

# 令和元年度 森林・林業技術等交流発表集



発表者集合写真（令和2年2月13日～2月14日 関東森林管理局大会議室）

関東森林管理局

## — 局 長 挨拶 —

関東森林管理局長 齋藤伸郎

令和元年度関東森林管理局森林・林業技術等交流発表会の開催にあたりまして、一言ご挨拶を申し上げます。

本日、明日と、この2日間にわたりまして開催される本交流発表会でございますが、今回は24のテーマの発表があり、共同発表者も含めて50名ほどの方にご協力いただいております。発表者以外でも、国有林の職員のみならず、関係の機関、自治体、森林組合、NPO 法人、農林大学校など様々な所属の方からご参加をいただいております、誠にありがとうございます。また、審査をお願いしている谷本審査員長をはじめ、審査員の皆様方には、2日間どうかよろしく願い申し上げます。

さて、本年度は林野行政におきましても大きな動きがあった一年でした。特に、新たに施行された森林経営管理法に基づいて、意欲と能力のある林業経営者への集積・集約化、市町村の森林の公的管理を行う森林経営管理制度が開始されるとともに、森林環境譲与税についても昨年9月に第1回の交付が行われ、さらに来年度には譲与税の増額前倒しも予定されております。

このような民有林行政の大きな動きに対応して、私ども国有林といたしましても、森林整備・素材生産をはじめとした事業の実施、生産性向上の取組、森林施業の低コスト化・省力化、そのための技術開発、民国連携の推進などの取組を通し、意欲と能力のある林業経営者の育成に努め、林業の成長産業化の実現に向け、貢献して参りたいと考えております。

特に我が国のように人口減少や高齢化が進む中では、新たな技術の導入・普及が非常に重要であります。林業イノベーションの進展をはかることとともに、特に国有林野職員につきましては、森林・林業技術の専門家・技術者として能力を大いに発揮をするということが期待され、求められておりますので、私どもとしてもしっかりと応えて行かなければならないと考えております。

本交流発表会は、森林管理署、各センターを始め、多くの機関における技術開発の成果や研究の成果をご披露いただき、これを多くの関係者の間で共有し普及を図ることによって、林業の成長産業化に供するという趣旨とするものであります。また、本年度は、従来のスライド発表に加えてポスター発表も新たに行うこととしております。

2日間という限られた期間ではございますけれども、情報発信・共有の場として充実したものとなりますよう、会場にお越しの皆様におかれても、ぜひ、発表者と意見交換も行っていただきながら、この発表会を盛りあげていただければ大変ありがたいと考えておりますので、何とぞよろしくお願い申し上げます。

結びに、本交流発表会が有意義なものとなり、森林・林業技術の発展につながりますよう、また、ご参加いただきました皆様のご健勝とご活躍を祈念いたしまして、開催に当たりましての挨拶とさせていただきます。

局長挨拶



齋藤伸郎 関東森林管理局長による挨拶

スライド発表

関東局管内の国有林職員のほか、地方公共団体、森林組合、県の研究機関、農林大学校等からもご参加いただき、2日間で合計24課題の発表が行われました。



発表者別・部門別の発表課題数

国有林	16	森林技術部門	15
地方公共団体等	4	森林保全部門	5
農林大学校	2	森林ふれあい部門	4

合計 24課題

## ポスター発表

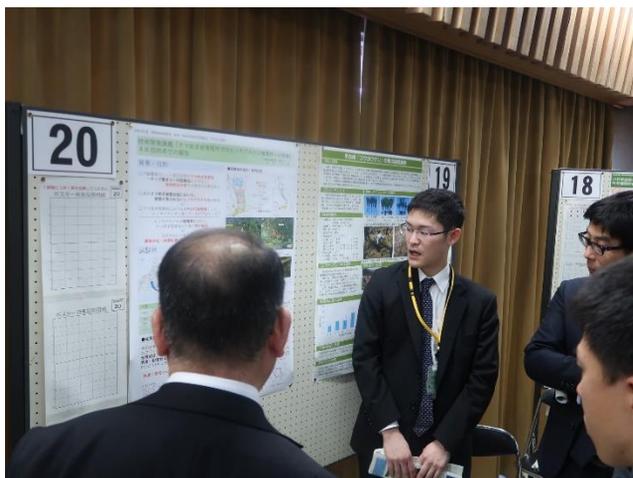
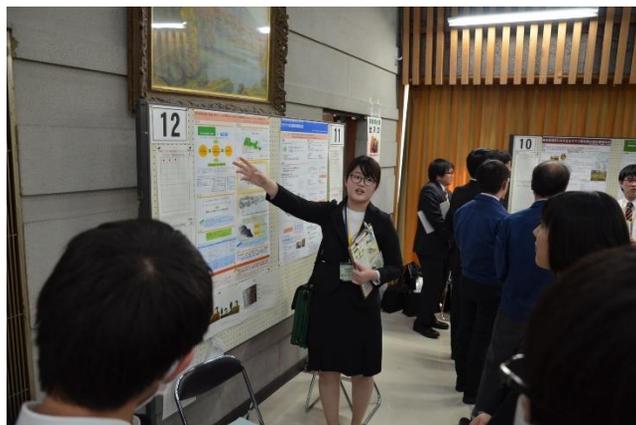
今年度から新しく始めた取組です。

国有林の発表 18 課題

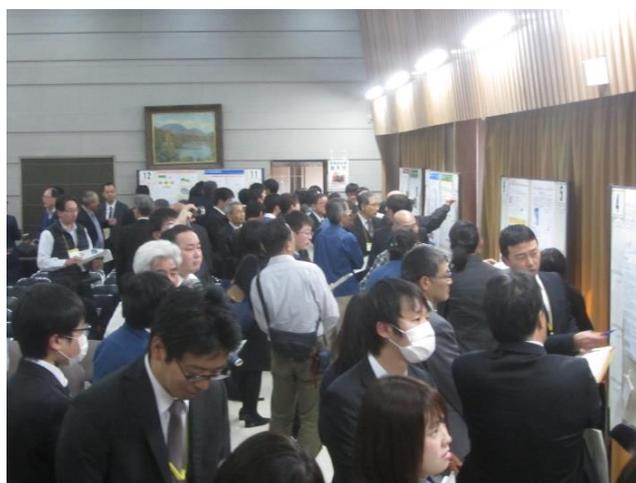
地方公共団体等の発表 2 課題

大学の発表 2 課題

合計 22 課題の発表がありました。



ポスターの発表内容は、UAVの利用、生態系保全、ニホンジカ対策、早生樹の取組、治山工事等と多岐にわたり、参加者との間で活発な意見交換が行われました。



## 優秀賞受賞課題



ドローンによる林地除草剤散布試験の取組  
茨城森林管理署 平尾さん、佐々木さん



民国連携推進地区(秩父市)における  
活動実績報告  
埼玉森林管理事務所 濱砂さん  
秩父市 阿部さん



東日本大震災における海岸防災林の復旧状況  
～クロマツ植栽木の生育状況～  
磐城森林管理署 長野さん、武藤さん



民国連携「その先」を目指して。  
—シカ情報発信の取組から—  
茨城森林管理署 菊池さん



シカ防護柵の破損リスク低減  
に向けた取組と課題について  
国研) 森林整備センター 関東整備局  
田中さん、長柄さん



ニホンジカ防除柵  
(斜張柵・縦張柵・金網柵)の比較検討  
群馬森林管理署 小澤さん



国と市町村の新たな関わり方  
～掛川市における  
森林経営管理制度の検討を通じて～  
天竜森林管理署 石倉さん



成熟した人工林の伐採による  
イヌシの狩り場の創出実験  
赤谷森林ふれあいセンター 松井さん  
日本自然保護協会 出島さん



立木の非破壊強度測定による強度分布の把握  
群馬県立農林大学校 照島さん



希少猛禽類の生態系に配慮した  
林道工事について  
福島県会津農林事務所 半沢さん



ドローンは立木調査を省力化できるのか？  
～樹種判別と材積推定～  
静岡県立農林大学校 長嶋さん

## 最優秀賞受賞課題



新たな獣害防除資材「単木柵」の開発  
群馬県林業試験場 坂和さん



住友林業株式会社 山林部 佐々木嵩史氏による特別講演

講評



谷本丈夫 審査員長による講評

受賞者との記念撮影



# 目次

局長挨拶	関東森林管理局長 齋藤伸郎・・・ii
森林・林業技術等交流発表会写真集	・・・iii

## I スライド発表

### 1-1 森林技術部門

単木保護資材の苗木の生育に与える影響について	群馬森林管理署 高橋和康・・・1 小澤一輝
スギ立木の非破壊強度測定	群馬県立農林大学校 照島和幸・・・5
ドローンによる林地除草剤散布試験の取組	茨城森林管理署 平尾翔太・・・9 佐々木美乃里
治山事業地におけるシカ被害対策の実証試験	日光森林管理署 宮岡和麻・・・13 丸山寿隆
ドローンの撮影成果を活用した森林調査の可能性について	群馬県西部森林環境事務所 星野 勝・・・17 群馬県林業振興課 荒井和紘
民国連携推進地区（秩父市）における活動実績報告	埼玉森林管理事務所 濱砂俊介・・・19 秩父市環境部森づくり課 阿部圭佑
無人航空機による写真測量について	天竜森林管理署 渡邊雅弘・・・24
下刈期間及び林縁環境が木本類の侵入過程に及ぼす影響	森林技術・支援センター 須崎智応・・・28
シカ防護柵の破損リスク低減に向けた取り組みと課題について	国立研究開発法人森林研究・整備機構森林整備センター 関東整備局 田中浩二・・・38 長柄 豊

※発表者の所属は令和2年2月時点のものです。

FSC 森林認証の追加取得による浜松市林業成長産業化地域構想への支援

天竜森林管理署 岩崎隆裕・・・41  
計画課 原口 尉  
浜松市林業振興課 藤江俊允

ニホンジカ防除柵（斜張柵・縦張柵・金網柵）の比較検討

群馬森林管理署 小澤一輝・・・45

国と市町村の新たな関わり方

～掛川市における森林経営管理制度の検討を通じて～

天竜森林管理署 掛川森林事務所 石倉悠裕・・・51

新たな獣害防除資材「単木柵」の開発

群馬県林業試験場 坂和辰彦・・・55

早生樹の利活用を考える

富士森林組合 浅沼憲太・・・59  
掛川市森林組合 尾崎友昭

ドローンは立木調査を省力化できるのか？～樹種判別と材積推定～

静岡県立農林大学校 林業分校 長嶋 航・・・63

## 1-2 森林保全部門

千葉県房総丘陵のヒメコマツ保護について

千葉森林管理事務所 梶井昌克・・・67  
所 和美

東日本大震災における海岸防災林の復旧状況（5）～クロマツ植栽木の生育状況～

磐城森林管理署 原町治山事業所 長野祐介・・・71  
磐城森林管理署 武藤暢光

希少猛禽類の生態系に配慮した林道工事について

福島県会津農林事務所 半沢竜馬・・・75

民国連携「その先」を目指して ―シカ情報発信の取組から―

茨城森林管理署 菊池 毅・・・79

お幕場海岸防災林造成事業について

下越森林管理署村上支署 吉川貴光・・・83  
井上 賢

### 1-3 森林ふれあい部門

高尾小下沢国有林で針広混交の森づくり

—落葉広葉樹の生長が森林成長類に与えた影響—

東京神奈川森林管理署 藤井 幸・・・88  
日本山岳会 高尾森づくりの会 白井聡一

森は友だち「山と心に木を植える」

～人と自然を大切に作る心を育む15年間の森づくり報告～

日光森林管理署 神子内森林事務所 新屋将希・・・93  
森びとプロジェクト委員会 大野昭彦

「森林環境教育」を充実するための取組について

高尾森林ふれあい推進センター 磯田伸男・・・99

成熟した人工林の伐採によるイヌワシの狩場創出実験

赤谷森林ふれあい推進センター 松井琢郎・・・104  
日本自然保護協会 出島誠一

## 2 特別講演

住友林業の森林・林業による地域活性化支援

住友林業株式会社 山林部 佐々木高史・・・109

## 3 講評及び審査結果

講評

審査員長 宇都宮大学名誉教授 谷本丈夫・・・115

審査結果

・・・・・・119

## II ポスター発表

発表ポスター一覧

・・・・・・121

受賞結果

・・・・・・144

# I スライド発表

---

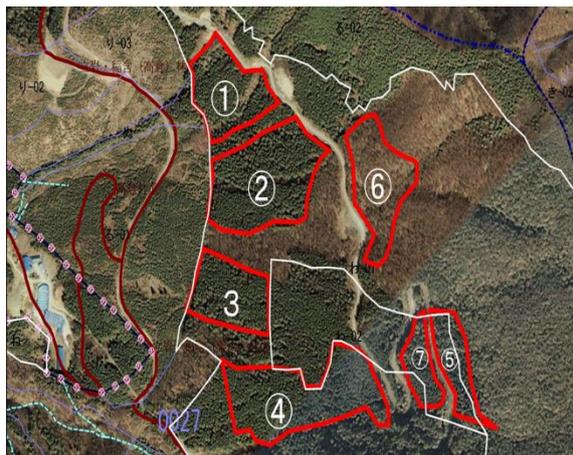
## 1 - 1 森林技術部門

# 単木保護資材の苗木の生育に与える影響について

群馬森林管理署 高橋和康  
小澤一輝

## 1 課題を取り上げた背景

我が国の林業は、植栽から伐採までの投資に見合った収入を得ることが困難な状況にあります。特に獣害対策を必要とする地域では、その対策を加えるとさらに造林コストが上がってしまいます。これに対処するため、当署では、単木保護資材の使用によって獣害防除と併せて保育コストの低減を図ることを目的とした調査を平成 28 年から群馬県下仁田町の国有林（標高 850m～1,000m、西向き斜面、中傾斜）で、複数の作業条件を組み合わせた 7 つの試験区を設定して生存状況、生長量について調査を始めました。（写真－1）



（写真－1）調査地配置位置

しかし、植栽翌年に現地を踏査したところ、シェルター型の単木保護資材を導入した 3 つの試験区で、獣害以外の何らかの要因によりスギ苗木の大量枯死が発生しました。（表－1）

試験区⑤で 68%、試験区⑥で 28%、試験区⑦で 37%の植栽木が枯れてしまい、当初の目的を達成することが困難となりました。

シェルター型単木保護資材の枯死の原因が何であるのか、また他の単木保護資材でも同様の現象が起きるのかを検証する必要があると考え、試験区⑤を改植して、数種類の単木保護資材を導入し生育状況の調査を行うことにしました。

また、試験区⑥及び⑦については枯死が 30%前後であったので、改植等の措置は見合わせ、経年変化を調査することにしました。

（表－1）調査地内訳

区域	面積 (ha)	植栽密度(本/ha)	苗木種類	獣害対策	枯死率(%)
①	1.26	2,000	普通苗	単木保護(ネット)	
②	2.17	2,000	普通苗	単木保護(ネット)	
③	1.23	2,000	普通苗	防護柵(ネット)	
④	1.87	2,000	大苗	防護柵(ネット)	
⑤	0.60	1,500	大苗	単木保護(シェルター)	68
⑤e	0.10	1,500	大苗	電気柵	
⑥	1.52	1,500	普通苗	単木保護(シェルター)	28
⑦	0.65	1,500	コナナ苗	単木保護(シェルター)	37

## 2 具体的な取組

### (1) 試験区⑤の改植

試験区⑤はスギ普通苗 80cm 以上の苗木をヘクタール当たり 2,000 本の密度で約 1,100 本の植栽をし直して複数の単木保護資材による保護を行いました。

使用した単木保護資材は（写真－2）の



S i S ii N i N ii N iii N iv K i

（写真－2）使用した単木保護資材

左から、シェルター型 2 種類それぞれ S i 69 本・S ii 252 本、 ネット型 4 種類それぞれ N i 327 本・N ii 219 本・N iii 154 本・N iv 35 本、 クリップ型 1 種類 36 本でした。

## (2) 調査方法

### (ア) 試験区⑤の調査

改植後 2 年目の令和元年 7 月に生死・獣害・形状の 3 項目による調査をしました。

・生死については、生存個体数を把握するため、植栽木の 2/3 以上が緑色の場合は生存として扱い、それ以外は枯死として調査をしました。

・獣害については、シカによる食害が有るか無いかについて調査をしました。

・形状については、単木保護資材の形状を、植栽木の先端の曲がり度が 0 度以上から 45 度までのもの、45 度から 90 度までのもの、曲がり度が 90 度以上のもの、の字又はらせん状のもの、転倒しているものの 5 段階に分類して調査をしました。

### (イ) 試験区⑥及び⑦の調査

平成 29 年度に大量の枯死が判別した⑥及び⑦の試験区については、苗木の生死がどのように推移したかを、試験区⑤と同様に、植栽木の 2/3 以上が緑色の場合は生存として扱い、それ以外は枯死として調査をしました。

## 3 取組の結果

### (1) 自然枯死率 (図-1)

シェルター型による単木保護を行った苗木は、植栽後 1 年で 25% が枯死しました。

一方でネット型の枯死率は、10% 前後と低めでした。

シェルター型の単木保護資材では、本試験地のような環境では成林する可能性が低いことが明らかになりました。

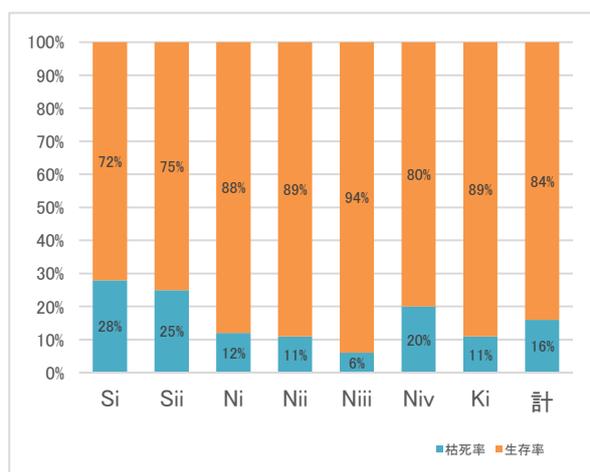
ネット型の単木保護資材はシェルター型よりも通気性が高いことから資材内部の温度変化が小さく、気象害が発生しづらいと推察されます。

### (2) ⑥及び⑦試験区の枯死率 (図-2)

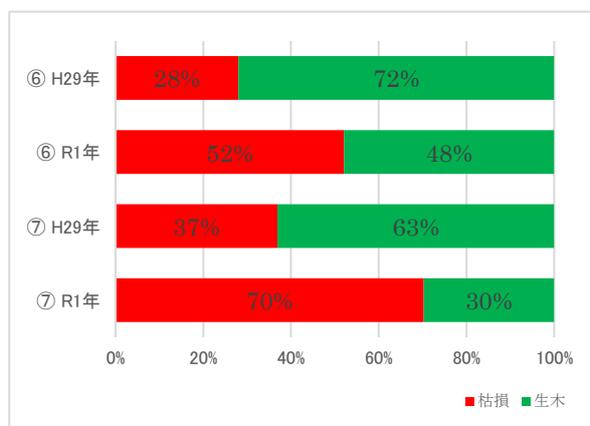
シェルター型の獣害保護資材を導入した試験区⑥及び⑦の枯死率です。

各試験区の上段が、植栽後 1 年目の平成 29 年の枯死率と、下段が 3 年後の令和元年の枯死率です。試験区⑥では 52%、試験区⑦では 70% と過半数の植栽木が枯死しました。

(参考: シェルター型は冬期間も内部気温が 40℃ 近くまで上昇し、乾燥害が発生している (齋藤ら、2018 日本生態学会大会))



(図-1) 単木保護資材の自然枯死率



(図-2) シェルター型 S i の枯死状況

(2) 獣害発生率 (図-3)

シェルター型は獣害の発生はありませんでした。

クリップ型の単木保護資材は、獣害発生率が80%と高めでした。

ネット型の中にも獣害発生率が20%を超えるものがありました。

これは、シェルター型に対してクリップ型はクリップを装着した部分のみ保護する仕様であるため、装着部以外は採食を受けやすいことからこのような結果になったと推察されます。

ネット型もネットの上からシカが採食しようとすることで被害を受けるリスクがあることを示しました。(写真-3)

クリップ型の採食を受けた植栽木ですが、クリップ部以外の枝葉を採食されて枯れてしまうもの、またシカによるのかクリップが外れ先端が採食を受けてしまっているものが見受けられました。

食害の状況については、この試験区は、下刈りを省略していることから草本が伸びるままとなっていますが、シカ進入経路(獣道)になっている作業道周辺では集中的に被害を受け植栽木の周りの草本もほとんどの物が採食されてしまいました。

また、シカはバラ類を採食しないのか繁茂が激しい箇所についてはシカの侵入はほぼ見られませんでした。

(3) 形状調査 (図-4)

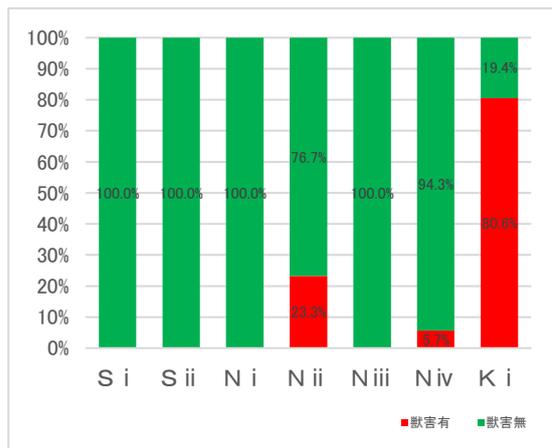
調査は5項目で行っていますが、グラフでは45度以上屈曲した植栽木の割合を赤色で表示しました。

屈曲率は、クリップ型が3割強と一番高くなりました。

ネット型N iiiもほかの保護資材に比べて2割強と高くなりました。

クリップ型は、クリップの重みによる下垂や、シカの採食行動による折損が生じたためと思われる。

また、ネット型N iiiは網目が比較的大きく植栽木の枝や葉が生長に伴って網目に絡まりやすかったためと推察されます。

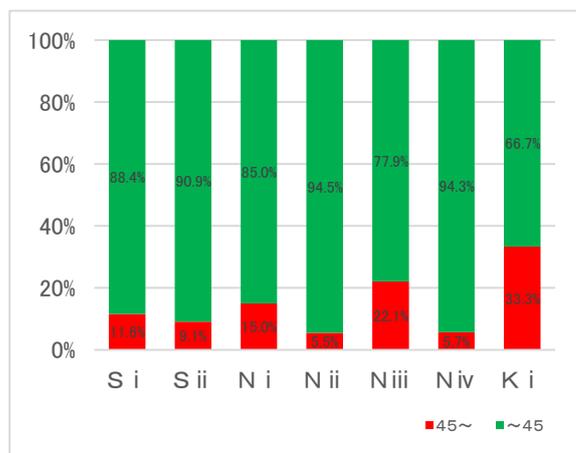


(図-3) 単木保護資材別の獣害発生率



(写真-3)

ネットの上から採食された植栽木



(図-4) 単木保護資材別の植栽木の屈曲率

#### 4 まとめ

シェルター型は、環境に適応すれば成長促進効果がありますが、本試験地のように標高が比較的高く、冬期の寒暖差が大きい箇所では、内部と外部の気温差が著しく苗木の乾燥害が発生しやすくなり、枯損の原因となりえることから導入には慎重になる必要があると思われます。

ネット型は、獣害対策に対しては資材による差はほとんど見られませんが、植栽木の形状に与える影響を考えると網目が大きい物は枝葉が網目にかかり曲ってしまう可能性が高いことから、網目の細かい資材を選択した方が苗木の成長時に網目による阻害を心配する必要がなくなると考えられます。

クリップ型は、本試験地ではシカの生息頭数が多めであったため、採食を強く受けすぎてしまい防除効果が低くなりました。また、採食を強く受けているため、植栽木の形状に与える影響も大きいと思われることから、シカ生息頭数の少ない箇所に向いていると思われます。

単木保護、柵による保護、忌避剤による保護ともに、植栽地の環境、シカの生息密度、植栽する苗木の種類、また植栽地の面積によって適切な保護方法を選択することが必要と思われます。

また、本発表では取り上げていませんが、被害の多い地域では保護だけでなく捕獲も行い個体数を減らす選択も必要と思われます。

# スギ立木の非破壊強度測定

群馬県立農林大学校 農林業ビジネス学科 森林コース 照島和幸

## 1 課題を取り上げた背景

日本の木材需要量は減少傾向で推移していて、過去最高であった1973年の1億2,102万 $\text{m}^3$ （丸太換算値）に対して、現在では6,480万 $\text{m}^3$ まで減少しています。また、製材用材の需要量はとりわけ木造住宅着工戸数と密接な関係にあり、木材需要量に大きく影響しています。しかし今後、人口減少等の要因で住宅の新設着工戸数が減少し、木材需要量が増加する見込みは少ないと考えられます。

しかし地球温暖化対策などの森林の多面的機能を十分に発揮するためには林業・木材産業の成長産業化を実現していく必要があります。そこで、林野庁は2010年に現在木材の利用率が少ない公共建築や商業建築等の非住宅建築に木材利用を促進するため、「公共建築等における木材の利用の促進に関する法律」を施行しました<sup>1)</sup>。これに伴い、群馬県でも2019年に「林業県ぐるま県産材利用促進条例」が施行され、県の施設は原則木造とすることが義務づけられました<sup>2)</sup>。しかし、このような非住宅建築は戸建て住宅よりも広い空間を必要とすることから、その施設に見合った木材の強度や規格等が求められるため、強度性能が明確化された等級区分材が求められています<sup>3)</sup>。

しかし、これまで木材の強度性能を把握する場合、山元で伐採した材はすべて製品寸法に加工され、出荷手前の最終段階で非破壊強度測定を行い、等級区分をして選別されるため、ここまでに掛かったコストは、製造されたすべての材に掛かってくるのが現状です。また、非住宅建築用において、製材寸法は通常の市販製材品と異なることがほとんどで、強度不足で使用できない材は他の用途に転用するにも再加工などのコストが掛かかります。そのため、それらのコストも製材品に上乗せする必要があるため、強度等級区分材の価格が上昇する要因となっています。

一方、非住宅建築用を使用する場合、強度選別の歩留まりは、林分によって大きく異なります<sup>4)</sup>。現状の製造工程では、建築会社へ出荷する直前の段階での選別であるため、強度等級区分材の価格は無等級材よりも50%以上高くしないと赤字になるリスクがあります。そのため、非住宅建築に使用できない低強度材をなるべく早い段階で選別して、それ以降の加工コストを削減することで、強度等級区分材の適正価格化を図り、設計価格を下げて、非住宅建築の木造採用率を上げて、木材需要の増加を目指していくことが必要です。

コスト削減を考えた場合、伐採前に立木状態で非破壊強度測定を行えば、低強度材を除いて伐採することが可能となり、必要な量が供給できると考えました。近年、非破壊強度測定で応力波伝播速度を用いた手法が用いられています<sup>5)</sup>。しかし、実用化には至っておらず、群馬県内の調査事例は1件<sup>6)</sup>だけであるため、実用化に向けた立木強度データの蓄積が必要です。

そこで今回、非住宅用途の構造材としての利用を考え、群馬県富岡市の大桁県有林の胸高直径の大きな50〜60年生のスギを対象として、応力波伝播速度で強度測定を行い、強度等級の出現傾向を把握して、適正な価格の強度等級区分材の開発に向けた知見を得ることとしました。

## 2 具体的な取組

### (1) スギ立木の選定

大桁県有林で林齢50〜60年生のスギ10小班から、1小班当たり15本選木しました。また、

選木基準は目視で判断できる被圧木、不良木、枯損木を除いた健全木のみとしました。その後、胸高直径と樹高を測定しました。

(表-1) 試験地の立地条件等

小班	標高 (m)	傾斜方向	斜度 (°)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	林齢 (年)
4-15-2	570	南西	10°	28.8	38.5	50
5-12-2	600	南西	18°	28.8	35.8	50
5-15-2	600	南	14°	29.7	43.6	50
9-7-2	610	北東	14°	21.5	39.7	55
9-37	620	北東	10°	20.5	39.6	56
9-40	640	北東	18°	20.7	36.2	53
9-41-3	650	北	26°	23.9	34.1	60
9-17-1	590	北東	18°	25.3	34.8	54
9-28-1	580	東	26°	22.6	38.2	57
9-28-3	610	北東	32°	23.0	34.5	51

(2) FAKOPP による応力波伝播速度測定

FAKOPP は本体と 2 つのセンサーからなり (図-1)、両センサーは一定の距離を持って樹幹の上下方向に取り付けます。スタートセンサーをハンマーで叩いて発生した応力波が、もう一方のセンサーに到達するのに要した時間を測定します。音速は両センサー間の距離を伝播時間で除すことで得られます<sup>7)</sup>。

測定方法は、樹幹の山側から 90° ずつ 4 方向測定しました。1 方向に対して 5 回測定し、平均値を求めました。この時、立木の樹幹の高さ 70cm から 170cm に FAKOPP のセンサーを打ち込み、ハンマーでスタートセンサーを打撃しました。また、それぞれのセンサーは樹幹に対して 45° に打ち込み、打ち込み深さは 15mm で固定しました<sup>8)</sup> (図-2)。

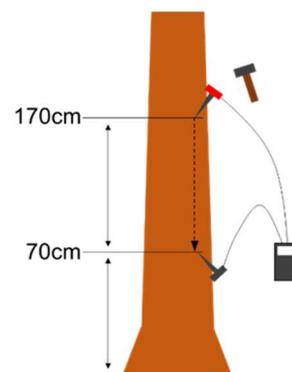
応力波伝播速度による立木のヤング係数は次式によって求められ、密度は先行文献を参考に 0.95g/cm<sup>3</sup> の値を用いました<sup>5)</sup>。

$$E_s = (V_p)^2 \times \rho$$

$E_s$  : ヤング係数  $V_p$  : 応力波伝播速度  $\rho$  : 密度



(図-1) FAKOPP



(図-2) FAKOPP の測定方法

### (3) ピロディンによるピン打ち込み深さの測定

ピロディンは 6J のバネで直径 2~5mm の平頭のピンを樹幹に打ち込み、打ち込み深さが密度と反比例の関係にあることを利用して密度を推定するものです。今回の試験では直径 2.5mm の平頭のピンを用いました。測定は樹幹の山側 120cm 位置から 90° ずつ 4 方向で行い、節や枝を避けて各方向 1 回ずつ測定しました。

## 3 取組の結果

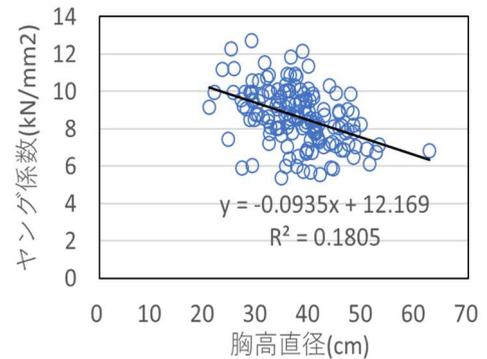
図 3 に胸高直径とヤング係数の関係を示しました。

打ち込み深さが大きくなるにともない、ヤング係数は低下する傾向があり、胸高直径とヤング係数には弱い負の相関が見られました。また、先行文献で 30 年生前後のスギでは、成長の良い個体ほど音速が低下する、つまりヤング係数が低下する傾向が認められており<sup>9)</sup>、本研究では 50~60 年生のスギも同様にヤング係数が低下する傾向が現れました。したがって、FAKOPP でも材質の強い立木を選抜していくことが可能となると考えられます。

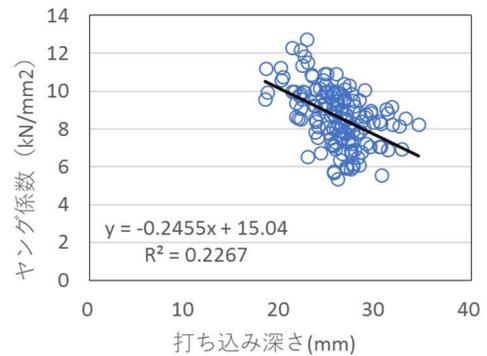
ピロディンの打ち込み深さとヤング係数の関係を図 4 に示しました。打ち込み深さとヤング係数には弱い負の相関が見られました。このことから、打ち込み深さが浅いほどヤング係数が高い傾向が見られました。つまり、ヤング係数が高いほど材質が強く、ピンがめり込みにくくなるため負の相関になったと考えられます。したがって、FAKOPP で材質の強い立木を選抜していくことが可能となると考えられます。

各小班 15 本のヤング係数の最大値と最小値及び平均値を図 5 に示しました。それぞれの小班を比較すると最大値と最小値の差にばらつきがあり、またその小班のヤング係数の平均値に差異が見られました。この平均値によって、小班にどの程度の強度の立木がまわっているのか推定できると考えられます。

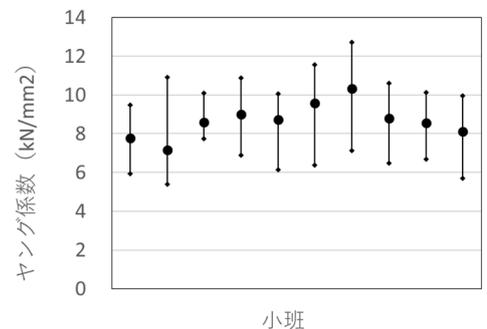
本研究の結果から、立木の強度分布が高い方に集中している林分では、非住宅建築の注文があった場合に、皆伐することで効率的に高強度材の製造が容易になることが期待できます。また、林分の強度分布が平均的であった場合は、効率的に搬出できるように作業道を入れて、択伐し、高強度材は非住宅建築に、通常の強度の材は戸建て住宅用に、低強度材は板材等にといた使い分けが可能になります。低強度に分布が集中している林分は、強度を必要としない、板用や合板用などに出荷していくなど、山元で強度性能に対



(図-3) 胸高直径とヤング係数



(図-4) 打ち込み深さとヤング係数



(図-5) 各小班本のヤング係数の最大値と最小値及び平均

応じた生産システムの構築が可能となります。

将来的には、林分ごとの立木での強度情報を蓄積していくことで、森林資源情報の1項目として立木での強度情報を加えることが出来るようになると思います。これは、他業種では普通に行われている需要に応じた生産が行われていない林業において、顧客の求める木材の情報と合致させることで、必要な規格・性能の木材を必要な時に必要な量を供給する体制を構築できるようになり、作業効率や生産性が飛躍的に向上し、林業の収益が大幅に改善することが期待できます。

#### 4 まとめ

林齢や場所が近いにも関わらず、小班によって強度のばらつきに差が現れました。また、各小班の強度の平均にも差異が認められました。これらのことから、強度が求められる場合において、立木の段階で強度分布が把握できれば、必要な時に必要な量の伐出が可能になり、製材後のロス率の減少し、収益の向上などが期待できます。

#### 引用文献

- 1) 平成二十二年法律第三十六号 公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律。  
[https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws\\_search/lsg0500/detail?lawId=422AC0000000036](https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=422AC0000000036)
- 2) 平成30年議第十一号議案 林業県ぐんま県産材利用促進条例。  
[https://www.pref.gunma.jp/gikai/s07g\\_00411.html](https://www.pref.gunma.jp/gikai/s07g_00411.html).
- 3) 国土交通省官庁営繕部. 木造計画・設計基準 平成29年版。  
<http://www.mlit.go.jp/common/001178738.pdf>
- 4) 町田初男ら. 2012. 群馬県産スギ材の強度性能—縦振動ヤング係数による強度等級出現率—. 平成23年度群馬県農林業関係試験研究機関成果発表会林業分野要旨集. 19-20.
- 5) 池田潔彦. 2002. 応力波伝播速度による立木ヤング係数評価の現状とその適用. 木材工業. Vol. 57, No9, 374-379.
- 6) 町田初男ら. 2018. 群馬県産針葉樹の立木強度測定. 平成29年度群馬県農林業関係試験研究機関成果発表会林業分野要旨集. 21-22.
- 7) 藤澤義武. 2016. 材木育種の現場のABC (4) 材質調査 (立木状態での調査). 森林遺伝育種第5巻. 147.
- 8) 日置絵里香. 2015. 造林木の樹幹曲げヤング率の測定精度に及ぼす形状比の影響. 第65回日本木材学会大会要旨集 (CD-ROM). D17-P-S01.
- 9) 藤澤義武ら. 2003. ファコップを用いた材質優良個体の非破壊的選抜技術. 九州森林研究. No. 56, 180-181.

# ドローンによる林地除草剤散布試験の取組

茨城森林管理署 平尾翔太  
佐々木美乃里

## 1 課題を取り上げた背景

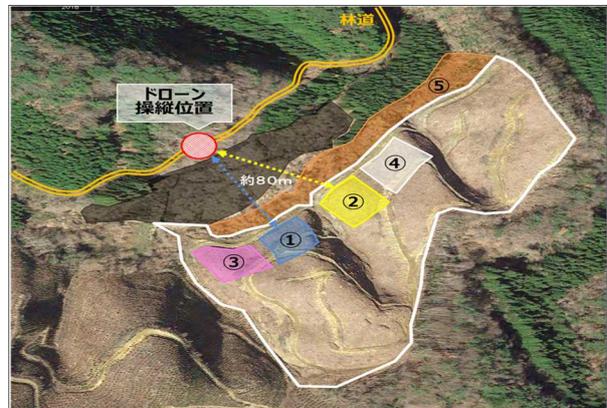
主伐・再造林面積の拡大が見込まれる中、造林事業、特に下刈作業の担い手の逼迫が強く懸念される所であり、これらの作業を減らしていく、あるいは労働強度の軽いものに替えていくことが喫緊の課題となっています。

近年、国有林では、造林事業の省力化・効率化を図るため、林地の状況をみながら可能な場合には下刈を省略しその回数を減らす取組を行っていますが、その結果として下刈終了後の5、6年生の造林地を中心にクズなどのつる類の繁茂を招いてしまう場合があります。

その対策として、茨城森林管理署では人力によるつる切りと林地除草剤の地上散布を行っていますが、下草等の繁茂による作業効率の低下や、除草剤の散布範囲が限定されることにより、さらにつる植物の繁茂を招いてしまうといった問題が生じており、より効率的かつ効果的な作業方法の検討が必要となっています。このため、つる切代替作業としての除草剤散布を、人力とドローンにより実施し、ドローンによる薬剤散布の作業工程の確認及び人力とドローンによる工期やコスト等の比較検討試験を行いました。これにより、本事業の本格的な実用化（スマート林業の実現）に向けて、ドローンを活用した薬剤散布事業のノウハウを構築、薬剤散布のメリット、デメリットなど実用化に向けた課題等を分析・整理しました。将来的には下刈作業への適用も視野に入れ、造林事業の軽労化、省力化等の選択肢を増やすことを目的としています。

## 2 具体的な取組

茨城森林管理署管内の小松沢国有林 1213 い林小班内（茨城県日立市十王町高原）において、計 1.21ha の 6 年生のスギ、ヒノキ造林地を 5 つのプロットに区分しました。プロット 1（面積 0.15ha、除草剤散布量 14kg）とプロット 2（面積 0.16ha、除草剤散布量 14kg）では、ドローンを使った空中散布を実施し、プロット 3（面積 0.15ha、除草剤散布量 14kg）とプロット 4（面積 0.12ha、除草剤散布量 11kg）では、動力散布機（人力）による地上散布を実施しました。プロット 5（面積 0.63ha、除草剤散布量 57kg）は、他プロットに比べてつる類も多く条件的に異なっていたので、事業目的で薬剤の効果のみ確認を行いました（図-1）。令和元年 7 月 30 日の早朝に空中散布、地上散布ともに実施しました。ドローンによる林地除草剤の空中散布は、事業ベースとしては全国で初めての試みということもありましたので、前日の 7 月 29 日にデモフライトを行い飛行ルート等の確認を行いました。使用した除草剤は、林業用の薬剤としては唯一、ドローンからの空中



(図-1) プロット位置図

散布許可が下りているザイトロンフレノック微粒剤で、散布量は 90kg/ha で実施しました。調査方法については、プロット①～④それぞれの散布に要した作業時間を計測し、作業効率の比較を行いました。また、空中散布と地上散布それぞれに費やしたコスト等についても比較検討を行いました。

#### (1) 使用したドローン

今回の事業に使用したドローンは DJI 社製の AGRASMG-1 という農薬散布などの農業用に開発されたドローンです。フル充電されたバッテリーで飛行できる時間は、除草剤をマックスに積んだ状態 10kg で約 10 分となっております。最大耐風速は、毎秒 8m ですが、除草剤散布に支障が出ない風速は毎秒 3m までとなります。また、このドローンはアーム部分を折り畳むことができ、約 80cm 四方の大きさになりますので、SUV 車の荷台にもなんなく積むことができます(写真-1)。



(写真-1) 使用したドローン

#### (2) 地元住民や周辺環境への配慮

事業箇所から下流は 7~8km 程まで人家等はありませんでしたが、上流は約 1.5km のところに集落がありましたので、地元住民の方々に事前の事業概要の説明やビラを配布し事業実施にご理解をいただきました。また、普段一般の方が立ち入ることはほとんどないですが、事業実施前後に現地に数カ所看板を設置し周知徹底を図りました。

関係自治体や地元住民等からは、事業実施に対しての要望や反対意見等は特段ありませんでしたが、事業箇所近辺に川が流れていましたので、水質検査についても上流部、下流部においてそれぞれ 3 回ずつ実施しました。検査結果については、特段問題はありませんでした。

### 3 取組の結果

#### (1) 除草剤の効果

散布当日は湿度が高く、葉に朝露がしっかりついている好条件でしたので、比較的早い段階で除草剤の効果が表れました。約 1 週間でする植物等の葉が黄色から茶色に変色し、4 週間後には葉が枯れ落ち、植栽木がぐっつきりと目立つようになりました。人力地上散布、ドローン空中散布ともに同程度の高い効果が得られましたが、空中散布のほうが、撒きむらが少なく対象箇所全体的にまんべんなく効果が確認されました。ススキなどのイネ科の植物は、若干変色は見られたものの枯れるまでは至りませんでしたが、これは、ザイトロンフレノック微粒剤の特性上、散布当年度は成長の抑制、翌年度に効果が発揮されますので、今後も継続して経過観察していきたいと思います。



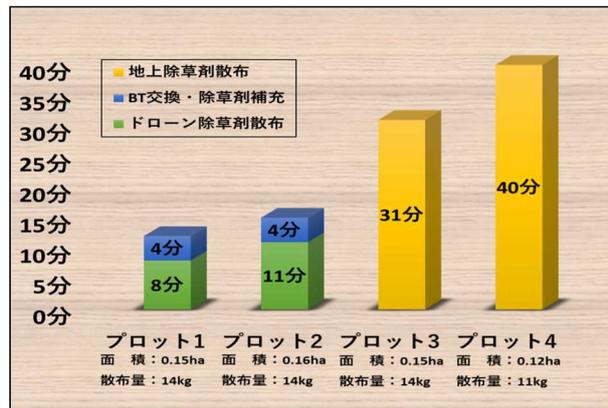
(写真-2) 散布状況

#### (2) 作業効率の比較

作業効率の比較結果については、本事業を実施するにあたってあらかじめ、プロットごとに作

業開始から終了までの間の時間観測を行いました。各プロットの人員体制については、すべて3名体制で実施しており、ドローン空中散布の人員配置は、オペレーター1名、ナビゲーター1名、除草剤補充等のオペレーター補助役1名となっております。散布に要した時間は、ドローン空中散布のプロット1では、バッテリー交換と除草剤の補充で約4分、飛行時間で約8分（2回飛行合計分）となり合計12分でした。ドローン空中散布のプロット2は、オペレーターとナビゲーターとの間で一時通信障害があり、飛行時間が伸びてしまい合計で15分でした。結果的にはドローン空中散布の12、15分に対し、人力地上散布では31、40分と倍以上の差があり、1人1時間当たりの作業量を試算すると、プロット1（ドローン散布）の0.25ha/人・Hに対し、プロット3（人力散布）は、0.10ha/人・Hとなり、ドローン空中散布のほうが約2.5倍効率が良いという結果になりました（表-1）。因みに人力地上散布については、林内に立ち入るための散布道の刈払いを事前に実施しましたが、それに要した時間は含めていません。散布道刈払いに約10人工ほどかかっていることを考慮すると、ドローン空中散布と人力地上散布では効率面でかなりの差になってくると考えられます。

（表-1）プロットごとの作業時間



との間で一時通信障害があり、飛行時間が伸びてしまい合計で15分でした。結果的にはドローン空中散布の12、15分に対し、人力地上散布では31、40分と倍以上の差があり、1人1時間当たりの作業量を試算すると、プロット1（ドローン散布）の0.25ha/人・Hに対し、プロット3（人力散布）は、0.10ha/人・Hとなり、ドローン空中散布のほうが約2.5倍効率が良いという結果になりました（表-1）。因みに人力地上散布については、林内に立ち入るための散布道の刈払いを事前に実施しましたが、それに要した時間は含めていません。散布道刈払いに約10人工ほどかかっていることを考慮すると、ドローン空中散布と人力地上散布では効率面でかなりの差になってくると考えられます。

### （3）コストの比較

本事業にかかった全体の経費については、税抜き価格で約700,000円（請負業者への間取り価格）となっており、内訳をみると、人力地上散布（0.90ha）にかかった経費は材料費込みで232,680円、ドローン空中散布（0.31ha）にかかった経費は材料費込みで467,320円となり、ヘクタールあたりに換算すると、259,000円（地上散布）、1,507,000円（空中散布）とドローン空中散布が地上散布の約5.8倍の経費がかかるという試算となりました。但し、ドローン空中散布にかかる経費については、工程も確立されたものがなく変動幅が大きい流動的なものとなっています。特に今回の事業はプロットによる小面積での事業でしたので、通常よりもかなり割高になってしまったと推測されます。また、ドローン機体自体が高価格であり、機体の損料や使用料等が大きなウェイトを占めたと考えられます。

## 4 まとめ

### （1）ドローンによる空中散布のメリット

作業効率面では、ドローン散布が人力の2.5倍の効率の効率を上げられるという結果から、ドローンを使うメリットがはっきりと確認されましたが、コスト面については、今後の林業用の安価で高性能なドローンの開発等も含めて課題が見えてきました。以下にドローンによる空中散布のメリットとして考えられるものを記載しました。

- ① 人力作業に比べて作業効率が格段に上がる。
- ② 事前に散布道を刈る必要がない。
- ③ むらがなく均一に散布でき、人力ではとどかない部分も散布できる。
- ④ 徒歩によるアクセスが難しいところでも実施可能である。
- ⑤ 林内の傾斜地において刈払機等の機械を使用しないため安全面に優れている。（場所によっては炎天下での作業も避けることができる。）
- ⑥ 状況によっては、オペレーター1人、ナビゲーター1人の2人体制でも実施可能である。
- ⑦ 無

人へりに比べると小型なので、持ち運びが容易である。(SUV車等にも積める。)

ドローンを使うメリットは、作業効率面のみならず、急峻地でも安全に作業できるといった安全性の面など様々あることが確認されました。安全面は、お金には代えることができない重要なもので、このドローン空中散布の技術が確立していけば労働強度の軽減に大きく貢献でき、今後の造林事業にとっては、必要不可欠なものとなってくると考えられます。

### (2) ドローンによる空中散布のデメリット

ドローンによる空中散布のデメリットについては、やはり一番のネックとなるのが、コスト面の問題です。今回は小面積のプロットによる実施でしたので、経費が予想以上にかかってしまったと考えられますが、まだまだコスト面の課題は多くあると思います。以下にデメリットとして考えられるものを記載しました。

①人力作業に比べて高コストである。(今後の普及次第では経費の低減が見込まれる。また、まとまった面積を実施することでコスト低減が見込まれる。)②実施可能な場所や条件が限られる。(離着陸の場所確保、高低差、目視範囲、天候、風速など)③水源地から遠いなど、地元への影響が少なく薬剤散布に対する理解が得られる箇所を選定する必要がある。また必要に応じ水質検査を実施しなければならない。③オペレーターの操作技術が求められる。

現段階では、実用化に対する課題が多く、当面は急傾斜地や現地までの徒歩距離が長い場所等で限定的に使用していくことが望ましいと思われれます。

### (3) 今後の課題

林地内でのドローンの空中散布事業は初めての試みであり、まだまだ十分な試験データがない状況ですので、今後は更なるデータの収集に努めていかなければいけません。造林事業の中でも最も過酷な下刈作業へも適用できれば、労働強度の軽減にも大きく貢献できるのではないかと考えます。来年度は下刈予定箇所において、コスト面をクリアしていくためにも、もう少し大きな面積でドローン散布試験を実施したいと考えています。

ドローンの改良・開発については、近年、急速に取組が進められてきておりますが、あくまでも農業用が中心です。林地傾斜に柔軟に対応した林業用のドローンの開発にも期待したいところです。

今回の試験につきましては、除草剤散布から約2ヶ月後に、現地検討会を開催しました(写真-3)。ドローン活用の今後の可能性を探りながら、活発な議論を交えたとても有意義な検討会となりました。今後もこのような検討会を積極的に行い、研究者や林業事業者からの様々な意見を基に更なる試験研究に取り組んでいきたいと思ひます。また、今回の散布試験や現地検討会については、読売新聞をはじめ多くのメディアにとりあげられました。このような情報発信につきましても今後も積極的に実施していきたいと思ひます。



(写真-3) 現地検討会の様子

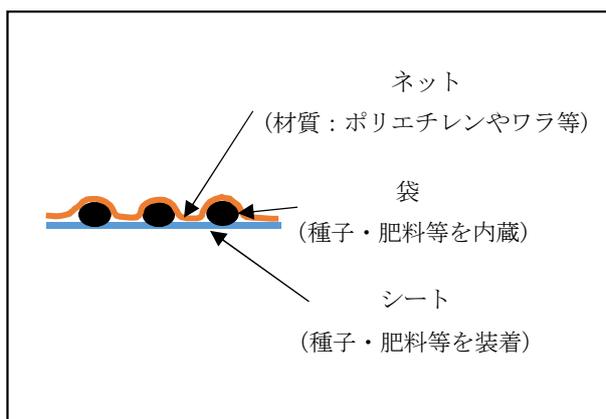
# 治山事業地におけるシカ被害対策の実証試験

日光森林管理署 宮岡和麻  
丸山寿隆

## 1. 課題を取り上げた背景

治山事業における荒廃斜面の復旧工法に山腹緑化工という工種があります。これは、荒廃地の植生を回復させることで斜面を安定させ、最終的には周辺と同等の植生に復旧させることを目的として実施するものです。様々な手法がありますが、今回は日光森林管理署管内において多く利用している植生マット伏工を実証試験の対象としました。植生マット伏工とは、断面図(図-1)のような3層構造のマットで斜面を覆う方法で、種子にはイネ科植物、メドハギ、ヤマハギ、ヨモギ等(以下「通常配合」という)が主に使用されています。人力で容易に設置が可能、様々な材質や構造のものがあることから幅広い現場環境へ対応が可能といった利点があり、施工後数ヶ月で荒廃斜面の緑化が可能です。

しかし、施工した箇所は近年増え続けているシカの格好のえさ場となってしまう、食害や踏み荒らしの被害を受けることが多くなっています(写真-1)。被害が大きくなると植物の生育不順や再崩壊等が発生することから対策が必要となっています。そこで、植生マットにおける効果的なシカ対策の方法を検討することを目的として、実証試験を行ったのでその詳細やこれまでの経過等を報告します。



(図-1)標準的な植生マットの断面図



(写真-1)シカにより食害や踏み荒らしの被害を受けた植生マット

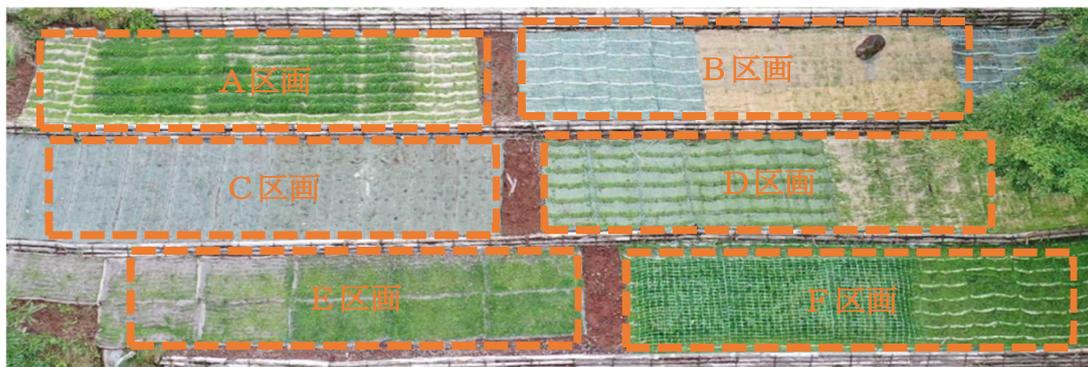
## 2. 実証試験の概要

### (1) 試験地の概要

試験地は栃木県北西部にある男体山の南西斜面に位置している国有林内の崩壊斜面で、標高は1530m、土質は男体山の噴火に伴う軽石層、勾配は約30度となっています。周辺のシカ生息密度が高く、シカによる被害が顕著に表れている地域です。

### (2) 実証試験の方法

民間企業6社の協力を得て1社につき約30平方メートルの試験区(A区画～F区画)を設定しました。(写真-2)そこに、各社のシカ被害対策を施したマット(以下「対策有り」という)と比較のために対策を施していないマット(以下「対策無し」という)を令和元年7月に併設しました。調査にあたって、①食害調査(食害の有無、草丈、緑化率)②踏み荒らしによる被害調査(マットのよれや破れ)③施工コストの3つの項目を設定し、8月～11月まで毎月調査を行いました。



(写真-2) 試験地の全景

(3) 実証試験の概要

今回、6種類の実証試験を行っていることとなりますが、その特徴から下記のとおり3つの方法に整理することが出来ます。

①金網等を併設する方法(A区画、E区画、F区画)

緑化で多く使用されているイネ科植物は根本付近に成長点を持つことから、金網等でこの成長点を保護することで、食害にあっても枯死せず再び成長することを狙った方法です。

②不嗜好性植物種子を配合する方法(B区画、D区画)

シカはほとんどの植物を食べますが、苦みがあるもの、香りが強いものなど好まない植物もあるといわれています。これらの植物種子を配合することで食害を防ぐことを狙った方法です。

③植物の自然侵入を待つ方法(C区画)

周辺に残っている植物はシカ被害に耐性を持っているという考えのもと、種子が入っていないマットを使用し、周辺からの種子による植物の侵入を待つ方法です。

3. 各区画の実証試験の内容と方法毎の経過

(1) 各区画の実証試験の内容

各区画のシカ対策の内容は下記のとおりです。

(表-1) 各区画の実証試験の内容

金網等を併設する方法		
A区画	E区画	F区画
		
使用金網等：アーチ型ネット ・長さ1m、最大高0.2m ・網目63mm×80mm ・ポリエチレン製で伸縮性がありシカに踏まれても元に戻る	使用金網等：厚層金網 ・高さ約3cm ・網目40mm×40mm ・成長点を守る最小限の高さとして設定	使用金網等：特殊金網ネット ・高さ約30cmの台座を一定間隔に配置しその上に金網ネットを被せた構造 ・網目76mm×127mm

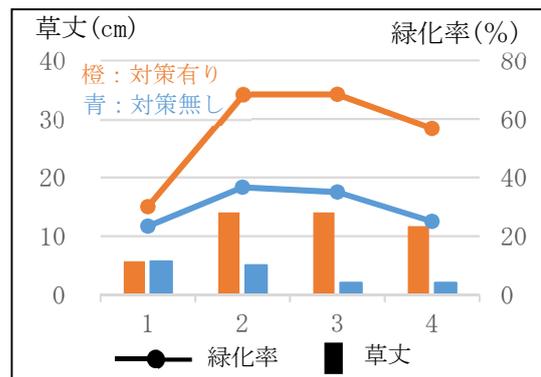
不嗜好性植物種子を配合する方法		植物の自然侵入を待つ方法
B 区画	D 区画	C 区画
		
下記の不嗜好性植物のみで構成 ・チカラシバ ・タケニグサ ・クララ ・アオシソ ・クリーピングレッドフェスク ジャスパーⅡ	不嗜好性植物と通常配合を約 60 : 40 の配合割合で構成 ・不嗜好性植物としてチカラシ バを使用	マット特徴 ・種子、肥料等が入っていない ・飛来種子を絡め取りやすい ・マットのみで3年～5年は表 面浸食を防ぐことが可能

(2) 方法毎の経過等

3つの方法毎に8月～11月までの経過等をまとめました。

①金網等を併設する方法

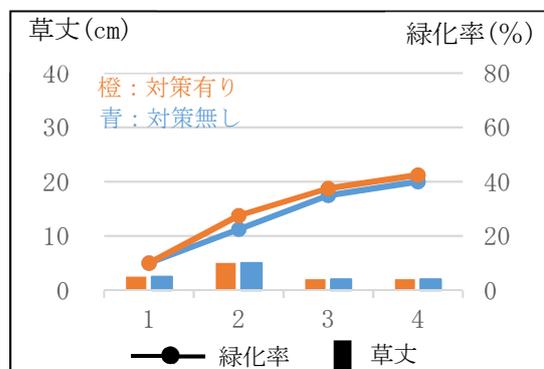
「対策有り」も食害をうけていますが、右のグラフのとおり草丈、緑化率は、「対策無し」より高い値となっており繁茂していることが分かります。踏み荒らし被害は、全ての区画で、「対策有り」「対策無し」共に確認されませんでした。施工コストについては、「対策有り」の3区画は「対策無し」より、1.3倍～2倍高くなりました。また金網によりマットと地盤が密着されているE区画では、植物の発芽速度にも差が現れました。



(図-2) 金網等を併設する方法3区画の草丈及び緑化率の月毎の平均とその推移

②不嗜好性植物種子を配合方法

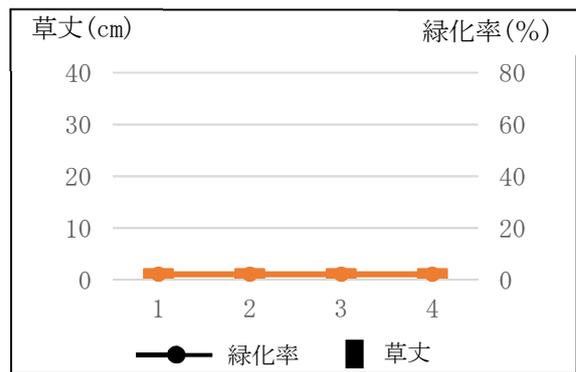
右のグラフのとおり、「対策有り」「対策無し」共に同程度食害をうけており、明確な差異はあらわれていません。しかし、発芽した不嗜好性植物の種類毎に食害をみても、クリーピングレッドフェスクジャスパーⅡは全体が食べられ、アオシソは葉先のみ食害にあっている等食害の程度に差が確認されました。踏み荒らしは全ての区画で、「対策有り」「対策無し」共に確認されませんでした。施工コストについては、「対策有り」2区画は「対策無し」より、1.1倍前後高くなりました。



(図-3) 不嗜好性植物種子を配合する方法2区画の草丈及び緑化率の月毎の平均とその推移

### ③植物の自然侵入を待つ方法

ここでは対策無しの箇所は設けず、「金網有り」と「金網無し」を設定しています。右のグラフのとおり、金網有り無しにかかわらず埋蔵種子からと思われる植物が僅かに確認できるのみで、植物ほとんど生えていません。踏み荒らしについては、「金網無し」の箇所で全区画の中で唯一踏み荒らしによる目立つよれが確認されました。施工コストは、種子、肥料等有りとは比べ3割近く低くなりました。



(図-4) 植物の自然侵入を待つ方法 1 区画の草丈及び緑化率の推移

## 4. まとめ

### ①金網等を併設する方法

金網より下への食害を確実に防いでおり、食害に対し効果があることが確認されました。唯一マットに目立つよれがみられた C 区画で、金網有りの方では目立つよれが確認されなかったこと、及び、マットと地盤が密着されている金網で植物の発芽速度が早くなったことから、金網は植物の生育と踏み荒らし被害に一定の効果があることが示唆されました。良好な経過となっていますが、課題や懸念もみられます。課題として施工コストの高さが挙げられます。懸念として、積雪が金網等に被害を与える可能性や、木本類が成長してきた際に金網等が悪影響を与える可能性などが考えられたことから、今後注視していく予定です。

### ②不嗜好性植物種子を配合する方法

現時点では通常配合の「対策無し」と比べて、明確な差異は現れていないことから、シカ被害に対する効果は不明確です。しかし、発芽した不嗜好性植物の種類毎に食害の程度が異なっていることから、今後変化が現れる可能性が示唆されました。

### ③植物の自然侵入を待つ方法

現時点では、食害等の判断が可能なほど繁茂していないため、シカ被害に対する効果は不明確です。緑化が遅いことは想定済みではありますが、埋蔵種子による発芽しか確認できず侵入種がみられなかったことは今後の1つの懸念にあげられます。これには施工時期や周辺環境が影響していると思われ、侵入種の発芽を求めるには母体となる植物が周辺にあるか調べ、その種子が飛来する時期にあわせて施工する等の調整が必要になることが考えられました。

本試験施工は施工後半年しかたっておらず今後傾向が変わる可能性が大いにあることから、継続的に調査を行って行きます。

謝辞 実証試験を行うにあたり、ご協力頂いた民間企業 6 社の方々、工事施工業者に心より感謝いたします。

# ドローンの撮影成果を活用した森林調査の可能性について

群馬県西部森林環境事務所 星野 勝  
群馬県林業振興課 荒井和紘

## 1 課題を取り上げた背景

ドローンは無人で飛行できる航空機の通称です。機体内にGPSを搭載しているため自律飛行が可能で、搭載しているカメラによって上空からの静止画、動画を撮影することができます。現在、県では森林保全課が4台のドローンを導入し、災害時の現況調査等に活用しています。ドローンは従来のセスナ等による空中写真撮影と比べ低空で飛行できるため、撮影写真はとても鮮明であり、樹冠の状況等の把握ができます。これらの写真を森林調査に活用できれば、今後の森林調査の省力化や精度向上に大きく期待できると考えられます。このため、今回「ドローンの撮影成果を活用した森林調査の可能性」について検証を行いました。

## 2 具体的な取組

### (1) 検証Ⅰ「ドローンで撮影した1枚1枚の写真から標準地調査が可能か」

通常、地上調査で現地を設定する20m×20mの標準地調査に代わり、ドローンの撮影写真に20m×20m相当の標準地を設定し、立木の本数を数えることが可能か検証を行いました。

#### 1) 撮影高度（対地高度）により写真上に設定する標準地の大きさが変わる

ドローンで撮影できる範囲は、撮影地点の地上からの高さにより変わります。このため、写真上に設定する標準地の大きさも相対的に変わります。（図1）

#### 2) 写真の像の倒れ込みを考慮

ドローンで撮影した写真では、立木は中心から外側に向けて倒れ込むように写ります。（中心投影）

つまり、設定した20mの標準地内に立っている立木の樹頂点は標準地から外れて写ります。このため、この倒れ込みの長さを考慮し、標準地の大きさを補正します。（図2）

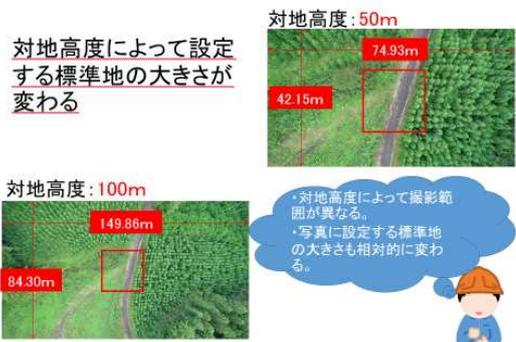


図1 標準値設定のポイントⅠ

#### 倒れ込みを考慮し、補正する

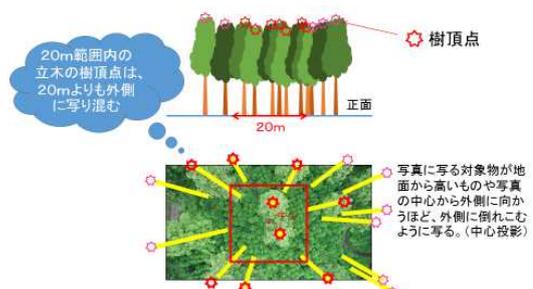


図2 標準値設定のポイントⅡ

### (2) 検証Ⅱ「ドローンの撮影成果をオルソ化し、森林調査が可能か」

ドローンによる鮮明な写真をオルソ化し、森林調査に活用が可能か検証を行いました。

オルソ化とはカメラレンズの歪みを補正し、正射投影させることで、すべて真上から見た画像として表現するものです。

今回、オルソ化には市販されている Metashape (Agisoft 社) という SfM ソフトを群馬県森林組合連合会の協力を得て使用しました。SfM ソフトは、ドローンから撮影した複数の写真から 3 次元モデルやオルソ画像を作成することができるソフトのことです。

作成に使用した撮影画像は 369 枚、SfM ソフトの処理時間は約 8 時間でした。SfM ソフトが自動で 3 次元モデルの生成やオルソ化を行うので難しい設定を行うことなく処理することができました。(図 3)



図 3 Metashape で作成したオルソ画像

### 3 取組の結果

#### (1) 検証 1

平成 29 年度に治山事業である奥地保安林保全緊急対策事業にて本数調整伐(スギ、1.64ha、間伐後の残存本数 1,435 本)を実施した林分をドローンで撮影(撮影高度 130m、撮影枚数 102 枚)し、その中から 10 枚を抽出し標準地の設定を行いました。

当事務所普及員 4 名が目視により、標準地内の樹頂点の数を判読し、その平均値を判読結果として採用しました。判読結果は 35 本/400m<sup>2</sup> (875/ha) で 1.64ha あたり 1,435 本、誤差率 0%でした。(表 1)

表 1 判読結果整理票

標準地 No	バス	撮影高度	地盤高(標高)※1	撮影高度補正值	対地高度(標高)	20m×20m標準地の1辺の長さ(m)	写真像の側方込み幅(平均樹高2.5、6mの場合)	補正後20m×20m標準地の1辺の長さ	補正後400m <sup>2</sup> 当たりの本数
1	226	556.012	593.55	107.779	70.2	5.2	1.5	8.2	42
2	232	556.112	610.25	107.779	53.6	6.9	3.2	13.4	51
3	248	556.112	599.55	107.779	64.3	5.7	1.9	9.5	41
4	258	556.212	578.63	107.779	58.4	4.3	0.9	6.2	37
5	264	556.012	579.91	107.779	83.9	4.4	1.0	6.4	39
6	272	556.212	566.87	107.779	97.1	3.8	0.7	5.2	33
7	295	556.112	567.76	107.779	96.1	3.8	0.7	5.2	26
8	299	556.912	565.71	107.779	98.0	3.8	0.7	5.2	27
補9	306	556.012	549.05	107.779	114.7	3.2	0.5	4.1	25
補10	307	556.112	548.78	107.779	115.1	3.2	0.5	4.1	30
平均値(400m <sup>2</sup> 当たり)								①	35
ha換算(①×25)								②	875
1.64ha(全数換算)②×1.64									1435
全数管理値									1435

※1標高値:関東地方整備局利根川水系治水事務所が整備した航空レーザー測量データを使用したものである。(平成28年7月26日付(内閣府)国整利水報第97号)

#### (2) 検証 2

ドローンの撮影写真のオルソ化処理には一定の時間が必要でしたが、外部の業者に依頼することなく、自ら精度の高いオルソ画像が作成することができました。作成したオルソ画像は鮮明であり、樹冠形状や樹頂点だけでなく植栽木等の小さな対象物も判読することができ、補助事業の確認時の補足資料として活用することができました。

### 4 まとめ

ドローンやドローンの撮影成果は、森林調査において非常に有効なものです。特に現況調査や本数調査については高い精度が期待できます。

今後、集約化を計画する団地や林分での本数調査や現況調査、補助事業の検査の精度向上など、様々な森林調査に応用が可能ですので積極的に活用するべきだと考えます。

# 民国連携推進地区（秩父市）における活動実績報告

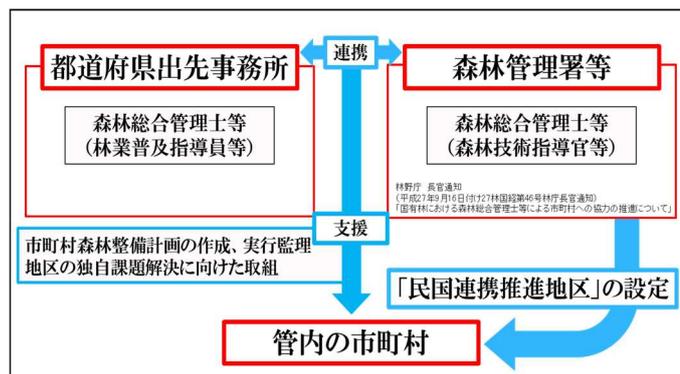
埼玉森林管理事務所 濱砂俊介  
秩父市環境部森づくり課 阿部圭佑

## 1 課題を取り上げた背景

民国連携推進地区とは、関東森林管理局における民国連携の取組の一つであり、国有林の職員と都県の森林総合管理士等とが連携して管内の市町村へ技術的援助等を重点的に実施するために設定する、市町村森林整備計画の作成等民有林行政への支援を行うための取組です（図－1）。

埼玉森林管理事務所では、管内の市町村のうち秩父市を民国連携推進地区に設定して、市町村森林整備計画の作成に向けた支援を実施することになりました。

本稿では当所と秩父市とが民国連携推進地区としての取組を実施するまでの経緯と、現在までに実施している取組内容について整理することで、埼玉森林管理事務所における民国連携の活動実績を紹介します。



（図－1）関東森林管理局における民国連携体制のイメージ

## 2 民国連携推進地区の設定に至る経緯

秩父市は市内全域で約 5 万 ha の森林面積を有しており、そのうち約 3,000ha を市有林として所有する一大森林所有者でもあります。また市町村森林整備計画を策定する平成 29 年度当時は県内の市町村の中でも唯一、林業専門課を有するなど林業に特に注力する自治体となっています。

また秩父地域は、秩父夜祭をはじめとして年間 400 もの祭りが開催されるといわれるほど祭りの文化が継承された地域であり、それに伴い文化財として多くの寺社仏閣等も有しています。近年ではこれらを後世に守り伝えていくための定期的な修繕に必要な 200 年生以上の大径木が将来的に不足すると危惧されています。そして、大滝地区の栃本市有林と呼ばれる場所に 100 年生をはじめとするスギ・ヒノキの森林が 60ha 纏まって存在していることから、この森林を寺社仏閣等の修復用資材の生産場所として設定し、秩父や日本の木の文化を支える 200 年生の森として育成することを目標として「栃本市有林 200 年生の森づくり」構想を試案しました。

しかしながら平成 29 年当時、埼玉県からの派遣職員を除いた秩父市職員には林業を専門とする職員がいなかったため、人材や専門性が不足していました。そのため本構想の実現にあたって経験や情報が不足しており、具体的な計画にすることが困難な状況にありました。

そこで、埼玉森林管理事務所から秩父市に対して民国連携推進地区の設定について話を持ち掛けたことから、民国連携推進地区の設定と取組が開始されることになりました。

### 3 具体的な取組

前段の背景から、民国連携の取組の最終目標として、「栃本市有林 200 年生の森づくり」構想を市町村森林整備計画に盛り込むこととしました。目標に向けた取組として、民国連携の取組に係る会議を開催しております。また秩父市職員に林業専門職の職員がいなかったことから、現地検討会や施業地の視察など、職員の技術向上に関する取組も実施しています。

#### (1) 民国連携推進地区の取組に係る会議

民国連携としての活動を実施するにあたり、連携相手方となる埼玉県の秩父農林振興センターと支援先となる秩父市と、取組内容の打ち合わせのために民国連携の会議を開催しました。

第 1 回の会議において、改めて民国連携推進地区の取組について依頼を行うとともに、「栃本市有林 200 年生の森づくり」構想を市町村森林整備計画に盛り込むことを目標に設定しました(写真-1)。第 2 回で取組に関係する情報提供として、全国産地の大径木や近畿中国森林管理局で取り組んでいる「世界文化遺産貢献の森」や「檜皮採取設定林」について情報提供を行っています。第 3 回の会議において「栃本市有林 200 年生の森づくり」の素案が完成しました。



(写真-1) 第 1 回会議の様子

#### (2) 「200 年生の森づくり」に係る選木作業の勉強会

秩父市が独自に視察・検討した内容から、栃本市有林においては将来木施業を行うことになりました。将来木施業とは、将来残す形質の良好な木をあらかじめ選木しておき、その木の成長を妨げる周辺の立木を伐採することで集中的に生育を促す施業体系です。

この施業において最も重要なことは、残すべき優良木の選木です。真に 200 年生に残すべき優良木がどれくらいあるか、選木する木の形質は適切かという視点を学ぶための勉強会を開催しました(写真-2)。連携相手先の



(写真-2) 選木技術勉強会の様子

埼玉県秩父農林振興センター、支援先の秩父市、埼玉森林管理事務所などから合わせて 25 名が参加しています。

#### (3) 複層林施業地視察及び一貫作業システム現地検討会

「200 年生の森づくり」を実施していくにあたり、秩父市から「複層林施業を実施している個所があれば、是非見学し林野行政に生かしたい。」と話があったことから、森林技術・支援センターのご協力の下、筑波山の国有林にある複層林試験地の視察を行いました(写真-3)。



## (2) 壊れにくい作業道の作成

栃本市有林は作業道の整備がされておらず、木材搬出や森林管理のための作業道整備が必要となっていました。また地元住民の思いや要望を取り入れ、なるべく山を傷めない手法での整備手法を採用する必要がありました。そこで折よく地元出身の若者が、大橋式作業道作設の技術を身につけUターン起業したことから、大橋式作業道を採用して作設することになりました。本作設様式は、安定した地形に沿って、最小限の伐開や幅員とし、法面の切高を抑え、丸太組み構造物により法面を安定させることにより、災害に強く、壊れることのない丈夫な道を実現します。

自伐型林家を目指す地域起こし隊の研修の一環として活用するなど、好影響を与えています。

## (3) 檜皮の供給ルートの確保

寺社仏閣等の修復用資材としては、木材だけでなく檜皮も有効に活用できることで知られています。そのため、檜皮葺の修復用資材として檜皮を地域内外の寺社仏閣等へ供給ができるよう、供給ルートの確保を行いました。

栃本市有林の全域について、文化財の保存修理に必要な資材の産地として文化庁が設定する「ふるさと文化財の森」に設定し、さらに全国社寺等屋根工事技術保存協会と檜皮採取に関する協定を締結することで檜皮を提供する体制を整えています。平成30年度と令和元年度には採取も実施され(写真-6)、合計3800kgを超える檜皮が提供されています。



(写真-6) 檜皮採取の様子

## (4) 獣害対策

秩父地域はクマによる樹皮剥ぎやシカによる食害といった被害が多く、獣害対策が必須な地域です。栃本市有林も例外ではなく、獣害被害が深刻化している状況にありました。そこで樹皮ガードによる対策を行うことで、獣害対策の実進を進めています。

## (5) 森林資源量調査

三次元レーザースキャナ(3Dレーザースキャナ)を用いて立木のデジタルデータの取得を進めています。これにより樹高・胸高直径・曲がり・材積の計測が可能となっており、将来的には成長量や間伐状況の反映まで行うことで、立木の在庫管理を一元化し、立木の1本売りまでつなげていく考えとなっています。このデジタルデータはWeb上で一般公開されており、選木した木を表示させるなどの活用方法を模索しているところです。

## (6) 栃本市有林材の使用によるPR

平成29年3月に竣工した『秩父市役所本庁舎』及び『秩父宮記念会館』において栃本市有林から搬出された材を一部使用しています。使用した場所は市議会議場の天井や柱材、市民会館のエントランスや舞台の床など、いずれも目に留まりやすい場所となっており、PRにつながる活用を行っています(写真-7、8)。



(写真－7) 秩父市議会議場



(写真－8) 市民会館ホール ヒノキ舞台

## 6 今後の方向性

### (1) 市町村森林整備計画の実行監理

今後も引き続き、栃本市有林 200 年生の森づくりが盛り込まれた市町村森林整備計画の達成に向けた実行監理にあたり、国及び県が連携し一体となって支援を行う方針です。先立っての具体的な方針として、今後 15 年間隔で間伐を実施する予定であることから、それまでに未完了分の選木作業を実施する必要があるので、引き続き選木の応援を行う考えとなっています。

また、国有林という全国組織だからこそ持ちうる全国の様々な先進事例の情報共有等についても引き続き行っていきます。

### (2) 民国連携の枠組みの活用

秩父地域の 1 市 4 町が参画している秩父地域森林林業活性化協議会という組織があります。この組織は秩父圏域の森林・林業の再生、活性化を目指す取り組みを推進しており、国や県も参画して活動を行っています。この組織の活動も生かし、民国がさらに連携を強化しつつ秩父地域がより一層元気になるような取組を推進していけるよう検討をしていきます。

### (3) 市民に開かれた森林空間としての活用

秩父市の新たなシンボルとして市民に親しまれる森林空間となるよう 200 年生の森をフィールドとした、森林教室や林内散策、また間伐の選木作業等の体験型林業を行う方針です。これらを通じて、寺社仏閣等の文化財と森林とのかかわりを学習し、その重要性を周知し、より親しみのある空間となるよう取り組む考えです。

## 7 まとめ

民国連携推進地区の設定とそれに伴う支援活動により、秩父市市町村森林整備計画内に『栃本市有林「200 年生の森づくり」基本方針』という超長伐期施業の基本計画が策定されました。今回の一連の取組は民国連携の取組を推進している関東森林管理局管内においても、地域の特色が特に発揮された民国連携の事例になっていると考えられます。

# 無人航空機による写真測量について

天竜森林管理署 渡邊雅弘

## 1 課題を取り上げた背景

近年、局地的な豪雨等が引き起こす自然災害が発生しており、その被害規模は甚大なものとなっています。天竜森林管理署のある静岡県浜松市においても、平成30年10月の豪雨により浜松市天竜区佐久間町の林道から崩壊が発生、同じく同区龍山町でも林道を含む山腹が崩壊、翌年31年3月にも落石防止網が損壊する災害が発生しました。

このように山地災害が発生した場合、速やかに災害情報の収集と状況の把握が必要となります。特に現地では位置の確認、踏査、写真撮影、さらに規模を把握するための簡易的な計測等が必要となります。また、概要をとりまとめ情報を共有するとともに、緊急対策も検討しなければならない場合があります。

しかし、災害現場の多くは急傾斜地や荒廃地のため、足場が不安定な現場が多く、地上から行う踏査や調査は滑落や転落等の二次災害の危険を伴う作業となります。そのため、災害発生箇所をできるだけ広範囲に安全で速やかに調査する方法として無人航空機を活用した調査を検討することにしました。

## 2 具体的な取組

現在、無人航空機は様々な分野で利活用されており、消防・防災分野では行方不明者の捜索や情報収集、農業分野では農薬散布、林業分野では林分の状況把握等として幅広く注目されています。また、山地災害の調査でも活用されていますが、撮影するだけでなく、解析等の技術も注目されています。

そのため、今回は無人航空機を災害調査に活用することの有効性について検討しました。使用する無人航空機は、各署に既に配備されている Phantom4 を使用しました。

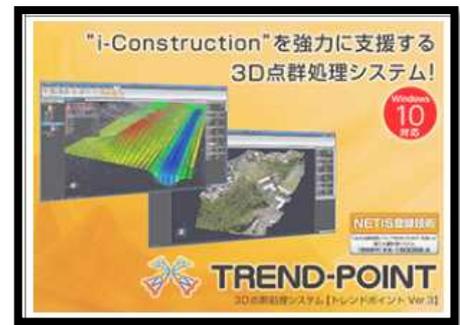
併せて、撮影した画像から解析するソフトを活用した現地調査、簡易測量等を検討してみました。(写真-1)

解析するソフトは様々な種類が普及していますが、全ての画像を点群化するソフトは高額なものが多く、それに伴いパソコンの処理能力も必要となります。例えば、TREND-POINT というソフトは正確な数値を出すことができ高精度ですが、150万円と高額になります。(図-1)

また、パソコンの処理能力もメモリの容量が多く必要だったり、解像度も求められたりと、一定以上の動作環境が必要となります。そこで今回は、現在、天竜森林管理署で使用しているパソコンで動作し、無償で簡易測量や解析を行える2つのソフトを活用し比較検証することとしました。



(写真-1) Phantom4

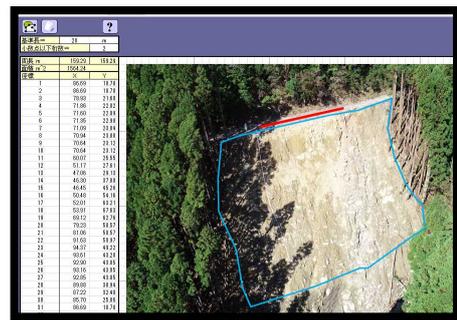


(図-1) TREND-POINT

(1) Lenaraf220b (リーナラフ 220 b) (図-2)

このソフトは、現地に基準となるテープロッド等を設置し、撮影したものを Excel ソフト上で計測できるソフトになります。撮影ポイントとしては、現場で無人航空機によりスケール基準となるテープロッド等を含め可能な限り正面から全体を1枚撮影することが重要となります。後はソフト上に画像を挿入し、写真のスケール基準となる図形を基準箇所に配置し延長を入力します。

基本設定のあとは Excel の図形機能を使い、線や区域を表示することにより座標から延長や面積を簡易的に算出することが可能となります。このソフトを実際に比較検証した場所は、浜松市天竜区龍山町の瀬尻国有林の崩壊地です。測量結果と撮影した画像からソフトを使用した結果、実測が 0.14ha、ソフトでは 0.16ha となりました。このソフトでは座標から延長や面積を簡易に算出することが可能であり、周囲測量等で活用することはできません。



(図-2) Lenaraf220b

(2) Photog-CAD (フォトジーキャド) (図-3)

次は、地形をより詳しく解析するソフトとして、面積や勾配、横断等を算出できるソフトについて比較検証しました。このソフトは、カメラを用いた写真測量と製図までをシステム化したソフトで災害調査にて発生の危険がある二次災害を防ぐために開発されたソフトとなります。



(図-3) Photog-CAD

特徴としては、立体を斜めから見た図であるアイソメ図の作成をできることで、このアイソメ図の活用により展開図・横断図、土量の算出等を行うことができるソフトになります。これから各作業のポイントと測量結果について説明します。



(図-4) 現場作業

① ソフトを活用するにあたっての現場での作業概要です。現地での作業で最も重要となるものがデジタルでの写真撮影となります。写真撮影のポイントですが、テープロッド等のスケールの基準、垂直の基準となるポール等の設置、正面と左右の三方向からの写真が必要となります。また、崩壊地だけでなく周辺の景色も写るように広く撮影することにより、ソフト上での解析作業が可能となります。(図-4)

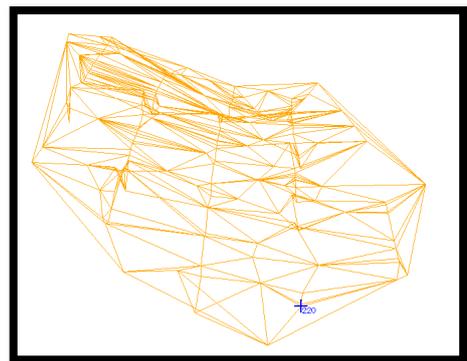
② ①の作業が完了したらソフトでの解析作業に入ります。まず、写真画像からソフトで解析可能となる状態まで時間はかかりますが正面、左右の同じポイントをソフト上でクリックしながら指定し、同一



(図-5) 解析作業

点として設定します。同一点の設定を繰り返すことにより、正面と左右の写真が立体的に認識されていくことになります。同一点の設定の際に併せて基準となるスケールと垂直基準箇所も同一点として設定しておきます。(図-5)

③ スケールと垂直をソフト上で基準として設定することにより、座標値を持ったアイソメ図を作成することができます。このアイソメ図は、等角投影図とも呼ばれる立体を斜めから見た図を表示したものであり、画面上で簡易的な距離と面積の計測が可能となります。



(図-6) アイソメ図

実際に作成したアイソメ図は、同一点として設定した箇所を基準として横回転、縦回転させることができ、傾きや凹凸を確認することができます。これにより、現地を立体的に確認することが可能となります。(図-6)

### 3 比較検証の結果

(1) 実際に工事を行い、実測した箇所の面積と写真撮影し解析した箇所の結果を比較しました。



(図-7) 面積の結果



(図-8) 延長の結果

① ソフト解析後の面積が  $113.75\text{m}^2$ 、工事後の実測面積が  $115.76\text{m}^2$  となり、差が  $2.01\text{m}^2$  となりました。(図-7)

② 延長の比較も行いました。放水路の幅を計測した結果は、ソフト上では  $2.17\text{m}$  で施工後の実測が  $2.00\text{m}$  と差が  $0.17\text{m}$  となりました。(図-8)

③ 水路の延長を計測した結果は、ソフト上では  $13.33\text{m}$ 、実測が  $14.30\text{m}$  で差は  $0.97\text{m}$  となりました。(図-8)

以上の結果から、面積と延長ともに誤差は発生するものの、写真上で計測が可能になりました。

(2) また、約  $0.15\text{ha}$  の面積において、各ソフトの測量と業務委託した場合の測量の人工を概算ですが結果としてまとめました。(表-1)

(表-1) 各ソフトの比較検証結果

	Lenaraf220b (写真測量)	Photog-CAD (写真測量)	業務委託による測量 (コンパス測量等)
現地調査 (0.15haあたり)	約2.0人	約2.0人	約4.0人
山腹平面測量 (0.15haあたり)	約0.5人	約1.0人	約2.0人
山腹縦断測量 (65mあたり)	/	約1.0人	約1.5人
山腹横断測量 (2横断あたり)		約1.0人	約1.5人
合計	約2.5人	約5.0人	約9.0人

①現地調査、山腹平面測量は、2つの写真測量とも業務委託による測量よりも、少ない人手で実施出来たことがわかります。

②また、縦断測量と横断測量もわずかではありますが、写真測量の方が少ない数値で実施出来ました。

この結果を踏まえ lenaraf220b は平面測量が容易なことから、災害速報に有効であり、Photog-CAD は3つの測量ができ、地形を把握できることから災害申請に有効であると感じました。

#### 4 まとめ

現地調査のデータを基に無償ソフトにより解析したところ、災害現場の速やかな概況調査ができました。また測量を安全な林道上等で行ったため、危険な箇所に入り込む必要がなく、滑落や転落の二次災害を未然に防止することが出来ました。以上のことから、無人航空機を活用した災害調査は、広範囲に安全で速やかに概況を把握することに有効なことがわかりました。

#### 5 今後の取組

今回の検討を踏まえ、災害現場での撮影できる環境や撮影方法、規模等により、誤差が生じる場合や撮影しても解析できない場合があることがわかりました。誤差を少しでもなくすために、実績を積みながらソフトの特性を把握し精度を上げる必要があります。併せて、実際の調査に活用できるマニュアルの作成なども検討しています。また、今回使用したソフト以上に有効な他のソフトを探し、検討してみることも必要だと思っています。

今後は、簡易的な周囲測量や獣害防護柵の延長測量などへも応用する等幅広く活用できればよいと思っています。

# 下刈期間及び林縁環境が木本類の侵入過程に及ぼす影響

森林技術・支援センター 須崎智広

## 1 はじめに

戦後から 1965 年にかけて木材の生産力を増強するために、拡大造林が急速に進められてきました(藤森 1997)。これらの人工林は植栽されてから約 50 年が経過して、我が国の森林資源量からみても中核的な存在となりつつあります。今後、これらの森林の利用が促進されていることから(林野庁 2014)、主伐が進むことが予想されます。林業として採算性を高めるためには、再造林をするにあたって、いかに造林コストを下げられるかが重要な課題となってきました(全国林業改良普及協会 2013)。

拡大造林において進められた単一樹種による大面積の造林は、病虫害や気象害、地力低下などの問題が生じることが指摘されています(四手井 1999)。そのうえ、木材生産の効率性に重点を置いているため、生物多様性の維持など森林の有する他機能を犠牲にしています(藤森 1997)。このような中で、単一樹種による人工林を再造林していくにあたって、森林が持つ機能を損なうことのない持続可能な森林経営・管理を目指す施策モデルが求められています(鈴木・池田 2002)。たとえば今後は高標高地帯の針広混交林化のみならず、低標高地帯の林業地帯においても、植栽した針葉樹と同時に造林地に侵入した有用な広葉樹を育てることで、多様な樹種によって構成された森林を造成することも必要だと考えられます。

2016 年に制定された森林・林業基本計画では(林野庁 2016)、生産目的の人工林においても一定の広がりにおいて、様々な生育段階や樹種から構成される森林がモザイク状に配置される状態を目指し、森林における生物多様性の保全と木材の持続的利用の調和を図るとしています。このような森林を造成するためには、下刈や除伐、間伐などの作業によって林分の組成を誘導する方法と、主伐の実施によるゾーニングによってパッチ状に広葉樹等が生育する林分を造成する方法、などが考えられます。主伐の実施によって生じる林縁部の環境では、針葉樹の再造林地に侵入する樹木種子の密度は種子源となる広葉樹林からの距離にもなって急激に減少し(今ら 2013)、散布される種子の組成も林縁からの距離にもなって変化するとされます(Gonzales and Nakashizuka 2010)。また、再造林地に侵入する種数は基本的に少なく、鳥散布種の割合が高くなる一方で、風散布種の割合が低くなる事例も報告されています(Igarashi *et al.* 2016)。さらに、最も重要な種子源となる林縁そのものの組成が元の広葉樹林と大きく異なることも指摘されています(Harper *et al.* 2005)。これらのことから、有用な樹種の母樹を含む広葉樹林が伐採地に隣接する場合でも、再造林地での下刈の省略が必ずしも期待する樹種の混交をもたらさない可能性もあります。

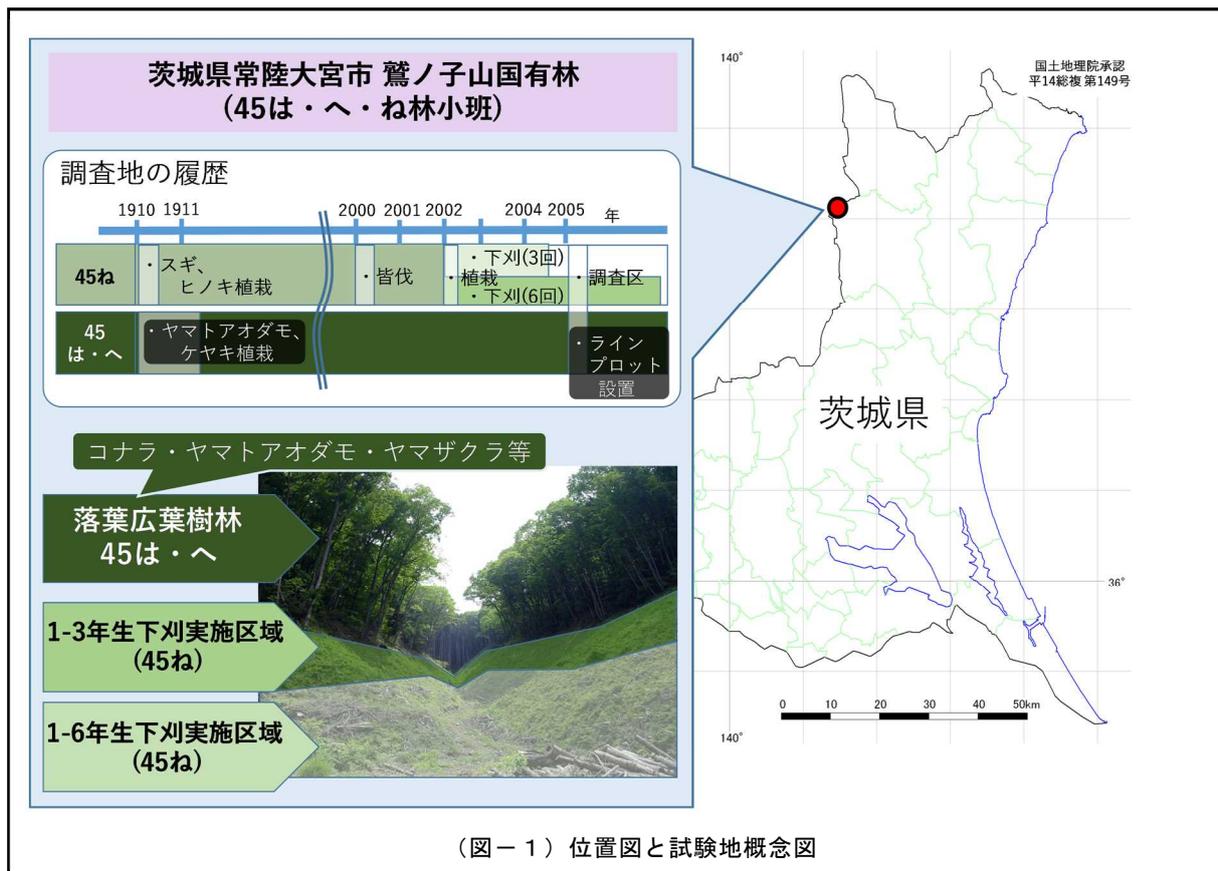
そこで本研究では、90 年生ヒノキ人工林の皆伐後にヒノキを植林した林地において試験的に林縁近くで下刈期間を標準の半分の 3 年間に短縮した作業を行い木本類の侵入過程を調査しました。同時に林縁近くで標準の 6 年間の下刈が行われた場所、隣接する広葉樹林の林縁及び林内においても同様の調査を行い比較しました。本研究はこの事例を対象に以下の問いに答えることを目的としました。(1)下刈の省略は有用な高木性木本の定着に寄与するか。(2)広葉樹林の林縁は伐採地と比較し、高木性木本の更新により適しているか。そして、(3)下刈の省略が植栽木の成長にどのように負の影響を与えるか。これらの結果をもとに、皆伐後の再造林地において混交林化を目指すうえで留意すべき点は何かを検討しました。

## 2 調査地及び方法

### (1) 調査地

調査地は茨城県北西部に位置する常陸大宮市、鷲ノ子山山頂付近の鷲ノ子山国有林 45 林班は・へ・ね小班に設置しました(図-1)。標高は 380~410 m、傾斜は約 30 度の南向き斜面となっています。気候的に暖温帯から冷温帯の移行帯にあたり、調査地周辺はクリ-シデ類を主体とする落葉広葉樹林が広く分布するとされています(茨城県林業試験場 1980)。地質は中生代ジュラ紀に起源をもつ秩父系の鷲子層群に属し、主として砂岩からなり、全域にわたり粘板岩、珪岩の薄層をはさんでいます(Kawada 1952; 東京営林局 1964)。地位指数判定基準表作成説明書(東京営林局 1970)から推定される地位指数は 16.8 となっています。

明治期以前は火入れで維持されていた採草地でしたが、1910 年にスギ、ヒノキの植栽が ”ね小班” の部分で行われ、 ”は・へ小班” の部分では 1910 年から 1911 年にかけてヤマトアオダモ、ケヤキが植栽されました(水戸小林区署 1917)。後者は現在樹高約 15 m のコナラ、ヤマトアオダモ、ヤマザクラが混交した林相となっています。この林分における詳細は須崎ら(2009)の調査結果を参照してください。前者は 2000 年に皆伐され、2002 年にヒノキの再造林(植栽本数密度 3000 本/ha)が行われました。この造林地に 2002 年から 2007 年まで毎年 8 月に通常の下刈(刈払機を用いた地上高 30 cm の全刈)が行われましたが、広葉樹林に接した幅 10~20 m の区画においては 2005 年以降の下刈を省略しました。なお植栽前年の 2001 年にはヤマトアオダモの開花、結実がありました。



(図-1) 位置図と試験地概念図

### (2) 試験地設定

2005 年 4 月に下刈 6 年区、下刈 3 年区、林縁区、林内区の 4 調査区を設置しました。6 年間の下刈が行われ、かつ林縁から 15 m 離れた場所に 10 m×10 m のプロットを設け、これを

下刈 6 年区としました。同様に 3 年間の下刈が行われ、かつ林縁から 10 m 離れた場所に 10 m×10 m のプロットを設け、これを下刈 3 年区としました。両区は互いに林縁に沿って約 10 m 離れています。これらのプロット内に斜面と平行に 1 m×10 m のラインプロットを設置しました。

また、下刈 6 年区に隣接するコナラ・ヤマトアオダモ林の林冠下で、伐採地の縁から数 m 林内寄りに林縁と平行に 1 m×10 m のラインプロットを設け、これを林縁区としました。以上 3 区との比較対象として林縁区から約 100 m 内部の林冠下に 1 m×10 m のラインプロットを設け、これを林内区としました。

### (3) 調査方法

下記の測定を 2005、2006、2008、2010、2012 年に行いました。それぞれ林齢 4、5、7、9、11 年生に相当します。また林縁区、林内区ともに植栽はされていませんが、便宜的に下刈区と同様に林齢を表記しました。プロット内のヒノキの樹高は各年の 12 月に測定しました。また植生の調査を各年の下刈後の 9 月に実施しました。具体的にはラインプロットを 1 m<sup>2</sup> のコドラートに 10 分割して、コドラートごとに植栽木以外の木本種の有無を記録しました。ラインプロット内に更新した樹種の樹高成長の指標として用いるために、各ラインプロット内で最も高い樹高の値を使用しました。また、各コドラート内で最も高い個体の樹高をそのコドラートにおける優勢種と定義しました。なお、優勢種となった個体は実質的に高い被度を示したため、そのコドラートの最上層を形成しているものとみなしました。木本種については北村ら(1971・1976)の分類に基づき低木性木本(以下、低木種)と高木性木本(以下、高木種)に分類し、学名は YList (米倉浩司・梶田忠 2003)に従って表記しました。処理区間・処理区内の数値を比較するための統計解析は R (R Core Team 2015)を使用しました。

## 3 結果

### (1) 植栽木の成長

下刈 6 年区、下刈 3 年区における植栽したヒノキの樹高の数値を表-1 に、ヒノキの樹高階分布を図-2 に示しました。

年生	平均樹高		最大樹高		最小樹高	
	下刈6年	下刈3年	下刈6年	下刈3年	下刈6年	下刈3年
4	1.8 [±0.1]	1.4 [±0.1]	2.7	2.7	1.2	0.5
5	2.3 [±0.1]	1.8 [±0.2]	3.5	3.4	1.5	0.6
7	3.5 [±0.1]	2.6 [±0.2]	4.2	4.3	2.4	0.7
9	4.7 [±0.2]	3.2 [±0.3]	5.5	5.4	3.6	0.4
11	5.4 [±0.3]	4.3 [±0.3]	6.6	6.3	4.5(1.7)	1.6

4 年生時における最大樹高はどちらの区も 2.7 m でした。11 年生時には下刈 6 年区では最大樹高は 6.6 m、下刈 3 年区では 6.3 m でした。これはこの林分の地位指数と整合する成長です。平均樹高では 4 年生時の下刈 6 年区では 1.8 m、下刈 3 年区では 1.4 m であり有意差が認められました (Wilcoxon rank sum test,  $P < 0.01$ )。11 年生時の平均樹高でも下刈 6 年区の 5.4 m に対して下刈 3 年区は 4.3 m であり、有意差が認められました (Wilcoxon rank sum test,  $P < 0.05$ )。

最小樹高については、4 年生時に下刈 6 年区では 1.2 m、下刈 3 年区では 0.5 m であり、11 年生

時には下刈6年区では1.7 m、下刈3年区では1.6 mでした。ただし下刈6年区では、雪害で幹折れの発生した1個体を除くと、最小樹高は4.5 mでした。また下刈3年区においては、自然枯死(計2本)により最小樹高が変動していました。どちらの区でも全期間を通じて、樹高0.5 mを下回るヒノキ個体はありませんでした。

(2) 各樹種の出現状況

全ラインプロット及び全調査期間を通して、ヒノキも含め48種の木本類が記録され、このうち高木種は20種、低木種が28種でした。このうち全調査期間を通じて高さ0.5 mを超えることのなかった種を除いた38種の一覧を表-2に示しました。

(表-2) 各ラインプロットにおける各樹種の出現頻度

種名 和名	略号	下刈6年区					下刈3年区					林縁区					林内区					
		4年	5年	7年	9年	11年	4年	5年	7年	9年	11年	4年	5年	7年	9年	11年	4年	5年	7年	9年	11年	
高木性木本																						
ヤマトアオダモ	Fr.l			1	6	8	10	10	10	10	10									2	3	5
ネムノキ	Albj			2	3	2	3	4	4	4	3											
アカメガシワ	Maj			2	2		3	2	1	1				1	3	3	3					
カスミザクラ	Cer.l				1		2	1	1	2	1									2	1	
イタヤカエデ	Ac.p									1				1	1	1	1	1				
ヤマグワ	Mo.a									1												
アカシデ	Car.l													4	4	4	4	5				
ゴズイ	Eus.j			1	1	1																
ヤマザクラ	Cer.j			1	1	1																
ウワミズザクラ	P.g					1																
コナラ	Q.s													1	2	1	2	2				
エゴノキ	Sy.j																2	2	2			
モミ	Ab.f													1	1	1	1	1				
カヤ	T.n													1		1						1
イヌシデ	Car.t																			1	1	1
低木性木本																						
モミジイチゴ	Ru.p		1	6	7	8	3	4	4	9	3						2	2	4			
ヤブムラサキ	Cal.m		1	3	3		5	5	4	4	4		3	3	4	4	3					
アオキ	Au.j				1	2			3	5	7	6				1	1	2		1	1	1
ヒメコウゾ	B.m						6	6	4	3	2											
ミヤマシキミ	Sk.j				1		2	3	4	6	4		1		1	3	3			1	1	1
ムラサキシキブ	Cal.j			1	1	1	3	3	3	3	3											
ヌルデ	Rh.j						5	2	2	2	2					1	1	1				
ニガイチゴ	Ru.m		1	2			5	4	3					1	5	4	1					
イヌツゲ	I.c						2	2	2	2	2									1	1	1
イヌザンショウ	Fa.m						2	2	2	2	2											
サンショ	Z.p						1	2	2	2	2		2	3	2	2	3					
ハナйкаダ	H.j							1	2	2	3					1	1	1				
クマイチゴ	Ru.c			1			1	5	1	1												
ツリバナ	Eo.o						1	1	2	1	1											
コバノガマズミ	Vi.e						1	1	1	1	1		1	1	1	1	1					
タラノキ	Ar.e						1	1	1													
クサギ	Cl.t			2						1												
スズタケ	Sab					5	6													3	4	2
キブシ	St.p								1												1	
ウグイスカグラ	L.g														1	1		1				
ナツハゼ	Va.o																1					
ウリノキ	Ala.p									1												
イヌガヤ	Cep.h																			1	1	1
出現種数	高木種	0	0	4	6	6	5	4	5	4	3		5	5	8	8	9		1	1	1	2
	低木種	0	2	6	6	5	16	17	16	14	13		4	5	10	10	11		4	5	5	3

\*数字は10コドラートの内、樹高0.5 m以上の樹種が出現したコドラート数を示す。

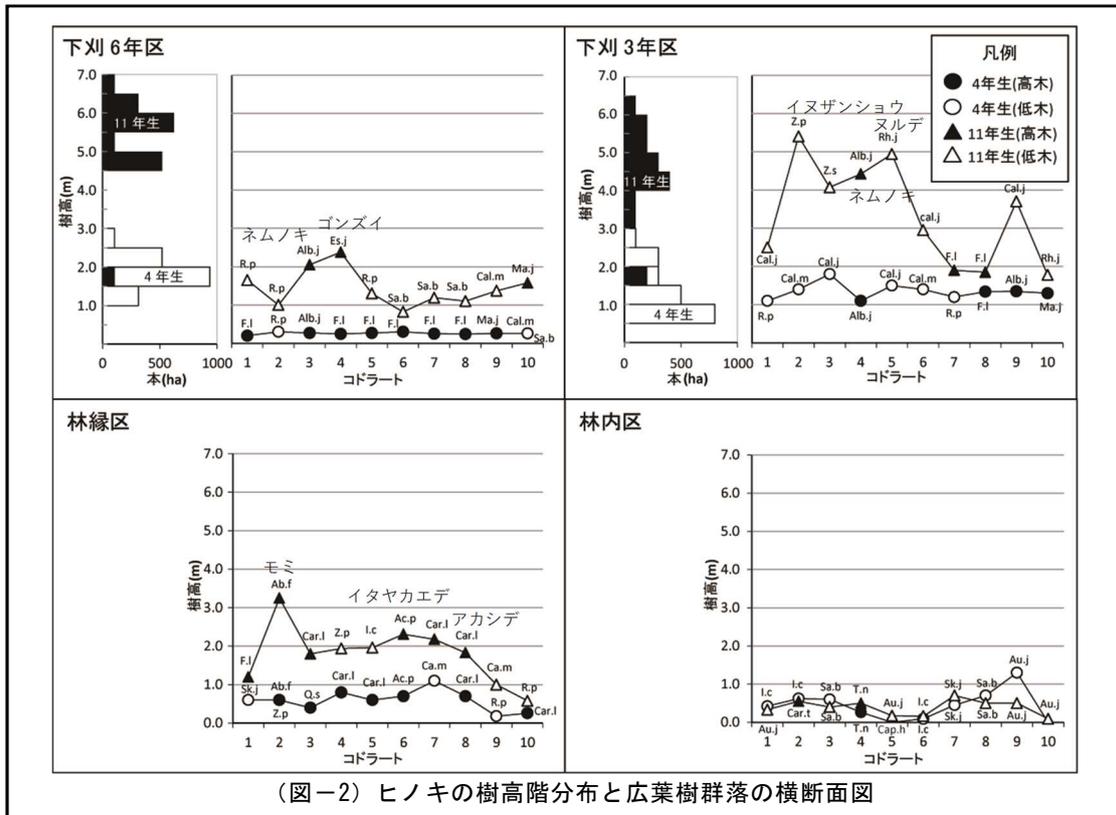
下刈6年区では下刈期間中の5年生時に2種の低木種が出現し、11年生時には高木種、低木種合わせて11種に増加しました。下刈3年区では下刈を終了して1年経過した4年生時に21種の木本類が出現しましたが、11年生の時には16種に減少しました。林縁区では隣接するヒノキ林が4年生だった時に9種であった木本類が11年生時には20種に増加しました。林内区では全期間を通じて、木本類は5~6種で一定でした。

高木種に限ると、全期間を通して下刈6年区では最多6種、下刈3年区では最多5種が出現し、

林縁区では9種、林内区では2種が出現しました。林内区以外のすべての区域に出現したのはヤマトアオダモ、アカメガシワ、カスミザクラでした。ネムノキは下刈6年区と下刈3年区、イタヤカエデは下刈3年区と林縁区に共通して出現しました。カヤは林縁区と林内区に共通して出現しました。ゴンズイ、ヤマザクラ、ウワミズザクラは下刈6年区のみに見られ、コウゾ、ヤマグワは下刈3年区のみに見られました。コナラ、エゴノキ、モミ、アカシデは林縁区のみ出現し、イヌシデは林内区のみ出現しました。

### (3) 広葉樹群落の横断面図

4年生時と11年生時における各コードラートの優勢種の樹高を、その樹種とともに図-2に示し、これを広葉樹群落の横断面図とみなしました。



(図-2) ヒノキの樹高階分布と広葉樹群落の横断面図

4年生時と11年生時における優勢種高の平均値を比較すると、林内区ではどちらの時点でも0.4 mで有意差は認められませんでした(Wilcoxon signed rank sum test,  $P = 1.0$ )、下刈6年区(0.3 m vs. 1.4 m,  $P < 0.05$ )、下刈3年区(1.4 m vs. 3.4 m,  $P < 0.05$ )、林縁区(0.6 m vs. 1.8 m,  $P < 0.05$ )では11年生時の値が有意に上回っていました。

下刈6年区においては4年生時に8コードラートにおいて高木種が優勢種となっていました、11年生時には3コードラートのみにおいて高木種が優勢種となっていました。4年生時、11年生時のどちらにおいても、ヒノキ樹高の平均値(表-1: 1.8 m, 5.4 m)を上回る優勢種高を示したコードラートはみられませんでした。

下刈3年区においては4年生時に4コードラートにおいて高木種が優勢種となり、11年生時には3コードラートで高木種が優勢種となっていました。4年生時にヒノキ樹高の平均値(表-1: 1.4 m)を超えたコードラートは4つで、いずれも低木種(ムラサキシキブ・ヤブムラサキシキブ)でした。11年生時にはヒノキ樹高の平均値(表-1: 4.3 m)を上回ったのは3コードラートであり、そのうち2コードラ

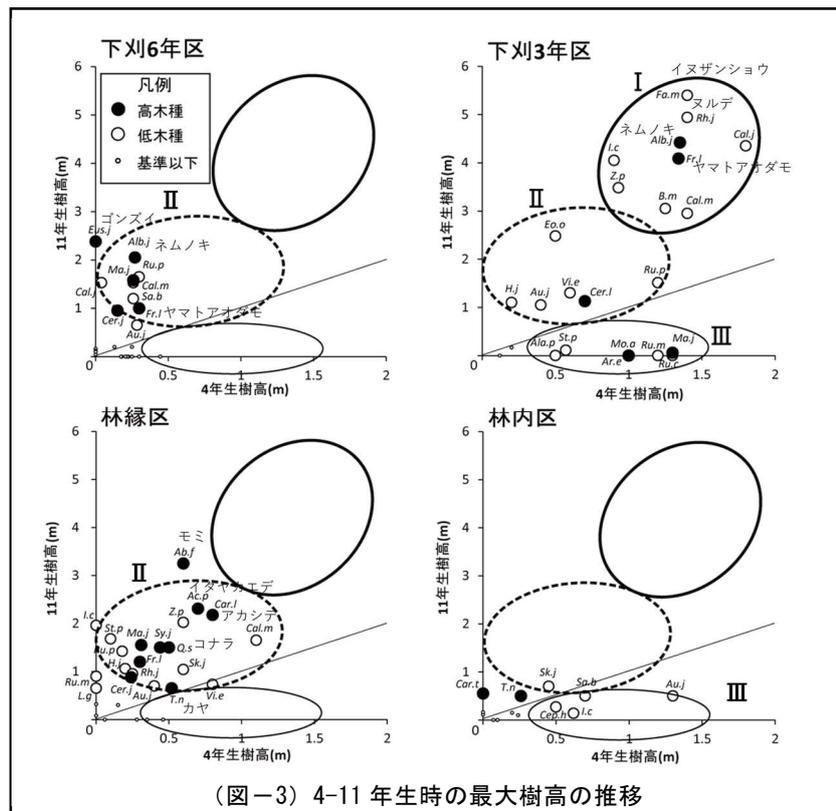
ートは低木種(イヌザンショウ・ヌルデ)、1 コドラートは高木種(ネムノキ)でした。

林縁区においては、高木種は4年生時に7コドラートで優勢種となり、11年生時では6コドラートで優勢種となっていました。樹種としてはモミ、イタヤカエデ、アカシデ、コナラでした。林内区では4年生時に9つのコドラートを低木種が占め、11年生時においても8つのコドラートが低木種によって占められていました。高木種は1～2のコドラートでカヤとイヌシデが優勢種となっていました。

#### (4)4-11年生時の最大樹高の推移

図-3に各区における4年生時の各更新樹種の最大樹高を横軸に、11年生時の最大樹高を縦軸にプロットしました。また、全期間を通じて0.5m未満であった樹種は解析の対象から除きました。

下刈3年区のラインプロットにおける出現樹種の最大樹高の平均値は4年生時が1.0m、11年生時には2.1mであり有意差が認められました(Wilcoxon signed rank test,  $P < 0.05$ )。この区での生育パターンは見た目大きく3群に分けられました。第I群は4年生時においても11年生時においても、相対的に高い樹高を示した種群です。第III群は4年生時の樹高は、第I群とそれほど変わらないが11年生時の樹高が0.5m未満となっていた種群です。第II群は第I群と第III群の間に位置します。



(図-3) 4-11年生時の最大樹高の推移

下刈3年区の第I群における平均値は4年生時が1.3m、11年生時には4.1mであり有意差が認められました(Wilcoxon signed rank test,  $P < 0.01$ )。この群には高木種3種、低木種6種が含まれていました。第II群における平均値は4年生時が0.6m、11年生時には1.4mで(Wilcoxon signed rank test,  $P < 0.05$ )、高木種1種、低木種5種が含まれていました。第III群における平均値は4年生時が1.0m、11年生時には0.03mで(Wilcoxon signed rank test,  $P < 0.05$ )。高木種2種、低木種5種が含まれていました。

下刈6年区では下刈3年区に見られた第I群と第III群は見られず、第II群のみが見られ、平均値は4年生時が0.2m、11年生時には1.5mでした(Wilcoxon signed rank test,  $P < 0.05$ )。林縁区でも同様に第II群のみが見られ、平均値は4年生時が0.4m、11年生時には1.4mであった(Wilcoxon signed rank test,  $P < 0.01$ )。林内区では第III群のみが見られ、4年生時、11年生時ともに平均値は0.5mで有意差は認められませんでした(Wilcoxon signed rank test,  $P = 1.0$ )。

## 4 考察

### (1) 下刈りの省略は有用な高木性木本の定着に寄与するか

コナラの堅果は樹冠の外側 5 m ほどの範囲まで落下するとされており(横山ら 1988)、高い萌芽率を持つため(嶋ら 1989)、下刈などの刈払いに対して強い耐性があると考えられます。コナラは隣接する広葉樹林の群集組成の多くを占めていましたが、現場での観察では調査区に最も接近する広葉樹林の林縁部上層にはコナラがみられませんでした。コナラの更新は林縁区のみに見られ、下刈 6 年区、下刈 3 年区ともに更新が見られなかったことは(表-2)、刈払いによる影響よりも、種子供給が十分になされなかったことが要因と考えられました。

山川ら(2013)は伐採後の種子散布による更新において風散布型の種子の有無が段温帯と冷温帯の大きな違いであることを指摘しています。ヤマトアオダモは風散布型の種子であり、須崎ら(2018)は気候帯にあわせて植栽された風散布型樹種が隣接林分に存在することが、伐採跡地に風散布型の種が高頻度で侵入する要因となったとしています。風散布型であるヤマトアオダモの更新稚樹は林内区を除いたすべてのラインプロットに出現しました(表-2)。

アカメガシワやネムノキは、鳥散布型で人工林内でも埋土種子化することから(勝木ら 2003; アハマッドら 1991; 酒井 2008)、隣接広葉樹林に種子源が少なくとも更新したものと考えられました(表-2)。

この様に今回の事例では、期待された隣接する広葉樹林からの重力散布型樹種の移入はみられませんでした。加えて本調査地は草地におけるヒノキの二代目造林地であり、前生稚樹や萌芽による更新が期待しにくい環境と考えられます(Yamagawa 2013)。その結果、本調査地では更新の多くが風散布型による種子の移入と、鳥散布に由来する埋土種子を起源とする樹種によって占められたと考えられました。

下刈 3 年区における 11 年生時の高木種の樹高は、ネムノキは 4.4 m、ヤマトアオダモは 4.2 m に達しており(図-3)、下刈 6 年区に比べると樹高の成長は良好でした。しかし、これらの高木種はヒノキの林冠下にありました(図-2)。下刈 3 年区で I 群に分けられていたネムノキ、ヤマトアオダモは、刈払いの影響を受け下刈 6 年区では II 群に分けられるグループに入っていました(図-3)。また、落葉広葉樹群落の横断面図の優占種高を見ると、下刈 6 年区及び下刈 3 年区の両区とも 4 年生時から 11 年生時にかけて、高木種は低木種に相対的に劣る状態へと推移していました(図-2)。したがって少なくとも今回の事例では、下刈りの省略は有用な高木種の定着に必ずしも寄与していない可能性が高いといえます。この背景には、本調査地に更新した高木性木本は種子源が隣接していても、移入した種子密度がおそらく低かったこと、それに加えて低木種が基本的に刈払いに強い耐性を示すこと(Shibata et al. 2013)があると考えられます。また、本調査地は地位が高いために、侵入する高木種はヒノキに被圧されやすかったことも理由としてあげられるでしょう(吉川ら 2014)。

### (2) 広葉樹林冠下の林縁は伐採地と比較し、高木性木本の更新により適しているか

林縁区ではモミ、アカシデ、ヤマトアオダモといった高木種の稚樹が成立し、4 区のうちもっとも多様な高木種の稚樹が更新しました(表-2)。また、11 年生時の更新木の樹高は下刈 3 年区のように高さ 4 m に達したものはなかったものの(図-2)、下刈 6 年区や下刈 3 年区と異なり、当初生育していた樹種がその後消失するパターン(衰退傾向を示す III 群に該当)はみられませんでした(図-3)。このように林縁区は樹高が低めではありますが、多様な樹種からなる前生稚樹群が成立したといえます。

作田ら(2009)は带状伐採における林床植生への分析から光環境の変化が植生に与える影響は、伐採部を中心に林縁までおよぶことを明らかにしています。このように皆伐が行われた林分に接する

林縁は、光環境などの環境要因が伐採地に準じて影響を受ける立地であるといえます。このため林縁区はカスミザクラなど鳥散布型の樹種や、モミ、イタヤカエデ、アカシデなど風散布型の種子に加え、コナラ、エゴノキなど散布距離の短い重力散布型による更新がなされたと考えられます（表-2）。自然林の天然更新に寄与するのは主に前生稚樹であることから（正木 2012）、刈払いが行われない林縁区は、将来における更新可能性の点で有利な条件にあると言えます。

しかしながら、林縁は林冠下であり光環境は新植地より劣り（谷口 2006）、さらに近い将来にはヒノキによって確実に側方が閉鎖されます。また、樹高の高い更新樹種はモミやイタヤカエデなどといった現在の林冠に少ない樹種であり（図-2）、現時点で林冠層を構成するヤマトアオダモ、コナラ、ヤマザクラなどの更新木の樹高は相対的に低い状態となっていました（図-3）。したがって、林縁区は更新サイトにはなりえるかもしれないが、現時点で隣接する広葉樹林の林冠を構成する樹種による更新が行われず、更新後の種組成が変化する可能性があります。

一方、林内区では当初 1 m を超えていたアオキの樹高が減少し、調査期間中で樹高 1 m を超えるものはなくなりました（図-2）。イヌシデ、カヤなどの高木種も 1 m を超えず、林縁区とは異なり前生稚樹が形成されない環境といえます。

### （3）下刈の省略が植栽木の成長にどのように負の影響を与えるか

山川（2016）は植栽木の梢端が隣りあう競合植生の高さを上回れば樹高成長は低下しないとしています。本調査地でも 4 年生時、11 年生時ともにヒノキの最大樹高は下刈 6 年区、下刈 3 年区とも顕著な差は見られませんでした。平均樹高は下刈を省略してから最初の 1 年間で、下刈 6 年区よりも下刈 3 年区は低い値を示していました（表-1）。これは、下刈 3 年区では最後の下刈りから 1 年後の時点で、侵入木本類の優勢種高の平均値が、すでに植栽木の平均値と同等であり（表-1・図-2）、植栽木と侵入広葉樹の競争関係がそのまま維持されたためと考えられます。平均樹高の押し下げは、成長の劣るヒノキ個体の存在によって生じていることから、下刈は成長の劣る個体の成長を促す作業と言えるでしょう。よって今回の事例での下刈の省略は、植栽木の成長を妨げたといえます。一方の下刈 6 年区では低木類との競争が排除され、11 年生時には植栽ヒノキと広葉樹との階層の分化が明確となっており（図-2）、6 年間の下刈は植栽木を育てるには十分な効果があったことを示しています。

また、平岡ら（2013）は下刈り段階で植栽木と侵入植生の競争が激化し始める段階が、3 年目にあるとしています。今回の事例においても、下刈期において育てる木として植栽木を選択すべきか、侵入広葉樹を選択すべきかの判断時期は、3 年生時付近にある可能性がうかがわれます。

### （4）混交林化から見た下刈りの省略

これらの結果をもとに混交林化を目指すうえで留意すべき点について、考察していきます。造林地への広葉樹導入時期は下刈期、除伐期、成林後の 3 パターンが想定できます。今回のような下刈期の広葉樹導入における今後の課題として、地位の高い人工林において広葉樹の導入を目指す場合、造林初期の 1~2 年時に有用な広葉樹の樹高と本数の関係をモニタリングしながら、針葉樹を育てるか広葉樹を育てるか順応的に選択する方法を検討することがあげられます。しかし、本事例のように種子源が隣接する伐採地においても、移入する種が限定される可能性は残されます。また 3 年に短縮した下刈りの期間でも、高木種の侵入を図る場合には下刈り期間が長すぎたとも考えられ、期間をさらに短縮すれば有用な高木種の定着に寄与する可能性があります。これについてはより多くの事例研究を重ねて慎重に検討する必要があります。一方で、4 年生時の下刈 3 年区でも植栽木の平均樹高が低下していることから（表-1）、針葉樹人工林内に広葉樹を意図的に混交させよ

うとすればするほど、植栽木の成長が阻害され、主伐時期が遅くなり造林地への投資の回収が遅れることが懸念されます。これはたとえ下刈りの省略によって一時的なコスト削減を図っても、将来収入が減少することによりトータルコストの増大を招く可能性があることを意味します。もちろん、混交した木本種の材価が植栽針葉樹よりも高ければ問題ないと言えますが、本研究では有用な広葉樹(前橋営林局計画課 1991)の移入も進まない状態となっていました。

仮に有用な木本種が多く侵入した場合、除伐方法を工夫する必要があります。針葉樹は円錐形の樹冠を持ちますが、広葉樹は幅広な樹冠を持ち、形が乱れやすいため(谷本 2004)、針葉樹を育てる場合に比べて幹間の距離をより慎重に制御する必要があります。場合によっては植栽した針葉樹が除伐対象となることもあるでしょう。

鈴木ら(2005)は、ヒノキの人工林が高齢になるにつれ、広葉樹との混交が進むことを示しています。下刈期、除伐期には植栽木は十分な樹高に達しておらず、広葉樹の定着が容易かと考えられますが、その一方で上述したように植栽された針葉樹の価値が減る可能性も否定できません。この様なことから、若齢な人工林に広葉樹を入れるのは更新や経営の面でリスクを伴うでしょう。このため当初は通常の針葉樹一斉林の施業を進めながら、多様性は林縁で確保し、高齢級以降で侵入した広葉樹を生かす施業を実施するという考え方が妥当かもしれません。

茨城県では 2018 年頃からシカの侵入が確認されていますが、シカの密度の高い地域ではシカが増加する前の、植生の定量的なデータが存在しないことも問題となっています。このような観点からも、シカが増加する前の定点での植生の定量的なデータを後世に残しておく必要があると考えられます。また、すでにシカの生息密度が高い地域や、茨城県においてもシカの侵入と個体数増加に歯止めがかからない場合には、天然更新による更新はより困難となっていくでしょう。

## 引用文献

- アハマッド デルミー、玉泉幸一郎、須崎民雄、矢幡久 (1991) 埋土種子の発芽特性(II)-伐採跡地における先駆性樹種の発芽特性-. 日林九支研論集 44:89-90
- 藤森隆朗 (1997) 日本のあるべき森林像からみた「1 千万ヘクタールの人工林」. 森林科学 2:2-8
- Gonzales RS, Nakashizuka T (2010) Broad-leaf species composition in *Cryptomeria japonica* plantations with respect to distance from natural forest. *Forest Ecology and Management* 259:2133-2140
- Harper K, Macdonald E, Burton P, Chen J, Brososke K, Saunders S, Euskirchen E, Roberts D, Jaiteh M, Esseen P (2005) Edge influence of forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology* 19:768-782
- 平岡裕一郎・重永英年・山川博美・岡村政則・千吉良治・藤澤義武 (2013) 下刈り省略とその後の除伐がスギ挿し木クローンの成長に及ぼす影響. 日林誌 95:305-311
- 茨城県林業試験場 (1980) 茨城県植生図説明書. 茨城県林業試験場
- Igarashi T, Masaki T, Nagaike T, Tanaka H (2016) Species richness of the understory woody vegetation in Japanese cedar plantations declines with increasing number of rotations. *J For Res* 21:291-299
- 勝木俊雄, 島田和則, 西山嘉彦 (2003) 関東南部の人工林跡地に成立した放置二次林における高木種組成の変化. 日林誌 85(3):265-272
- Kawada K (1953) Geologica studies on the Yamizo, Torinoko and Toriashi mountain blocks and their neighbourhood in the northeastern Kwanto district. *Sci. rep. Tokyo Bunrika Daigaku, sec.C.2*, 217-307.
- 北村四郎・村田源 (1971) 原色日本植物図鑑・木本編 I. 保育社.
- 北村四郎・村田源 (1976) 原色日本植物図鑑・木本編 II. 保育社
- 今博計・明石信廣・南野一博・倉本恵生・飯田滋生 (2013) 北海道中央部の広葉樹林に隣接するトドマツ人工林での種子散布. *日本生態学会誌* 63:211-218

- 前橋営林局計画課 (1991) 有用広葉樹の見分け方.前橋営林局計画課. 全国林業改良普及協会
- 正木隆・佐藤保・杉田久志・田中信行・八木橋勉・小川ふゆみ・田内裕之・田中浩 (2012) 広葉樹の天然更新完了基準に関する一考察.日林誌 94:17-23
- 水戸小林区署 (1917) 水戸小林区署高部担当区造林台帳. 水戸小林区署
- R Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria.
- URL <http://www.R-project.org/>.
- 林野庁 (2014) 平成 25 年度森林・林業白書.林野庁
- 林野庁 (2016) 森林・林業基本計画.林野庁
- 酒井敦 (2008) 正木隆編 森の芽生えの生態学.文一総合出版
- 作田耕太郎・谷口奨・井上昭夫・溝上展也 (2009) ヒノキ人工林における帯状伐採が林床の微気象と樹木種の多様性に与える影響.日林誌 91:86-93
- Shibata R, Shibata M, Tanaka H, Iida S, Masaki T, Hatta F, Kurokawa H, Nakashizuka T, (2013) Interspecific variation in the size-dependent resprouting ability of temperate woody species and its adaptive significance. *Journal of Ecology*
- 四手井綱英 (1999) 日本の森林. 中央公論新社
- 嶋一徹・片桐成夫・金子信博 (1989) コナラ二次林における伐採後 2 年間の萌芽の消長. 日林誌 71(10):410-416
- 須崎智応・平野辰典・鈴木和次郎 (2009) ヤマトアオダモ人工林の林分構造と成長.森林立地 51(1):57-6
- 須崎智応・安藤博之・正木隆 (2018) ヒノキ造林地における下刈り期間の短縮が広葉樹の侵入に与える影響.日林誌 100: 15-19
- 鈴木和次郎・池田伸 (2002) 針葉樹人工林における「生態学的管理」を目指して. 森林科学 36:16-24
- 鈴木和次郎・須崎智応・奥村忠充・池田伸 (2005) 高齢級化に伴うヒノキ人工林の発達様式. 日林誌 87(1):27-35
- 谷口真吾 (2006) 帯状複層林における下木の成長と林床植生の多様性-下木植栽から 15 年時の状況-. 兵庫農技総セ研報 53:10-16
- 谷本丈夫 (2004) 森の時間に学ぶ森づくり.全国林業普及協会
- 東京営林局 (1964) 東京営林局土壌報告第 12 報. 東京営林局
- 東京営林局 (1970) 茨城地域施業計画区 スギ・ヒノキ・アカマツ地位指数判定基準表作成説明書. 東京営林局
- 山川博美・伊藤哲・中尾登志雄 (2013) 照葉樹二次林に隣接する伐採地における 6 年間の種子散布. 日本生態学会誌 63:219-228
- Yamagawa H, Ito S (2013) The role of different sources of tree regeneration in the initial stages of natural forest recovery logging of conifer plantation in a warm-temperate region. *J For Res*11:455-460
- 山川博美・重永英年・荒木眞岳・野宮治人(2016)スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響.日林誌 98:241-246
- 横山敏孝・金指達郎・エミリオ マルヤマ (1988) 小川学術参考保護林におけるコナラ・ミズナラの結実状況の個体による違い. 日本林学会大会発表論文集 99:429-430
- 米倉浩司・梶田忠 (2003-)「BG Plants 和名-学名インデックス」(YList), <http://ylist.info>
- 吉川秀平・國崎貴嗣 (2014) スギ人工林における周辺林分や林地生産力の違いが下層木本の組成やサイズに及ぼす影響. 岩大演報 45:57-71
- 全国林業改良普及協会 (2013) No.172 低コスト造林・育林技術最前線. 全国林業改良普及協会

# シカ防護柵の破損リスク低減に向けた取り組みと課題について

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林整備センター 関東整備局 田中浩二  
長柄 豊

## 1 課題を取り上げた背景

シカ等による食害は、年々増加傾向となっており、新たに植栽を行う地域では、植栽と同時に獣害防護柵を設置することが一般的となっています。しかし、シカ等の大型動物がネットに絡むことや、台風等による倒木などが発生すると防護柵が破損し、そこからシカ等が侵入して苗木が被害を受けるケースが多数見受けられ、改植や補植、防護柵の修理など、造林費コストの増加を招く大きな要因となっています。このような状況を踏まえ、1区画を小面積とし、動物の通り道を活かして区画分けを行うことで、仮に破損した場合でも被害の程度を低位にとどめる「ブロックディフェンス」の方法により実施しています。ブロックディフェンスの実施については、平成26年度から森林総合研究所の専門家の指導を受け設置に取り組んでおり、これまで一定の成果を得ているところです。今回は、この取り組み事例と課題について紹介いたします。

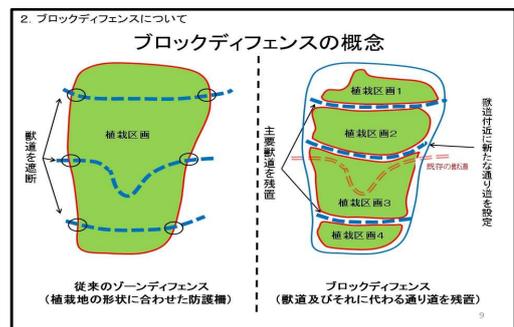
## 2 具体的な取組

(1) 新たな植栽を行う場合には、植栽と併せて獣害防護柵を設置します。設置した防護柵は時間の経過とともに、天候による影響や大型動物が無理に通ろうとして生じる破損、落石などによるリスクが増加していき、柵の破損等が発生させ、シカの侵入による食害が発生し、適切な森林の妨げとなります。これらのリスクを低減させるためには、防護柵の破損を出来るだけ回避し、仮に破損した場合でも被害を1区画に押さえ低位にとどめることが必要です。

(2) 従来の獣害防護柵は、対象範囲全体を1区画として外周を囲う手法をゾーンディフェンスと呼んでおり、これが一般的に採用されている設置方法です。大型動物が無理に通ろうとして生じる破損被害が大きな課題となっています。これを防ぐために、対象地を複数の区画に分けて柵を設置するのが「ブロックディフェンス」です(図-1)。

事前の踏査等により、シカ等の動物たちが頻繁に通る通路、いわゆる「獣道」をできる限り遮らないように区分けするとともに、区分けした区域が大きくなってしまふ場合や「獣道」を区分け出来ない場合などは、ある程度の小区分で通り道を設定し、防護柵を設置するのが大きな特徴です。

(3) ブロックディフェンスは、関東整備局管内の水源林造成事業地内において、令和元年度に約40ha実施し、過去6年間で約200haの実績となっております。



(図-1) ブロックディフェンス概念図

(4) 写真-1にあるように、植栽する区域と区域の間に通り道を設けて、防護柵を設置しています。赤で示した箇所がシカ等の通り道となり防護柵を設置した箇所となります。(写真-1)でも分かる通り、植栽してから5年程度経過していますが、植栽した苗木は被害を受けることなく生長しています。また、植栽地の間に設けた通り道をシカ等が通行し、下層植生を捕食したことにより、植栽地よりも地肌が見えているのが分かります。



(写真-1) ブロックディフェンスの設置状況

### 3 取組の結果

(1) ブロックディフェンスの実施による効果を検証し、統計的なデータを用いて検証しました(表-1)。

(表-1) 効果検証基礎データ

4. 効果の検証		
ブロックディフェンスの実施による効果		
統計的な効果検証に用いた基礎データ		
	調査数 (件)	平均被害率 (%)
ゾーンディフェンス	290	9.6
ブロックディフェンス	50	1.3

※ 調査数について  
 ・ゾーンディフェンスは防護柵の設置が少ない北海道・東北を除く全国で過去5年間に設置した箇所数  
 ・ブロックディフェンスは関東整備局管内で過去5年間に実施した箇所数

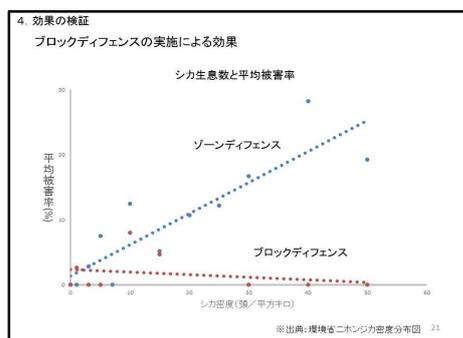
※ 平均被害率=防護柵が破損し植栽した苗木がシカなどにより被害を受けた程度を平均したもの

まず、調査件数についてですが、防護柵の設置が少ない北海道・東北地域を除く全国で森林整備センターが過去5年間に設置した箇所数となります。ブロックディフェンスについては、関東整備局管内で実施した箇所数になります。

次に平均被害率についてです。これは個々の調査地における植栽木の被害の割合を箇所数により平均したものです。例えば、被害率20%の箇所と被害率0%の箇所の2箇所あった場合、平均被害率は10%となります。調査数に差はありますが、被害率は明らか

かに差があるのが分かります。

(2) (表-1)の基礎データを基に、統計的な効果検証を実証しました。



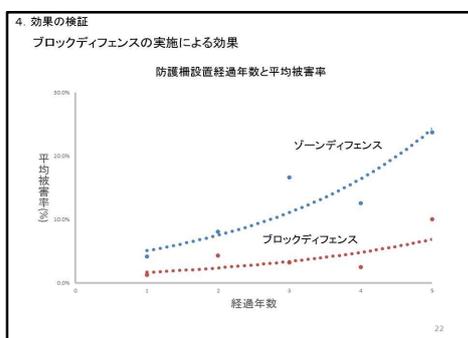
(図-2) シカ生息密度と平均被害率

左図(図-2)は、シカ生息数と平均被害率をグラフにしたものです。横軸は1平方キロ当たりのシカ密度を表しており、縦軸は平均被害率を示しています。

ゾーンディフェンスはシカ生息密度と平均被害率について、回帰分析による相関関係は「0.88」であり決定係数は「0.78」となり、生息密度と平均被害率に関する正の相関関係がはっきりしていると評価できます。つまり、シカ生息密度が高ければ高いほど、平均被害率も高くなってきます。

これに対してブロックディフェンスについては、シカ生息密度と平均被害率の相関関係は「-0.24」であることから、ゼロに近い相関になっています。つまり生息密度と被害との関係が明らかでなく、むしろ関係性が成り立っていないとも評価できます。

これは、シカを通り道に誘導していることや植栽する区域を分割していることが要因と考えられます。さらに、生息密度が高い箇所ほど、ブロックディフェンスを導入する効果も高いものと考察できます。



(図-3) 防護柵設置経過年数と平均被害率

(3) 左図(図-3)は、防護柵設置経過年数と平均被害率をグラフにしたものです。横軸は経過年数を表しており、縦軸は平均被害率を示しています。このグラフから、ゾーンディフェンスについては、経過年数が増えるにつれて被害率が徐々に増加しており、次第にリスクが積み重なって被害が大きくなっていく傾向があるように考察されます。一方、ブロックディフェンスは、比較的低位に推移しており、リスク低位の効果が見れているものと推察されます。

(4) よって、ブロックディフェンスを実施することによって造林地への被害の影響は抑えられていると考えられ、特に生息密度が高いほど、ブロックディフェンスを導入することに効果があると思料されます。また、年数が経過しても防護柵の被害リスクが抑制されている傾向が見られ、ブロックディフェンスを導入することに効果があると思料されます。

#### 4 まとめ

ブロックディフェンスを実施すれば、ある程度の防除効果が期待できることが分かりましたが、今後の取り組みとして、地域と連携して個体群管理も併せて考えていく必要があります。

現在、森林整備センター関東整備局では和歌山森林管理署で考案された「小林式誘引捕獲」を採用し、静岡水源林整備事務所においてくくり罠による誘引捕獲を試験的に実施しており、これらの検証を踏まえ、ブロックディフェンスと連携させながら引き続き防除対策に取り組んでいきたいと考えています。

森林整備センターでは、関東整備局で取り組んできたブロックディフェンスの実証を踏まえ、防護柵を中心としたシカ害防除マニュアルを本部で作成中ですので、皆様のご参考になれば幸いです。

# F S C森林認証の追加取得による

## 浜松市林業成長産業化地域構想への支援

天竜森林管理署 岩崎隆裕

計画課 原口 尉

浜松市林業振興課 藤江俊允

### 1 はじめに

天竜森林管理署が所在する浜松市では市域面積の5割以上が「F S C森林認証地」であり、森林認証を軸に林業成長産業化を図っている市である。このことは令和2年1月7日の静岡新聞に掲載された、浜松市長の仕事始め式の訓示においてもわかるように、「これまでも持続可能な森林管理の国際基準F S C認証を受けた天竜材の活用に取り組んできた」とし、「今後も持続可能な森林経営の推進にさらに取り組む必要性を強調」されています。



(写真1) 木材の生産性向上現地検討会

当署では、公益重視の管理経営を推進しつつ、林業成長産業化に貢献するため、木材の生産性向上（写真1）及び、低コスト・再造林のための現地検討会の開催、森林共同施業団地の設定を行うなど、地域振興への寄与は森林管理署の使命と考え、浜松市と持続可能な森林経営である「F S C認証」の取得に取り組んできたので、これまでの成果と今後の展望について報告します。

### 2 浜松市における森林・林業行政

浜松市は静岡県の西部、愛知県との県境に位置しており、平成17年に12市町が合併し現在に至っています。その面積は伊豆半島よりも広く、市町村別面積で全国2位を誇り、森林面積は市域面積の66%にあたる約103,000ha、この森林面積のうち約22%の21,260haが当署で管理する国有林となっています。

この地域の林業は、日本の三大美林といわれる「天竜人工美林」で知られているとおり、明治時代に大規模な植林事業が行われ、国の人工林率41%、静岡県の人工林率58%に対し、浜松市の人工林率は76%とずば抜けて高い地域であり（図1）、この膨大な人工林をどうするかが林業成長産業化にとって大きな課題でもありました。そこで、浜松市では中長期的（30年後）な視点で、森林・林業のあるべき姿、森林経営・管理の方針を描いた「価値ある森林の共創」として、平成19年に森林・林業ビジョンを策定し、「育てる林業」から「売る林業」への転換、また、世界で通用する森林認証の取得を推進することを大きな柱に、「ブランド化による他産地との差別化」「高付加価値化による木材利用の拡大」を図ることのできるF S C森林認証に着目し、持続的かつ適切な森林管理や天竜美林の環境

(表1) 国、県、市の人工林率比較表 (千ha)

	全域面積	森林面積	森林率	人工林率
国	37,790	25,081	66.4%	41%
静岡県	778	498	64.0%	58%
浜松市	156	103	66.0%	76%

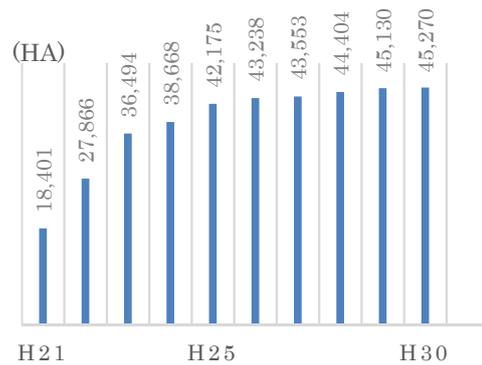
※ 国:「平成30年度版 森林・林業白書」

※ 県、市:「静岡県森林・林業統計要覧(平成29年度版)」

的価値の創造を目的に、市内の6つの森林組合と市・県・国等が連携し、平成22年3月にFSC森林認証を取得しています。

### 3 FSC森林認証の取得状況

平成21年からスタートした森林認証面積は、図1で示しているとおり、順調に拡大を続け、平成30年には市町村別取得面積で、全国1位の45,270haとなっています。また、認証材生産量も平成28年には、全国トップクラスの年間80,000m<sup>3</sup>となっており、認証取得団体いわゆる国際的な基準に認証された製材業者・加工業者・建設業者は、浜松市内に約80業者が点在しており、川上から川下まで、全国で最もサプライチェーンが繋がっている地域のひとつとなっています。



(図1) 浜松市 FSC 森林認証面積の推移

### 4 国有林における認証林取得の必要性

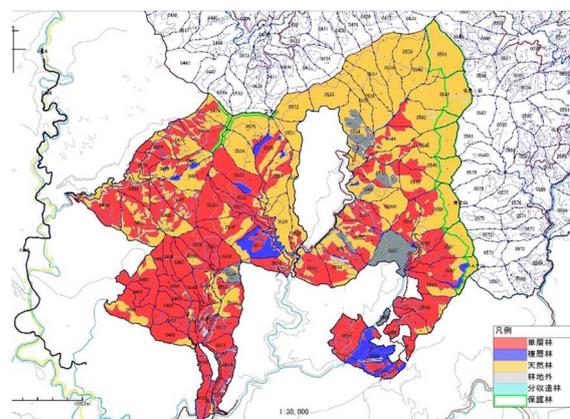
浜松市認証林の課題としては、平成25年頃から認証面積が横ばい状態となっており、大幅な増加が見込めない状況となっています。その原因については、木材生産事業の奥地化や急傾斜地の増加など、採算ベースに見合う適地が減少してきたことと、近年多発している台風による倒木被害、林道被害により安定供給が困難となっているため認証エリアの拡大が伸び悩んでいる要因です。

これら課題の解決のため、浜松市から森林認証林面積の追加要請を受け、森林認証を活用した持続可能な森林経営の推進と、地域全体で官民が一体となって林業成長産業化に取り組んでいる現状と併せ、林野庁へ国有林の認証林の追加取得の必要性について提案を行いました。

その提案内容は、①地域貢献の観点からも、国有林で森林認証を追加取得することは意義のあること。②多くの森林所有者の参画により、既に民有林の5割以上が森林認証を取得していること。③COC認証を取得している事業者が80近くあり流通量の大半を認証材が占めていること。④認証材の安定供給体制の構築が急務であること。⑤市長のトップセールスをはじめ(参考3)、官民が一体となって森林認証による天竜材のブランド化に取り組んでおり、今後も地域林業の成長産業化を図ろうとしていること。⑥多くの関係者が参画・協働していることによる費用対効果などがあげられ、安定供給へのエリア拡大は急務であることがわかります。

### 5 追加取得国有林のゾーニングと結果

林野庁への追加取得にあたっては、エリアごとに森林の状況を踏まえ、既にFSC認証を取得した民有林に周囲を囲まれているなど(図2の白地が民有林)、周囲の民有林と一体となった効率的な森林の管理経営が可能な森林であり、将来的に森林整備推進協定(共同施業団地の設定)公益的機能維持増進協定の制度の活用により、民有林と国有林が連携した効率的な路網整備や間伐等の森林整備の推進が期待される森林などを柱に選定作業を進めた結果、地域貢献の観点から、国有林の森林認証取得事例と



(図2) 追加取得地区の国有林のゾーニング

しては優良事例になり得るものと評価され「静岡県浜松市天竜区春野町の灰縄山国有林外」の約3,000haが、令和2年1月28日に天竜林材業振興協議会臨時総会の場において承認されました(写真2)。

この追加エリアの資源は、人工林、天然林の割合が約半分であり、主要樹種は、スギ・ヒノキ・モミの針葉樹が8割以上を占めています。また、機能類型別では天竜川流域ということもあり、水源涵養タイプが大半を占め、齢級構成は10齢級以上の利用可能な森林が多く、公益重視の管理経営の観点から希少な野生動植物にも配慮しているエリアとなっています。

このように追加認証されたことにより、過去6年間、横ばいで推移していた浜松市のFSC森林認証面積が、48,541haとなり、前年度同様に市町村別取得面積は全国1位となっています。



(写真2) 追加認証の説明の様子  
局長：左から1番目 浜松市長：左から2番目

#### (参考1) FSC森林認証制度とは？

「森林が適切に管理されているか」を、第三者機関が全世界統一の基準に沿って審査、認証するものであり、それらの森林から生産された木材・木材製品へ認証ラベル(右マーク)を貼り付けることにより、消費者の選択的な購買を通じて持続可能な森林経営を支援する制度となっています。また、先進国などで問題になっている違法伐採や、価値の高い森林の伐採を防ぐ機関でもあります。

この認証の種類には、森林管理を対象とするFM認証と、加工と流通・工務店等を対象とするCOC認証があります。



責任ある森林管理のマーク

#### (参考2) FSC森林認証材の活用事例

浜松市では、平成30年に学校施設としては全国最大となる約215m<sup>3</sup>の認証材を使用し、天竜区役所の家具、受水槽、区長室腰壁、地域に密着している浜松磐田信用金庫建設にも認証材を使用するなど、積極的な認証材利用を推進させています(写真3)。



(写真3) 活用事例(左から市立浜名中学校、浜松磐田信用金庫、天竜区役所)

(参考3) 浜松市長によるF S C認証材のトップセールス  
市長自らが先頭に立ち、I O C (国際オリンピック委員会)のトーマス・バッハ会長に対し、選手村や協議会場等の関連施設にF S C認証材を積極的に利用することや、関連グッズやポスターなどに、F S C認証材製品及び認証紙を積極的に使用する親書を送付しました(写真4)。



(写真4) バッハ会長への親書

2020東京オリンピック・パラリンピック関連施設のビレッジプラザ(図3)や有明体操競技場では426m<sup>3</sup>ものF S C認証材を納入するなど、認証材需要は今後も高まることが予想されています。

このように、天竜流域の全国屈指のF S C認証材供給能力を発揮し、地産地消はもとより、県外・国外への「地産外商」を推進等による林業の成長産業化を官民が一体となって森林認証による天竜材のブランド化に取り組んでいます。



(図3) ビレッジプラザ内観

出典：公益財団法人東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員

## 6 まとめ

関東森林管理局では、公益重視の管理経営を一層推進しつつ、管内各地で林業の成長産業化の実現のため様々な取組を行っています。

今回、それら取組の一環として、浜松市内の国有林において森林認証を追加取得することにより、認証材の安定供給体制の整備等、同市が取り組む森林認証を軸とした林業成長産業化地域構想の実現に向け、国有林として、これまで以上に地域に貢献できることが期待されます。

天竜森林管理署としては、引き続き浜松市・静岡県・地域の関係者の皆様と連携し、F S C森林認証を通じた天竜材の他産地との差別化、高付加価値化等を図り、天竜材の需要拡大、ひいては浜松市から林業の成長産業化を実現すべく努めてまいります。



(写真5) 天竜美林

# ニホンジカ防除柵（斜張柵・縦張柵・金網柵）の比較検討

群馬森林管理署 小澤一輝

## 1 課題を取り上げた背景

現在、わが国では生息域の拡大等を背景としたニホンジカ（以下、シカという。）による森林被害が依然として深刻な状況にあります。具体的には、植栽した苗木が枝葉を食べられたり、引き抜かれたり、角こすりを受けて樹皮が剥かれてしまう等の被害が挙げられ、これらの被害が将来的に苗木の形質不良や枯死を引き起こしてしまい、人工林の確実な更新を妨げる大きな障害になります。こ



（写真－1）造林地に作設したシカ防護柵

れを防ぐため、苗木にネットやシェルターを被せて単木的に防除する方法や、加害動物が忌避する薬剤を苗木に散布する方法等が各地で導入されており、特に防除柵（以下、柵という。）作設による防除が全国的に最も多く採用されています。しかし、柵はその素材や施工方法によって防除効果・耐久性・必要コストが大きく異なるという特徴があり、作設費用の安さのみを追求した造林地では、点検補修や撤去のコストまで考慮した柵の選択がなされていないために、防除効果の低下をはじめとした問題が発生しているという報告が数多くあります。

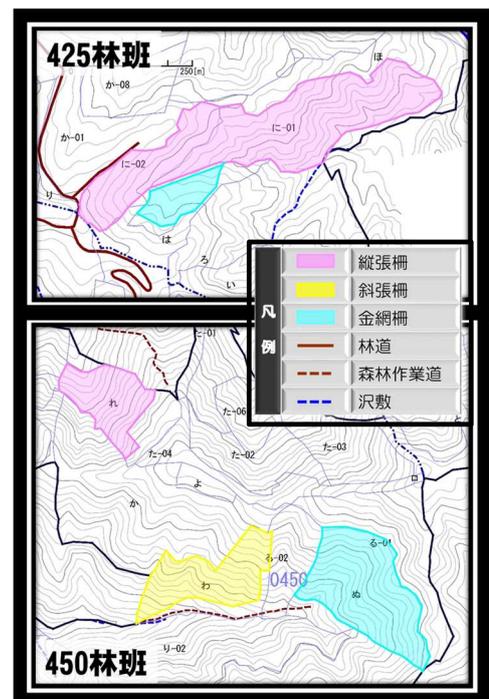
そのため、適切に柵の選択を行うためには、現在用いられている主な柵について、総コスト（人工および費用）を分析し、防除効果と併せて評価する必要があります。

## 2 具体的な取組

### （1）調査地および材料

関東森林管理局管内で採用されている主な柵の効果とコストについて評価することを目的として、平成30年11月に、群馬県桐生市のカラマツ新植地（425林班、9.77ha、標高約900m）に縦張型樹脂ネット柵（以下、縦張柵という。）と近年軽量化が進んでいる軽量金網柵（以下、金網柵という。）を隣接して作設しました。また、翌年7月には、同県みどり市のスギ新植地（450林班、9.07ha、標高約600m）に425林班に作設した柵と同じ縦張柵および金網柵に加えて、斜張型樹脂ネット柵（以下、斜張柵という。）を作設し、調査地を設けました。

本取組で比較した柵は、ネットの素材によって、樹脂ネットタイプと軽量金網タイプの二つに大きく分けられます。樹脂ネットタイプとしては、関東森林管理局で最も作設費用が安いとされている斜張柵（図－2上段）と、当署で長年採用してきた縦張柵（図－2中段）が該当します。斜張柵はネットを縦ではなく斜めに張ること



（図－1）調査地平面図

で、シカが跳び越えづらくなるように幅を確保した構造になっています。構造が単純なことから施工性が高く、作設費用も安いという特徴があります。縦張柵は縦に張ったネットに、スカートネットという斜めに広げたネットを取り付けた柵で、このスカートネットのおかげでシカによる柵の飛び越えや、下からの潜り込みを阻害する効果が期待されています。本取組においては低コスト化の観点から、資材メーカーと相談の上、支柱間隔を限界まで広げており、その結果、斜張柵は3m、縦張柵は4m、金網柵は5m スパンに設定して施工しています。

作設後の維持管理としては、425 林班においては平成 31 年 4 月～令和元年 11 月、450 林班においては同年 8 月～11 月の期間、毎月 1 回の柵点検を実施し、軽微な破損が見つかった時にはその都度補修しました。また、追加の支柱やネットが必要となる大きな破損についても数日以内に補修し、防除効果が低減する期間を短くするように努めました。

## (2) 調査方法

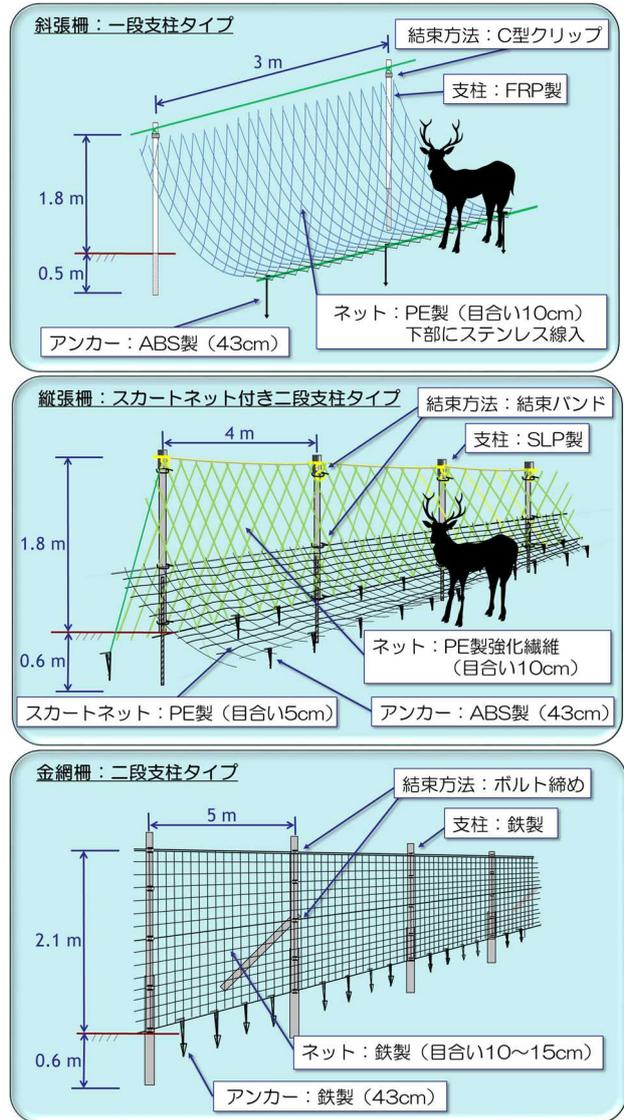
### (ア) 防除効果の検証

各柵の防除効果を評価するために、①柵破損状況調査、②柵内シカ侵入状況調査、③苗木被害調査を、425 林班においては令和元年 4 月から 11 月の期間、450 林班においては令和元年 8 月から 11 月の期間、毎月一回実施しました。

①柵破損状況調査は、柵点検の際に確認した破損を種類分けし、その破損回数をカウントすることで、各柵における破損の特徴、発生頻度、および発生時期の傾向を調べました。

②柵内シカ侵入状況調査は、点検補修作業および、①および③の調査の際、柵内に新しいシカの痕跡（足跡、糞、食痕）を確認した場合に、該当月のシカの侵入有と記録し、「シカの侵入有回数÷総調査回数」から各柵におけるシカ侵入率を調べました。

③苗木被害調査は、各柵内および 425 林班と 450 林班の柵外に植栽した苗木について、調査時点での被害状況を 5 段階に分類調査することで、苗木の保護状況や被害発生時期の傾向を調べました。調査対象木については、425 林班の縦張柵内、金網柵内、柵外、450 林班の斜張柵内、縦張柵内、金網柵内、柵外の計 7 ヶ所から無作為に 60 本ずつ抽出し、合計 420 本の苗木を追跡調査しました。また、シカが通行する可能性が高い作業道や獣道沿いの苗木を優先して抽出しました。



(図-2) 本取組に用いた 3 種類の柵の仕様  
(上：縦張柵、中：斜張柵、下：金網柵)

(イ) コスト分析

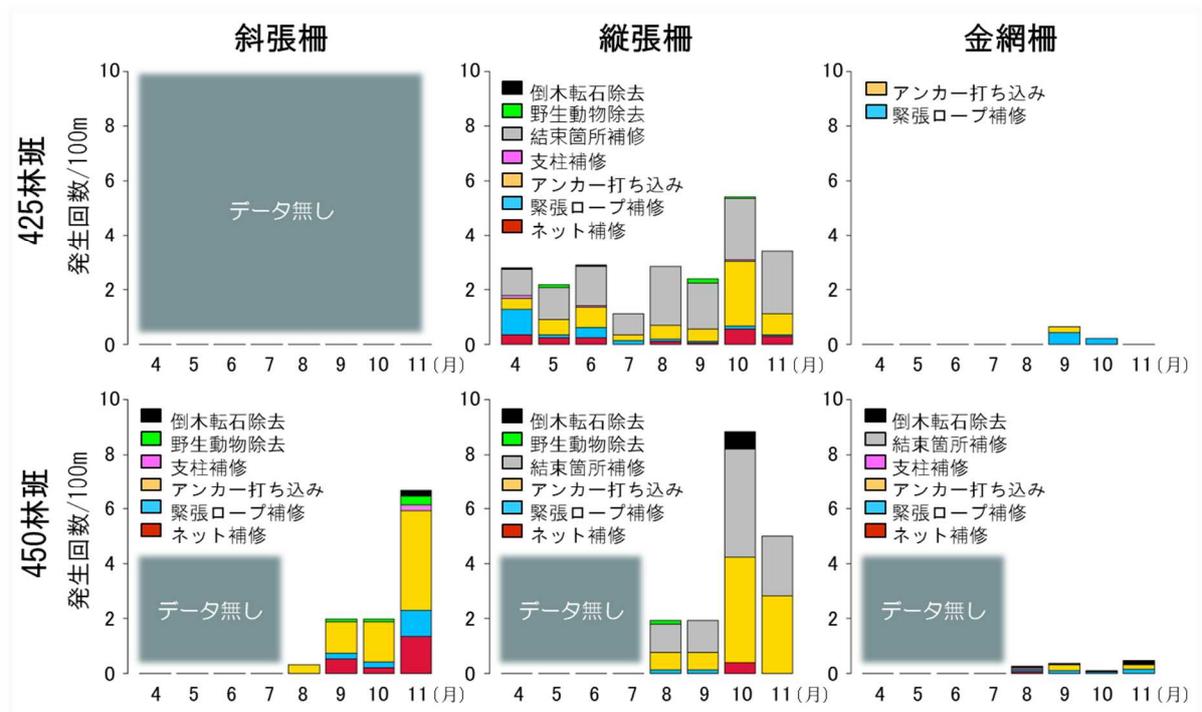
柵延長 100m あたりの作設費用を算出するため、各柵の作設作業に要した時間を計測しました。関東森林管理局造林取扱要領の基準工程の算出方法に基づき、1人1日当たりの主作業時間を345分として人工(人日)を算出し、平成31年3月から適用する公共工事設計労務単価を掛け合わせて労賃を算出しました。この労賃に作業地内の資材運搬に係る機械損料および燃料費を加算して直接事業費を算出し、最後に、当署契約事業における直接事業費に対する間接事業費割合の過去3年平均が約75%であることから、直接事業費に1.75をかけて、作設費用を算出しました。

柵延長 100m あたりの点検補修費用の算出には、各柵の点検補修作業に要した時間を計測し、作設費用と同様の手順で点検1回あたりの労賃を算出しました。(ア)①柵破損状況調査の結果から、各柵の適切な年間点検補修回数と十分な点検補修を実施する年数を設定し、柵撤去までにかかる点検補修の労賃を算出しました。また、(ア)①柵破損状況調査の結果から、とくに交換頻度の高い部品がある場合には、労賃に交換部品代を加算し、直接事業費を算出しました。最後に、作設費用と同様に間接事業費の割合を75%とした場合の点検補修費用を算出しました。

柵延長 100m あたりの撤去費用の算出にあたっては、本取組の中で撤去作業の時間計測ができなかったことと、全ての柵の作設を請け負った事業者が同一であったことから、請負事業者体に「撤去作業および林道等資材を集積できる箇所までの運搬作業に必要と考えられる予想人工」を聞き取り、労賃を算出しました。この労賃に産業廃棄物処理場までの運搬費および処理費用を加算し、直接事業費を算出した後、作設・点検補修と同様に1.75をかけて、撤去費用を算出しました。

3 取組の結果

破損状況調査の結果(図-3)、斜張柵に生じた補修(総設置期間4か月)は、野生動物や転石によって破れたネットの補修(以下、ネット補修という。)が20回、野生動物の跳び越えや堆積土壌によって弛んだ上張りロープ(金網柵の場合は番線)を張りなおす補修(以下、緊張ロー



(図-3) 柵破損状況調査の結果

ブ補修という。)が13回、野生動物の柵への攻撃や土砂流出によって抜けたアンカーの打ち込み直し(以下、アンカー打ち込みという。)が63回、歪んで自立機能を失った支柱の交換(以下、支柱補修という。)が2回、ネットに絡まった野生動物の除去(以下、野生動物除去という。)が5回、倒木や転石の除去(以下、倒木転石除去という。)が2回ありました。縦張柵に生じた補修(総設置期間16か月)は、ネット補修が40回、緊張ロープ補修が38回、アンカー打ち込みが181回、支柱補修が4回、各パーツの結合部の補修(縦張柵の場合は結束バンドの留め直し)(以下、結束箇所補修という。)が315回、野生動物除去が7回、倒木転石除去が7回ありました。金網柵に生じた補修(総設置期間16か月)は、ネット補修が1回、緊張ロープ補修が10回、アンカー打ち込みが8回、支柱補修が1回、結束箇所補修が1回、倒木転石除去が6回ありました。また、各柵における総破損発生回数は、斜張柵2.73(回/月/100m)、縦張柵2.54(回/月/100m)、金網柵0.13(回/月/100m)となり、樹脂ネットの補修回数は金網柵より約20倍多くなりました。

金網柵より樹脂ネット柵の破損回数が少なくなった原因は、野生動物や堆積土砂による破損が金網柵では殆ど生じなかったためだと考えられます。現地の痕跡から、樹脂ネットで多かったアンカー抜けおよびネットの破れは野生動物の体当たりや噛み切りによって(写真-2)、結束箇所の破損は堆積土壌による緊張によって生じたことが分かりました(写真-3)。

また、破損発生の季節変化に着目すると、いずれの柵も10月から11月にかけて増加していました。これはシカの繁殖期と重なるため、移動範囲の拡大をはじめとしたシカの行動の活発化が原因で柵の破損が増加したと考えられます。このことから、秋季の点検補修は1年の中でも特に頻度を高める等、コストをかける必要があることが示唆されました。



(写真-2) ネットが角に絡まり暴れる雄ジカ



(写真-3) 堆積土砂がネットを緊張する様子

柵内シカ侵入状況調査の結果、シカ侵入率(1点検あたりのシカ痕跡発見頻度の割合)は、斜張柵内が100.0%、縦張柵内が91.7%、金網柵が8.3%となりました。樹脂ネット柵内は調査地に訪れると殆ど毎回シカの痕跡が発見され、柵内に侵入したシカの生体と遭遇することも頻繁にありました。このように、樹脂ネットの柵内へのシカの侵入を許してしまった結果、柵内のミヤコザサ(*Sasa nipponica*)、ニガイチゴ(*Rubus microphyllus*)、フサフジウツギ(*Buddleja davidii*)等は残存する個体の多くがシカによる食害を受けていました。一方、金網柵について



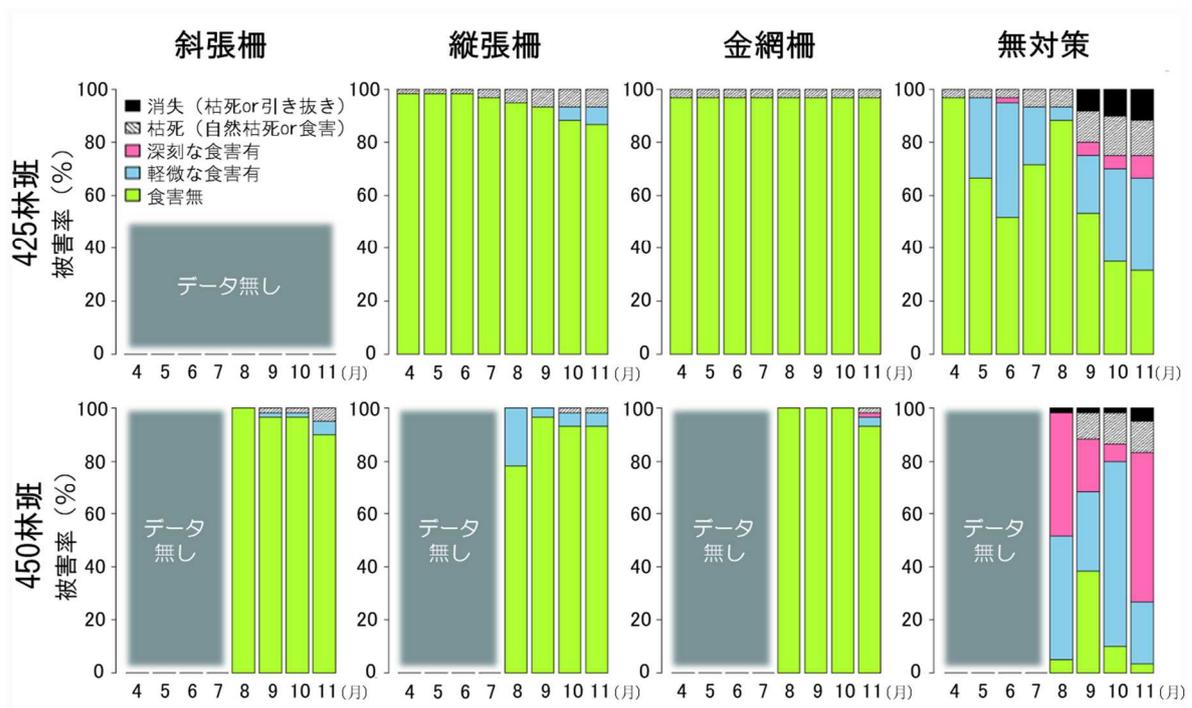
(写真-4) 金網柵内外におけるササの状態

は、令和元年 10 月の台風災害で 450 林班の柵が倒木によって大きく破損した時以外、シカが柵内へ侵入した痕跡はなく、高い防除効果を発揮していたことが分かりました。その効果は、金網柵内のササに対して柵外のササが矮小化している様子からも明らかでした（写真-4）。

苗木被害調査では、食痕を確認できなかった苗木を「食害無」、食痕を確認できたが形質や生育に大きな影響を与える程ではない苗木を「軽微な食害有」、将来的な形質不良や枯死を引き起こしうる過度な食害を受けた苗木を「深刻な食害有」（写真-5）、自然的あるいは食害を受けた結果枯れた苗木を「枯死」、枯死や野生動物による引き抜きを受けた結果消失した苗木を「消失」と分類した結果、斜張柵、縦張柵、金網柵いずれの柵においても内部の苗木は令和元年 11 月時点で「食害無」あるいは「軽微な食害有」に分類された苗木が 95%を超えていました（図-4）。一方、柵外の苗木については、「食害無」あるいは「軽微な食害有」に分類される苗木が、425 林班は 76.7%、450 林班は 26.7%となっており、本調査地においてはシカ防護柵等による苗木保護の効果が十分に発揮されたことが示されました。



（写真-5）深刻な食害を受けた苗木  
（左：スギ、右：カラマツ）



（図-4）苗木被害調査の結果

コストの算出は、点検補修の頻度や撤去方法等の条件が変化すると算出結果が大きく変化することもあるため、本取組においてはこれまでに紹介した防除効果の検証結果を踏まえ、以下のように条件を設定して分析を実施しました。

まず、点検補修コスト算出に関する「年間点検補修回数」は、柵破損状況調査と苗木被害状況調査の結果から、樹脂ネット柵は本取組と同程度以上の点検回数が必要であるのに対して、金網柵は野生動物による破損が殆どなかったことから、融雪時および台風災害後の年4回程度まで

(表-1) コスト分析の結果 (点検補修の値は10年分の合計値)

	人工 (人日/100m)				費用 (万円/100m)			
	作設	点検補修	撤去	合計	作設	点検補修	撤去	合計
斜張柵	1.5	9.7	3.0	<b>14.2</b>	20.6	33.7	10.7	<b>66.0</b>
縦張柵	2.6	7.3	6.8	<b>16.7</b>	34.6	25.5	23.6	<b>83.7</b>
金網柵	5.7	1.3	7.5	<b>14.5</b>	41.5	4.7	25.6	<b>71.8</b>

点検補修回数を低減できると考えられます。このため、本取組においては点検補修回数を樹脂ネット柵は年12回、金網柵は年4回と設定し、コスト算出を行いました。また、「点検補修期間」については、当署管内のいくつかの造林地において成長点が採食を受けなくなる高さまで成長した後もシカの角こすりや樹皮剥ぎの被害を受けて改植せざるを得ない状況に陥っていることを踏まえ、初回の除伐が完了し、低木等が繁茂して造林地内への侵入が困難になる10年生頃まで柵の十分な点検補修を実施するものとしてコスト算出することとしました。

また、撤去コスト算出に關係する「撤去の方法」については、土中埋設したアンカーや支柱を含めた全資材を撤去するものとし、「撤去資材の処分方法」については、廃プラスチックは産業廃棄物処理費用を要し、鉄くずは売却できるものとしてコスト算出を行いました。

このような条件のもと、作設、点検補修、撤去コストを算出した結果(表-1)、延長100mあたりの総費用が最も安価になったのは斜張柵(66.0万円)で、最も高価になったのは縦張柵(83.7万円)でした。金網柵は斜張柵ほど安価にはなりませんが、点検補修費用が樹脂ネット柵より著しく低いことから、十分な点検補修体制が確保しづらい場合でも、防除効果の低下による苗木被害の発生を抑えることができると考えられます。

#### 4 まとめ

苗木被害調査の結果、柵外の造林地は植栽後1年足らずで関東森林管理局の改植要件を満たすほどの食害を受けました。しかし、柵内は95%以上の苗木が大きな食害の影響を受けませんでした。これは、月一回の十分な点検補修によっていずれの柵も一定の苗木保護効果を発揮できたことを示しています。一方、樹脂ネット柵は金網柵と比較して高頻度で破損していたことや、樹脂ネット柵内に侵入したシカが苗木以外の植物を頻繁に採食していたことから、樹脂ネット柵は、柵内に苗木以外のシカ嗜好性植物が少ない場合や、月一回以上の頻度で点検補修ができない場合は、深刻な苗木被害が発生するリスクが高いと考えられます。

また、コスト分析の結果、総費用は斜張柵が最も安いという結果になりました。しかし、プラスチック製品と比較して環境負荷が低い鉄製品や、撤去の労力が大きい土中埋設資材を撤去する必要があるのかを改めて再検討した結果、それらが不要だという判断がされた場合には、金網柵が最も低コストになる可能性があります。このように、本取組で算出した撤去コストでは、作設・点検補修コストと比較して仮定した条件が多いことから、実際のコストと乖離している可能性も十分にあります。そのため、今後は早急に撤去の考え方や具体的な方法を確立し、より正確なコスト分析をした上で、各柵の評価を随時修正していくことが必要です。

いずれにせよ、柵の効果を十分に発揮して、確実な更新を図るためには、作設コストや防除効果といった単体の因子にのみ着眼した判断ではなく、各造林地の条件や実行可能な点検補修体制等の様々な因子を加味した複合的な検討をもとに柵の選択をしていくことが重要です。

# 国と市町村の新たな関わり方 ～掛川市における森林経営管理制度の検討を通じて～

天竜森林管理署 掛川森林事務所 石倉悠裕

## 1 課題を取り上げた背景

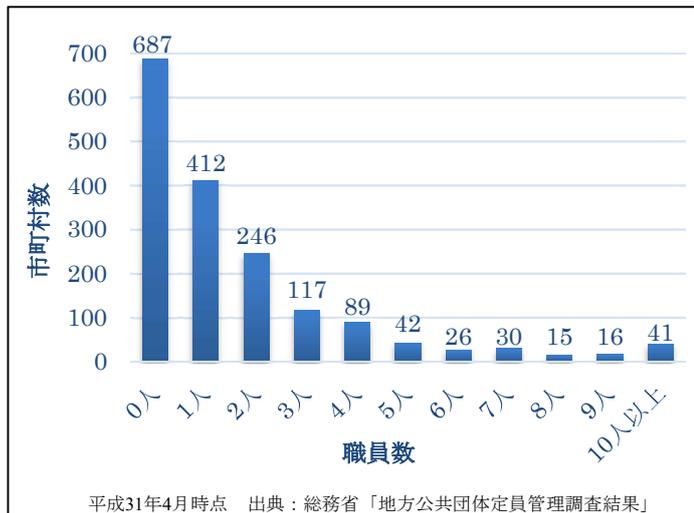
昨年4月の森林経営管理制度や森林環境譲与税の導入に伴い、各市町村において様々な取り組みが新たに行われており、森林・林業行政における市町村の果たす役割は従来以上に大きくなっています。

一方、市町村における林務担当職員数は、0～2人の市町村が全体の8割を占め、マンパワーの不足が課題となっています。（図-1）

このような状況の中、森林・林業の専門家である、私たち国有林野事業の職員には、これまで以上に市町村の林業行政への積極的な人的・技術的支援が求められています。

関東森林管理局では重点取組事項の一つとして、「民国連携の推進」を挙げており、天竜森林管理署においても、現地検討会による技術普及や森林共同施業団地の設定、各種会議への参加などの技術的支援を行っています。

今回私は、掛川市における森林経営管理制度の検討を通じ、「地域の森林・林業に対する課題やニーズの把握」、「地域との円滑で実効性のある双方向の関係構築」といった森林事務所の役割を踏まえ、森林事務所としてできる民国連携を実践するため、掛川市と連携した取り組みを行いました。



（図-1）市町村の林業部門職員数の分布

## 2 掛川市における森林・林業の取組

掛川市は、森林経営管理の推進及び森林環境譲与税の活用に向けた体制作りのため、森林・林業、企業、教育、行政の代表者らで構成する「掛川市森林経営管理推進協議会」を令和元年9月に設置し、協議を行っています。

これまでの協議会の具体的な活動は、委員10名により、協議会を5回、現地調査を2回、講演会を1回実施しました。当署からも森林技術指導官がオブザーバーという形で参加しています。

令和元年度は掛川市としての譲与税活用の基本



（写真-1）掛川市長への提言

的な考え方や使途のイメージ、留意事項などをとりまとめた「掛川市森林環境譲与税活用ガイドライン」を作成し、令和2年1月24日、掛川市長に提言書として提出しました。（写真－1）

令和2年度は、意向調査の実施や森林経営管理制度の本格的な運用に先立ち、市民に対してPR効果のあるような場所をモデル地域として選定し、先駆的に森林整備を実施する予定です。

このように市民の代表による協議会を設置し、自分たちで森林・林業の将来像を考え、合意形成を図りながら、市長への提言という形で林業関係以外の者が森づくりに直接参画する取組は、社会的公正や多様性という面において、国内でも先駆的な事例だと思われます。

### 3 掛川市との連携の経緯

国有林野事業職員として、今回掛川市との連携を図った経緯については三つあります。

①森林経営管理制度や森林環境譲与税の導入といった新たな制度が始まるタイミングであり、協議会という先駆的な取組を掛川市が行っていたこと。②民有林行政への積極的な関与が求められていること。③地域林政アドバイザーとして林野庁のOBが活動していること。

これらの条件が有機的に重なったことから、天竜森林管理署長と掛川市産業経済部長が面談を行い、連携を依頼、連携内容の確認を行いました。

その結果、国及び掛川市双方がWIN・WINの関係を構築でき、両者にとってメリットが大きいことから新たな民国連携が成立しました。

国のメリットとしては、国有林野職員として民有林行政を学ぶ絶好の機会であること、職員のスキルアップの場となることなどが挙げられます。掛川市としては、国有林の持つ多様な森林づくりに向けたノウハウ（知識・技術）の供与や、林業成長産業化や森林環境譲与税について他県の先進的な事例等の情報を得ることが出来るといったことが挙げられます。

### 4 連携の内容及び活動事例

日常業務に支障が無い範囲で掛川市役所農林課を訪問し、地域林政アドバイザーや林務担当職員と打合せを行い具体的な活動内容を決定し、協議会運営等の業務支援や国有林野事業のノウハウの提供、技術指導を行いました。（写真－2）

以下（1）～（6）は具体的に私が行った活動です。

#### （1）協議会運営の支援や国有林の取組を紹介

協議会の議事録の作成等事務局としての活動や、協議会内で話題に挙がった早生樹や獣害対策について国有林の事例紹介を行いました。

（写真－3）

#### （2）市町村森林整備計画の見直し

地域の実態を踏まえて、コウヨウザンを新たな植栽樹種に追加することや野生鳥獣害防止のためのシカ柵の点検を追加記載するなど、掛川市森林整備計画の見直し、変更を提案しました。

#### （3）森林調査の実施

FSC 認証森林（民有林）のモニタリング調査を共同で実施しました。



（写真－2）市職員等との打合せ

(4) 森林イベント等に参加

協議会が開催した講演会や協議会メンバーが主催する海岸林植樹等様々なイベントに参加しました。

(5) 治山事業等民有林事業地の現地調査

台風後の崩壊地や土砂流出地、浸水地域の原因調査等様々な現地調査に同行しました。(写真-4)

(6) その他

掛川市にフィールドワークに来た大学生との交流等を行いました。



(写真-3) 国有林の事例紹介



(写真-4) 台風後の現地調査

## 5 取組の結果

今回の取組を通じ、協議会運営に関わったことで森林経営管理制度や森林環境譲与税に関する民有林行政の動向、特に掛川市の森林・林業全体を考えたビジョンづくりや、合意形成の手法などを間近で見ることができました。協議会以外にも、様々な民有林行政の取組を知ることができ、普段の国有林業務だけでは得られない貴重な経験を積むことができました。また、協議会内で多くの方と知り合い地域のネットワークを広げることができ、地域の情報が集まりやすくなりました。さらに、打合わせなどで何度も掛川市役所に足を運ぶことによって、掛川市とのスムーズな意見交換、情報共有が可能になり、国有林に対する要望等を聞くことができるようになり、森林事務所と市役所のお互いの役割や活動内容など地域・林業のビジョンについて日常業務の中で意識するようになりました。

その結果、「地域の森林・林業に対する課題やニーズの把握」、「地域との円滑で実効性のある双方向の関係構築」ができるようになり、日常の業務へも取り組みやすくなりました。

## 6 まとめ

森林事務所職員として、これまでにない新しいスタイルで、協議会運営等に参加し、「地域づくり・森林づくり」に向けた協議を行っていく中で、森林・林業関係以外の市民を巻き込むことで、森林・林業の課題について、関係者だけではなく、地域全体の課題として取り組んでいくことの重要性を感じました。地域の森林整備・保全を行うにあたり、地域の林業関係者や市民代表等と合意形成を図り、地域全体で森林・林業の活性化に取り組んでいくことが重要です。そのた

めに森林事務所職員としてできることは、地域の一員として、積極的に民有林行政に関わっていくことだと思いました。

また、市町村の林務担当者はもとより、林業事業体の職員なども含め、地域全体で森林・林業に従事する者は少なく、多種多様な地域の課題に対応するためには、その地域において具体的な取組を考え、実行していく人材を確保・育成していくことが必要不可欠です。地域の森林を管理する国有林野事業職員として、私たちにできることは、森林事務所に勤務する職員が担当する地域との連携を強化し、地域の課題をともに考え、一緒に問題解決に向け取り組むことであり、林業技術者として技術支援等を通じて市町村職員のスキルアップに貢献することではないかと思いました。

今回の新たな制度（森林経営管理制度及び森林環境譲与税）の導入によって、荒廃した森林を整備するためのお金と制度は整いました。今、掛川市では地域をあげて、それらを市民のニーズを踏まえ効果的に運用するための環境作りをしているところです。そこには国有林野職員が積極的に関与していくことが求められており、森林管理署として行う現地検討会の開催など広義で間接的な民国連携に加え、より地域に近い森林事務所として直接的に行う民国連携も必要であり、現場を知る職員が民国連携の名の下に地域貢献として日常的に市町村の業務支援を行うことも大切ではないでしょうか。

さらに市町村に私たち若手職員が積極的に関与し国有林以外の地域の森林・林業全体を見ることで、視野が広くなり、将来的な森林総合監理士の育成にもつながります。加えて、ルーティンワーク以外の仕事を行うことで仕事へのモチベーション維持やスキルアップ等、国にとっても人材育成の手段としてとても有意義なものになると考えています。

## 7 おわりに

掛川市森林経営管理推進協議会の中で、掛川市の方から「国からプラスアルファを貰っている」といった主旨の発言がありました。おそらく現地検討会等イベントを行うだけでは、このプラスアルファという言葉は出なかったと思います。何度も市役所に足を運んで、国が積極的に支援している、積極的に関わろうとしているという姿勢がこの言葉につながったと思います。

冒頭で述べた森林事務所の役割である「地域との円滑で実効性のある双方向の関係構築」ができていたということであり、森林官業務をこなしながら、民有林行政を学ぶことができ、さらに掛川市にとっても利のある活動ができたと考えています。そして、このプラスアルファこそが、今回私が行った民国連携のキモとなる部分であり、私が行った活動の成果であり、地域に密着した森林事務所だからこその国と市町村の新たな関わり方だと私は考えています。

# 新たな獣害防除資材「単木柵」の開発

群馬県林業試験場 坂和辰彦

## 1 課題を取り上げた背景

人工林獣害は、植栽初期から伐期まで継続して発生し、特に幼齢木ではニホンジカ等から多くの獣害を受けます。獣害対策は、忌避剤散布やネット柵及び単木防除資材の設置が主流です。しかし、忌避剤はシカによる樹皮剥ぎ、角擦りにはほとんど効果がありません。ネット柵は適切な管理を怠ると資材破損が生じ、動物は容易に侵入します。また造林地全体を囲うため、一度動物が侵入すると全滅するリスクもあります。既存の単木防除資材はコストが高いものが多く、植栽時の設置が前提のため、枝の張った成長木を後から保護することができません。また樹種によっては一部資材による成長阻害も指摘されています。

このため、既存対策の欠点を改善する新たな獣害防除資材を試作し、これを「単木柵」として開発を行い、その効果を検証しました。

## 2 具体的な取組

### (1) 単木柵概要

各獣害を長期的に防ぐ観点から単木柵の素材は、経年劣化や破損、動物による噛み切りに強いワイヤーマッシュ（縦 100cm×横 200cm、線径 2.6mm、網目 10cm）を利用しました（図－1）。資材費が安価であることや成長阻害がないと思われる構造である点も考慮しました。ワイヤーマッシュを円筒形に丸め、3 箇所を耐候性の結束バンドで固定することで単木柵を試作しました（図－2）。設置は単木柵を植栽木に被せ、ワイヤーマッシュの下端部を地面に食い込ませた上で、U字のアンカーピンにより 2 箇所の杭止めを行いました。なお植栽木の被圧を防ぐため、防草対策を設置と同時に行いました。



(図－1) ワイヤーマッシュ



(図－2) 単木柵

### (2) 試験地概要及び効果検証

シカの生息密度が高い地域から 5 箇所を試験地として選定し、スギ、ヒノキ、広葉樹（コナラ等 4 種）を対象に単木柵を設置しました（表－1）。各試験地は、単木柵設置区と設置なしの対照区を併設し、両者を比較してシカ被害の防除効果を検証しました。獣害の有無、獣種、被害形態、被

害高さ及び健全度（0：全枯れ～5：枯損枝葉なし）で防除効果を評価しました。なお分析は、自然枯死したと判断されるものは除外しました。

（表－1）試験地概要

No.	設置箇所	標高	樹種	苗	植栽月	設置月	植栽本数	設置数
1	前橋市富士見町	603	スギ、ヒノキ	コンテナ苗	H30.6	H30.6	100	70
2	下仁田町南野牧	697	スギ	裸苗	H30.5	H30.12	1,500	50
3	藤岡市上日野	842	ヒノキ	規格外大苗	H31.4	H31.4	25	20
4	前橋市富士見町	606	ヒノキ	規格外大苗	H31.5	H31.5	25	20
5	前橋市富士見町	700	広葉樹	裸苗	H30.4	H30.5	253	144

### 3 取組の結果

#### （1）No. 1 及び 2 試験地

結果を表－2に示します。No.1 試験地では、単木柵を設置した植栽木はシカの被害を全く受けず、対照区は7割が被害を受け、単木柵の防除効果が確認できました。また対照区は植栽直後にシカに引き抜かれて枯死したものが過半数を占めていました（図－3）。

No.2 試験地では、単木柵を設置したものは目立った被害もなく非常に良好な生育を示しました。一方対照区では100%シカによる食害を受け、ほとんど成長もせず、単木柵の効果が明確に示されました（図－4）。

（表－2）試験結果（No. 1 及び 2）

試験地	頂部食害率(%)	平均樹高(cm)	平均健全度(0～5)
No. 1 単木柵設置区	0 (0本/70本)	57.9	3.55
No. 1 対照区	70 (21本/30本)	33.2	0.39
No. 2 単木柵設置区	0 (0本/50本)	75.0	4.94
No. 2 対照区	100 (30本/30本)	38.8	3.05

R1. 10月時点での調査結果



（図－3）No. 1 試験地の状況  
左：単木柵設置区 右：対照区



（図－4）No. 2 試験地の状況  
左：単木柵設置区 右：対照区

#### （2）No. 3 及び 4 試験地

結果を表－3に示します。No. 3 及び 4 試験地を設定した目的は、シカによる樹皮剥ぎと角擦りに

対する単木柵の防除効果を検証するためです。そのため、両被害を受けやすい樹高1mを越えた大苗を植栽し、同時に単木柵を設置しました。結果は、単木柵を設置したものは両被害とも全く出ず、良好な成長を示しました。一方対照区では、両試験地とも約半数が樹皮剥ぎや角擦りを受けました(図-5)。

(表-3) 試験結果 (No. 3 及び 4)

試験地	樹皮剥ぎ・角擦り被害率(%)	平均樹高(cm)	平均健全度(0~5)
No. 3 単木柵設置区	0 (0本/20本)	163.1	5.00
No. 3 対照区	40 (2本/5本)	164.0	4.80
No. 4 単木柵設置区	0 (0本/20本)	165.7	4.93
No. 4 対照区	60 (3本/5本)	138.3	3.00

R1. 10月時点での調査結果



(図-5) No. 4 試験地の状況 左：単木柵設置区 右：対照区

### (3) No. 5 試験地 (広葉樹)

No. 5 試験地では、単木柵が広葉樹にも適用できるかを検証しました。結果は、単木柵により柵内の枝葉が守られるため、食害による枯死はありませんでしたが、一方で柵の高さである1m付近で主に食害が発生しました(表-4)。対照区は、枝葉を全て食い尽くされ棒状となり、ほとんど枯死しました。そのため、ここは対照区全てを同一樹種で植え直し、全てに単木柵を設置しました。

設置にあたって、事前に単木柵設置区で発生した被害形態を細かく調査したところ、頂部食害及び柵のわきからの食害の2種類が発生していました。前者は約75~130cmの高さで、後者は柵から10cm未満での発生でした(表-5)。この2つの被害形態から、単木柵を改良しました。まず頂部食害防止のため、ワイヤーメッシュを半分(縦50cm×横200cm)にし、連結させて50cm嵩上げしました。次にわき食害防止のため、メッシュの構造を利用し、紐でくくり主軸を中心に寄せました。

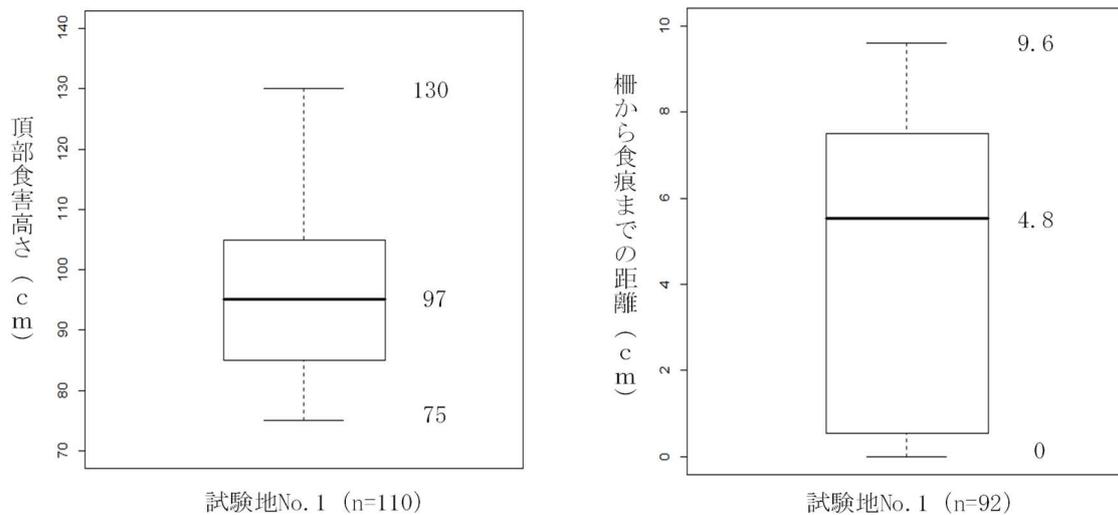
それを踏まえての結果を表-6に示します。改良の結果1mを越えた成長が見られました。一方で、主軸が偏った成長をするモミジなどは、柵外に頂部が出てしまい食害を受ける傾向が確認されたため、通直に成長する樹種が効果的であることが示唆されました(図-6)。

(表-4) 試験結果 (No. 5)

試験地	頂部被害率(%)	食害による枯死率(%)	平均樹高(cm)	平均健全度(0~5)
No.5 単木柵設置区	76 (110本/144本)	0 (0本/110本)	93.9	3.72
No.5 対照区	91 (99本/109本)	89 (88本/99本)	82.9	0.22

H30. 10月時点での調査結果

(表-5) 被害発生状況 左：頂部食害高さ 右：わき食害距離



(表-6) 改良試験結果 (No. 5)

試験地	頂部食害率 (%)	平均樹高 (cm)	平均健全度 (0~5)
No. 5 単木柵設置区 (改良)	18 (32本/181本)	111.7	4.39

R1. 10月時点での調査結果

#### 4 まとめ

シカ獣害の防除効果が確認できました。特にスギ、ヒノキでは高い効果を発揮しました。1基の資材費は約 450 円と既存資材の半分程度でした。資材による成長阻害も見られず、倒木等による破損時も植栽地全体への影響は軽く、管理手間が掛かりません。試験地 4 及び 5 のとおり、成長木でも後から容易に設置できました。樹種は問いませんが、通直な樹種が効果的であることが示されました。

この防除法は緩傾斜 (20° 以下程度) で、低密度な植栽地で特に有効だと考えます。様々な条件下での新植地がある中で、獣害対策の選択肢の 1 つになり得ると考えています。



(図-6) 改良後の状況 左：クリ 右：モミジ

#### 5 おわりに

枯死に繋がる人工林のシカ被害は主に頂部食害、角擦り、樹皮剥ぎの 3 種類です。頂部食害は、植栽木の高さが 1.5m を越える約 3 年生までの短い期間での被害ですが、角擦りと樹皮剥ぎは伐期まで継続して発生する被害です。現在、この樹皮剥ぎと角擦りを防げる単木防除資材はありません。本研究で、今まで対応困難であった両被害を防ぐ技術として、単木柵の可能性が見出されました。金属柵により長期間防除効果の維持が可能なが見込まれるため、今後も継続して調査しシカ獣害を長期間防ぐ技術として確立したいと考えています。

# 早生樹の利活用を考える

富士森林組合 事業部長 浅沼憲太  
掛川市森林組合 業務統括部長 尾崎友昭

## 1 課題を取り上げた背景

国内の森林資源が充実する中、製材をはじめとして、合板、集成材、CLT、チップ用等への国産材需要が高まり、それに伴い全国的に素材生産量は増加傾向にあります。一方、森林資源の循環利用に向けて主伐・再造林の推進が図られていますが、主伐後の再造林、下刈りなど保育作業に要する経費が大きいうえ、近年の獣害の被害は年々拡大していることから、ますます森林所有者の林業経営への意欲が薄れ、思うように主伐が進まない状況です。

このような中で、森林組合（山側）として、需要者が求める木材（樹種）を将来にわたって供給するため、成長が早く短伐期で収益が得られる早生樹に着目し、造林樹種として選択することができないか、木材需要者の協力も仰ぎ、検討することとしました。今回、いくつかの早生樹種について、企業や研究機関（川中・川下）と協力を得て行ってきた2年間の様々な試験状況を報告します。

## 2 具体的な取組

### ・検討した早生樹種

コウヨウザン、テーダマツ、スラッシュマツ、ユリノキ、ハウノキ、カツラ ほか

### ・取組体制

静岡県内の森林組合、林ベニア産業株式会社、株式会社ノダ、静岡県森林・林業研究センター、銘建工業株式会社、静岡県内製材会社ほか

### ・取り組み内容

#### (1) 国内外の早生樹の状況調査

##### ① 過去の行政指導および文献調査

過去には早生樹の成長性および施業技術の検討がなされ、「早生樹の育苗と造林の実際」、「世界の有用木材 300 種」「中国のコウヨウザンについて」など、様々な文献が残されていることが分かりました。

##### ② 国内外の早生樹の状況

過去に全国各所に早生樹試験林が造成されており、様々な研究が行われていることが分かりました。その内、静岡県や広島県の早生樹試験林（コウヨウザン）については具体的な林分調査を実施しました。今後早生樹を検討する際はこれらのフィールドを十分に参考にすべきであることが分かりました。また、海外の取組として中華人民共和国における生産的人工林の育苗状況、林分生育状況、木材の活用状況を視察しました。



静岡県立 浜北森林公園  
コウヨウザン林分 (63 年生)



静岡県立 浜北森林公園  
ユリノキ林分 (63 年生)



掛川市内 民有林  
テーダマツ林分 (62 年生)



中華人民共和国 福建省 コウヨウザン林分 (22 年生)



### ③ 遺伝子検査

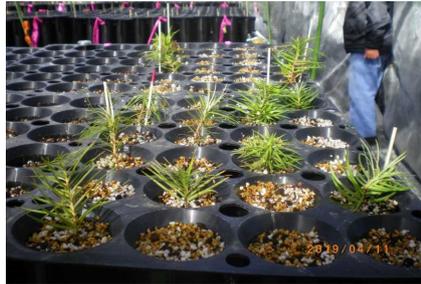
育種、育苗試験につなげるための採種を行うにあたり、雑種などの恐れがあるため、葉等による判別に加え、遺伝子検査を行いました。検査で遺伝子が合致した樹種のみを採種の対象木としました。

## (2) 育種・育苗・植栽試験

- ① 過去に造成された早生樹試験林等から採種、採穂を行い、播種、挿し木試験を行いました。また、苗の成長記録を行うとともに、山への植栽試験を行いました。



テーダマツ種子



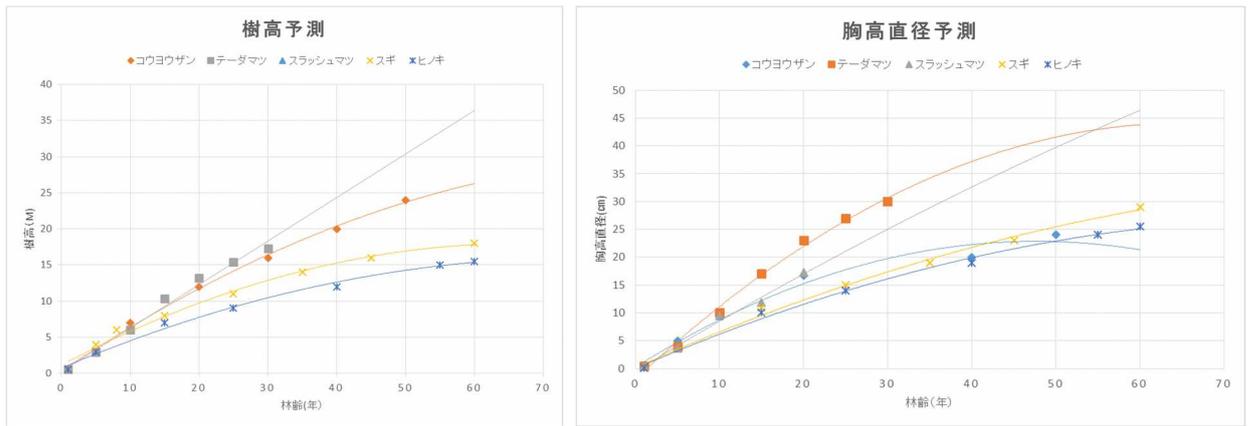
コウヨウザン稚苗の状況



富士宮朝霧 早生樹植栽試験林状況

### ② 植栽試験による成長の検証

コウヨウザン、ユリノキ、ホウノキ、カツラ等の早生樹と従来樹種であるスギ・ヒノキの成長比較を行いました。早生樹の樹高成長及び肥大成長の速度は従来樹種に比べ初期段階から安定した成長が見られました。また、文献からも成長予測を行いました。早生樹に優位性が見られました(図-1)。



(図-1) 早生樹の予想成長曲線(樹高・胸高直径)

(3) 物性試験(合板・製材品・ラミナ)

静岡県内で伐採した早生樹(コウヨウザン・テーダマツ・スラッシュマツ、ユリ、ホウ、カツラ他)を試験体として、合板、構造材、ラミナ材の強度試験および接着試験等を実施しました。

① 伐採・出材

静岡県内の早生樹林分において、森林所有者の協力を得て伐採・出材作業を行い、試験体である原木を調達しました。



掛川市テーダマツ林分 伐採状況

伐採後の原木状況(左:コウヨウザン 右:スラッシュマツ)

② 合板・製材品・ラミナ材の物性試験

企業等の協力を得て、早生樹の合板、製材品、ラミナ材の物性試験を行いました。強度、製品の品質変異等、早生樹の樹種ごとに様々な試験結果が得られ、それぞれの特徴を掴むことができました。



コウヨウザン製材状況

製材品 強度試験状況

コウヨウザン合板 強度試験状況

### ③ 物性試験の今後の見通し

強度等のデータと共に、生産性（歩留り、加工性他）や耐久性、製品の品質変異等のデータを今後も蓄積していく必要があると思われます。

### (4) 造林プランニングによる収益試算

早生樹を用いて短伐期で収穫した場合の収益試算を行いました（表－1）。スギ、ヒノキ林 1ha 当たりで 60 年目の収穫で得られる収入を比較対象とし、早生樹では、30 年 1 周期で収入を見込みました。

（表－1）早生樹と従来樹種の収益計算

樹種	30年目	60年目	計
スギ	－	342万円	342万円
ヒノキ	－	468万円	468万円
テーダマツ	475万円	475万円	950万円
スラッシュマツ	451万円	451万円	902万円
コウヨウザン	439万円	439万円	878万円

## 3 取り組みの結果

様々な試験により、いくつかの早生樹の特性や傾向を掴むことができました。早生樹は今後の林業経営に対し有用であり、過去の文献等を生かしながら育林、活用方法を確立していくことが望まれます。一方で樹種それぞれの育林上の課題や、材としての活用上の課題があり、今後も川上・川中・川下の連携により、将来の活用が担保された樹種を選択し、連携しながら造林に取り組むことの重要性が分かってきました。

早生樹による今後の持続的森林経営のポイント

- 早生樹の短伐期（30年 30cm）による収益向上
- 森林経営が難しい小規模山林で早生樹を活用した収益向上
- 早生樹により再造林を推進し地域森林の林齢構成の偏りを解消
- 名木を育てる長伐期林業や、地域の自然植生を重視した森林とのバランスも大切

## 4 まとめ

様々な試験やプランニングの結果から、早生樹は材として有用であると同時に、短い投資期間による保育作業の軽減や短伐期による収益アップ、萌芽更新による再造林経費縮減などの今後の可能性がある樹種があることも分かり、加えて、利回りの良いことも分かってきました。このことは森林経営が難しい小規模山林においても収益性の向上につながることを期待させます。

今後も様々な検討を重ね、静岡県内での早生樹の将来について可能性を見出し、経営意欲の低下した森林所有者に将来の希望を示し、持続可能な森林経営を目指し、地域経済と社会に貢献したく考えています。

# ドローンは立木調査を省力化できるのか？～樹種判別と材積推定～

静岡県立農林大学校 林業学科 長嶋 航

## 1 課題を取り上げた背景

森林管理署の製品（丸太）販売業務において収穫調査の省力化が課題となっています。一方、森林管理署ではドローンを導入して森林管理業務の効率化を図っています。ドローンは空中から森林の状況を把握することが可能であり、調査を効果的・効率的に調査を行うことができます。現在そのドローンと写真測量の技術を用いて樹種、樹高などを調べ、材の資源量を調べる研究が進められています。その資源量を調べるためには測量精度の精度が大事になります。なぜなら写真測量で得られる樹冠データと、他の測量成果で得られる地形データと併せて解析するため、データ間の位置の整合を得るために測量精度が求められます。そして今回研究するのが、ドローンで空撮を行いそのデータを元に3次元モデルを作り、樹種判別した際の樹種の数量を求め、市況を元に販売予測をします。この研究の精度が上がれば、毎木調査をすべてドローンで行えるとともにより良い森林整備が可能で

## 2 具体的な取組

### (1) 調査地と収穫調査の流れ

調査地は、瀬尻国有林 880 ろ林小班（静岡県浜松市天竜区龍山町瀬尻）の 0.65 ha です。センターの開発した収穫調査手法は図 1 の流れで行いました。

### (2) 空中写真の撮影と 3 次元モデルの作成

ドローンを使って空中写真の撮影を行いました。ドローン Phantom4 RTK を使い、高度 100m、ラップ率 85%、ドローンに決められた区画と高さ、何分間撮影するかをプログラミングして飛行させます。撮影エリアを広くしたい場合は、ドローンを高く飛ばします。しかしあまり高い位置で撮影をすると、樹種の判別が

できない場合があります。ドローンでの空中写真の撮影のデータを元に、3次元モデル、表層モデル（DSM）、オルソ画像の生成を行います。この作業

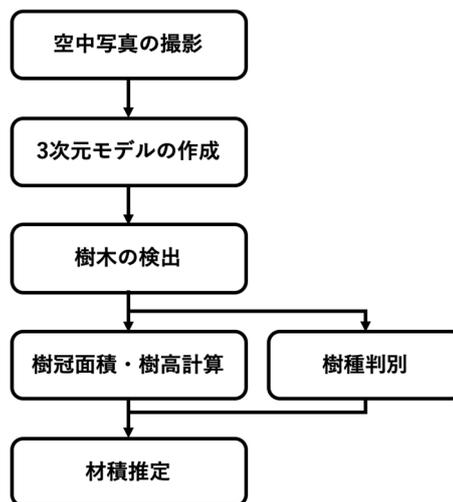


図 1 ドローンを利用した立木調査の流れ



図 2 調査地の 3 次元モデル



図 3 調査地の 3 次元モデル（別角度）

により森林の状態を空中写真よりもわかりやすくなります。また次の段階の樹木の抽出が行えます。

### (3) 樹木の検出

先ほど作った 3 次元モデルを活用して、単木抽出を行います。3 次元モデルを使い、樹頂点を 1 本 1 本見つけていく作業を行います。この際に使うのが (drone2cw) というプログラムです。この作業を行うことにより、次の樹冠面積・樹高計算と樹種判別の作業が行えます。



図 4 3次元モデルからの単木抽出の結果

### (4) 樹冠面積と樹高計算

樹高は、上記で得られた樹頂点の標高と地面の標高の差分により求め、地面の標高は、国土交通省 (航空レーザー測量) のデータを活用しました。

### (5) 樹種判別

ドローンの空中撮影画像を元にして作成された 3 次元モデルを使って、森林・林業研究センターが作成したディープラーニングを使った判別プログラムを用いて、樹種判別を行いました。

ディープラーニングを使った判別プログラムは次のように作成します。まず、ドローンで多くの現場の空撮を行い、PC を使って区切られた画像をすべて 1 本 1 本人の目で、スギ・ヒノキ・その他の樹種の 3 つのグループに選別します。この画像と正解の組み合わせを、ディープラーニングという手法でコンピュータに学習させます。



図 5 樹種分類に用いる画像データと樹種区分による立木表示の例

### (4) 樹冠面積と樹高計算

樹高は、上記で得られた樹頂点の標高と地面の標高の差分により求めました。地面の標高は、国土交通省 (航空レーザー測量) のデータを活用しました。

一方で、3 次元モデルからオルソ画像を生成し、プログラムにて樹木単位で樹種判別を行いま

した。プログラムは、センターが静岡県内のスギ・ヒノキ人工林で収集したデータで作成したディープラーニングのモデルで、今回は、その正解率を検証するために行いました。さらに、材積を推定するために現地調査を行い、材積と、樹高・樹冠面積・樹種の関係性を統計モデルとして表しました。こうして得られた林分内に生育する樹木の樹種別の本数・材積を、森林管理署の収穫調査データと比較して精度を検証しました。

#### (5) 材積推定

まず、ドローンでは直接観測できない胸高直径を推定しました。胸高直径は、樹高・樹冠面積・樹種との関係式に表し推定しました。関係式は、一般化線形モデル (GLM) と呼ばれる回帰分析の一種で、複数の因子から目的の数値を推定することができます。

次に、ドローンで観測した樹高と、上の推定式より求めた胸高直径から立木幹材積表を使用し、幹材積を求めました。これらのことから幹材積を推定することができます。

### 3 取組の結果

#### (1) 本数と幹材積

センターで開発したドローンによる収穫調査を行ったところ、総材積は  $326\text{m}^3$  と計算され、毎木調査  $341\text{m}^3$  に対して 4% の誤差がありました。総本数は、ドローンで 360 本に対して毎木調査 495 本で 27% の誤差がありました。ドローンでは下層木を検出できないため本数に大きな誤差が生じたと考えます。また樹種判別は、画像から確認した 358 本のうち 317 本 (91.3%) で正解が得られました。

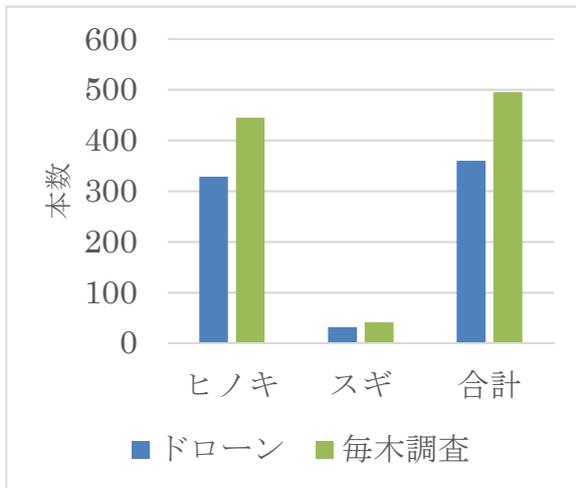


図6 ドローン調査と毎木調査での立木本数

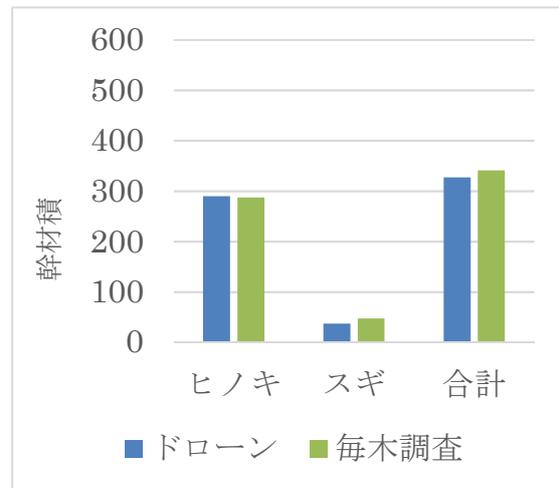


図7 ドローン調査と立木調査での幹材積

#### (1) 利用率と販売材積

今回の調査地は国有林であるためおおまかに利用の割合が決まっています。市場に 60%、チップ材に 30%、林地残材に 10% という割合です。図 9 を参考にすると、ドローンでの調査・毎木調査・販売実績ともにほぼ同じ数値が得られました。このデータにより、ドローンによる調査は毎木調査と同等の精度で計測できることが分かりました。

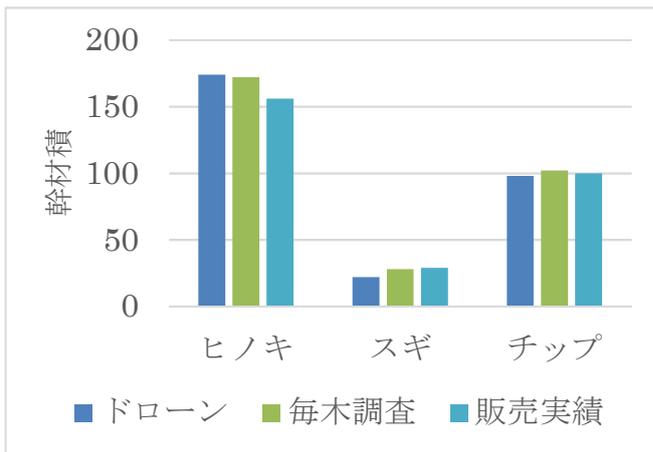


図8 ドローン調査と毎木調査から予測した販売材積と販売実績

#### 4 まとめ

ドローンでの調査結果と毎木調査での結果を比較したところ、大体同じような結果を得ることができました。また販売実績と比較した際にも、同様な結果を得ることができたため、ドローンによる調査の精度は毎木調査と同等の精度であると言えます。しかし、下層木の見落としや、立木の曲がりの有無までは計測できていないため今後の課題です。そして現在の実証できているのは1カ所しかないため、今後実証地を増やして検証していく必要があります。