021 年の落葉期に行った。回収したリターは同化部と非同化部に分け、さらに同化部は樹種別に分類した。針葉の葉面積は浸潤法を用いて測定した。絶乾状態のカラマツ針葉 150 枚程度を 24 時間水に浸し、飽水状態になった針葉の投影面積をフラットヘッドスキャナーで測定した。飽水時の針葉面積を乾燥重量で除してカラマツのリター SLA を求めた。広葉樹リターは直径 8 mm あるいは 10 mm のディスクをリーフパンチ (藤原製作所) で打ち抜き乾燥重量を測定した。2020 年の LAI を以下の 6 通りの方法で求めた。空間、季節、年によるリター SLA の変動をすべて考慮して最も正確に LAI を推定した基準となる方法を(1)とした。次いで、(1)の方法のうち季節による変動を一定として一律に 11 月のリター SLA を適用した方法を(2)、9 月から 11 月までのリター SLA の平均値を用いた方法を(3)とした。また、(2)の方法のうち空間による変動を一定として、2020 年 11 月の 5 つのトラップの平均値を用いた方法を(4)とした。さらに、年による変動を一定として、2016~2020 年 11 月のそれぞれの 5 つのトラップの SLA の平均値を用いた方法を(5)とした。最後に、空間および年による変動を一定として 11 月の SLA の平均値を適用した方法を(6)とした。なお、カラマツ以外の樹種の LAI は、樹種別の SLA にそれぞれの種のリターフォール重量を乗じて求めた。

## 3 結果と考察

### 3.1 カラマツリター SLA の時空間変動

2020 年 11 月 13 日に回収した、全 15 のリタートラップにおけるカラマツリター SLA は 163~190 cm<sup>2</sup>/g の範囲にあり、平均値と標準偏差は 176 ± 7.74 cm<sup>2</sup>/g、変動係数は 4.4% であった。分散分析の結果、トラップ毎の SLA に有意差は認められなかった。

2020 年に回収された 15 のリタートラップの内から 5 つのリタートラップを選び、カラマツリター SLA の季節変化を示した (図-1)。SLA の季節変化は 136~190 cm<sup>2</sup>/g の範囲にあり、9 月から 10 月

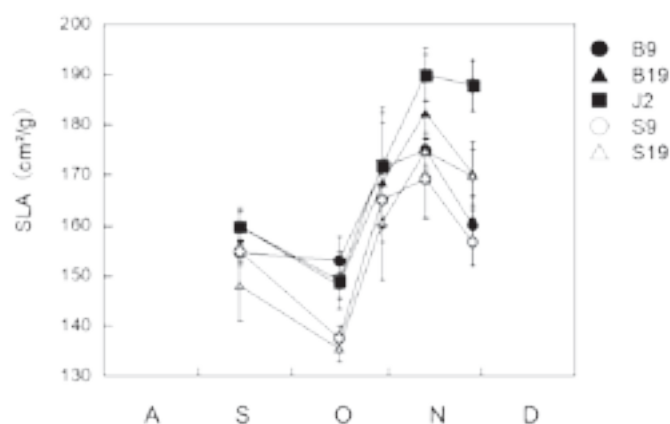


図-1 2020年におけるカラマツリターSLAの季節変化  
バーは標準誤差を表す (n=5)。

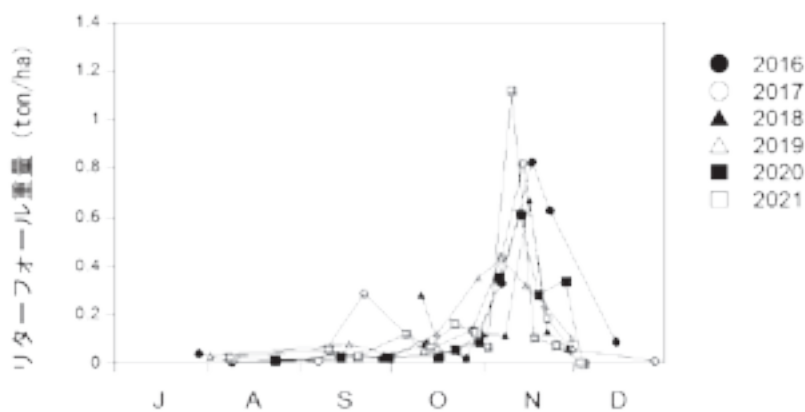


図-2 カラマツリターフォールの季節変化

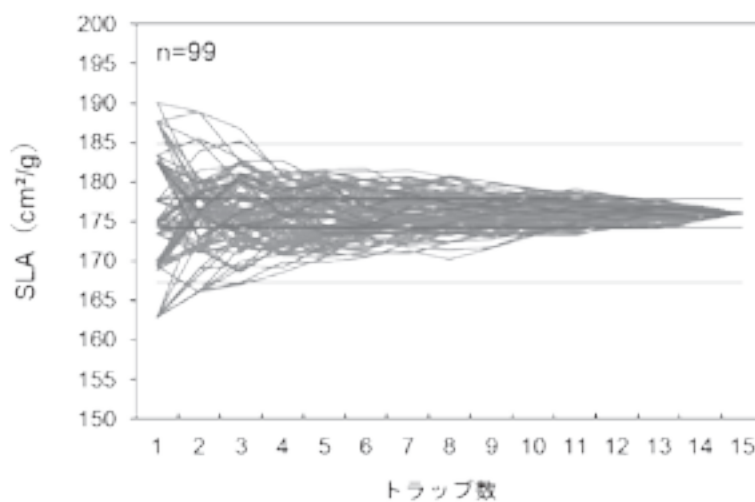


図-3 カラマツリターSLA 平均値のトラップ数による変化  
図中の直線はそれぞれ平均値±1%, ±5%の線分を表す。

にかけて低下した後増加に転じ、11月中旬に最大となり、再び低下する季節変化を示した。リターSLAの平均値と標準偏差は $166 \pm 19.0 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、変動係数は8.56%であった。季節とトラップを変動

要因とした2元配置分散分析を行ったところ、回収日およびリタートラップによってSLAは有意に異なった ( $p < 0.01$ )。

5つのリタートラップにおける2016~2020年の11月中旬に回収したカラマツリターSLAの年変動は143~190  $\text{cm}^2/\text{g}$ の範囲にあり、平均値と標準偏差は $165 \pm 16.2 \text{ cm}^2/\text{g}$ で、変動係数は6.50%であった。2元配置分散分析の結果、トラップ毎のリターSLAには有意な年変動が認められた ( $p < 0.001$ )。

図-2に2016年から2021年のカラマツのリターフォール量の季節変化を示した。カラマツのリターは、どの年も11月に最も多く落葉した。

本調査地のカラマツリターSLAは136~190  $\text{cm}^2/\text{g}$ の範囲にあり、変動要因としては季節による変動が最も大きく(変動係数:8.56%)、次いで年による変動が大きかった(変動係数:6.50%)。これまで、落葉広葉樹林を対象とした研究では、リターSLAの変動要因として空間変動が最も大きいことが報告されている(Liu, F. et al., 2021)。一方、本研究のカラマツ林ではリターSLAの空間変動に有意差は認められず、変動係数も4.4%と今回検討した変動要因のうちで最も低かった。本調査地は地形が水平で土壌水分環境に違いがほとんど見られないこと、間伐によって上層木の樹冠構造がほぼ均質に管理されていること、等がSLAに空間変動が認められなかった原因として考えられる。図-3にリタートラップの個数によってSLAの平均値がどのように変化するか、99回ランダムシミュレーションした結果を示した。図より本調査地では、カラマツリターSLAが15トラップの平均値の5%以内に収まるには、少なくとも4つのトラップからSLAの試料を採取する必要があることが読み取れる。

リターSLAの季節による変動は樹種によって大きく異なり、落葉針葉樹であるグイマツの季節変化の変動係数は15.43%に達することが報告されている(Liu, Z. et al., 2015)。本研究のカラマツリターSLAの季節変動はこれより小さかったが、11月中旬のリターSLAは他の時期より高い値を示した(図-1)。落葉期のリターSLAの季節変化はリターが落葉する順序に依存すると考えられており(Kwon et al., 2016)、SLAの異なる陽樹冠と陰樹冠の落葉のタイミングの違いがリターSLAの季節変化に反映していると考えられる。本調査地ではカラマツのリターフォール量は11月に最大となるが(図-2)、この時期のリターフォールにSLAの大きい陰葉のリターが他の時期より多く含まれることが11月の中旬にSLAが上昇した原因として考えられる。このようにリターフォール量の多い時期のSLAは樹冠内におけるSLAの空間変異を良く反映しているといえる。

中国の温帯落葉広葉樹林においては、リターSLAは年によっても変動することがLiu, F. et al. (2021)によって報告されており、本研究においてもカラマツのリターSLAは有意な年変動を示した。リターのSLAは気象要因や樹冠構造に影響されると考えられるが、リターSLAの年変動に影響をおよぼす要因については不明な点が多く(Liu, F. et al., 2021)、さらなるデータの蓄積が必要である。

以上のことから、リターSLAの空間変動が小さい本調査地では、SLA計測のためのリター試料は、最低限4つのトラップから採取すればよいこと、リター試料は陽葉と陰葉によるSLAの違いを良く反映している落葉量の最も多い時期のリターフォールから、毎年採取することが望ましいといえる。

### 3.2 カラマツリターSLAのLAI推定への影響

表-1に6通りのリターSLAから求めたLAIを示した。基準となる(1)の方法で求めたLAIは4.58  $\text{m}^2/\text{m}^2$ であった。変動要因のうち最も大きい季節変化を考慮せず、11月のSLAを用いた(2)のLAIは4.71  $\text{m}^2/\text{m}^2$ で、基準値より1.03倍高い値を示した。同じく季節変化を考慮せずSLAの季節変化の平均値から求めたLAIは4.40  $\text{m}^2/\text{m}^2$ で((3)の方法)、基準値より0.96倍低い値を示した。このように、リターSLAの季節変化を考慮しない場合、LAIは3%~4%過大、あるいは過小に評価される。リターSLAの季節変化を考慮しないことによるLAI推定への影響は、これまで1~3%(Kwon et al.,



2016),あるいは1.2% (Liu, F. et al., 2021) の低下が報告されており, LAI 推定への季節変化の影響は小さいとされている。本研究のカラマツ林では, LAI 推定におよぼすリターSLAの季節変化の影響はこれら既報の値より大きい。空間変動を一定として(4)の方法で求めた LAI は  $4.70 \text{ m}^2/\text{m}^2$  で, 同条件の基準となる(2)の LAI ( $4.71 \text{ m}^2/\text{m}^2$ ) とほとんど変らなかった。リターSLAの空間変動を無視することによる LAI 推定への影響は, これまでブナ林で 8~24%の増加 (Bouriaud et al., 2003), あるいは中国の落葉広葉樹林で 5~9%の低下 (Liu, F. et al., 2021) が報告されている。リターSLAに空間変動の認められない本調査地では, SLAの空間変動が LAIの推定精度に与える影響は小さいといえる。年変動を一定として(5)の方法で求めた LAI は  $4.44 \text{ m}^2/\text{m}^2$  で, 同条件の基準となる(2)の値より 0.94 倍低い値を示した。また, 空間, 年, 季節による変動を考慮しない(6)の方法で求めた LAI もまた  $4.44 \text{ m}^2/\text{m}^2$  で(5)の方法で求めた LAI と同程度の値を示した。Liu, F. et al. (2021) は落葉広葉樹林において, リターSLAの年変動を一定とした場合, LAI は 3.6%過大に推定されたことを報告している。本調査地のリターSLAの年変動が LAI 推定におよぼす影響もこれと同程度に大きかった。

表-1 異なるカラマツリターSLAから求めた LAI

リタートラップ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	LAI ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ )					
B9	5.08	5.19	4.94	5.25	4.96	4.99
B19	5.73	5.87	5.58	5.80	5.52	5.56
J2	4.35	4.54	4.11	4.26	4.05	3.95
S9	3.74	3.85	3.58	4.05	3.78	3.76
S19	3.98	4.09	3.82	4.15	3.91	3.93
平均±標準偏差 (n=5)	4.58±0.819	4.71±0.826	4.40±0.834	4.70±0.779	4.44±0.759	4.44±0.794
(1)との比	-	1.03	0.96	-	-	0.97
(2)との比	-	-	-	0.999	0.94	0.94

- (1) 空間, 季節, 年によるリターSLAの変動要因をすべて考慮した方法。
- (2) 季節による変動を一定として11月のリターSLAを用いた方法。
- (3) 季節による変動を一定としてリターSLAの季節変化の平均値を用いた方法。
- (4) 空間による変動を一定として空間変動の平均値を用いた方法。
- (5) 年による変動を一定として年変動の平均値を用いた方法。
- (6) 空間, 年による変動を一定として11月のリターSLAを用いた方法。

#### 引用文献

- Bouriaud, O. et al. (2003) Leaf area index from litter collection: impact of specific leaf area variability within a beech stand. *Can. J. Remote Sens.* 29: 371-380.
- Kwon, B. et al. (2016) Effects of temporal and interspecific variation of specific leaf area on leaf area index estimation of temperate broadleaved forests in Korea. *Forests* 7:215. <https://doi.org/10.3390/f7100215>
- Liu, F. et al. (2021) Sampling protocols of specific leaf area for improving accuracy of the estimation of forest leaf area index. *Agric. Forest Meteorol.* 298-299:108286. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108286>
- Liu, Z. et al. (2015) Estimating seasonal variations of leaf area index using litterfall collection and optical methods in four mixed evergreen-deciduous forests. *Agric. Forest Meteorol.* 209: 36-48.

お知らせ

## 地域振興局が行う現地適応化事業への協力

### 1 はじめに

地域振興局に配置されている林業普及指導員は、地域の森林・林業の発展に向けた課題解決を行うため、林業総合センターをはじめとする各地の試験研究機関で得られた成果を参考として、現地での普及を進めるため、「現地適応化事業」に取り組んでいます。

令和3年度に実施した現地適応化事業では、本県を代表する造林樹種であるカラマツの再造林に関わる技術の実証をはじめ、再造林時に話題になることが多い早生樹の効果検証や、広葉樹の天然更新にまつわる課題などが提案されました。

今回実施している課題は、令和2年度または3年度に開始した課題です。林業の調査研究にはある程度の期間を要するため、まだまだ成果としてお示しできるものは少ないですが、現在行われている実施課題の中から5つの取り組みについて、ご紹介します。

### 2 カラマツ再造林に関わる技術の検証

県内人工林資源が充実するなかで、材価が良好なカラマツの再造林が注目されています。とはいえ、林業は生産期間が長く、初期保育費用がかさむため、再造林が進まないことが課題です。

今回の現地適応化実証試験では、生産期間を短くして回転率を上げる代わりに高密度植栽を行う試みを佐久地域振興局で、植栽密度を下げ、植栽コストと除伐費用を軽減する試みを諏訪地域振興局で取り組んでいます。

#### 1) 高密度植栽の取り組み

佐久地域では、小径木から大径材まで幅広くカラマツの需要がありますが、杭に用いるような小径木が不足しています。

杭材のような小径木は、間伐時に選別して出荷することが多いのですが、短伐期での生産化が可能な杭材を生産目標において15年程度で収穫が出来るような体制を整える試験を実施しています。

南牧村の試験地では、通常の2,300本/haを基本として、その2倍(5,000本/ha)とさらに倍

(10,000本/ha)を令和2年の春に植栽し、その成長経過を追いかけています。

2夏が経過した令和3年度末の中間結果では、植栽密度の影響が出るような林冠閉鎖には至っていませんが、裸苗の成長が良好で、競合植生である桿高1mのクマイザサを超える平均樹高1.5mに達しており、下刈り回数の削減に寄与してほしいと期待しています。中でも10,000本/haの植栽区では、しっかりした枝張りをしていることからすでに隣の植栽木との枝が近接してきており、さらに下草の勢いを抑えることにつながればよいと考えています。

とはいえ、ここまでの成果で「下刈り不要になりました」とは言えないことから、もうしばらく継続調査を続けるなかで、実用化に向けた提案ができないかと期待しています。



高密度植栽試験地の現状

#### 2) 低密度植栽の試み

現在のカラマツ材は、主に合板用として利用されることが多く、合板材として利用できる径級に早く達することができれば、効率化が見込まれます。そこで、植栽当初から本数を減らし、早期に肥大成長を促せないかとし、カラマツ通常の植栽本数である2,300本/haの半分以下となる1,000本/haの植栽を令和3年末に下諏訪町の試験地に植栽し、経過観察を進めています。現地はニホンジカの密度が高く、シカ防護柵で囲いましたが、現在のところ植栽からの期間が短いため効果の検証はこれからです。

### 3 早生樹の成長量調査

皆伐再造林後の森林造成では、下刈り期間の縮

減や早期の収入確保のため、現在の植栽樹種よりも成長が早いと期待される「早生樹」を植栽することもあります。

南信州地域では、県内でも比較的暖かい地域に属することから、伐採跡地に県外で注目されている早生樹の試験植栽を行っています。特に平谷村では、毎年行っている村民植樹祭において、数年前からコウヨウザンなどの早生樹を、ニホンジカの防護資材を設置する中で、植栽しました。

令和3年度から成長状況を調査しはじめ、南信州地域での効果検証を進めています。



早生樹の成長試験

#### 4 広葉樹の天然更新

燃料需要の高まりとともに、薪の原材料として人気があるナラなどの広葉樹にも注目が集まっており、天然更新によるナラ林の再生も地域のテーマとして考えられています。

今回は、松本地域と大町地域で、広葉樹の天然更新に向けた現地適応化事業が進められています。

##### 1) シカの生息環境下での天然更新

松本地域では、ニホンジカの個体密度が増加してきています。ニホンジカの個体密度が高くなってしまうと、ニホンジカの防護柵を設置するなどの対策を講じない限り、天然更新が困難になってしまいます。

ナラなどの広葉樹は、ヒノキやカラマツなどの針葉樹に比べるとニホンジカの食害を受けにくいとはされていますが、枝葉の食害はノウサギなどの影響もあります。

今回は、令和2年度に伐採した広葉樹林を調査地として、できるだけ低コストな天然更新方法を模索しています。

##### 2) 出材率を高める取り組み

北アルプス地域は、県内でも薪の需要が多く、ナラ薪の価格が非常に高くなっています。

そこで、北アルプス地域では、できるだけ多くの薪を生産するため、一般的には山林に放置されてしまうような細い木材までを出荷に供して、利用率を高めるとともに、枝葉までをチップ化することで、資源の有効活用を図ることを目的として、大町市のナラ林で実際に伐採を行い、どこまで利用できるのかを検討することにしました。

現地での伐採作業は、伐採適期である令和3年度の冬に実施しましたが、積雪の関係もあり、実際の結果がまとまってくるのは新年度になります。どこまでの木材が薪として生産できるのかを考えるとともに、伐採後にどのような天然更新が行われていくのかにも注目して調査を進めます。



利用率を高めた広葉樹の皆伐

#### 5 おわりに

林業総合センターで定めた基本計画の中で、現場に応える技術支援も取組むべき大きな課題として考えています。

令和4年度以降も、林業普及指導事業の一環として積極的な支援を行うとともに、地域振興局内への普及啓発や、同じような悩みを抱えている全国各地の現場へ波及できるような成果の発信に努めてまいります。

(指導部 小山泰弘)



お知らせ

## これからも積極的なPRにつとめます

林業総合センターでは、自分たちの業務についての評価を頂くため、センターの業務と関連がある行政関係者や大学教授、関係団体の代表など10名の方を委員とする外部評価委員会を毎年開催しています。本年度は2月28日に開催し、今年度から運用を開始した「林業総合センター基本計画」に沿った取り組みの進め方についての意見を頂くとともに、各部での取り組み状況を紹介するため、一課題ずつ発表しながら、ご意見を伺うことにしました。

とはいえ、コロナウイルス感染症の影響で、長野県内に「まん延防止措置」が発令されている期間であったということで、会議を参集することは叶わず、委員の皆様にはオンラインでご参加いただくことになりました。



これまでの外部評価委員会では、当センターで多岐にわたって実施している試験研究課題と、技術指導の内容について、広くご意見を伺ってまいりました。しかし、限られた時間の中では、なかなか意見交換の時間がありませんでした。そこで、外部評価委員の皆さんへ事前に試験研究課題一覧表、業務報告、研究報告等をお送りし、当日はその中から各部で一課題を選定し、時間をかけた意見交換を行って頂きました。

今回の紹介内容は以下のとおりです。

### \*長野県林業士の育成(指導部)

(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

林業士入門講座では、林業技術を活かしながらも地域全体を見ることができるとともに人材育成を進めていることを紹介。この中で、県立長野図書館等の広分野で連携を図っていることを報告しました。

### \*機械地拵えによる再造林コストの低減(育林部)

グラップルやバケットを用いた機械での地拵えを行うことで、地拵えコストが低減しただけでなく、競合植生の回復が抑制され、特にバケット地拵えの有効性が示されました。

### \*林地残材を活用した身近な精油生産(特産部)

皆伐時に残る枝条等の林地残材の有効活用策として、ドラム缶式の精油製造装置を開発し、地域にある豊富な資源を地域の人々が活用できる体制整備につながったことが報告されました。

### \*信州カラマツ210材の開発(木材部)

信州カラマツの大径化に併せて、ツーバイフォー工法での横架材としても利用できるようにカラマツの2×10材及びそれを釘で連結させたNLT材の開発を進めている事例が報告されました。

こうした多岐にわたる課題に対して、委員の皆様からは「森林・林業・木材産業が抱える現在の課題に対応した有用な成果が出ている」ことに高い評価をいただきました。しかし、「ここまで有用な成果が出ていることを知らなかった」ことが話題になりました。

すなわち、成果は高く評価されたのですが、成果の普及が進んでいないことが問題となりました。

こうしたご意見を踏まえて、新年度からはホームページやブログなどの積極的な活用とともに、2年間開催できなかった研究成果発表会の再開を進めるなど、できるだけ多くのチャンネルを活用したPRに取り組んでまいります。