

林 業 分 科 会

レーザ計測を活用した森林情報の把握と活用

担 当	林業研究室 森林環境グループ ○山田 隆信・村上 勝
研究課題名 研究年度	情報通信技術(ICT)を活用した林業経営の効率化 平成31年～令和3年

背 景

近年の ICT の技術革新に伴い、林業分野においても高精度な森林情報の効率的な把握や、生産現場における無駄のない工程管理など、新たな生産管理手法に関する研究が進められている。県内の木材生産を担う中核的経営体を核に、これら新技術を活用した経営の効率化を進め、需要に的確に応える生産力の増強が求められている。

目 的

ICT を活用した「新たな生産管理手法」の導入により、中核経営体の生産性や経営効率を高め、本県の木材供給体制を強化するため、レーザ計測等を活用した遠隔探査技術の導入による、調査業務の省力化の実施とこれにより取得した高精度な森林情報の検証を行う。

成 果

1 調査業務の省力化

表 1 に示す調査方法により、3 か所で地上レーザ計測と実測による毎木調査（胸高直径、樹高）の比較検証の結果を以下に示す。

- (1) 地上レーザ計測の ha あたりの調査時間は実測に対し平均 31% と短く、1 本あたりの計測時間も 32% と短い(表 2)。
- (2) 地上レーザ計測の精度は、実測に対し胸高直径は平均誤差 1.1cm 平均誤差率 4.0% と精度は良いが、樹高は平均誤差 3.4m 平均誤差率 14.4% と胸高直径と比較し精度が悪い(表 3)。
- (3) 地上レーザ計測は、毎木調査では得られない立木形状や立木位置図や地形図が高精度な電子データとして得られるため、計画作成時などの省力化につながる(図 1、2、3)。

2 資源段階、生産段階、流通段階の原木資源量精度検証

(1) 原木本数と材積の検証

地上レーザ解析結果の原木生産予測（資源段階）と、検知機能付きハーベスタの素材生産データ（生産段階）と、原木の販売結果（流通段階）を比較した(表 4)。現行のシステムでは各段階間の誤差があるが、樹高補正や末口二乗法の計算方法の統一などで精度を上げることが確認できた。

(2) 等級の検証

最大矢高(曲がり)で判断される原木の等級は、原木に玉切られた後に原木市場で選別されるため、資源段階、生産段階での等級判断は現行のシステムでは困難である(表 5)。

表1 毎木調査方法

調査方法	計測用具	計測人数
レーザ計測	森林3次元計測システムOWL	2人
実測	樹高：超音波測定器 (VertexIV) 胸高直径：直径巻尺	2人

表2 地上レーザ計測と実測による毎木調査比較調査結果

調査地	樹種	レーザ計測(a)					実測(b)					効率 (a/b)	
		面積 ha	調査本数 本	実時間 h:m	haあたり 計測時間 h:m/ha	1本あたり 計測時間 h:m:s/本	面積 ha	本数 本	実時間 h:m	haあたり 計測時間 h:m/ha	1本あたり 計測時間 h:m:s/本	haあたり 計測時間	1本あたり 計測時間
美祢市大田	スギ	1.08	1041	5:00	4:37	0:00:17	0.13	122	2:30	19:13	0:01:14	24.1%	23.4%
萩市檜皮	スギ	0.10	147	1:10	11:40	0:00:29	0.10	147	3:30	11:00	0:01:45	33.3%	27.2%
山口市宮野	ヒノキ	0.09	98	0:33	6:06	0:00:20	0.09	98	1:29	16:28	0:00:45	37.1%	45.4%
平均					7:28	0:00:22				23:34	0:01:14	31.5%	32.0%

※ 美祢市大田の実測は、レーザ計測地内に標準地を設置し、実施した。

表3 地上レーザ計測の精度

	胸高直径(cm)		樹高(m)	
	誤差平均	誤差率	誤差平均	誤差率
美祢市大田	1.3	4.4%	3.3	13.1%
萩市檜皮	1.0	3.8%	3.1	13.5%
山口市宮野	1.0	3.8%	3.7	16.7%
平均	1.1	4.0%	3.4	14.4%

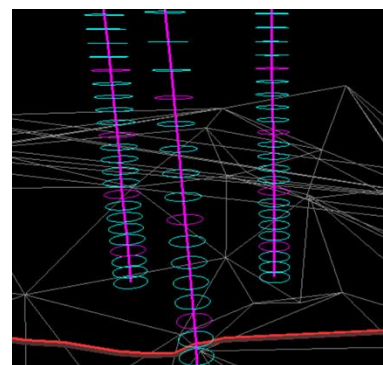


図1 立木形状

表4 各段階の原木量比較(美祢市大田)

	資源段階		生産段階			流通段階	
	本数	材積※1	本数	材積※2	材積※3	本数	材積※4
原木3m材	2,088	268.5	901	86.3	95.7	881	81.6
原木4m材	777	143.6	1,268	251.6	288.8	1,305	291.9
小計	2,865	412.1	2,169	337.9	384.4	2,186	373.5
バイオマス	—	51.6	—	79.1	80.1	—	155.6
合計	—	463.7	—	417.0	464.5	—	529.1

※1 地上レーザデータを採材計画作成システムで解析(末口二乗法)

※2 ハーベスタ検知システムの検知材積データ(実測値)

※3 ※2データを末口二乗法で再計算

※4 原木市場およびバイオマスセンター販売実績(末口二乗法)

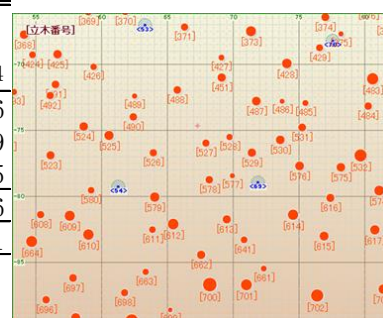


図2 立木位置図

表5 各段階の原木等級比較(美祢市大田)

等級	内訳	資源段階※1	生産段階※2	流通段階※3
直(A材)	本数	1,777	270	676
	割合	65.3%	9.9%	24.8%
小曲(B材)	本数	968	1,816	441
	割合	30.0%	56.3%	13.7%
曲(C材)	本数	120	84	1,070
	割合	9.4%	6.6%	84.0%

※1 資源段階は、OWLデータを採材計画作成システムで解析

※2 生産段階は、ハーベスタオペレータの目視判断

※3 流通段階は、原木市場販売実績

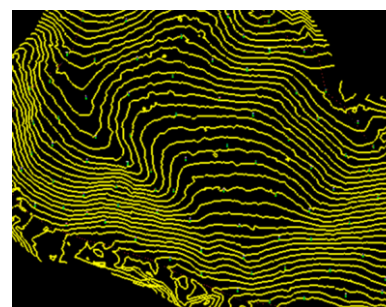


図3 地形図

主伐に対応した新たな低コスト作業システムの確立

担 当	林業研究室 生産利用グループ ○村上 勝・山田 隆信
研究課題名 研究年度	主伐に対応した新たな低コスト作業システムの確立 平成31年～令和4年

背 景

戦後造成されたスギ・ヒノキ人工林は成熟し、本格的に循環利用することが可能な段階を迎えており、今後は、主伐の増大による国産原木の安定供給に高い期待が寄せられている。

これを背景に、県内の大型製材工場や木質バイオマス発電施設、隣接県での合板工場等における木材需要は旺盛であるが、本県の林業現場では、生産性の低さから木材供給量は極めて低位な状況にあり、原木増産体制の強化が求められている。

一方、伐採後の再造林を行うには、森林所有者への収益還元が不可欠であることから、伐採から植栽までのトータルコストの低減を図ることが重要となっている。

目 的

主伐に対応可能な大型の高性能林業機械を活用し、木材生産から伐採後の再造林までを一体的かつ効率的に行う「一貫作業システム」を確立する。

成 果

1 日報調査（伐採・搬出作業）

(1) 労働生産性は、 $9.2 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{日}$ であり、先進地域の九州平均 $8 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{日}$ を上回り、大型高性能林業機械（ハーベスタ、フォワーダ）の活用による作業の有効性が認められる（表1、表2、図1、図2）。

(2) 作業工程では、運搬工程の割合が33%と高く、作業のボトルネック※となっている（図3）。※ボトルネック：生産効率の低下を招く要因（工程）

2 プロット工程調査（伐採・搬出作業）

(1) システム生産性は $3.82 \text{ m}^3/\text{時}$ 、1日（7時間）当たりでは、 $26.71 \text{ m}^3/\text{日}$ である（表3、表4）。

(2) ボトルネックである運搬作業の改善により、作業システムの生産性向上が見込まれる（図3、表4）。

表 1 調査地の概要①

○市町名	美祢市	○平均樹高 (m)	17.7
○事業地名	田ノ尻2	○平均胸高直径 (cm)	32.3
○所有者	市	○平均立木材積 (m ³)	0.7
○面積 (ha)	1.07	○総材積 (m ³)	646.4
○樹種	スギ一部ヒノキ	○事業者	カルスト森組
○林齢 (年生)	57	○開設作業道 (m)	250
○立木本数 (本)	923	○既設作業道幅 (m)	530
○ha当り本数 (本)	863	○傾斜角度 (度)	16.3

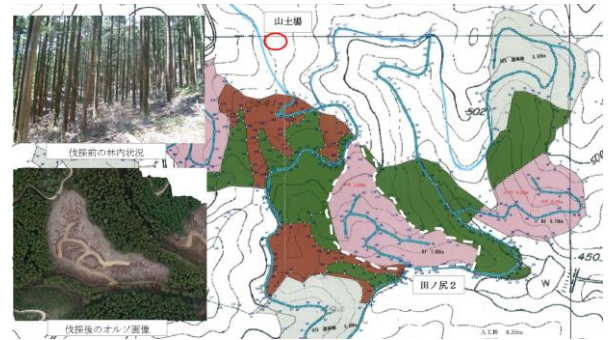


図 1 調査地の概要②

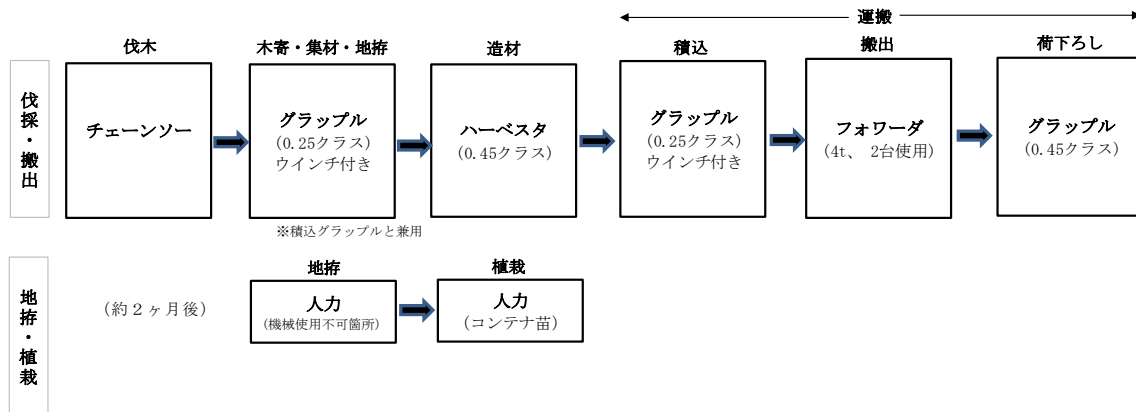


図 2 作業システム

表 2 日報調査

区分	搬出量 (m ³)	作業日数 (日)	作業延人数 (人)	作業時間 (時間)	労働生産性 (m ³ /人・日)
伐採・搬出	529.3	23	57.5	403.5	9.2

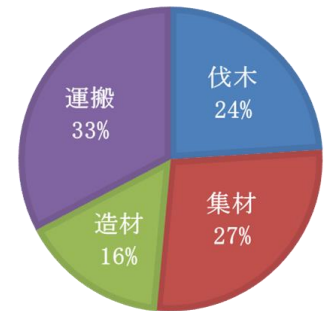


図 3 作業工程の割合

表 3 プロット調査地の概要

○面積 (ha)	0.13
○樹種	スギ一部ヒノキ
○立木本数 (本)	110
○ha当り本数 (本)	846
○立木材積 (m ³)	61.1
○平均立木材積 (m ³)	0.6
○搬出材積 (m ³)	36.4

表 4 プロット工程調査の生産性

工程	使用機械	生産性 (m ³ /時)	生産性 (m ³ /日)
伐木	チェーンソー	19.24	134.68
集材	グラップル	15.29	107.03
集材 (ウインチ)	グラップル	7.74	54.21
造材	ハーベスタ	13.26	92.81
運搬	グラップル・フォワーダ・グラップル	7.27	50.91
システム生産性		3.82	26.71

新たな品種等の導入による低コスト再造林技術の確立	
担 当	林業研究室 森林環境グループ ○渡邊 雅治
研究課題名 研究年度	新たな品種等の導入による低コスト再造林技術の確立 平成31年～令和6年

背 景

戦後造成されたスギ・ヒノキ人工林は成熟し、本格的に利用可能な段階を迎えており、今後、伐採・利用の増大が見込まれる。

このようななか、森林の多面的機能を維持・発揮させつつ、森林資源の循環利用を図るためには、伐採後の確実な再造林の実施が必要となるが、その推進には森林所有者への収益還元率の向上が不可欠であり、造林から伐採までのトータルコストの低減による低コスト施業体系の確立が急がれる。

目 的

成長の早いスギ・ヒノキ新品種“特定母樹”^{※1}や近年着目される“早成樹”^{※2}の導入による低コスト施業体系の確立を図る。

※1 特定母樹とは、優良な種苗を生産するための種穂の採取に適する樹木で、成長等に優れたものを農林水産大臣が指定したもの（当該試験では、三重県で特定母樹の種子から育成したF1苗の譲渡を受けて使用）

※2 早成樹とは、従来の造林樹種よりも特に成長が早く、比較的短伐期で収穫が可能な樹種の総称

成 果

1 スギ・ヒノキ特定母樹の試験植栽・調査

スギ・ヒノキ特定母樹（図1）による試験地を設定し、生育調査・下刈り省略の検討を行った。その結果、下刈り省略の検討では、植栽地の条件に応じて、省略可否の検討を要することが分かる（図2）。

2 早成樹の試験植栽・調査

早成樹として、コウヨウザン・センダンの植栽試験地（図3）を設定し、生育調査・病虫獣被害の調査、センダン特有の施業“芽かき”の実施・検証等（図4）を行った。その結果から、各樹種の病虫獣害の実態（図5）、センダン優良材生産における芽かきの有用性、植栽地の条件による成長差等（図6）が分かる。



図1 試験地設定に使用した特定母樹 (F 1) コンテナ苗



図2 スギ特定母樹試験地 (萩市基盤ヶ嶽) : 下刈り前 (左) と後



図3 センダン植栽試験地 (美祢市東厚保)

図4 センダンの芽かきと芽かき後のセンダン



図5 センダンを後食するゴマダラカミキリ (左) と後食痕 (右)

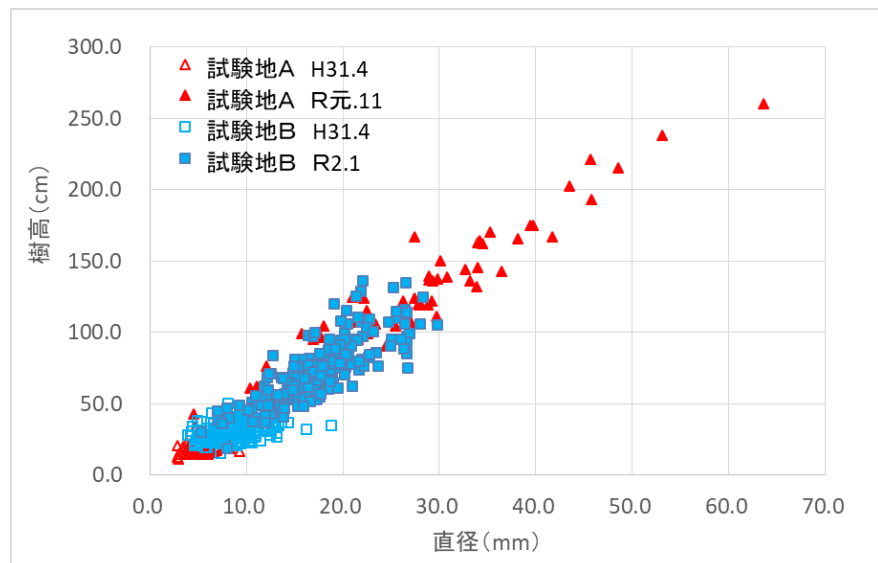


図6 センダン植栽後の樹高・直径分布の変化

コンテナ苗の低コスト生産技術	
担 当	林業研究室 生産利用グループ ○小野谷 邦江・井上 祐一*・上田 和司**・大池 航史***
研究課題名 研究年度	コンテナ苗生産の低コスト化に向けた研究 平成 28 年～令和元年

背 景

戦後造成された本県のスギ・ヒノキ人工林は成熟期を迎え、今後は森林資源の循環利用の推進が重要であり、それに伴い伐採後の植栽に必要な苗木需要が見込まれている。

再造林の着実な実施には、森林所有者への十分な利益還元が不可欠であり、伐採から植栽までのトータルコストの低減を図る「一貫作業システム」に対応したコンテナ苗（図 1）の低価格化が求められる。

目 的

従来の裸苗より価格が 2 倍相当高いコンテナ苗について、低コストで育苗できる技術を開発し、一貫作業システムの定着化の推進を図る。

成 果

1 新たな育苗資材等

(1) 培地の低コスト化

一般に使用されるココピートオールド（以下、ココピ）に、安価で容易に調達できる資材（おが粉）を配合して育苗試験を行った。その結果、スギ・ヒノキともに配合率 50%において、ココピ 100%と同程度の成長を確認した（図 2、3）。これにより培地経費を 45%削減できる。

(2) 容量の縮小化

コンテナ容器の縮小化を図るため、容量 300cc と 200 cc の場合とで成長比較を行った（培地：ココピのみ）。その結果、どちらも平均値は規格苗以上に達したが、比較苗高（苗長/根元径）は、300cc では 90 前後（スギ 87・ヒノキ 96）、200cc では 77（スギ 77・ヒノキ 77）となり、300cc は徒長傾向が強く、育苗は 200cc で適当と判断した（表 1）。これにより培地経費を 1/3 削減でき、上記(1)とあわせて 68%削減できる。

2 生産・管理方法別の育苗方法

(1) 光環境の違いによる得苗率の比較

遮光率による得苗率等の違いを比較するため、遮光率 0%（図 4）と 30%（図 5）の条件下で 1 年生幼苗の育苗を行った。

その結果、スギ・ヒノキともに遮光率 0%の方が良好な成長を示し、特にヒノキは差が大きくなった。これによりコンテナ苗を 2 年生苗で出荷する場合、コンテナ移植後の 2 年目の育苗は露地で可能と分かる（データ省略）。

*現萩農林水産事務所森林部 **現森林整備課 ***現森林企画課



図1 コンテナ苗

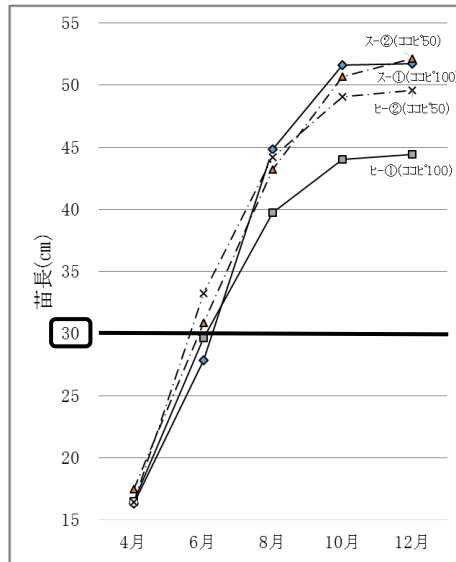


図2 培地別の苗長推移

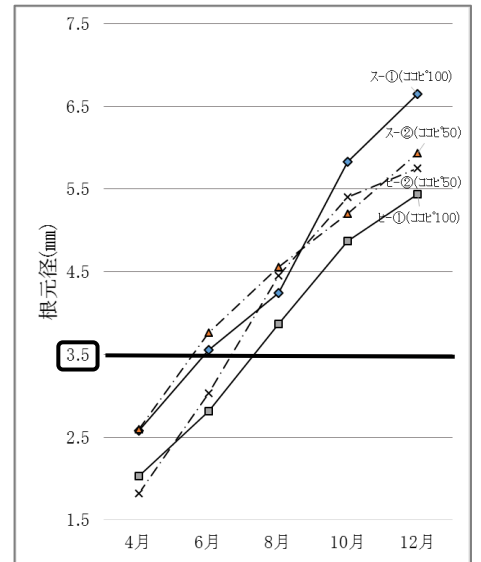


図3 培地別の根元径推移

※1 図2、3において遮光率0%、容量200cc
 ※2 規格：苗長30cm上、根元径3.5mm上

表1 コンテナ苗育苗試験区一覧

試験区	樹種	遮光率	容量	使用培地及び配合率	供試数	苗長		根元径		比較苗高
						平均	SD	平均	SD	
		%	cc	%	本	cm	cm	cm	cm	
ス-①	スギ	0	200	ココピ100	28	51.8 ± 11.9	6.6 ± 1.8	78		
ス-②	スギ	0	200	ココピ50、おが粉50	28	52.1 ± 12.6	5.9 ± 1.5	88		
ス-③	スギ	0	300	ココピ100	40	52.4 ± 11.6	6.4 ± 1.6	82		
ス-④	スギ	0	300	ココピ50、おが粉50	40	56.6 ± 12.7	6.6 ± 1.6	86		
ス-⑤	スギ	30	200	ココピ100	28	49.6 ± 8.9	6.6 ± 1.1	75		
ス-⑥	スギ	30	200	ココピ50、おが粉50	28	46.3 ± 9.8	6.8 ± 1.7	68		
ス-⑦	スギ	30	300	ココピ100	40	62.1 ± 14.0	6.8 ± 1.2	91		
ス-⑧	スギ	30	300	ココピ50、おが粉50	40	49.9 ± 11.4	6.6 ± 1.7	76		
ヒ-①	ヒノキ	0	200	ココピ100	28	44.4 ± 8.6	5.4 ± 1.4	82		
ヒ-②	ヒノキ	0	200	ココピ50、おが粉50	28	49.6 ± 7.3	5.7 ± 0.7	87		
ヒ-③	ヒノキ	0	300	ココピ100	40	51.4 ± 9.2	5.3 ± 1.0	97		
ヒ-④	ヒノキ	0	300	ココピ50、おが粉50	40	55.3 ± 6.4	5.8 ± 0.8	95		
ヒ-⑤	ヒノキ	30	200	ココピ100	28	37.3 ± 7.2	5.1 ± 0.8	73		
ヒ-⑥	ヒノキ	30	200	ココピ50、おが粉50	28	34.0 ± 7.9	4.7 ± 0.9	72		
ヒ-⑦	ヒノキ	30	300	ココピ100	40	50.8 ± 10.5	5.3 ± 1.2	96		
ヒ-⑧	ヒノキ	30	300	ココピ50、おが粉50	40	47.1 ± 10.3	4.9 ± 1.0	96		

※1 基肥は緩効性肥料(商品名ハイコントロール(肥効360日))を使用。基肥量は3.6g/セル
 ※2 供試苗は、苗畑で育苗した1年生幼苗を3月にコンテナ(Mスター)へ移植したもの



図4 遮光率0%(露地)



図5 遮光率30%(寒冷紗)

抵抗性クロマツ植栽後の枯死推移	
担 当	林業研究室 森林環境グループ ○千葉 のぞみ・杉本 博之*・大池 航史**
研究課題名 研究年度	コンテナ苗生産の低コスト化に向けた研究 平成 28 年～令和元年

背 景

クロマツは、台風等による強風・飛砂・潮害から市街地や農地を守る重要な樹種であるが、マツ材線虫病（松くい虫）被害によって多くが枯死し、保安林機能の低下や地域の生活環境等への影響が懸念されている。

この対策として、80年代に公的林業試験場の共同により、激害地から選抜された生存個体から一定の抵抗性を有する「抵抗性クロマツ」が創出され、各地で植林された。しかしながら、抵抗性クロマツにおいてもマツ材線虫病による枯損被害が発生しており、実態把握が求められている。

目 的

抵抗性クロマツ植栽地の枯損調査結果から、品種毎の被害推移について実態把握を行う。

成 果

1 植栽地の実態把握

- (1) 試験地設定時の生存個体のDNAを調査した結果、両親ともに抵抗性クロマツの割合が片親抵抗性クロマツ（花粉親が園外花粉）の割合より多い（図1）。
- (2) 3試験地で生存個体の両親についてランク^{*}別に経年推移を分析した結果、抵抗性の強いランク4を親に持つ個体の割合が増加したことから、苗木段階での抵抗性の強さが成木でも維持されることが推察できる（図2）。

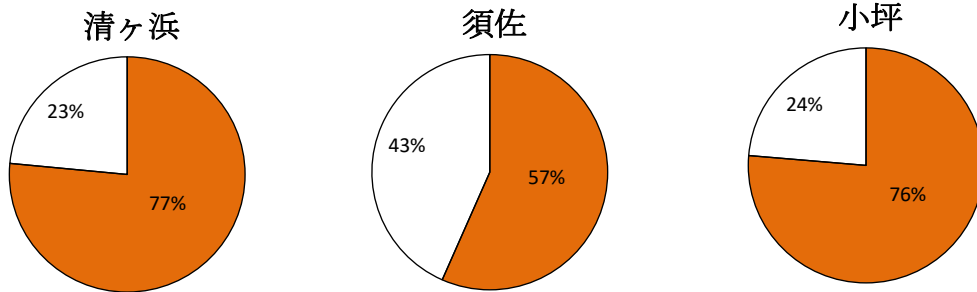
^{*}ランク：抵抗性マツの品種は、苗木への線虫接種試験の結果から、抵抗性の強さがランク付けされており、西日本では九州と関西のランク付けがあるが本試験では関西の評価を用いた。また、ランクは1～5段階で評価されており、数字が大きくなるほど抵抗性が強い（本試験地は、関西のランクで2～4のランクで構成されている）。

^{*}寄与率：DNA鑑定の結果を元に全交配親数（生存個体×2）に占める各ランクが親として寄与した個体の割合

* 現岩国農林水産事務所森林部 ** 現森林企画課

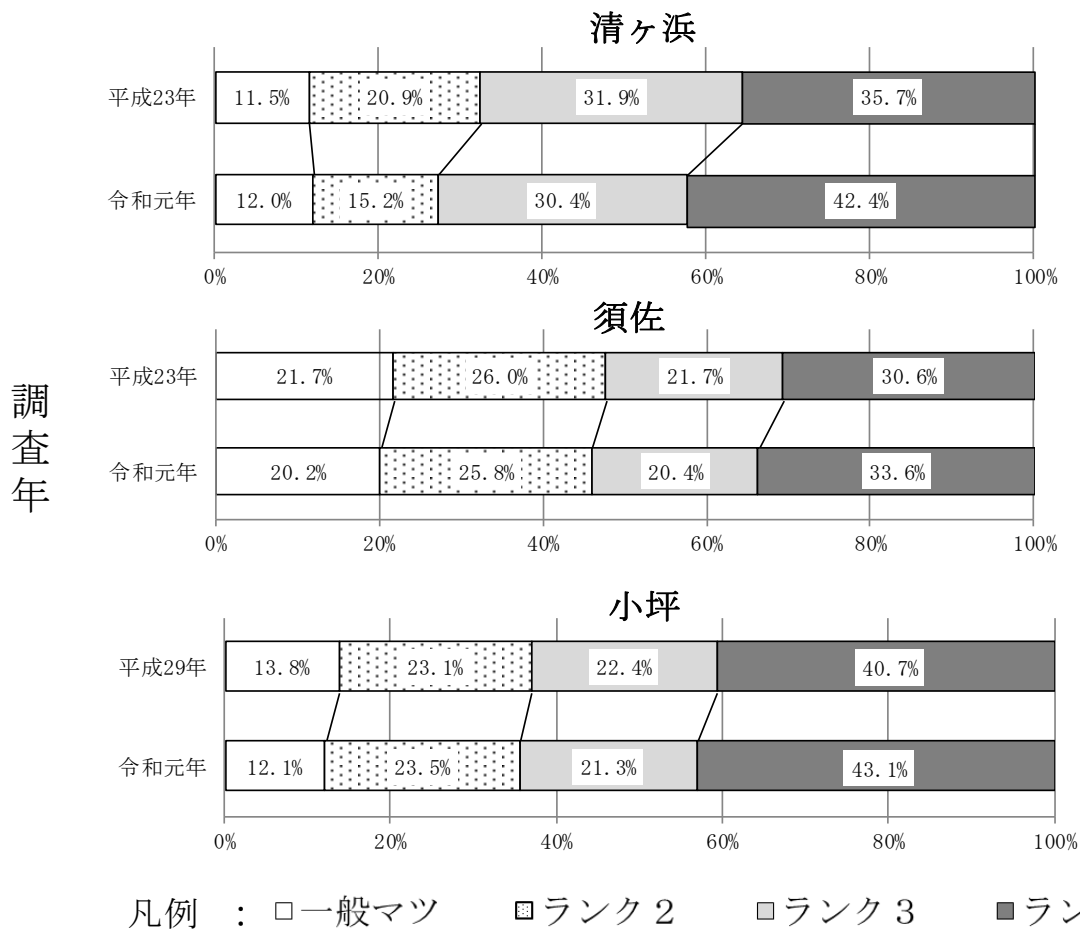
表 1 試験地概要

試験地	植栽年度	調査本数	場所	DNA調査年	試験地設定年	防除有無
清ヶ浜	2004	183	阿武町大字木与字松原	2011	2011	有
須佐	1998	431	萩市大字平田	2011	2011	無
小坪	2002	134	宇部市大字東岐波字日ノ山	2017	2017	年により防除実施



凡例 : ■ 抵×抵 □ 抵×一般

図 1 調査開始時生存木の交配組合せ割合



凡例 : □ 一般マツ ■ ランク 2 □ ランク 3 ■ ランク 4

図 2 ランク別寄与率*

冬期の除草剤竹稈注入によるモウソウチク駆除の効果

担 当	岩国農林水産事務所森林部 ○杉本 博之・岡崎 佳子*・小原 宏也**
研究課題名 研究年度	情報提供

背 景

近年、管理されず放置された竹林が繁茂拡大し、周辺の森林を衰退させるなど問題となっている。主な対策は竹林を皆伐し、広葉樹等を天然更新させる方法であるが、皆伐後、再生竹が発生するため、竹林を根絶させるには、一定期間、再生竹を刈る必要がある。また、天然更新には更新樹種を残しながら再生竹を刈る必要があり、作業が煩雑になる。一方、除草剤を用いた方法は、初期費用は掛かるが根が枯死するため、再生竹の発生が抑制され、天然更新しやすくなる。今回、駆除時間を短縮し天然更新を早めるため、後者の方法で、薬剤散布に比べ、環境への影響が少ない竹稈への薬剤注入を検討した。本法の薬剤使用時期は夏から秋期であるが、夏は蚊が多く作業を妨げ、秋のみでは使用時期が短く駆除可能量が限定される。そこで、使用時期の拡充の可能性を検証するため、冬期の駆除効果を確認した。

目 的

冬期の除草剤竹稈注入によるモウソウチク駆除の作業工程と駆除効果を調査検証する。

成 果

- 1 除草剤はグリホサートカリウム塩液剤を用い、平成31年2月7日・25日に竹稈1本当たり10mlを注入した。方法はインパクトドリルで孔を開け、その中に分注器を用い薬剤を注入し、木栓で蓋をする(図1)。作業工程は、器材の使い勝手から開孔と注入・閉孔に分類し調査した。
- 2 傾斜地(30℃以上)と平坦地の竹(各100本)にNo.を付け作業工程を計測し、千本当りの人役を算出し比較した。その結果、開孔と注入・閉孔は、傾斜地が0.21、0.61人/千本、平坦地が0.19、0.52人/千本であった(表1)。
- 3 次に実務を想定した場合、実施済みのタケを確認するため印を付ける工程が必要となる。実務を想定した結果、印を付けることや印を付けた竹の探索に時間が掛かり人役は、1.37人/千本であった(表1)。
- 4 枯死状況は4月に黄変と一部落葉が、5月に大部分が落葉し、駆除効果を確認した7月11日にはほとんどのモウソウチクが枯死した(図2)。
- 5 葉が全部落葉した竹を枯死とした結果、竹稈注入したモウソウチクの枯死率は97.5%(195/200本)であった。

*現周南農林水産事務所森林部、**現森林整備課



図1 除草剤の竹稈注入方法

- A 地上1 m以下の節の下3 cmに木栓の径に準じた孔を開ける
- B 分注器等を用い、孔から薬剤が漏れないように規定量の薬剤を入れる
- C 注入後、孔から雨滴が入らないように木栓で蓋をする

表1 作業区分ごとの時間と千本当りの作業人役

区分	作業	開孔		印		注入・閉孔		印		計
		1本当り時間(秒)	人/千本	1本当り時間(秒)	人/千本	1本当り時間(秒)	人/千本	1本当り時間(秒)	人/千本	
傾斜地	基本	5.98	0.21	—	—	14.77	0.51	—	—	0.82
	(薬剤入替)	—	—	—	—	—	0.04	—	—	
	No.有 (薬瓶洗浄)	—	—	—	—	—	0.06	—	—	
	人役計		0.21				0.61			
平坦地	基本	5.34	0.19	—	—	12.3	0.43	—	—	0.71
	(薬剤入替)	—	—	—	—	—	0.04	—	—	
	No.有 (薬瓶洗浄)	—	—	—	—	—	0.06	—	—	
	人役計		0.19				0.52			
傾斜地	基本	8.94	0.31	4.66	0.16	19.2	0.67	4.02	0.14	1.37
	(薬剤入替)	—	—	—	—	—	0.04	—	—	
	No.無 (薬瓶洗浄)	—	—	—	—	—	0.06	—	—	
	人役計		0.31		0.16		0.76		0.14	

※ 1日の作業時間は8時間として算出した

注入には分注器への薬剤の入れ替え、使用後の薬瓶の洗浄を伴うため、千本当りの値を算出し加算した

印とは作業実施済みのタケが分かるようにチョークでタケに一周印を付けた時間



図2 除草剤を竹稈注入処理したモウソウチク (左: 5月、右: 7月)

