

I 森林技術部門

機械による掻きおこし箇所の天然更新及び下刈省力化への効果の検証

中信森林管理署 一般職員 ○田中 晶也
 横山木材有限会社 総務部長 ○小口 眞澄

1 はじめに

近年、人工林の多くが伐期を迎え主伐面積が増加するのに伴い、低コスト再造林技術の開発・導入が進められています。特に、再造林コストの6割を占める地拵じごしらえ～下刈までの初期費用の低減は大きな課題となっています。

その課題の解決に向け、当署では機械地拵による掻きおこしに注目しました。掻きおこしとは、ササ類が密生する林床をササの根系ごと除去する地表処理のことです。これまでの研究成果で、下刈回数の削減や実生生存率の増加が示唆されていることから、その効果が当署管内においても発揮されるのか、横山木材有限会社協力のもと試験地を設定し、県内有識者助言のもと効果の検証を行いました。

2 方法

(1) 試験地概要



図-1 試験地位置図

試験地は、長野県安曇野市にある唐沢国有林218へ・ぬ林小班に位置しています(図-1)。

今回は、令和3年度に複層伐施業を行った跡地に、掻きおこし試験地を2か所設定し(図-2、3)、A～Bの3プロットに分割しました(表-1)。A・Bは掻きおこしみの施業、プロットCは掻きおこしに加え、植栽も行いました(カラマツコンテナ中：平均樹高33cm)。

周辺林況は、プロットAがスギ・ヒノキ、プロットB・Cではカラマツが主体となっています。そのほかの試験地の特徴として、平坦であること、林床にササが密生していること等が挙げられます。

また、全てのプロットにおいて令和6年度まで下刈を省略しています。

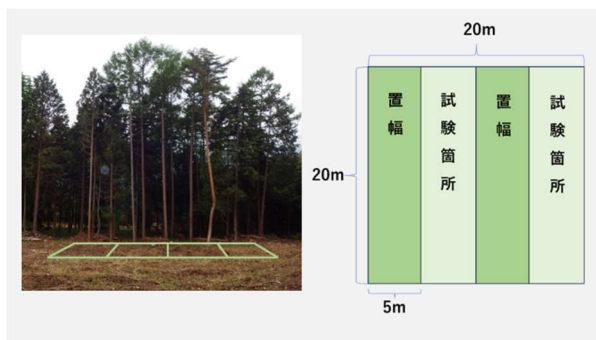


図-2 Aプロット概要

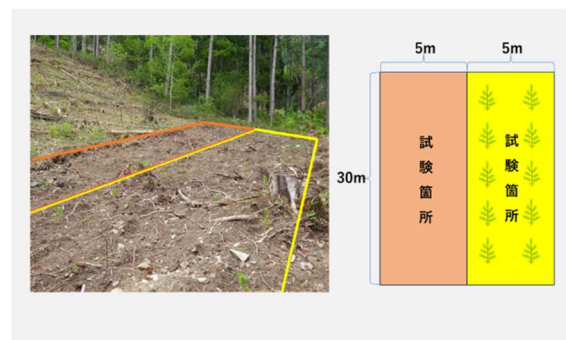


図-3 B・Cプロット

表-1 試験地概要

試験地名	所在地	標高 (m)	面積 (㎡)	地拵仕様	植栽樹種	植栽苗	植栽本数 (本)	伐採前の樹種		作業年月	
								伐出	地拵え	地拵え	植栽
A			400	筋状	無植栽	-	-	スギ・ヒノキ			
B	安曇野市	1000	150	全面	無植栽	-	-	カラマツ	2021.12	2022.4	2022.4
C			150	全面	カラマツ	コンテナ	36	カラマツ			

(2) 掻きおこし作業について

本作業には横山木材有限会社所有の地拵レーキを用いました。作業方法やレーキの仕様については、南佐久北部森林組合様の指導のもと導入しており、普段の作業ではグラップルと併用し、地拵時の枝条整理に使用しています。

広範囲の枝条が収集可能であること、枝条を集める際に若干量の表土を剥ぐことができたことから、今回の取組に活用できるのではないかと考え、作業に取り入れしました。大と小の2基を所有しており、柄に丸太（大は5～6m、小は4～5m）を取り付け、傾斜や事業規模に応じて使い分けています。今回は試験地が狭かったことから、幅1.3mの「小」のレーキを使用しました（図-4）。



図-4 地拵えレーキ

(3) 調査について

ア 下刈省力化

掻きおこし+植栽を行ったプロットC（36本）と通常的地拵+植栽を行った同じ伐区内の植栽列を対象として競合植生を調査しました。各植栽木を中心として1m×1mのコドラートを設定し、①植栽木の樹高（cm）②植生タイプ（高茎草本、ササ、低い草本）③最大植生高（m）を調査し、その結果から④競合状態の指標（図-5）を評価しました。

また、調査は地拵から3年後（R6.7.6）に実施しました。

イ 天然更新

掻きおこしを実施したプロットA・Bを対象として、落下種子調査を実施しました。両プロットにシードトラップを設置し令和4年9月～11月まで2週間ごとに中身を回収、種を同定しました。

プロットAは大サイズ（捕捉面積1㎡）を3基、プロットBには小サイズ（捕捉面積0.125㎡）を6基それぞれイボ竹3本を立て針金で地表から1.3m地点に固定しました（図-6）。トラップの転倒防止のため、あらかじめおもりを入れています。

また、前述した両プロットに2×20mの帯状標準地を設け、天然更新本数について調査しました。プロットAには2本、プロットBには1本を設定し、樹高1cm以上の全ての木本稚樹について種名と樹高を記録しました。

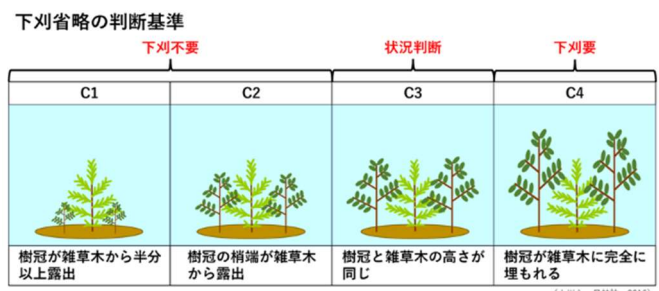


図-5 競合状態の指標



図-6 シードトラップ設置状況（プロットA）

3 結果

(1) 掻きおこし作業について

地拵レーキを地表面を深く削る作業に用いるのは初めてであったため、作業工程への不安や十分な強度で掻きおこしができるかといった懸念点があげられました。

しかしながら、作業後の施工地はササの根系を含めた地表面をしっかりと剝離することができており、地拵レーキにおいても十分な掻きおこしを実施できていました。

作業にあたったオペレーターからは、「未経験の作業であったため慣れるまでには時間がかかったが、通常のパケット作業と比べると、幅も広くより遠くまで効率的に作業できた。」との感想もあり、改良することでさらに効果的に作業が実施できるのではないかと期待も感じる結果となりました。



図-7 地拵後のプロットA

(2) 下刈省力化について

プロットCでは施業から3年後もC1・C2の割合が全体の約7割を占め、植栽木が周囲の雑草木からの被圧を回避していることから、下刈は不要であることが確認されました(図-8、9)。

一方、比較対象とした通常地拵の植栽列では、全ての植栽木がC4の状態であり、下刈が必要である結果となりました(図-10)。

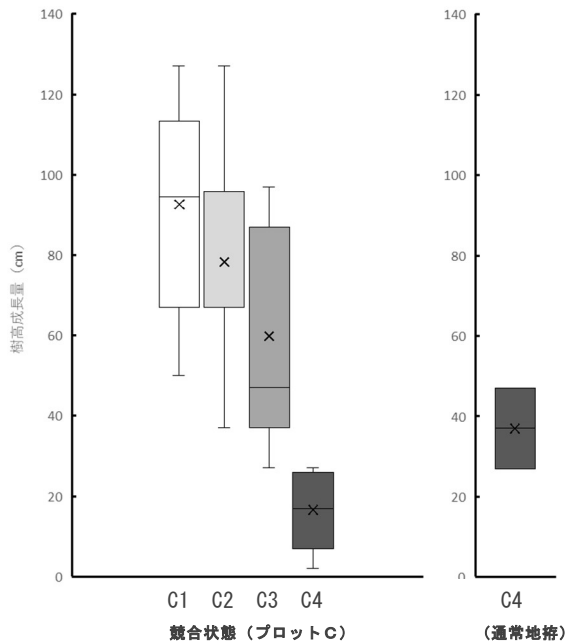


図-8 各競合状態における樹高成長量



図-9 プロットCの植栽木



図-10 通常地拵箇所の植栽木

(3) 天然更新について

ア シードトラップによる調査

周囲にスギ・ヒノキの多いプロットAでは、スギ・ヒノキの種子が確認できました。

周囲にカラマツの多いプロットBでは、プロットAと比べ、カラマツをはじめ全体的に種子が少ないという結果が得られました。

イ 実生稚樹の発生数・樹種・樹高に関する調査

プロットAでは、haあたり27,000本、プロットBではhaあたり3,000本の稚樹が確認されました。通常の地拵箇所の植栽本数がhaあたり2,400本であることから、掻きおこしにより十分な稚樹が発生したと考えられます。しかし、確認された稚樹の多くが10cm未満のものであり、20cm以上の個体は確認されませんでした。

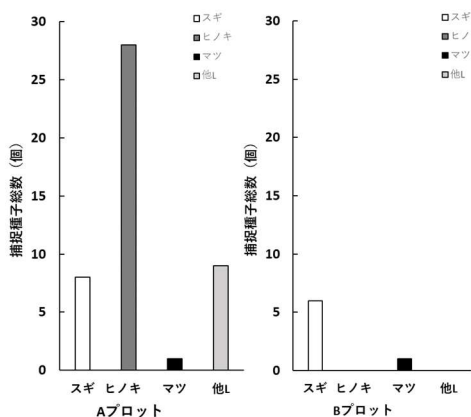


図-11 シードトラップ調査結果

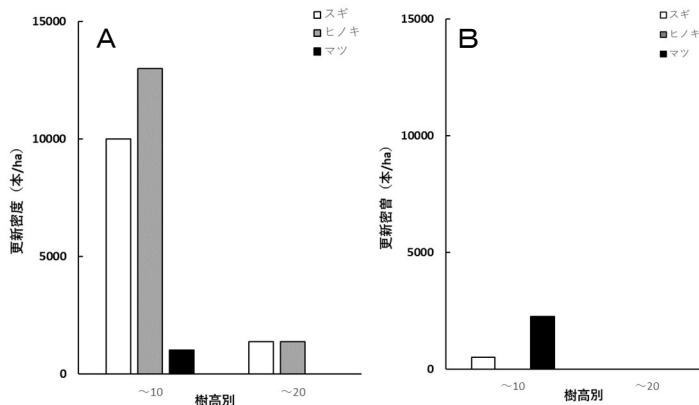


図-12 プロット別天然更新稚樹総数

4 まとめ

(1) 地拵レーキによる掻きおこしについて

広範囲を十分な深度で掻きおこすことができましたが、今回使用した道具は本作業を想定して作成したレーキではないため作業に慣れるまで時間を要しました。また、傾斜のある林地での使用は限定的です。

(2) 下刈省力化について

掻きおこしによりササ類の根を除去し成長を抑制することができ、3年間は下刈省略への効果があったことが確認できました。ただし、3年以降は現地の状況から判断し下刈等の施業が必要だと考えられます。

(3) 天然更新について

十分な稚樹の発生自体は確認されましたが、その稚樹がその後も成長し定着するかは不明瞭です。

5 おわりに

小さな試験地での結果ですが、機械による掻きおこしは中部局管内においても再造林コスト低減の一助となることが分かりました。今後事業に取り入れていくためには、地拵時の行程調査を実施し大型機械による通常の機械地拵と比較した際の具体的な削減コストを試算する必要があるものと思われます。

また、発生した稚樹のうち年を越えて成長し定着する個体がどの程度存在するのか状況を注視し、天然更新に残された課題についても検証していかなければなりません。

これらの課題に対し、中信署では今後も調査を継続し、さらなる再造林の低コスト化に貢献できるよう、取り組んでまいります。

謝辞

試験地設定やシードトラップ調査についてご助言をいただいた長野県林業総合センターの大矢信次郎様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

山川博美ほか(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

浅間山火山対策事業の中間報告～融雪型火山泥流への備え～

東信森林管理署 治山技術官 ○川本 巖司
一般職員 いわもと 昂祐

はじめに

東信森林管理署管内に有する浅間山(2,568m)は日本有数の活火山で、現在も噴火活動は続いています(写真-1)。麓の軽井沢町等は別荘地・観光地として大変人気な避暑地であり、噴火すれば社会・経済活動等に甚大な影響が見込まれます。

特に浅間山の噴火では、火山災害の一つである「融雪型火山泥流」の発生が懸念されます。泥流の特性上広範囲に被害を及ぼす可能性があるため、十分な備えが必要です。

そのため、地域防災対策の一環として、「浅間山火山対策事業」(以下「対策事業」という。)を東信森林管理署で実施することとしました。この火山対策は中部森林管理局初となる火山泥流対策ダム(以下「泥流ダム」という。)による事業となります。

1 事業概要

(1) 浅間山

浅間山は古来より多くの大規模噴火があり、天命3年(1783年)の大噴火では、山麓付近のみならず多方面で大きな被害をもたらしました。火山活動により形成された多種多様な地形には、カラマツ、アカマツ等からなる天然林とともに、レンゲツツジ、スズラン等の高山植物群落が見られます。

令和元年8月には一時的に入山規制措置が取られるほどの噴火が発生しており、現在も活発な火山活動が続いております。気象庁では、地震計や監視カメラなど観測機器を設置し、浅間山の火山活動の監視・観測を実施しています^{*1}。



写真-1 浅間山(令和6年12月撮影)

(2) 融雪型火山泥流

融雪型火山泥流(以下「泥流」という。)は積雪がある火山で発生した噴火によって雪が溶けてできた水が、周辺の土砂とともに泥流となって流下する現象です(図-1)。長野県・北海道など降雪地特有の現象であり、浅間山でも過去に小規模で発生の記録があります^{*2}。特徴として流下速度が速く、到達距離が長いことが挙げられ、広範囲に被害を及ぼす可能性があります^{*3}。

日本では1926年に十勝岳(北海道)の噴火で発生した泥流により、山麓の町村等に大きな被害が生じました^{*4}。爆発後わずか25分で火口から25kmの上富良野原野に達したとされています。

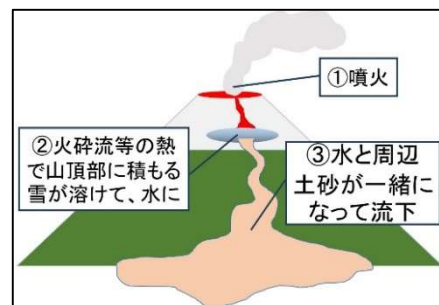


図-1 泥流イメージ図

2 事業の経過

(1) 国有林治山全体計画調査

対策事業に先立ち、治山事業計画を策定するため、平成23年度に浅間山国有林で各項目について全体計画調査が実施されました(表-1)。

特に土石流・泥流シミュレーションは噴火が発生した際の災害想定規模を決定し、施設場所・施設規模を検討する治山事業計画策定に重要な調査です。噴火時に発生する火砕流量は27万m³（1901年以降の実績最大規模、1958年噴火）、積雪深は50cm（27万m³の火砕流堆積範囲の平均標高の平均積雪深）でパラメータを設定し、土石流・泥流の総流出量や流下場所をシミュレーションしました。

シミュレーションの結果、噴火後わずか30分で山麓の都市中心部に泥流が流れることが分かりました。また、泥流は浅間山国有林に流れる7本の溪流沿いに都市地域へ流下する危険性があることも判明し、それぞれの溪流に流れる想定泥流量も算出しました。

表－１ 調査項目

○地形・地質概要
○気象調査
○法規制
○環境調査
○流域別既往防災施設
○荒廃地等調査
○火山特性調査
○保全対象
○土石流・泥流シミュレーション

（２）国土交通省との連携

平成24年度、国土交通省は「浅間山直轄火山砂防事業」を開始しました^{*5}。事業の概要は「平常時段階の対策と緊急時段階の対策を効果的・効率的に組み合わせ、平常時からの準備により、火山活動の状況に応じた機動的な緊急対策を行い、火山活動に伴う土砂災害の被害をできる限り軽減する」と定められています。

林野庁は上記の砂防事業と連携して、火山対策を実施することを決定しました。具体的な連携内容としては、双方の事業調整会議（年数回）、事業に用いる併用林道の改良工事、施工前の地元説明会実施など多岐に渡ります。

3 現在までの事業進捗状況

全体計画調査や砂防事業との調整の結果を受け、対策事業の治山計画が策定されました。事業計画では泥流が流下する危険性がある溪流7本のうち、濁川と千ヶ滝西沢の2溪流に3基の泥流ダムを施工することにしました。治山施設・砂防施設双方を合わせた施設規模で2河川の想定泥流量を抑止できる見込みです。

表－２ 各泥流ダムの実施期間・工事状況・施設規模（堤長・堤高・体積）、抑止量

泥流ダム名	実施期間	施工状況	堤長m	堤高m	体積m ³	抑止量m ³
千ヶ滝西沢	平成30年～令和2年	完了	98	10.5	4,119.5	20,000
濁川1号	令和6年～令和11年	施工中	265	12	6,628.9	21,000
濁川2号	令和2年～令和6年	完了	293	12	8,071.5	29,000



写真－２：各泥流ダムの様子（左：千ヶ滝西沢、中：濁川1号、右：濁川2号）

千ヶ滝西沢・濁川2号については施工が完了し、濁川1号のみが現在も施工中です（表－２）。3施設の中でも特に濁川2号は施設規模・抑止量共に最大規模を誇ります。また、通常の治山施設は堤長が50mでも大きいとされており、濁川2号は中部森林管理局管内でも最大規模の治山施設となります。

対策事業の施設目的は泥流抑止量をできるだけ確保することであり、通常の治山施設よりも大きな施設規模で計画・施工されました。

濁川1号については現在も施工中で、令和11年に完成予定です。今後の施工に向けた計画策定では、数年先を想定した適切な工事計画が重要です。特にコンクリート打設計画については、数年先の工事範囲も見据えて、打設量・打設範囲を決定する必要があります。また本現場ではICT施工技術も活用されております（写真－3）。掘削範囲を位置情報で把握しながら作業するICT建機を用いることで、作業時間短縮や掘削時の安全性向上等の効果があり、今後も積極的な導入が必要と考えております。



写真－3 ICT建機による施工の様子

おわりに

泥流ダムの施工は施設規模の大きさから、工事期間が長いという特徴があり、数年先を想定した適切な工事計画を今後も進めていきます。

また、施工箇所の地域住民に対し、現地説明会等を通じて林野庁の浅間山火山対策について理解を深めていただく取組も検討していきます。

参考文献

※1：気象庁．「気象庁 | 浅間山」．

[〈https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/306_Asamayama/306_index.html〉](https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/306_Asamayama/306_index.html)（参照日2025年2月26日）

※2：川崎 敏．（1974）．「浅間－歴史，文学，地誌－」．『木耳社』，278．

※3：大塚仁大・飯島聖．（2015）．「浅間山における融雪型火山泥流に影響する積雪量の推定」．『験震時報』，78，pp.185-194．

※4：北海道美瑛町．「十勝岳噴火の記録- 北海道美瑛町」．

[〈https://town.biei.hokkaido.jp/emergency/eruption.html〉](https://town.biei.hokkaido.jp/emergency/eruption.html)（参照日2025年2月26日）

※5：国土交通省 関東地方整備局 利根川水系砂防事務所．「浅間山直轄火山砂防事業～火山噴火緊急減災対策～」．2024年12月，事業説明資料．

治山事業におけるICT技術の活用について ～ICT技術の活用で広がる世界～

南信森林管理署 主任治山技術官 ○奥原 英おくはら すぐる
藤森土木建設株式会社 取締役土木部長 ○高山 徳也たかやま とくや

要旨

ICTを活用する工事における取扱いについては、林野庁より「森林整備保全事業ICT活用工事試行実施要領等について」(令和4年3月8日付け3林整計第754号林野庁森林整備部計画課長通知)が発出され、積極的にICTの活用工事に取り組むとされたところです。

令和6年度、南信森林管理署では、茅野市の金沢山(半僧沢)で谷止工の補修(異形ブロック196個設置)、諏訪郡下諏訪町の東俣川(鼓舞沢)でコンクリート谷止工1基(延長38m、高さ6.0m)を施工し、2箇所の治山工事現場においてICT活用工事を実施しました。(図-1)

ICT活用工事は基本の5段階の工程(①3次元起工測量、②3次元設計データ作成、③ICT建設機械による施工、④3次元出来形管理等の施工管理、⑤3次元データの納品)があり、今回すべてを実施する通常型での施工を行いました。(表-1)



図-1 位置図

表-1 ICT活用工事5段階の工程

工 程	I 3次元起工測量	II 3次元設計データ	III ICT建機による施工	IV 3次元出来形管理	V 3次元データの納品
一般的な取組	地上型レーザー スキャナー	掘削、構造物 モデルの作成	トータルステーション 測位のマシンガイダンス	多点計測による 出来形管理	完成点群の納品
活用の幅 を拡げた 取組	世界測地系の採用 点群での支障木調査 3次元データで施工検討	3Dモデルの作成 ARの活用	杭ナビシヨベル アースワーク	モバイルスキャナー 点群での出来映評価	完成点群の台帳化 完成動画の納品

はじめに

2件の工事受注者である藤森土木建設株式会社では近年ICT施工に力を入れてきました。しかし、治山事業のような山間へき地の小規模土工では、ICT施工のメリットが活かしきれないという実態にジレンマを抱えていました。そこで今回ICT施工を行うにあたり、テーマを「ICT活用で樂をしながら活用の幅を広げよう」とし、施工のみならず工事・業務全体の効率化・省力化及び幅広い活用を図るべく、ICT施工で得られるメリットを最大化することに着眼点を置いて取り組みました。その内容について5段階の工程ごとに紹介します。

1 取組内容

(1) 「①3次元起工測量」について

まず最初に、地上型レーザースキャナーによる3次元起工測量を世界測地系で行いました。これにより位置情報を持った空間データを総合的に整理・加工し視覚的に表示することで、高度な分析や迅速な判断が行えるようになります。

現場基準点の座標取得にはスマートフォンとGNSSアンテナを使用するモバイル型RTK-GNSS測定機（OPTIMジオスキャン）を使用しました。この観測精度は、平面誤差2cm以内と精度が高く、平面座標の取得では非常に利便性が高くなりました。（写真-1）



写真-1 3次元起工測量

世界測地系にすることで、工事現場をGoogle Earth上に展開することができます。また、完成形を3Dモデル化して表示することができました。

このように世界測地系に変換し位置情報を可視化したことにより、多角的な視点で計画構造物の確認が可能となりました。（写真-2）

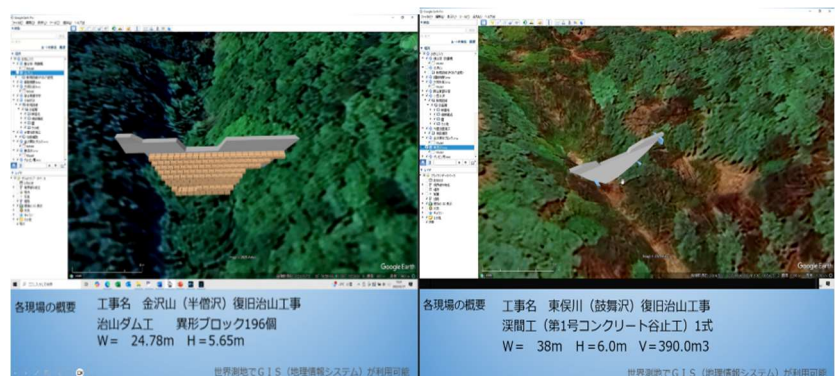


写真-2 Google Earth上で可視化

さらに、今回の起工測量のデータを国土地理院の地図に展開すると（写真-3）、点群内で標高精度の高い位置情報計測ができるようになります。従来現地で測量していた位置情報が机上で計測できるようになり施工計画の検討、作業道のルートやコンクリート打設方法など詳細な仮設工の立案に大変役立ちました。（写真-4）

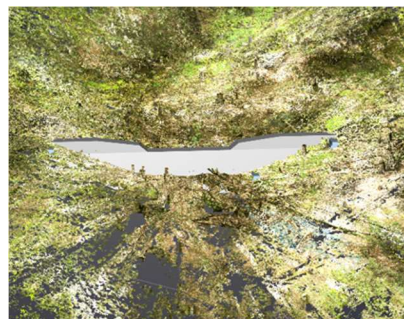


写真-3 国土地理院地図への展開

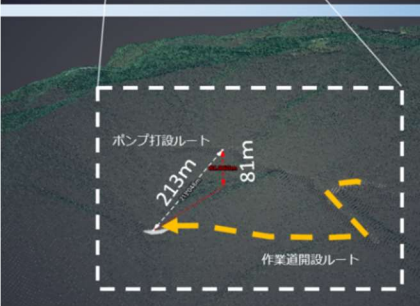
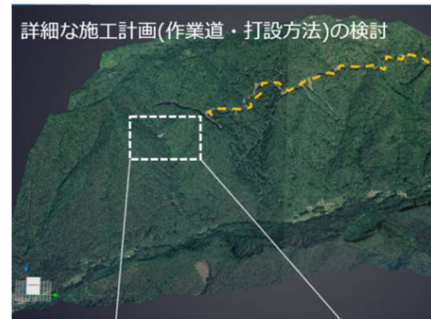


写真-4 詳細な施工計画検討

また、起工測量のデータを活用した工事支障木の胸高直径の測定を試行しました。工事支障木は、本来、胸高直径を現場にて1本1本輪尺で測定し、多大な労力を要しますが、今回はパソコン上

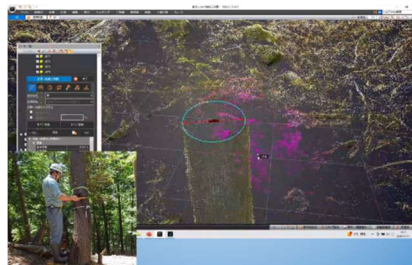


写真-5 起工測量データによる胸高直径測定

で胸高位置の1.2mで分離し、切断面の幹径をトレースし直径を測定しました。地上型レーザースキャナーが幹の全周を測定していなくても切断面の3点から円周を推定できるので1方向からのスキャンでも十分な情報を得ることができました。（写真-5）

この測定結果を南信森林管理署で実施した毎木調査と比較したところ、カラマツを含む針葉樹は誤差が少なく広葉樹では誤差が大きいようです。これは広葉樹の幹が変形した円形のためと思われます。測定誤差は平均1.5cmで、今後十分活用可能な技術であると考えます。(表-2)

表-2 胸高直径比較

胸高直径比較										
67本の測定平均誤差 1.5cm										
番号	樹木番号	生被	能幹	樹種	品質	直径	点群測定直径	差	樹高	単材積
				針葉樹						
1	81	生立木	生立木		正常	30	33	3	19	0.65
2	62	生立木	生立木	カラマツ	正常	34	34.1	0.1	19	0.81
3	66	生立木	生立木	カラマツ	正常	24	25.6	1.6	18	0.41
4	67	生立木	生立木	カラマツ	正常	24	24.1	0.1	17	0.38
5	72	生立木	生立木	カラマツ	正常	28	27.8	0.2	15	0.44
60	783	生立木	生立木	カラマツ	正常	34	34.7	0.7	21	0.90
61	767	生立木	生立木	他シサワ類	正常	46	50.5	4.5	17	1.11
62	788	生立木	生立木	カラマツ	正常	36	36.5	0.5	20	0.94
63	789	生立木	生立木	広葉樹	正常	22	22.6	0.6	17	0.32
64	770	生立木	生立木		正常	28	27	1	18	0.54
65	776	生立木	生立木	他シサワ類	正常	30	24.3	5.7	14	0.41
66	777	生立木	生立木	他シサワ類	正常	30	25.5	4.5	16	0.48
67	778	生立木	生立木	他シサワ類	低質材	28	28.4	0.4	13	0.33
										30.18
							平均誤差	1.5 cm		

(2) 「②3次元設計データ」について

この工程では、完成モデルを3Dプリンターで印刷し模型を作成しました。

金沢山（半僧沢）工区では模型を使って複雑な形状のブロックの組み立て手順を確認し、東俣川（鼓舞沢）工区では間詰工の形状をあらかじめ確認するのに役立ち、有効性を発揮しました。(写真-6)

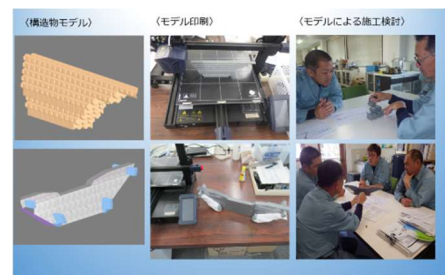


写真-6 : 3Dモデルの作成

また、地元中学校の職業体験会において、3Dモデルを活用し実物大の谷止工をAR（拡張現実）で体育館内や校庭にて展開し、普段目にするのこない構造物の規模感を体感してもらいました。

さらに、AR映像を完成予想図として印刷し、工事掲示物や地元住民への説明、作業員間の意思疎通などの合意形成に役立てることができました。(写真-7)



写真-7 3DモデルのAR活用例

(3) 「③ICT建設機械による施工」について

今回の施工では、小規模な事と山間へき地により衛星の受信状況が安定しないことを考慮して、ICT建設機械は衛星測位を必要としないトータルステーション測位のマシンガイダンスタイプを選択しました。

マシンガイダンスタイプとは各部にセンサーを取り付けたバックホウをトータルステーションが自動追尾し、オペレーターの操作をガイドするシステムのことです。(写真-8)

この測位方法は、位置情報が比較的正確なことから、計測補助員を省略でき、また、自社所有の計測器を使用できたため、すべて社外器を使用した場合に比べ導入経費を4割ほど削減できました。

土工完了時には、再度地上型レーザースキャナーにより掘削データを作成し、現況点群との差分によって掘削土量の計算(写真-9)、測定誤差を色分け表示したヒートマップにより、床付け面の出来形管理を行いました。(写真-10)



写真-8 ICT建設機械による掘削

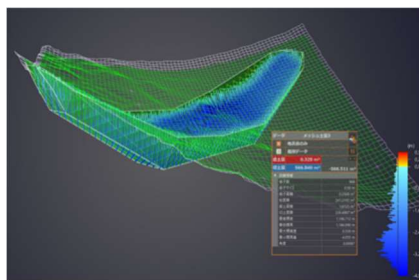


写真-9 掘削土量の計算

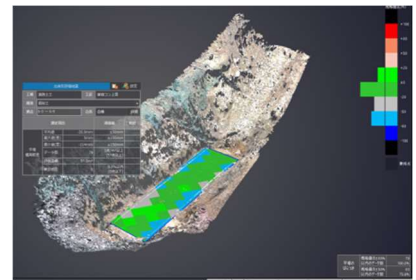


写真-10 ヒートマップによる出来形管理

(4) 「④3次元出来形管理」について

この工程では、ブロックの出来形測定を地上型レーザースキャナーとモバイルスキャナーにて行い実用性を比較検証しました。

地上型レーザースキャナーは、高い精度で測定が行えましたが、重量が重く設置や移動が大変です。一方、モバイルスキャナーは、点群に厚みが出てしまい地上型レーザースキャナーに比べ精度面では劣りました。しかし、軽量で携帯性に優れるため災害時の迅速な現況把握や土工事において有利です。このように、測定精度や現場状況に応じた使い分けが必要であることが確認できました。(写真-11)

また、3次元出来形測定モデルと当初設計モデルを重ね差分をヒートマップで表現し出来映えの評価を行いました。(写真-12)



写真-11 スキャナーによる出来形測定

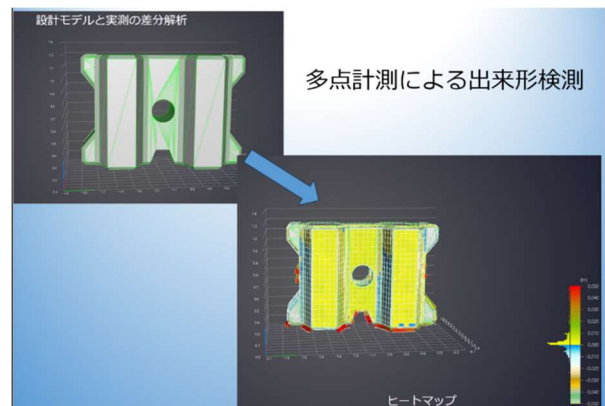


写真-12 ヒートマップによる出来映評価

施工管理においては、監督員による遠隔臨場を試みました。従来、遠隔臨場には、ウェアラブルカメラ等の専用機材やシステム契約等が必要とされてきましたが、受発注者間の連携次第で、手持ちのスマートフォンのビデオ通話等で現場確認を簡易に行うことができ、併せて3次元出来形測定結果をビューア形式で送信することにより現場の出来形データを机上で確認することもでき、今後の省力化に期待が持てました。
 (写真-13)



写真-13 スマートフォンによる遠隔臨場等

(5) 「⑤3次元データの納品」について

最後に、電子納品データに完成点群を添付し納品してもらいました。これには3次元モデルも挿入しているため、地下などの不可視部の形状確認にも役立ち、位置情報を保持しているため完成後の施設の維持管理にも非常に役立つと考えられます。納品時データに格納されているビューアには測定機能もあり、後日、現場再確認や台帳管理などで有効活用が期待できます。(写真-14)

また、しゅん工写真としてドローン撮影動画も納品してもらいました。従来は一方向から撮影していることから見えない部分が生じますが、先の点群データとの連携により全周方向からの確認が行えるため、机上でのしゅん工検査の可能性も示唆しました。

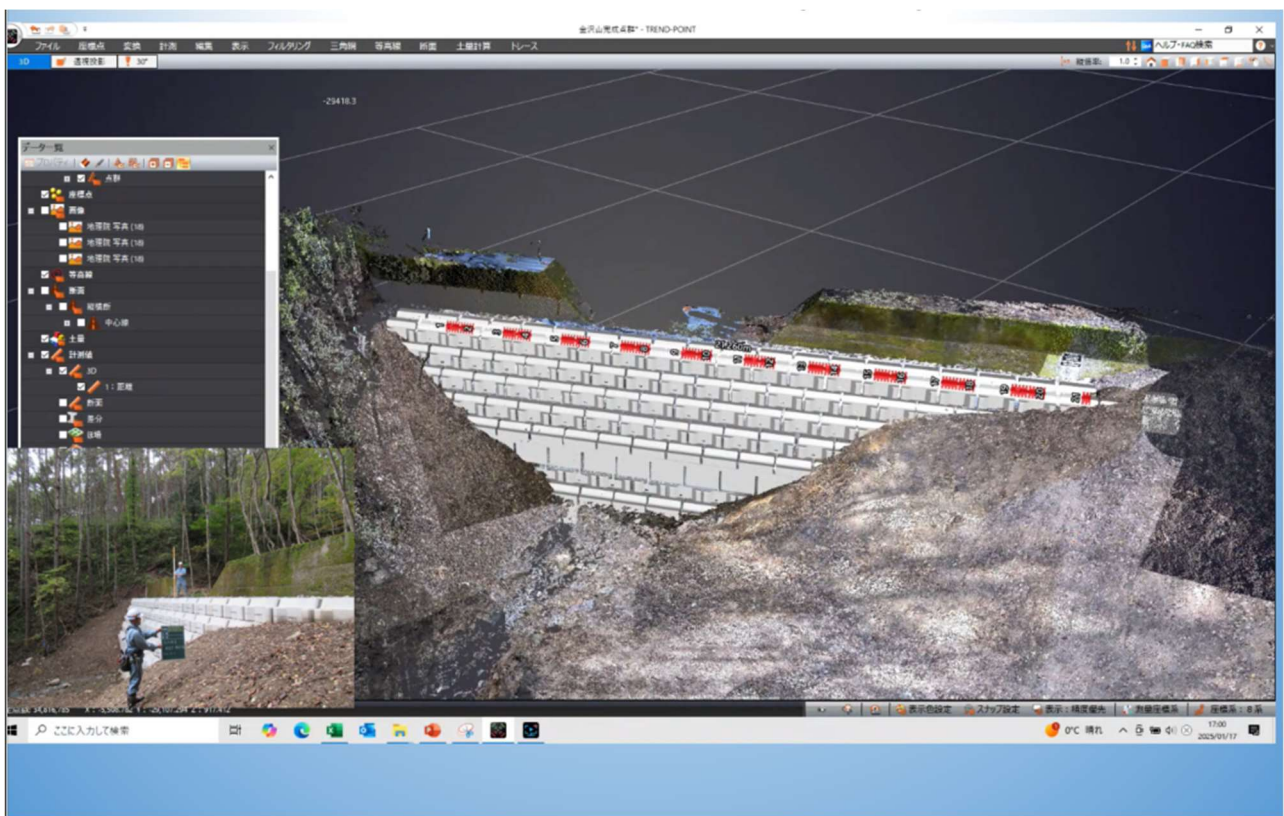


写真-14 3次元データの納品 金沢山(半借沢)

2 実行結果

今回の取組について、従来施工と作業量の比較を行いました。結果、特に「支障木調査」や「地元説明等の合意形成」また「掘削作業における丁張作業や計測補助員の削減」など、人員や時間削減等の省力化や受発注者双方の業務・事務改善につながる有効性を確認することができました。（表－3）

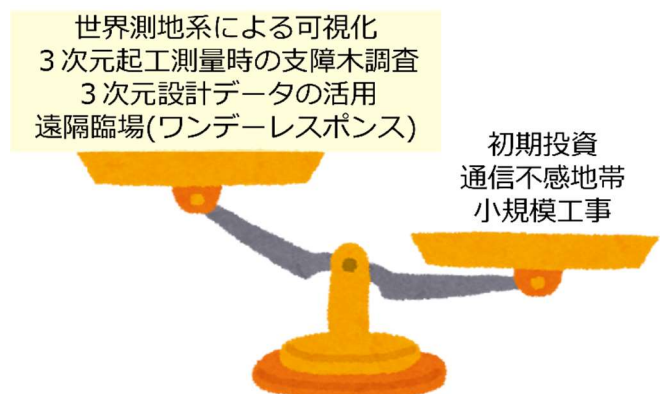
表－3 取組結果のまとめ（従来施工との比較）

効果検証項目	従来手法との作業量 比較		導入の効果
	従来	ICT	
世界測地系の基準点 測量	従来 ICT	2人増	基準点の測位観測増加するが以後の活用性大で有る
施工検討・仮設計画	従来 ICT	2人減	現地踏査作業の削減 詳細な仮設計画
起工測量 縦横断面図	従来 ICT	2人減	任意点での 縦横断面図作成可能
現地支障木調査	従来 ICT	6人減	人員削減及び胸高直径の 机上測定可能
3次元モデルの作成	従来 ICT	4人減	合意形成が短時間で可能 説明時間の削減
遠隔臨場	従来 ICT	1人減	迅速な現場対応 (ワンデーレスポンス)
ICT土工事 MG	従来 ICT	5人減	丁張作業と計測補助員の削減
TSL出来形の測定	従来 ICT	2人減	撮影時の検尺等の設置 不要 一人測定が可能

おわりに

ICT活用工事の実施には建設機械やソフトウェア等の導入に対して大きな初期投資が必要となるだけでなく、山間部で通信不感地帯が多い治山事業地特有の問題があり、受注者としては実施のハードルが高いとして敬遠されがちです。しかし今回の取組で、施工のみでなく作成したデータを幅広く活用することでICT施工のメリットを最大化することができると確認できました。

今後、当局所有のLPデータの活用、収穫調査規程との整合性、納品された3Dモデルによる台帳管理、ICT施工実施に関する工事成績評定項目の追加等が進められれば、そのメリットをさらに活かすことができ、業界全体のICT施工がさらに活性化すると考えられます。（図－2）



図－2 ICT 施工のメリットの最大化

湿性ポドゾル地帯の更新法～三浦・助六実験林のあゆみ～

木曾森林ふれあい推進センター 一般職員 ○前田 賢吾
 技術普及課 技術開発主任官 ○南坂 博和
 木曾森林管理署 森林技術専門官 高橋 良二

1 実験林設定の背景

(1) 三浦国有林

長野県木曾郡王滝村に位置する三浦国有林は古くから木曾ひのきの産地として知られています。三浦実験林は、木曾川支流の王滝川上流部（標高1,300～1,670m）の三浦国有林2626林班～2641林班（2638林班除く）に設定されています（図-1）。

三浦国有林は、冷涼多雨な気候であり、酸性火成岩が多く針葉樹林が優勢なことから、土壌のポドゾル化作用が促進しやすく、三浦実験林の林地面積約424haのうち35%をポドゾル土壌が占めています。



図-1 三浦実験林位置図

ポドゾル土壌（図-2）が溶脱（土壌や岩石中の溶解性成分が、雨水や冠水などの水によって溶けて下層に移動する現象）した白色の層を持つことが特徴で、強酸性で、鉄分に乏しく、特に湿性ポドゾル土壌では、通気性や透水性が極めて悪く、造林木などの根は A₂ 層以下では生育が難しいため根系が極めて浅く、平盤上に分布しているため、風圧に対する抵抗力が弱い土壌です。木曾ひのきなどの天然生林についても同様の傾向がみられ、根株や倒木上から更新したと思われる個体が多く確認できます。

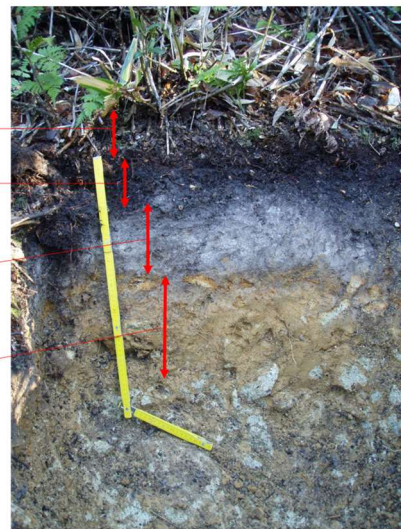
また、林地のほとんどが2mを超えるチマキザサなどのササ類に覆われているため、以前から天然更新が難しく、造林地などにも不成績造林地が見受けられていました。

(2) 三浦実験林の設定

昭和34年には伊勢湾台風が、昭和36年には第二室戸台風が襲来し、三浦国有林などの湿性ポドゾル土壌地帯の木曾ひのきなどの根系は平盤上に浅く分布しているため風圧に弱く、数多くの風倒木が発生し、台風被害地の森林再生が深刻な問題となりました。

三浦実験林2628林班における湿性鉄型ポドゾル土壌 Pw(i) I

- A₀層: 落葉落枝層
分解が遅いため厚く堆積
- A₁層: 有機物を含んだ土層
比較的良好な土壌であるが薄い
- A₂層: 鉄が溶脱したため白色化した土壌
粘土が多く緻密な土壌
- B層: 有機物をほとんど含まない土層
粘土が多く緻密な土壌



H.27/10/11 三浦実験林2628林班 記念講演会資料

図-2 ポドゾル土壌

長野野林局（当時）では、この事態を打開するために、昭和41年に信州大学浅田教授（当時）を代表とする研究グループにより湿性ポドゾル地帯の施業方法の解明と対策をテーマに、約420haの三浦実験林を設定しました。以降、赤井先生（京都大学）、岡野先生（信州大学）のご指導により、60年余り調査を継続しています。

（3）助六実験林の設定

助六実験林は、三浦実験林の調査結果から事業規模の実証試験地として平成元年度に王滝国有林 2156 林班、2157 林班、2179 林班に設定（林地面積：約 90ha・湿性鉄型ポドゾル土壌）し、稚樹の消長調査及びササの再生状況等の調査を実施してきましたが、実験林全域が「木曽生物群集保護林」と、平成 26 年度に設定された「木曽悠久の森」コア a に該当するため、試験計画などの見直しを検討しています。

2 各試験地の概要

（1）三浦実験林の概要

三浦実験林は、浅田信州大学教授を中心とする研究グループがまとめた、「木曽地方におけるカラマツの生産力と湿性ポドゾル地帯の更新」を基に、「木曽谷における湿性及び完成ポドゾル地帯における更新成績が極めて不良であることに鑑み、これらの地帯における森林の経済的・公益的機能を保持するための実践的育林技術を確立する。」ことを目的とし、実験の方法と方針を定め「天然更新試験地」「人工更新試験地」「土壌調査」を三つの柱とし、それぞれの目的別に試験地を設定しました（表-1）。

このうち、土壌調査については、林業試験場（現森林総合研究所）が担当し、昭和 51 年に調査を終了しました。人工更新試験地は信州大学が昭和 62 年度まで担当し、以降、中部森林管理局が管理しています。

天然更新試験地は赤井教授（京都大学、当時）から平成 12 年に有光教授（高知大学、当時）、平成 18 年からは岡野教授（信州大学）が担当し、毎年調査が継続されています。令和 6 年度には 2630 林小班と 2626 林小班の調査を実施しており、以下にその概要を紹介します。

① 2630 ぬ林小班（写真-1）

2630 林班は、昭和 45 年に 30m・50m幅交互帯状皆伐更新試験地として設定しましたが、ササの抑制が不十分で更新が困難であったため、平成 29 年度に「ササ生地での効果的かつ確実なヒノキ天然更

表-1 実験項目と目的

項目	実験項目	試験目的	
伐採跡地の人工造林	樹種別植栽試験	樹種別植栽試験	スギ、ヒノキ、カラマツ、その他の樹種を植栽し、適応性や生長比較を行う。
		マツ類植栽試験	ヒメコマツ、甲地マツ、霧上のマツなどの適応性及び生長比較をする。
		ヒノキ、カラマツ、ウラジロモミ植栽試験	樹種の適応性及び生長比較を行う。
	ヒノキ、カラマツ植栽試験	植栽方法別試験	ヒノキ、カラマツの生育比較と、混植効果の検討を行う。
		列状植栽試験	列状植えによる混植効果の生長比較を行う。
		植付方法別試験	大苗、小苗、ポット苗及び植付方法（壘土植、くわ植等）別効果の比較検討を行う。
		密植試験	密植（7,000~10,000本/ha）による効果と生育比較
		施肥試験	肥料の種類別による施肥効果と生長比較を行う。
	階段造林試験	大型機械で階段切り、排水溝、天地返し等を行い、植付方法別の生長状況を検討する。	
	ポット造林試験	ヒノキポット苗の生育比較を行う。	
	カラマツ疎植試験	漸伐（群状母樹保護）林分にかラマツを疎植（450本/ha）し、ヒノキ天然下種更新を促す。	
	ボンホール実用化試験	植穴掘の省力化の一方法と、土壌の理化学的の改善、施肥効果等による生長比較を行う。	
	人工下種試験	ヒノキ、カンパ人工下種試験	ヒノキ、ダケカンパの単一及び混種の人工下種更新を行い、生育調査を行う。
		カンパ先行ヒノキ更新試験	カンパの幼齢林を造成し、このなかでヒノキの生育を図る。
	ヒノキ植栽試験	産地別試験	木曽ヒノキ以外の各地に生育するヒノキ系統種を植栽し、生育と順応性を比較検討する。
木曽谷ヒノキ産地別試験		木曽谷の南中（北部地域の天然林から採取した実生ヒノキの造林成績を比較検討する。	
浅植方法別試験		浅く植え、二次根の発生を抑えた生育の比較を行う。	
混植効果試験	巨高木性樹種とヒノキの混植による効果を深く検討する。		
ヒノキ天然林施業方法	漸伐作業	漸伐（50%下種伐、帯状、孔状、魚骨状伐）	主伐（陽光伐+下種伐）と後伐の2回伐とし、伐採率を約50%、単木（群状）魚骨状に抜き切りする。
		漸伐（群状母樹保護）	群の間隔を15~18m 80mの2タイプで、群状（8×15m 20×20m）に保護（本数伐採率73%）する。
		串だんご状伐採	集材幅（幅10m）を林分中央に設け、これを軸に串だんご状に伐採する。本数伐採率37%
	区画皆伐作業	事業規模としての採算性を考慮し、小面積区画を設定した。	
	帯状皆伐作業	帯状皆伐その1	伐採帯と保残帯を交互に50mとした。
		帯状皆伐その2	伐採帯と保残帯を交互に30mとした。
帯状皆伐その3		帯長が長い伐採帯は40-50mの帯幅とし、短い箇所は30m幅の伐採帯とした。	
皆伐母樹法	台風による倒木を免れた生立木を群状、単木で根柢50m間隔に母樹として保護した。		
帯状作業試験（魚骨状伐採）	土壌型により、PW(Ⅰ)ⅠⅠ型は漸伐、Ⅲ型、BD、BE)は皆伐、Gは皆伐母樹法とした。		
土壌調査	実験林内土壌の調査分析、上木疎開の土壌変化の調査等を行う。		
風倒放置	倒木更新状態調査	台風被害による風倒木を残置し、稚樹発生、生長等を検討する。	
第2次天然更新試験地	孔伐天然更新試験（列状交互孔伐更新試験）	集材幅の交互左右にほぼ40m平方（600m ² ）の孔状に伐採（対象林分の1/4の面積）し、集材効率を考慮する中で10~20年毎に伐採する更新法を検討する。	
	50%、60%漸伐更新試験	50%と60%下種伐による伐採率による違いを検証する。	

新技術の確立に向けて、更新が進まないより条件の悪い箇所における天然更新方法の開発を行う」ことを目的として、ぬ林小班内に薬剤散布（テトラピオン）とササの筋刈を実施し、刈取ったササ^{かん}稈を存置するプロットを16か所、除去するプロットを16か所の合計32プロット（1プロット1m×1m）を設定し、各プロットの天然生稚樹の消長調査、ササの回復状況と占有率及び平均高の調査、ヒメスゲの占有率と平均高の調査を毎年実施しています。



写真－1 ササ筋刈試験地項

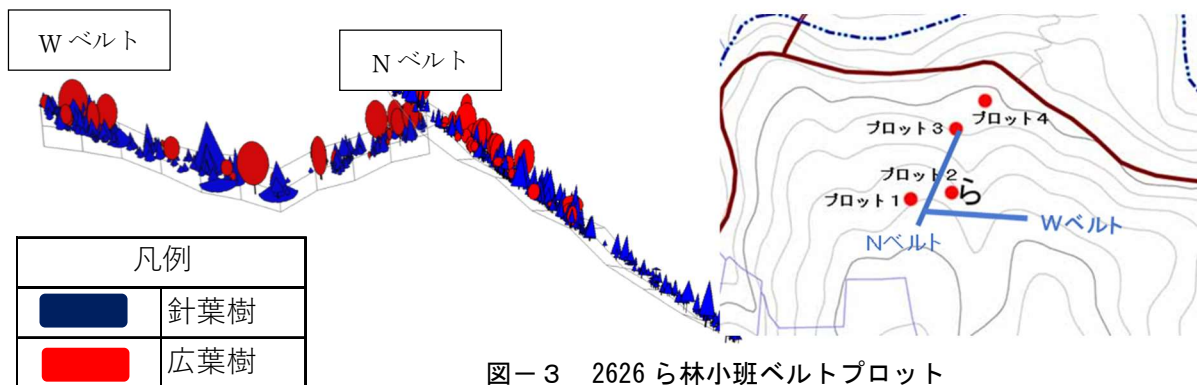
天然生稚樹の発生状況はヒノキを中心に除去区で27千本/ha、存置区で10千本/ha発生しており、20cmを超えて成長している個体も見受けられます。

② 2626ら林小班（図－3）

2626ら林小班は、平成5年度に60%の漸伐（^{かしゆ}下種伐）を実施し漸伐更新試験地として方形プロット（1m×2m）を設定し更新状況等の調査を実施していましたが、更新状況が良好なため平成28年度にベルトプロット（4m×50m・2本）を再設定しました。

令和3年度には、中部森林管理局が定める天然更新完了基準（亜高山帯複層伐施業要領）に達したため、後伐を実施しています。

ベルトプロットを構成している樹種の80%以上をヒノキが占めており、残りのほとんどが落葉広葉樹であるため、将来的にはヒノキを中心とした針広混交林として成立することが予想されます。



図－3 2626ら林小班ベルトプロット

（2）助六実験林の概要（図－4）

助六実験林は、三浦実験林から得られた成果に基づき、事業規模の実証試験地として平成元年度に設定され、平成5年度から9年度にかけて伐採率70%の漸伐作業を実施しています。当初試験地内には8カ所の方形プロット（1m×2m）を設定していましたが、1mを超える更新木が多く発生している1～4までのプロットを、令和元年度にベルトプロット（4m×50m）として再設定しました。



図－4 助六実験林

全プロットが1.2m～1.7mの高さのササに覆われて（平均被度79%）いますが、天然生稚樹の発生状況は34千本/haほど発生しており、その内約90%をひのきが占めています。また、平均ササ高1.5mを超える個体数が約22.4千本/haに達しています。（表－2）

表－2 助六実験林調査結果（H30）

	樹種	苗長階						計	ササ	ヒメスゲ	※その他 (苗高順)	
		20cm未満	20～39cm	40～59cm	60～99cm	100～149	150～199					200cm以上
プロット1	ヒノキ		0.5	0.5	1.5	2.0	0.5	5.0	82.5%	0.0%	ダケカンバ コシアブラ ネズコ ヒメコマツ イヌツゲ ハリウツギ ヒメコマツ イヌツゲ シャクナゲ ネズコ アスノ	
	その他		1.5	0.5				2.0				
プロット2	ヒノキ	0.5	2.0	0.5	1.0	1.0	0.5	2.5	87.5%	0.0%		
	その他							0.0				
プロット3	ヒノキ			0.5	3.0	2.0	2.5	1.0	9.0	55.0%		0.0%
	その他	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	5.0				
プロット4	ヒノキ		1.0	3.5	11.5	10.0	2.5	0.5	29.0	25.0%		0.0%
	その他	4.5	3.0	1.0	1.0	0.5		10.0				
プロット5	ヒノキ	0.5	3.5	0.5	1.0	1.0			6.5	72.5%	0.0%	
	その他		1.0	0.5		0.5			2.0			
プロット6	ヒノキ	23.5	3.0						26.5	82.5%	0.0%	
	その他	11.5	1.5	0.5	2.0	0.5			16.0			
プロット7	ヒノキ	9.0	8.0	3.5	3.5	4.5	1.5		30.0	70.0%	0.0%	
	その他	0.5	1.0			0.5	0.5		2.5			
プロット8	ヒノキ	2.0	2.5	0.5	3.0	1.0	0.5		9.5	55.0%	0.0%	
	その他	0.5							0.5			

3 これまでに得られた成果

平成14年4月に開催した、中部森林管理局技術開発委員会（以下「委員会」）において、木曾ひのきの天然更新技術の開発を目的に30年にわたり試験を行ってきた「三浦実験林」と、事業規模で試験を行ってきた「助六実験林」を合併し、中部森林管理局技術開発課題「湿性ポドゾル地帯の更新方法～三浦・助六実験林」として10年間ごとに作成する全体計画に基づき調査を行うこととしました。

令和4年12月に開催された委員会の完了報告（2期目平成24年度～令和4年度）ではこれまで蓄積された成果を取りまとめ以下の報告を行っています。

- ・ササに覆われていても、稚樹の高さが1m以上になれば成長する可能性が高く、40cm以上になると生存率が高い。
- ・ササの刈払などの更新補助作業を計画する場合には、今後のベルトプロットの調査結果を踏まえる必要がある。
- ・更新阻害要因となるササの抑制は、テトラピオン系除草剤の散布とササ刈りを実施する。
- ・塩素酸系除草剤のみを複数回散布すると、通常は小型で散在するヒメスゲが、湿潤地では大型化し密生するため天然ひのきの更新を阻害する。
- ・ヒメスゲの抑制には、テトラピオン系除草剤が有効。
- ・人工播種試験地では、稚樹は発生しているものの、ひのきの稚樹を全面に発生させることは困難であることが示された。

この結果を基に「ポドゾル地帯の木曾ヒノキ天然更新補助作業」模式図（図－5）を作成しました。

4 ポドゾル地帯の木曾ひのき天然更新補助作業等について

(1) 更新面の整備

結実周期に配慮し、塩素酸系除草剤の散布を伐採予定の1～2年前に実施し、伐採予定箇所のササを枯死させます。散布する際には撒きムラができないように留意することが大切です。歩行困難なほどササが繁茂している場合は、複数年にわたり除草剤散布を検討する必要があります。

(2) 伐採方法

下種伐（林床に稚樹を発生・定着させるための伐採方法）については、台風などによる風倒木が発生するなどの被害が発生しても、より多くの母樹の残存が見込める「漸伐（天然更新に必要な上層木をを残して伐採する方法。三浦実験林ではおおむね 50%程度の伐採率により伐採を実施している。）」又は「帯状皆伐（主伐の時期に達した林分を一定の幅で帯状に伐採する方法。三浦実験林では等高線と水平に伐採が実施されている。）」を選択します。

(3) 更新補助作業

稚樹の発生を確認できた場合は、競合するササを抑制するためにイネ科の植物の抑制効果があるテトラピオン系の除草剤を散布します。テトラピオン系除草剤の抑制効果はおおむね 5 年程度あり、稚樹の成長が順調な場合は 25 年ほどで周囲のササの高さを超えるため、除草剤は 5 年間隔で 4 回程度の散布が必要となりますが稚樹の成長状況によっては散布期間の短縮も可能です。除草剤の散布に当たっては「薬剤の使用について」（H25. 3. 29 付け 24 中森第 103 号）に基づき、事前に地元説明を行い、散布方法及び散布量を遵守し、散布後の水質調査の実施が必要になります。

ひのき等の稚樹の発生を確認することができずササの回復が早い場合は、塩素酸系除草剤の散布を検討しますが、繰り返し塩素酸系除草剤の散布を行うと、ひのき稚樹の発生や成長を妨げる「ヒメスゲ」が繁茂するおそれがあるため 3 回を限度とします。

試験結果を踏まえたポゾドル地帯の木曾ヒノキ天然更新補助作業

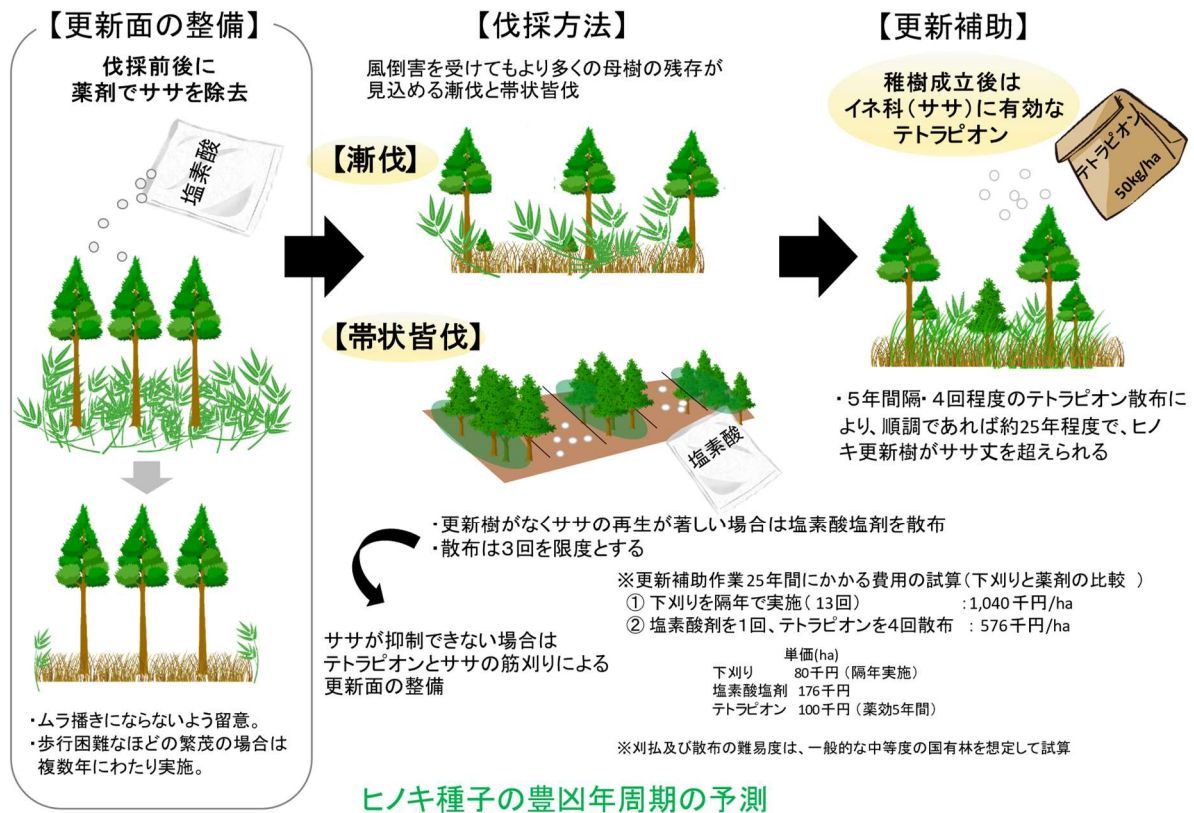


図-5 更新補助作業模式図

5 今後の課題について

(1) ヒメスゲ対策について（写真－2）

前述したとおり、塩素酸系の除草剤を複数回散布した場合、木曽ひのきなどの稚樹の発生や成長の妨げとなる、ヒメスゲが繁茂し密生するおそれがあります。ヒメスゲの抑制にはテトラピオン系除草剤が有効であることがわかっていますが、現在繁茂しているヒメスゲを減少させていくためにはどのような方法が有効なのか、ヒメスゲが繁茂した状態で成長する樹種があるのかなどを検証する必要があります。



写真－2 ヒメスゲの繁茂状況

(2) 獣害対策について

三浦実験林においてもニホンジカが生息しており、天然発生した稚樹への食害も確認されています。これまでも、ノネズミやノウサギの食害が一部では確認されていましたが、被害量は少量で問題になるほどではありませんでした。ニホンジカは群れで行動する機会が多く、稚樹等への食害も甚大となることが予想できることから、効果的な食害対策を検討する必要があります。

(3) 研究成果の公表について

三浦実験林の調査・研究成果は、昭和42年より「三浦実験林調査報告」として毎年報告されています。また、平成11年度には「三浦実験林30年のあゆみ」、平成28年度には「三浦実験林50年史」を発行しています。このうち50年史については、中部森林管理局のHPに公開しておりますが、それ以外の試験成果も、順次HPで公開していく予定です。

6 まとめ

写真－3は三浦実験林を設定して30年経過した平成11年度に、赤井先生を講師に開催した現地を撮影した写真で、写真－4は令和6年9月に「三浦実験林天然施業記念の碑（平成6年建立）」の前で撮影した写真です。石碑の後ろ側には、天然更新した木曽ひのきの成長した姿が見られます。



写真－3 平成11年度撮影



写真－4 令和6年度撮影

石碑本文は「霊峰御岳山を望むここ木曽、三浦後に長野営林局三浦実験林が設けられたのは、1966年（昭和41年）のことであった。木曽谷に広く分布する湿性ポドゾル地帯における森林の更新は当時深刻な問題に直面していたが、木曽ヒノキ天然林の生態系、更新機構等に関する基礎的研究と、天然更新を主体とする森林造成技術の事業規模での開発実験を行うことにより、この問題に新しい局面を拓ひら

こうとしたのである。時あたかも拡大造林の最盛期に、わが国でも例をみない大規模な天然林施業の実験林が、多くの学識研究者の提言、国有林の先輩たちの努力のもと、他に先駆けてここに産声を上げたのであった」の書き出しで始まります。「木曾ひのき」は日本のかけがえのない天然資源であり、これまで実験林から得られたかけがえのない調査データを次世代につなげ、天然更新過程の解明や、天然更新技術を確立することは非常に大切なことだと考えます。



写真－5 御岳山と三浦実験林の遠望

令和8年度には三浦実験林が設定されて60年を迎えることから、実験林内の各試験地内のプロットの明確化や、調査方法の精査・マニュアル化などを実施し、湿性ポドゾル地帯の天然更新に関するデータ収集を今後も継続できるよう整備していきたいと考えております。

最後になりますが、本試験地に長年に、研究に携わった皆様方に深く感謝申し上げます。

三浦実験林試験配置図



図－6 三浦実験林試験配置

中部森林管理局
(平成11年度設置)

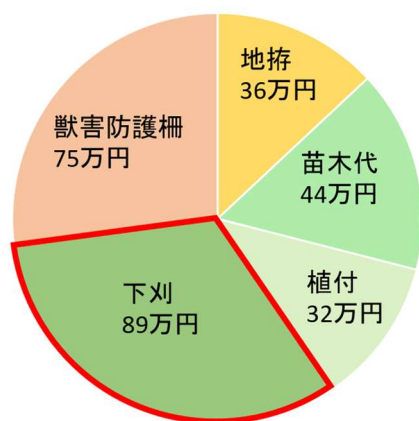
下刈の省略による苗木への影響について～検証期間の中間報告～

東濃森林管理署 造林対策官 ○赤嶺 江里奈
 森林整備官 井出 萌

はじめに

戦後造成された人工林の多くが主伐期を迎えており、今後は主伐後の再造林の増加が見込まれています。一方で、多くの森林を造成していた50年以上前に比べ、相対的に木材価格が下落したことで、主伐収入のみでは再造林に係る経費が捻出できないことや、造林作業を行う人の減少による担い手不足といった問題があります。この問題に対応するため、造林作業の省力化や低コスト化を図る取組は重要です。

そんな中で、再造林に係る費用をみると、下刈は造林初期費用の約3割を占めており（図－1）、夏場の傾斜地での作業ということもあって、造林者の経費負担や作業者の身体的負担の大きい作業となっています。下刈作業の負担軽減には、下刈を省略することが有効と考えられるため、下刈の省略が植栽木へ与える影響について調査し、植栽木の成長にほとんど影響のない下刈の省略方法を検討することとしました。



図－1 再造林費用の現状 (1 ha あたり)*



写真－1 急傾斜地の造林地

1 調査概要

(1) 試験地の設定について

下刈を省略することで、植栽木へどのような影響が出るのかを比較調査するために、下刈を行う頻度を変えた調査区を設定しました。まったく下刈を行わない「省略区」、1年おきに下刈を実施する「隔年区」、毎年下刈を実施する「毎年区」、の3つの調査区を同一小班内に設定しました。調査期間は、令和3年から令和10年とし、各調査区の下刈計画は表－1のとおりです。令和6年度は調査期間の折り返しとなるため、中間報告として取りまとめました。

調査地は、上村恵那国有林 (岐阜県恵那市) 1072に林小班に設定しました。当林小班は、林道から近い緩傾斜地であり、継続調査が容易であること、獣害防護柵の損傷が起こればと予想されることから選定しました。

表－1 各調査区の下刈計画

調査区	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
① 省略区 植栽	×	×	×	×	×	×	×	×
② 隔年区 植栽	○	×	○	×	○	×	○	×
③ 毎年区 植栽	○	○	○	○	○	○	○	○

省略区: 下刈無し・隔年区: 1年おきに下刈・毎年区: 毎年下刈

試験地の概要は、標高は約720m、平均傾斜は約20度、土壌型は適潤性褐色森林土(BD)、伐採区域は0.59ha、前生樹種は52年生ヒノキ、植生はイチゴ類やタラノキ等が多い灌木地であり、ササ類はほとんど見られません(写真-2)。小班内を4つの区域に分割し、西側から省略区0.17ha、隔年区0.10ha、毎年区0.16haとしました。東側の0.16haは植生が若干異なるため、試験地からは除外としました(図-2)。試験地周辺地域は、ニホンジカによる食害が多く見られるため、林小班の周囲にはステンレス入りネットを用いた獣害防護柵を設置しました。

令和3年度にヒノキコンテナ苗(150cc、2,500本/ha)を植栽し、各調査区内の70本を調査対象木として、竹製の見出し杭とナンバープレートを設置しました。



図-2 試験地内の各調査区



写真-2 調査地の植生(省略区)

(2) 調査方法について

各調査区の植栽木について、苗高、根元直径、下層植生との競合状態を調査しました(図-3)。苗高は、自然状態で地面から植物体の一番高い所を計測しました。根元直径は、地際の主幹部分を計測しました。下層植生との競合状態については、植栽木と競合していると考えられる下層植生の種類と植物高を計測し、その競合状態について、側方被覆、上方被覆、競合指数の3つの項目を調査しました。側方被覆では、植栽木と競合している雑草木があるのかを前後左右4方向を対象に1方向につき1点として記録しました。上方被覆では、雑草木が植栽木の梢端部に覆いかぶさっている場合は1点、梢端部を覆っているものの、雑草木と梢端部の間に空間がある場合は0.5点として記録しました。これらの記録した点数を「競合レベル」と呼称します。競合指数では、植栽木が雑草木にどれだけ覆われているかを、本調査では通常使用されるC1~C4の指標に加えて、C0とC5の項目を用いて詳しく調査を行いました。調査は、下刈前(夏)と下刈後(秋)の年2回行いました。

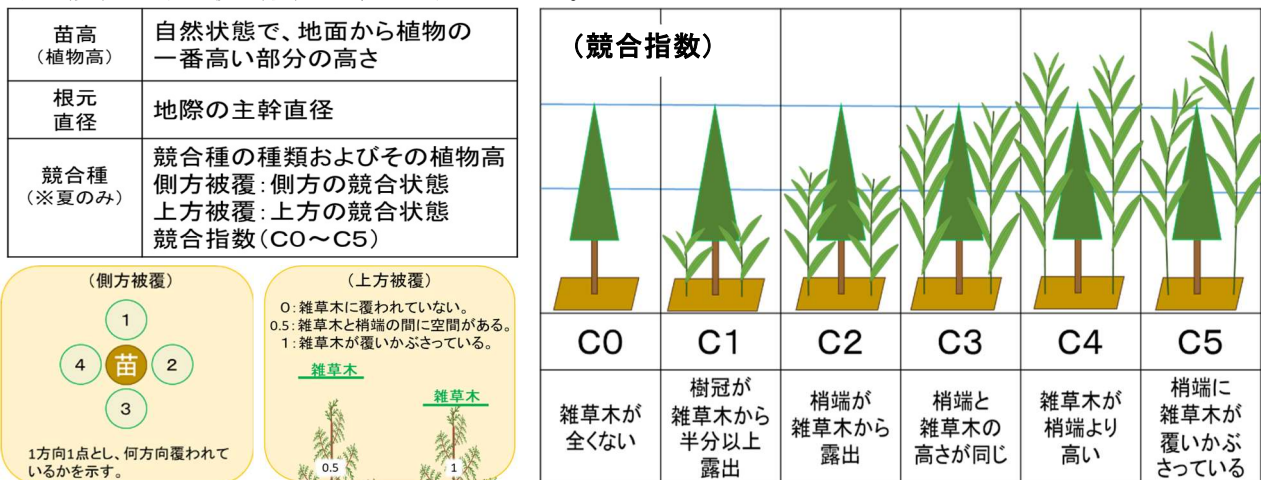


図-3 競合状態の調査方法

2 調査結果と考察

(1) 下層植生との競合状態

調査結果を調査区ごとにグラフに示します。グラフ上には、下刈を行ったタイミングを緑線で示しています。

ア 側方被覆について

側方被覆の結果は図-4のとおりです。側方被覆では、競合している雑草木の存在が1方向以下であれば、競合状態は十分に低いと考え、競合レベルが1以下の割合の変動に注目します。

省略区では、年々競合レベル1以下の割合が減少し、令和6年夏には調査木の9割以上が、2方向以上を下層植生に覆われています。対して、毎年区では競合レベル1以下の割合は増加傾向にあり、令和6年夏には調査木の3割以上が、競合状態が低くなっています。また隔年区において、下刈を行った翌年には競合レベル1以下の割合が増加しているものの、下刈を行わなかった翌年には減少しています。これらの結果から、下刈を行うことで、翌年の側方被覆による競合状態は改善される傾向があると考えられます。

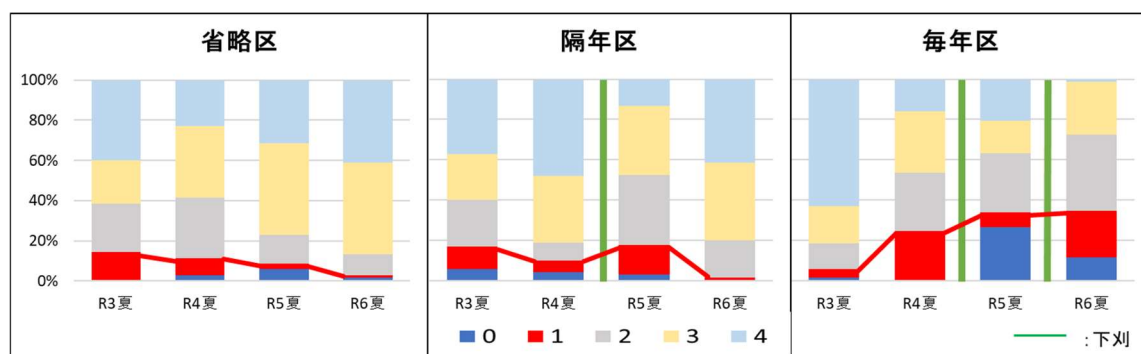


図-4 側方被覆の調査結果

イ 上方被覆について

上方被覆の結果は図-5のとおりです。上方被覆では、植栽木の上方に競合が無かったことを示す、競合レベル0の割合の変動に注目します。

令和4年夏までは、各調査区間にほとんど差は見られないものの、令和5年夏以降になると、省略区では競合レベル0の割合は減少傾向となりました。一方で、隔年区及び毎年区では、令和4年夏以降も増加を続け、令和6年夏には調査木の約8割が上方の競合が無い状態となっています。これらのことから、下刈を行うことで、上方被覆の競合状態は改善される傾向があると考えられます。

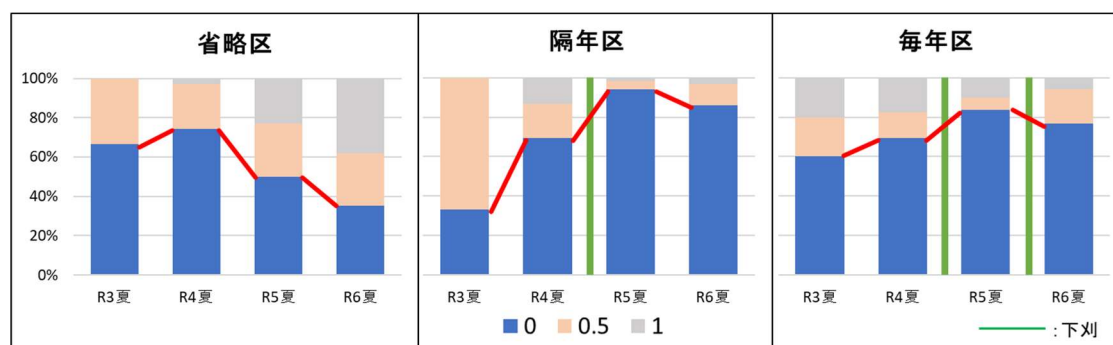


図-5 上方被覆の調査結果

ウ 競合指数について

競合指数の結果は図-6のとおりです。競合指数では、植栽木の梢端部が雑草木から露出しており、下刈の省略が検討されるC2以下の割合の変動に注目します。

省略区では、C2以下の割合は10~20%で推移しており、植栽木が雑草木に埋もれた状態であるC4以上の割合が増加傾向にあります。隔年区及び毎年区では、下刈を行った翌年には、C2以下の割合が増加している様子が見られます。特に毎年区では、令和6年夏にはC2以下の割合が約8割となっており、雑草木との競合状態は十分に抑えられていると考えられます。

これらのことから、下刈を行うことで競合指数は改善される傾向が考えられます。

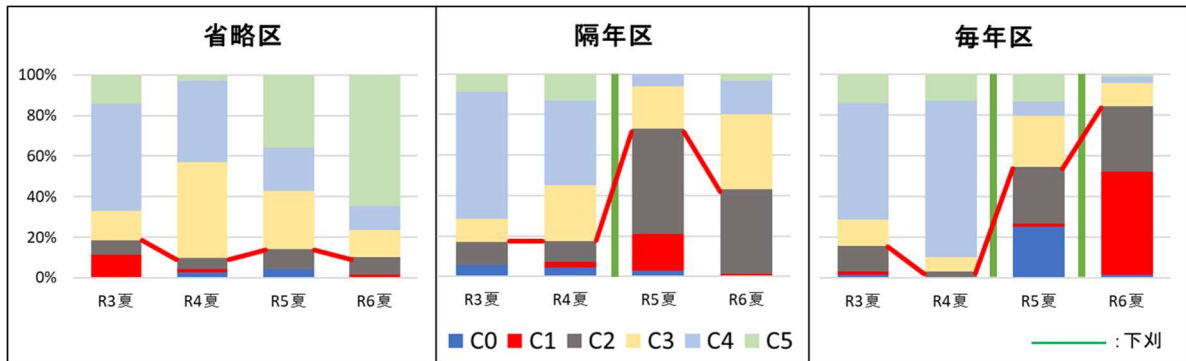


図-6 競合指数の調査結果

(2) 植栽木の生育状況

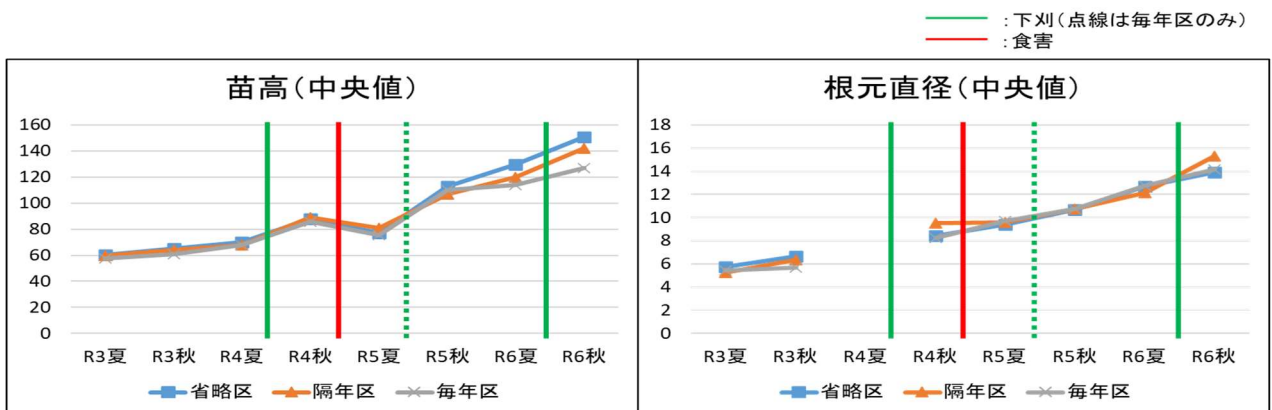
苗高及び根元直径の計測結果をグラフに示します。令和4年の秋から令和5年の夏の調査の間に、カモシカによる食害が確認されたため、食害の時期についてグラフ上に赤線で示します。全調査区が一樣に被害にあったため、本調査においては食害の影響は調査区間で違いが無いとみなして、結果を考察します。

ア 苗高及び根元直径の推移

各調査区の苗高及び根元直径の調査結果は図-7のとおりです。

苗高は令和5年秋までは、各調査区間にほとんど違いは見られないものの、令和6年夏からは徐々に差が表れ始め、省略区、隔年区、毎年区の順に苗高が高くなる結果となりました。

続いて根元直径の結果を見ると、下刈を行った後の隔年区の計測値が他区より高い値となっているものの、他の期間では調査区間に差は見られませんでした。



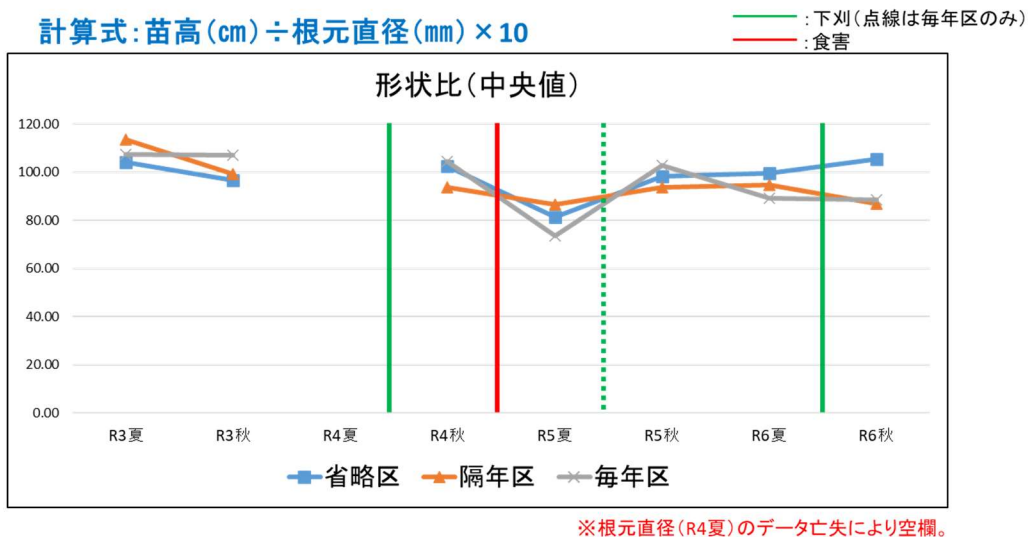
※R4秋からR5夏の間のカモシカによる食害の影響で、各試験地とも一様に苗高が低くなっている。
 ※根元直径(R4夏)のデータ欠失により空欄。

図-7 苗高及び根元直径の計測結果(中央値)

イ 形状比の比較について

続いて、調査区ごとの調査木の形状比を算出し、中央値を示しました（図－8）。

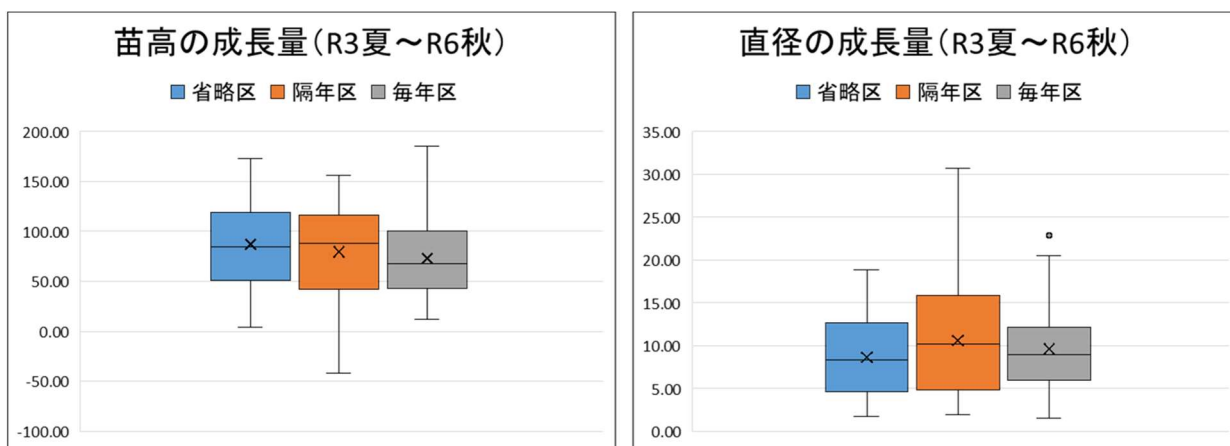
植栽直後はどの調査区も岐阜県のコンテナ苗の特徴として、形状比が100を超えています。その後、隔年区及び毎年区では、徐々に形状比が下がる傾向が見られました。一方で省略区については、形状比が100前後で推移し、令和6年秋には形状比が上がる様子も見られました。「ア 苗高及び根元直径の推移」で示した、苗高の計測結果における省略区の値が最も大きくなっていったことから、下刈を行わなかったことで競合相手が多くなり、光を求めて伸長成長が優先されたと考えました。



図－8 調査区ごとの形状比（中央値）

ウ 調査期間の成長量の有意差について

最後に、令和3年夏（植栽直後）から令和6年秋の間の植栽木の成長量について、調査区間に有意差があるのかを調べるため、3群以上の有意差の検定（Kruskal-Wallis検定）にかけたところ、各調査区間に有意差は見られず、令和6年秋の時点では、下刈の有無による植栽木の成長量への影響は確認できませんでした（図－9）。



解析法: (Shapiro-Wilk検定) Kruskal-Wallis検定

図－9 調査期間中の苗高及び根元直径の成長量

3 まとめ・おわりに

各調査結果を表－2にまとめました。

表に示すとおり、下刈を省略することで下層植生との競合状態は強くなる傾向が見られたものの、苗木の生育状況については、苗高では省略区、隔年区、毎年区の順に高くなる傾向が見られ、根元直径では隔年区が他区より太くなる傾向が見られました。しかし、苗高及び根元直径の成長量については、各調査区間に有意な差は見られない結果となりました。以上のことから、今回調査を行った灌木主体の造林地では、下刈の省略がヒノキの初期成長の低下には繋がりにくいと考えました。

一方で、形状比をみると省略区だけが高くなる傾向が見られたため、下刈を完全に省略することで、ヒノキの伸長成長が優先される可能性があると考えられます。

表－2 調査結果まとめ

		省略区	隔年区	毎年区
R6秋 時点	苗高	150.5 cm	> 142.0 cm	> 127.0 cm
	直径	13.9 mm	< 15.3 mm	> 14.1 mm
側方被覆	被圧	9割	= 9割	> 6割
上方被覆	被圧	6割	> 2割	= 2割
競合指数	C3以上	9割	> 6割	> 2割
形状比		100以上	> 80~90	= 80~90

本調査では、下刈の省略がヒノキに与える影響について、現時点でははっきりとした結果は得られなかったものの、下層植生との競合状態や苗木の成長量及び形状比の変化から、今後の調査では各調査区間の差は大きくなると予想しております。本報告は、調査期間の中間報告であるため、今後の調査を継続し、下刈の頻度がヒノキへ与える影響について考察を深めていきます。

本研究では、岐阜県森林研究所様に調査協力をいただきました。厚く感謝申し上げます。

注釈

※「林野」（林野庁（令和6年12月）立木販売収入や林業従事者の現状）を元に作成。

（令和5年度標準単価（スギ3000本/ha植栽、下刈5回、獣害防護柵400m））

UAVなどから得られるDEMデータ等を用いた林分調査方法の検討

森林技術・支援センター 森林技術普及専門官 〇田口 康宏
一般職員 おおたけ 大武 やすひろ 史弥

要旨

UAV（無人航空機）などから得られるデータを用いた林分調査方法について、特にDEM（数値標高モデル）データ等の高さに関するデータに着目し、（１）三次元点群データを使用した立木調査、（２）DEMデータ等を利用する場合の自動飛行時の飛行・撮影方法、（３）森林三次元測量システム（OWL）とUAVを使用した樹高測定方法の精度と活用方法の３点について検討しました。

はじめに

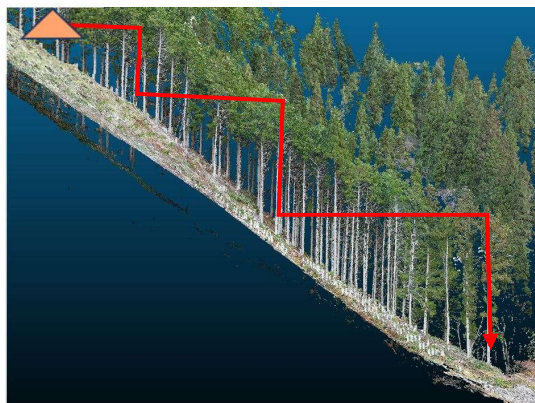
UAVによる写真測量から得られるオルソ画像以外にもDEMデータ等の活用が図られていますが、GNSS単独測位のUAVについては、相対測位機能（RTK-GNSS搭載型など）があるUAVに比べ絶対座標での精度が低く、特に高さ方向（Z軸）については誤差が大きい報告があります（吉坂 2022, 木村ら 2020）。また、GNSS単独測位で評定点による補正を用いない場合において、特に高さ方向（Z軸）については誤差が大きくなることが報告されています（木村ら 2020）。評定点を用いて補正を行えば誤差が小さくなると考えられますが、評定点を用いて補正を行うことは煩雑であると思われる。今回は絶対座標ではなく、相対座標でのUAVを用いた林分調査のための活用方法とその精度の検証について報告します。

1 調査方法

（１）三次元点群データを使用した立木調査

危険を伴うなど立木調査が困難な調査について、輪尺等による直接的な測定ではなく、UAVの写真測量を用いて間接的な立木調査ができないか検討しました。

造林地が隣接している71年生林分の本洞国有林1043ろ林小班において、造林地を崩壊地等の危険な箇所と想定して、目視できるスギ4本・ヒノキ31本の計35本の立木に対して、UAV（Autel社 Evo II Pro V 3、以下の方法でも同機を使用）を用いて横・斜めから連続して写真撮影を行いました。斜めから連続撮影した理由は、斜面の上下方向を撮影することで、幹の横の点群を多く得られないかと考えて行いました。なお、UAVの連続撮影にあたっては、対象林分が傾斜約33°であるため、階段状に飛行させました（図－1）。



図－1 UAVの連続撮影時の飛行方

写真測量処理が可能なソフトウェアのMetashape（ver:2.0.4）を使用して、三次元点群データを作成し、点群処理ができるソフトウェアのCloudCompare（ver:2.12.4）を使用して、胸高直径及び樹高を測定しました。なお、今回の（２）（３）の方法についてもMetashape（ver:2.0.4）を使用しました。CloudCompare上での胸高直径の測定につ

いては、山側の地上と思われる点から1.2mの位置を測定し、その位置で水平となるように測定しました（図－2）。また、樹高の測定については山側の地上と思われる点から梢端部までを測定しました（図－

3)。比較に当たっては、胸高直径は直径巻尺、樹高は超音波距離計（Haglof社 VertexⅢ、以下「Vertex」という。）を使用し、これらを実測値としました。

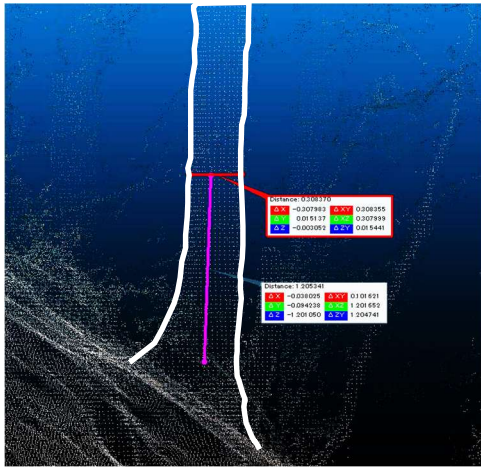


図-2 胸高直径測定時の画像



図-3 樹高測定時の画像

(2) DEMデータ等を利用する場合の自動飛行時の飛行・撮影方法

下刈省略の判定（C区分判定）において、伐採直後に作成したDEMデータと植生が繁茂している状態で作成したDSMデータとの差から植生高図を作成し、その図から下刈り省略の判定を行う試みがされています（那須ら 2024）、その際、作成するDEMデータ等の精度が求められると考えられます。オルソデータ・DEMデータ等を作成するためにUAVを自動飛行させる場合、カメラを真下の90°に向け撮影を行うことが多いですが、カメラを斜めに向けて自動飛行することでドローイング効果が抑えられ、高さデータの精度が向上すると言われており（神野ら 2019, 藤原ら 2022, 小花和ら 2021）、今回はこのことを踏まえて検討を行いました。小花和ら（2021）は、カメラ角度を90°から50°までを10°おきに試験した結果、鉛直誤差が小さく、運用効率等も考慮してカメラ角度70°の撮影方法が最適であると考察しています。

今回は、対空標識等による補正を行わない状態で高さに関するデータを含む相対座標での精度向上を行うため、傾斜約33°の造林地（本洞国有林1043ほ林小班）において検証を行いました。検証にあたっては、斜距離で約5mおきに10点、3列で計30点对空標識を設置し、UAVを自動飛行（フロントオーバーラップ率90%、サイドオーバーラップ率85%）にてこの区域を連続撮影させ、対空標識の間をVertexにて実測を行い斜距離の比較を行いました。なお、誤差の比較にあたっては二乗平均平方根誤差（以下「RMSE」という。）を使用しました。自動飛行の飛行・撮影方法については、「①カメラ角度90°（真下）・離陸地点からの高度90m」、

「②カメラ角度70°・離陸地点からの高度90m」、「③カメラ角度90°・離陸地点からの高度70m」、「④カメラ角度70°・離陸地点からの高度70m」、「⑤カメラ角度90°、対地高度を一定に保ったまま1方向のみで斜め写真が無し」

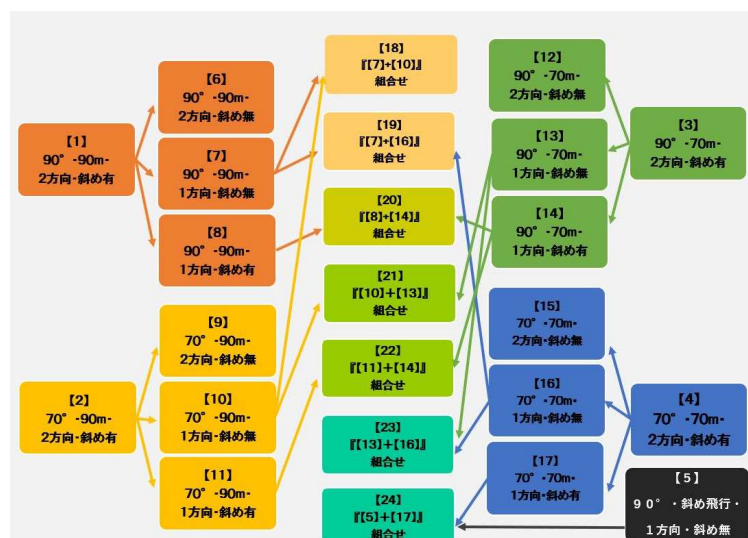


図-4 (2)での飛行・撮影方法の種類

の5種類の方法でUAVを飛行させました。①～④の撮影区域の自動飛行については、直行二方向で飛行させ、最後に斜め写真を加える設定も行いました。また、これら4種類については、精度比較のため、連続写真から斜め写真のみを無しにしたり、一方向のみにしたりして12種類作成しました。さらにそれらを組み合わせて7種類作成し、計24種類の飛行・撮影方法としました（図-4）。

（3）森林三次元測量システム（OWL）とUAVを使用した樹高測定方法の精度と活用方法

ア 森林三次元測量システム（以下「OWL」という。）は、ネスルンド方式による樹高補正機能が搭載されていますが、OWL（OL10x型）については、直接の測定において20数mを超えると樹高が低く測定されることがあると言われています（小田 2021）。なお、OWL200型は、OWL106型と比較した場合、新しいレーザースキャナの特長により樹高はより高くまで計測可能にとされています（OWL200型 パンフレット）。

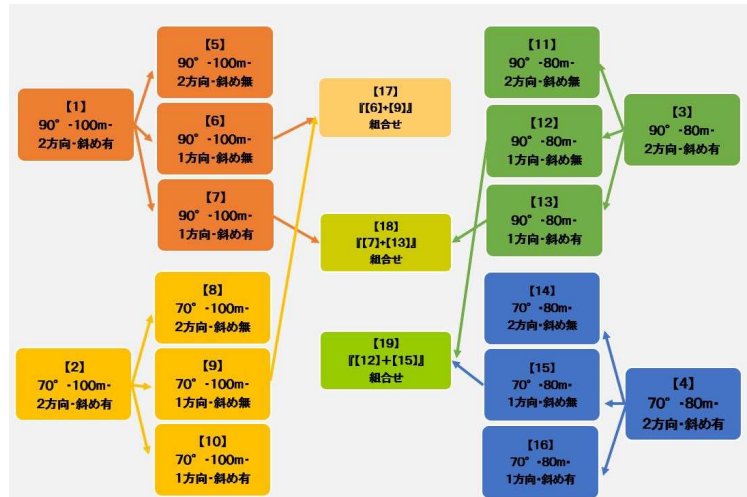


図-5 (3)アの飛行・撮影方法の種類

OWL（OL10x型）とUAVを用いた樹高計測について、「UAVによる写真解析により算出した梢端の標高からOWLで測定された立木の根元の標高を差し引くことで樹高を算出する方法」がありますが（坪倉 2020）、調査方法（2）と同様に斜め写真等を追加することで精度向上できないかと考え、図-5のとおり飛行・撮影方法によりUAVを自動飛行（フロントオーバーラップ率90%、サイドオーバーラップ率85%）させ、DSM（数値表層モデル）を作成し梢端の標高を求め、OWLで測定した立木の根元の標高を差し引くことで樹高を算出しました。今回は、73年生の大洞国有林192へ林小班の2プロット、ヒノキ56本を対象に前述のUAVによる樹高測定とVertexによる実測との比較を行いました。

イ 前述の2プロット、ヒノキ56本を標準地として、プロット以外を使用機械UAVのみで材積推定できないか検討しました。材積推定にあたっては、プロット内においてOWLで測定された胸高直径、(3)アで最も精度が良かった飛行・撮影方法で得られた樹高、オルソ画像を用いてGIS（QGIS3.34.11）にて計測した樹冠投影面積から重回帰式（線形）を算出し（図-6）、プロット以外の68本についてUAVから得られた梢端標高から国土地理院の1m

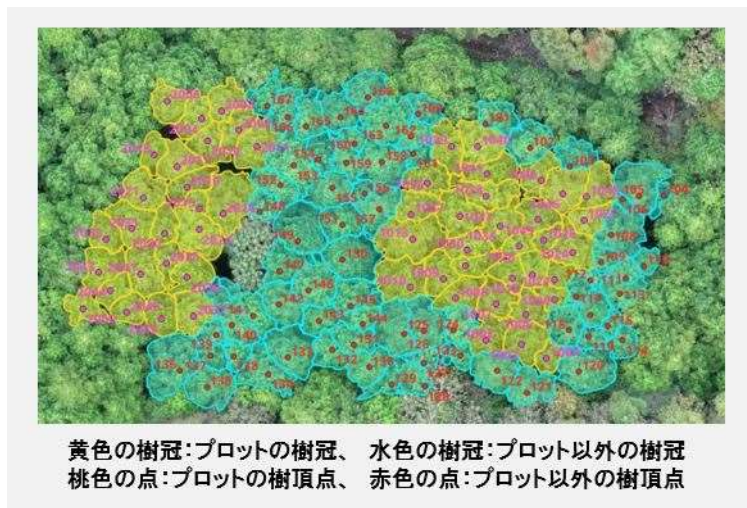


図-6 プロット、プロット以外の樹冠と樹頂点

メッシュの数値標高モデル（国土地理院ウェブサイト、以下「1mDEM」という。）から得られた根元標高を差し引いて計算した樹高、GISにて計測した樹冠投影面積から先に求めた重回帰式により胸高直径を

推定し、その値を用いて材積を算出しました。比較にあたっては、胸高直径は直径巻尺、樹高はVertexを使用し、これらを実測値としました。

2 調査結果・考察

(1) 三次元点群データを使用した立木調査

UAVの連続写真から三次元点群データを使用して計測した胸高直径・樹高、それらにより求められた材積について、それらの実測値との差を比較したところ、胸高直径では $-1.5\text{cm} \pm 1.6\text{cm}$ (平均値 \pm 標準偏差)、樹高では $-0.4 \pm 0.8\text{m}$ 、単木材積では $-0.07 \pm 0.10\text{m}^3/\text{本}$ となり(図-7)、試験を行った35本の全体の材積と比較して89.6%となりました。胸高直径・樹高・単木材積ともに実測との差がマイナス傾向にありましたが、この方法を使用すれば収穫調査時の参考値となるのではないかと考えました。今回、これらの値がマイナス傾向にあった原因は、点群同士の距離を測定時に測り間違えていることと、写真測量による点群が得られていないことではないかと考えました。

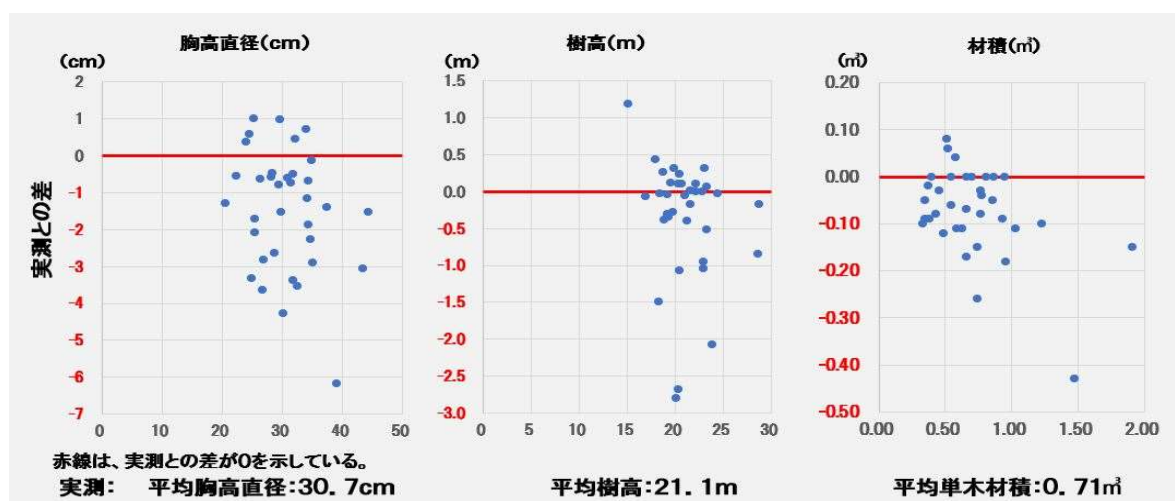


図-7 PC上での測定と実測との差

(2) DEMデータを利用する場合の自動飛行時の飛行・撮影方法

約5mおきの実測(Vertex)の斜距離と相対座標から計算した斜距離の比較について、RMSEが最も小さい飛行・撮影方法では、RMSEが8.1906cmであり実測との差の平均が $-1.2 \pm 8.2\text{cm}$ でした。RMSEの小さかった撮影方法は、最後に斜め写真を入れる設定もしくはカメラ角度が 70° の設定とした撮影方法でした(表1)。また、離陸地点からの高度が70mの飛行方法が高度90mの飛行方法よりRMSEが小さかったです。高田ら(2021)は、RTK測位型UAVを用いて発着地点 $50\text{m} \cdot 100\text{m}$ 、カメラ角度 $90^\circ \cdot 80^\circ$ の飛行・撮影方法で比較したところ、RMSEが小さいもので $2 \sim 4\text{cm}$ でありカメラ角度 90° より 80° のほうが精度が高く、高度については精度には関係ないことが観測されました。RMSEを順にみたときに8cmで収束しているようにみえますが、今回使用したUAVはGNSS単独測位であり、RTK測位型に比べて精度が低いことが誤差の一因であることも考えられますが、Vertexの測定による誤差も一因であると考えられました。

表－1 相対座標から計算した斜距離と実測との比較

誤差の小さい順	誤差 (cm)	飛行方法・撮影方法	差の平均 (cm)	差の標準偏差 (cm)	差の最大 (cm)	差の最小 (cm)
1	8.1906	90°・70m・2方向・斜め有	-1.2	8.2	23.0	-16.6
2	8.1907	70°・70m・1方向・斜め無	-0.8	8.3	23.0	-18.1
3	8.2951	70°・70m・1方向・斜め有	-2.2	8.1	21.5	-14.9
4	8.4251	90°・70m・1方向・斜め有	-2.6	8.1	24.0	-16.4
5	8.6145	70°・70m・2方向・斜め無	0.2	8.8	23.7	-19.7
6	9.2404	『[13]+[16]』 組合せ	-3.7	8.6	21.5	-20.1
7	9.7460	90°・斜め飛行・1方向・斜め無	2.7	9.5	29.0	-13.8
8	10.0183	90°・70m・2方向・斜め無	5.2	8.7	30.4	-13.7
9	10.0489	90°・70m・1方向・斜め無	4.8	9.0	29.1	-15.4
10	10.3993	70°・90m・2方向・斜め無	4.6	9.5	29.3	-16.3

誤差(RMSE)が小さい順に並べ、飛行方法・撮影方法の上位10位までを記載
赤字は、斜め写真入りもしくは、カメラ角度が70°となっている撮影方法
『[13]+[16]』組合せ：『90°・70m・1方向・斜め無』 + 『70°・70m・1方向・斜め無』

(3) 森林三次元測量システム (OWL) と UAV を使用した樹高測定方法の精度と活用方法

ア プロット内のヒノキ56本の平均樹高は22.9mであり、梢端標高から根元標高を差し引いて求めた樹高と実測 (Vertex) の比較について、RMSEの小さかった飛行・撮影方法は(2)と同様に最後に斜め写真を入れる設定もしくは、カメラ角度が70°の設定とした撮影方法でした(表2)。RMSEが最も小さい飛行・撮影方法ではRMSEが0.472m、実測との差の平均が-0.03±0.47mであり、参考元の方法が実測との差の平均が-0.22±1.20mであったことから、斜め写真等を入れる設定が有効であると考えられました。また、実測との差が0.5mを下回ったことから樹高測定として使用できる可能性が考えられました(同等性検定 同等性マージン0.5m・95%信頼区間、p<0.001)。しかし、小田(2021)の報告では立木8本を伐採し、伐倒した立木を巻尺で測定した樹高とVertexにて測定した樹高を比較したところ、RMSEが1.54mでありVertexを使用して測定した樹高の方が高くなっており、実際の樹高と異なる可能性が考えられました。

表－2 梢端標高から根元標高を差し引いて求めた樹高と実測との比較

誤差の小さい順	誤差(m)	飛行方法・撮影方法	差の平均(m)	差の標準偏差(m)	差の最大(m)	差の最小(m)
1	0.472	『[7]+[13]』 組合せ	-0.03	0.47	1.03	-1.33
2	0.480	70°・80m・1方向・斜め有	0.08	0.48	0.99	-1.05
3	0.496	70°・80m・1方向・斜め無	0.07	0.50	0.92	-1.48
4	0.608	70°・100m・1方向・斜め有	0.35	0.50	1.38	-0.93
5	0.744	90°・100m・1方向・斜め有	0.60	0.44	1.42	-0.84
6	0.847	『[6]+[9]』 組合せ	-0.52	0.67	0.79	-2.12
7	0.859	90°・80m・1方向・斜め有	0.73	0.46	1.56	-0.69
8	0.862	90°・100m・1方向・斜め無	0.74	0.45	1.62	-0.73
9	0.875	70°・80m・2方向・斜め無	0.46	0.75	1.75	-2.41
10	0.890	70°・100m・2方向・斜め有	0.77	0.45	1.76	-0.60

誤差(RMSE)が小さい順に並べ、飛行方法・撮影方法の上位10位までを記載
赤字は、斜め写真入りもしくは、カメラ角度が70°となっている撮影方法
『[7]+[13]』組合せ：『90°・100m・1方向・斜め有』 + 『90°・80m・1方向・斜め有』
『[6]+[9]』組合せ：『90°・100m・1方向・斜め無』 + 『70°・100m・1方向・斜め無』

イ プロット以外の68本について、実測の平均樹高22.3mであり、UAVから得られた梢端標高から1m DEMでの根元標高を差し引いて計算した樹高と実測との差は、 $-0.5 \pm 0.9\text{m}$ (RMSE1.0m) でした。

OWLで測定された胸高直径、(3)アで最も精度が良かった飛行・撮影方法で得られた樹高、オルソ画像を用いて計測した樹冠投影面積から得られた重回帰式は、次のとおりとなりました。

$$\text{胸高直径 (予測値)} = (\text{樹高} \times 0.84123) + (\text{樹冠投影面積} \times 0.65993) + 2.55651$$

(補正 R^2 : 0.647, RMSE: 2.7cm, t値 樹高: 3.231, 樹冠投影面積: 6.921, 切片: 0.468)

実測の平均胸高直径は、30.9cmであり、上記の式から予測された胸高直径との差は $-1.7 \pm 2.6\text{cm}$ (RMSE3.1cm)であり、また、これらにより算出された単木材積と実測との差は $-0.10 \pm 0.14\text{m}^3$ (RMSE0.17 m^3)であり、計測した68本の実測の材積と比較して87.0%となりました。林野庁(2021)の報告では、航空レーザ測量で樹高・樹冠投影面積を測定し、重回帰式(べき乗)を用いて胸高直径を推測したところ、RMSEが2cm程度であったため、航空レーザ測量の結果がある場合はそれを用いて胸高直径を推測したほうが精度が良いと考えられました。なお、今回測定した値を同様に重回帰式(べき乗)を用いた場合はRMSEが3.3cm、計測した68本の実測の材積と比較して、86.1%となり精度が少し低くなりました。古川ら(2020)は、樹冠長・樹冠幅・樹冠面積・樹冠体積のそれぞれと胸高直径との相関関係をみたところ、最も相関が高かったのは樹冠体積であったため、樹冠体積を用いて回帰式を求めることができれば精度が高くなる可能性が考えられました。

3 おわりに

今回、UAVによる写真測量から得られる三次元点群データやDEMデータ等を用いて林分調査方法について検討しました。上記(2)の結果は、UAVによる写真測量から得られるDEMデータについては斜め写真等を入れることで精度が向上することが考えられました。また、上記(1)・(3)の結果は、いずれも実測の材積の9割弱程度であり、精度の向上が必要でした。

今回のデータ処理にあたってはパソコン上で手動操作にて行ったため、上記(2)以外は通常の調査より特に内業について人工数が掛かり増しになったため、実用化には他機関等の協力を得て自動化することが必要であると考えました。

UAVを有効活用するため、森林技術・支援センターでは平成30年度から中部森林管理局主催の「無人航空機活用技術研修」のサポートを行い、令和3年度からは「ドローン操作講習会」を主催しており、今後も内部職員や地方自治体職員等のUAVの操作技能向上を目指した技術普及に取り組んでいきたいと思えます。

4 引用文献等

- ・吉坂英則(2022) ドローンによる高精度計測の検証と利用について～RTKによる森林計測～. 令和4年度近畿地方整備局研究発表会
- ・木村圭佑・山下尚・小塚清(2020) RTK-GNSS 搭載型 UAV を用いた空中写真測量における標定点削減に関する検討. 建設施工と建設機械シンポジウム論文集(Web) 31-34
- ・那須満まる・篠原庄次(2024) 低コスト省力造林の取組について～オルソ画像を活用した下刈省略区域の判定～. 令和6年度国有林野事業業務研究発表会
- ・神野有生・八田滉平・福元和真・田村尚也・宮崎真弘・米原千絵・浦川貴季・清水隆博・炭田英俊(2019) UAV 写真測量のSfM における斜め撮影の効率的配置, 標定点の省略可能性, 水の影響と対策に関する検討. 日本写真測量学会 令和元年度年次学術講演会発表論文集 5-8

- ・藤原峻・保田浩・齋藤正博・黄川田智洋・松葉修一・杉浦 綾・眞田康治・秋山征夫(2022) 高精度測位システムを搭載したUnmanned Aerial Vehicle (UAV) によるイネ稈長推定法の検討. 育種学研究 24 巻1号 12-21
- ・小花和宏之・早川裕式・坂上 清一(2021) RTK-UAV測量において3次元モデルのDomingを低減する方法ーGCPを使用せずにcmレベルの精度を実現する撮影・データ処理ー. システム農学 37巻2号 29-38
- ・小田三保(2021) UAV-SfM 法による地上型レーザースキャナの樹高補正. 九州森林研究No. 74 95-96
- ・森林三次元測量システムOWL200型 パンフレット
- ・坪倉真(2020) ICT機器を活用したこれからの森林管理～地上レーザースキャナによる樹高計測の検証と補正・補完～. 令和2年度国有林野事業業務研究発表会
- ・国土地理院ウェブサイト 基盤地図情報 数値標高モデル 1 mメッシュ (FG-GML-5337-62-DEM1A)
- ・高田雅也・神野有生・加賀谷仁秀・春名正基 (2021) RTK測位型UAV撮影による標定点レスSfMにおける撮影方法・解析設定の影響：道路沿いの現地実験データを用いた検討例. 写真測量とリモートセンシング 60巻4号 211-216
- ・林野庁 (2021) 令和3年度国有林野成長予測モデル整備事業報告書
- ・古川修平・長島啓子 (2020) 地上型レーザースキャナを用いて算出した樹冠量指標と胸高直径, 材積の関係. 森林計画学会誌 54巻1号

ドローンを用いた植栽木と競合植生の状態の把握について ～下刈省略区域の設定に向けたヒノキ造林地における取組～

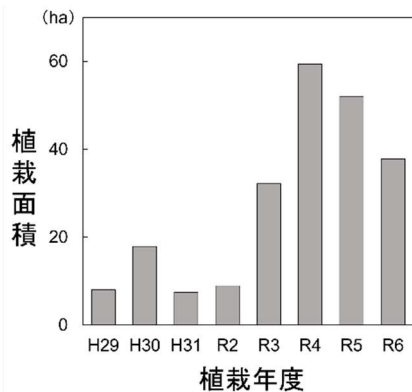
岐阜森林管理署 地域技術官 ○齋 つかさ
地域技術官 にしだ けいすけ 西田 圭佑

1 はじめに

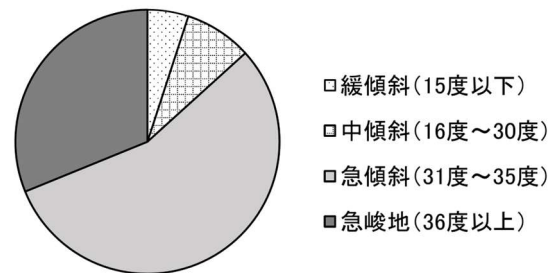
森林・林業基本計画では、伐採から再生林・保育に至る収支のプラス転換を可能とする「新しい林業」の実現に向けた取組を推進することとしています。そのうち、造林作業の省力化と低コスト化に向けた取組の一つとして、雑草木との競合状態に応じた下刈回数の低減があります。下刈回数の低減のためには、植栽木と競合植生の状態の把握が必要不可欠です。

当署では、植栽木の競合状態の把握は、現地踏査により行っています。しかし、当署管内は、近年再生林地が増加していること（図－1）や、急しゅん地が多いこと（図－2）から、現地踏査に時間と労力がかかっている状況です。

そこで、普段職員が使用しているドローンやオルソ画像の作成ができるソフトを活用して、現地踏査の省力化ができないかと考えました。ドローンを用いて得られる画像データや高さのデータから、植栽木と競合植生の状態の把握を試み、その結果から下刈省略区域の設定への可能性と課題について検討を行いました。



図－1 当署管内の年度別植栽面積



図－2 当署管内の令和6年度下刈箇所の傾斜区分ごとの面積割合

2 方法

(1) 対象地の概要

対象地は、林齢3年生のヒノキ林分とし（表－1）、植生の種類と斜面の向きで、4つの区画に分割しました（表－2）。

表－1 対象地の林小班の概要（岐阜県下呂市 神割国有林 1082 へ林小班）

林小班	面積	樹種	ha当たり植栽本数	植栽年月	平均傾斜
1082へ	7.12 ha	ヒノキ	2,400本/ha	令和4年4月	35.3度

表－２ 対象地内の区画ごとの概要

区画	植生	斜面の方向	下刈り実施回数	標高
笹・北向き	笹(ミヤコザサ)	東北東	0回	700～820 m
笹・南向き	笹(ミヤコザサ)	南南東	0回	680～790 m
草・北向き	雑草・かん木	東北東	2回	580～790 m
草・南向き	雑草・かん木	南南東	2回	580～680 m

(2) ドローンによる撮影

使用したドローンは、Autel社EVO II ProV3で、競合植生が繁茂している時期である2024年6月26日、及び植栽木の位置の判読が可能である下刈後の2024年8月16日に対象地全体の撮影を行いました。

また、現地に10m×10mのプロットを設定し、2024年12月24日に現地調査と併せてプロット内の撮影を行いました。

(3) 解析方法

撮影した写真から、Agisoft社Metashapeを用いて、DSM（数値表層モデル）とオルソ画像を作成し、これらのデータから2種類の 방법으로、競合状態を区分しました。植栽木の位置は、オルソ画像を基に、7,325本を目視判読により決定しました。

ア 高さの差による区分

QGISを用いて、DSMとDEM（国土地理院により公開されている数値標高モデル）の差分から、DCHM（数値樹冠高モデル）を作成しました。植栽木の中心から半径20cmの円に含まれるDCHMの最頻値と、植栽木の中心から半径50cmの円（半径20cmの円を除く）に含まれる最頻値を比較し、高さの差により競合状態を区分しました。競合状態は、D1（高さの差が60cm以上）、D2（高さの差が30cm以上）、D3（高さの差が0cm以上）、D4（高さの差が0cm未満）の4段階に区分しました。

イ 繁茂状況による区分

QGISを用いて、オルソ画像を基にVARI値（可視大気抵抗植生指数）を算出し、植栽木の中心から半径50cmの円（半径20cmの円を除く）のVARI値の平均値から、植生の繁茂状況を区分しました。繁茂状況は、V1（平均値が0.10未満）、V2（平均値が0.10以上）、V3（平均値が0.15以上）、V4（平均値が0.20以上）の4段階に区分しました。なお、VARI値は $(Green - Red) / (Green + Red - Blue)$ から算出しました。

(4) 現地調査

「草・北向き」の区画において、10m×10mのプロットを作成し、プロット内の植栽木26本について、競合状態を目視で判定しました。競合状態は、山川ら（2016）の指標であるC1～C4に基づき、4段階に区分しました（C1、植栽木の樹冠が周辺の雑草木から半分以上露出している；C2、植栽木の樹冠が周辺の雑草木から半分未満露出している；C3、植栽木と雑草木の梢端が同じ位置にある；C4 植栽木が雑草木に完全に覆われている）。

3 結果

(1) 競合状態の区分

対象地内の植栽木7,325本を単木ごとに解析しました。区画ごとの植栽木の本数は、「笹・北向き」が1,237本、「笹・南向き」が2,359本、「草・北向き」が2,377本、「草・南向き」が1,352本でした。単木ごとに競合植生の状態を区分した結果、全体図と一部拡大した画像は図-3のように表されました。図に示された円の位置が植栽木の位置で、内側の色を高さの差による競合状態の区分D1～D4とし、外側の色を繁茂状況による区分V1～V4としました。

また、単木ごとの結果を4つの区画でそれぞれ集計した結果が図-4及び図-5の結果となりました。

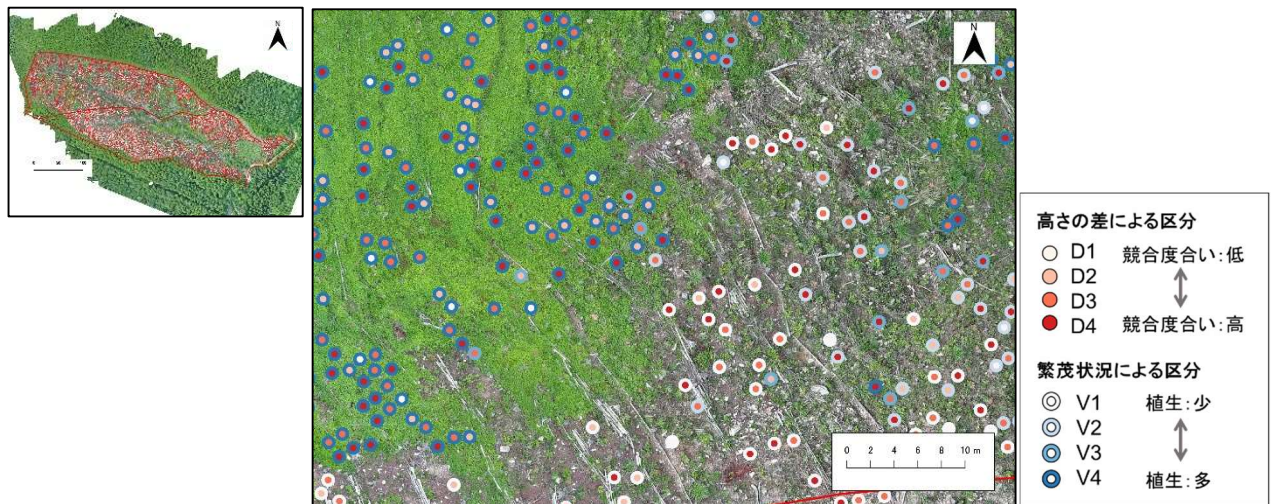


図-3 オルソ画像上に表示した単木ごとの競合状態の区分結果
(左：対象地全体、右：区画「笹・北向き」の一部)

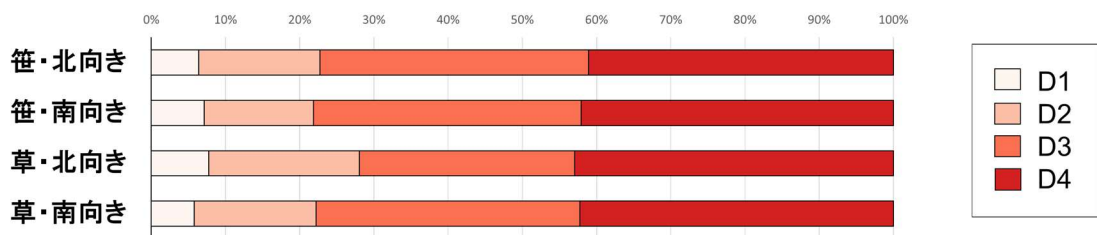


図-4 各区画における高さの差による区分のタイプ別本数割合

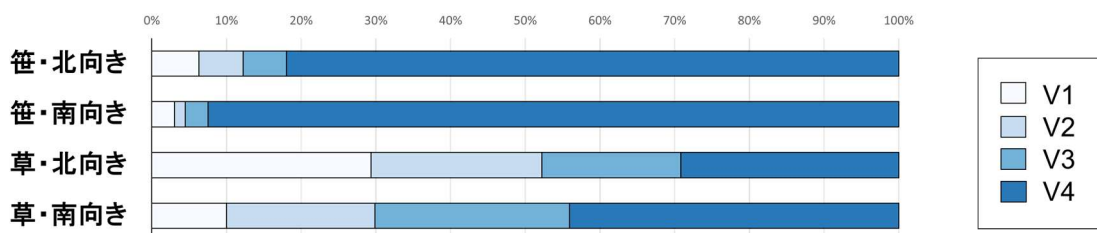


図-5 各区画における繁茂状況による区分のタイプ別本数割合

(2) 現地調査との比較

現地調査で判定した競合状態の結果と、ドローンを用いた高さの差による区分の結果を、表-3にまとめました。競合状態の区分が同等のものは、26本中17本（一致率約65%）という結果になりました。

表-3 ドローンを用いた高さの差による区分の結果
及び現地調査の結果の比較

	ドローンを用いた高さの差による区分			
	D1	D2	D3	D4
現地調査				
C1	4	1	0	0
C2	1	4	2	1
C3	1	0	7	0
C4	0	0	3	2

(一致率:約65%)

(3) 所要時間

今回のドローンを用いた競合状態の把握にかかった時間は、ドローンの撮影に約1時間、オルソ化に約3時間（他の作業と並行可）、植栽木の目視判読に約5時間、QGISの解析準備に約1時間、QGISの解析に約4時間（他の作業と並行可）となりました。

4 考察

(1) 競合状態を区分した結果の活用

ア 単木ごとの結果の活用方法

単木ごとの競合状態について、図-3のように分類し、オルソ画像上に表示して可視化することができました。この結果から、危険な箇所や遠い場所等、現地踏査が難しい場所の競合状態を把握することが可能になるとともに、職員の労力の軽減や安全性の向上につながると考えています。

イ 区画ごとの結果の活用方法

区画ごとの結果について、図-4及び図-5のようにそれぞれの区画の競合状態の傾向を知ることができました。この結果から、下刈要否の一定の判断基準を設けることで、下刈省略区域の設定の判断材料の一つとして活用することができると考えています。

(2) 正確性に関する課題

ア 現地調査との比較

現地調査との一致率が約65%となった原因の一つとして、ドローンの高さの差による区分では、C3とC4の違いが区別できないことが考えられます。植栽木が完全に覆われている場合、半径20cmの円の中の高さは、植栽木の高さではなく、競合植生の高さとなってしまいます。そのため、本来C4に区分される植栽木についてはD3に区分される可能性が高いと考えられます。高さの差による区分のみでなく、オルソ画像も併せて確認する必要があります。

また、今回現地調査は1か所のみで、調査本数が少なかつたため、今後は植生や地形の異なる箇所でも現地調査を行い、一致率を調べる必要があると考えています。

イ DEMのメッシュサイズ

今回利用した国土地理院により公開されているDEMのメッシュサイズは1mであり、メッシュの境界部では正確な高さのデータが得られず異常な値が出るがありました。そのため、地拵直後にドローンによる撮影を行い、地表面のDSMを作成することで、異常な値が出る可能性が低くなると考えています。地拵後のDSMを用いてDCHMを算出することで、集積した枝条や伐根の影響も除いた高さのデータを取得できると考えています。

ウ 植栽木の大きさによる違い

今回、対象地全体で、競合状態の4段階を区分する範囲と高さの差の数値を同じ値としましたが、植栽木の大きさが異なる場所で、競合状態が正しく区分できていないがありました。例えば、林縁部では、周囲の立木の影響で植栽木の成長が遅く、樹高が60cm未満であったため、D1（高さの差が60cm以上）に区分することができませんでした。場所によって、競合状態が正しく区分されないことがあることを理解して、結果を活用する必要があります。また、植栽木の生育状況が異なる区域が存在する場合には、植栽木の生育状況に合わせて競合状態の区分の方法を変える必要があると考えられます。

(3) 所要時間に関する課題

植栽木の目視判読に多大な時間を要したため、植栽木の目視判読本数を減らすことで時間についても省力化できると考えられます。また、苗木の自動検出技術（中川ら, 2021）も進んでいることから、このような技術を活用することで時間の短縮につながると考えられます。

5 結論

競合植生の状態の把握について、ドローンやQGIS等を活用することで、現地踏査と比較して安全性が高まり、労力の軽減にもつながると考えられます。特に現地を歩き慣れていない職員が、安全に仕事を行うことができるとともに、このデータを用いて下刈要否の判断について経験の豊富な職員に意見を伺うこともできます。

また、区画を設定し、下刈要否の判断基準を設定することで、下刈省略区域の設定にも活用できる可能性があります。

ただし、正確性に関する課題がいくつかあるため、オルソ画像等の様々なデータや正しく区分できない条件を確認したうえで、この結果を活用する必要があることが分かりました。今後は、今回得られた課題について検証を行いたいと思います。

参考文献

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．

中川太人・藤平光希・トウソウキウ・加藤正人（2021）．UAV画像と機械学習を用いた苗木自動検出技術の開発．森林計画誌，55，35-38．

携帯電話不感地帯での治山工事における通信環境の導入について (追加報告)

富山森林管理署 治山技術官 ○城内 優希
治山技術官 前田 まえだ 達樹

はじめに

富山森林管理署常願寺川治山事業所で担当している治山工事箇所は、山間部奥地につき携帯電話通信圏外であることに加え、アクセスに時間を要する現場条件を有しています(写真-1)。このため、受発注者共に「労働時間の浪費」、「情報収集の遅れ」、「安全対策面での不安」、「働き方改革が進まない」など、業務の効率化について課題がありました。

これらの課題を改善するため、現場に通信環境を導入し、遠隔臨場を行えるようにならないか検討しました。



写真-1 工事箇所遠景写真

1 これまでの取り組み状況(令和2~4年度)

携帯電話がつながる限度箇所を起点とし、工事箇所までの通勤経路上に中継機械を複数設置することで、LTE通信電波を工事箇所まで到達させるシステムを構築しました(写真-2)。

この仕様での取組を、令和2~4年度までの期間試行しましたが、通信環境の導入は図られたものの、新たな課題が残る結果となりました。



写真-2 LTE通信仕様での概況

(1) 新たな課題

ア 通信速度不足

通信速度が常に不安定のため、途中で音声、映像ともに途切れてしまうことや、そもそも通信不能の日もありました。また、令和3年3月に林野庁より施行された「工事現場等における遠隔臨場に関する試行要領」で求める通信速度より大幅に不足していることが分かりました。



イ コストのかかり増し

中継機械を設置する手間は、現場従事者の労務コストを増やし、また中継機械の維持管理には電気通信事業者等の専門家による設定が必要となるため、設置費用や出張費がかさみました(写真-3)。



写真-3 コストのかかり増し状況

2 低軌道衛星通信の導入（令和6年度）

新たな課題を改善できないか再度検討したところ、低軌道衛星通信スターリンクの導入にたどり着きました。初心者でも設置撤去が可能なこと、中継機械が削減できる見込みがあること、通信速度期待値はLTE通信仕様の測定値の倍以上の見込みがあることから、改善を期待しました。

導入したところ、インターネットの使用が可能になりましたが、通信範囲がスポット的にならざるを得ないという短所があり、そこで、LTE通信仕様での経験を活かして中継機械を1基設けたところ、スポット的な通信可能範囲をフィールド的な範囲へ拡大し、より利便性を図ることができました（写真－4）。



写真－4 低軌道衛星通信の導入概要

3 新たな課題の改善結果

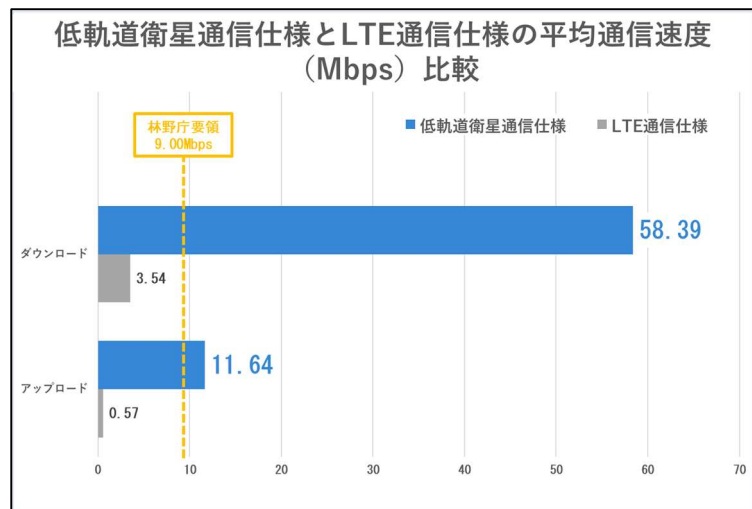
(1) 通信速度の安定化

通信速度を測定したところ、LTE通信仕様より大幅に改善されている結果となりました。要領で求める9 Mbpsもクリアしており（図－1）、途中で通信が途切れるなどのトラブルも無く、映像の画質も改善しました。

(2) コスト縮減

労務コストについては、中継機械が減ったことにより、維持管理にかかる作業が大幅に削減されました。

経済コストについても、LTE通信仕様での費用が直接工事費のみで工事1件あたり約280万円だったことに対し、低軌道衛星通信仕様では約45万円となり、約84%の削減となりました（積算上の積み上げ金額での比較。共通仮設費率、現場管理費率、一般管理費率による費用は除外）。



図－1 低軌道衛星通信仕様とLTE通信仕様の平均通信速度比較

4 得られた効果

(1) 監督業務の時短

遠隔臨場により、監督職員の就労時間がどれくらい節約できたかを算出したところ、本工事では、立会回数が17回ありましたが、そのうち4回を遠隔臨場で実施しました。これにより、約1日分の就労日数が

節約され、その時間は他業務に充てられたり、休日を取得してリフレッシュしたりできました。

(2) 遠隔臨場での立会・確認の試行

本工事では、モルタル吹付工を施工しましたが、施工範囲や端部の仕上げ方についての作業指示と工事材料の確認依頼がありました。これまでは、現場臨場により高所斜面にて確認できる範囲まで接近して作業指示をしていましたが、今回は遠隔臨場により実施することができました。

また、工事材料の確認についても問題なく実施でき、遠隔臨場の利便性を実感しました（写真－5）。



写真－5 実際の遠隔臨場画面

(3) 施工管理の効率化

受注者側は工事箇所にライブカメラを設置し、現場の状況がリアルタイムにスマートフォンなどで確認できるようになり、休工明けの作業の段取りや、豪雨時の対応にも役立ったといった成果が得られ、施工管理の効率化につながりました（写真－6）。



写真－6 ライブカメラの使用状況

(4) 業務効率化・福利厚生面への寄与

受注者からは、現場作業の合間を縫ったスキマ時間で、SNSアプリ等のメッセージ機能による連絡が可能になり、工事関係者間の連絡手段が確保された。テレビ電話機能を使用することにより、本社と現場状況の情報共有が容易にできた。現場でクラウドにアクセスして設計図書などをすぐ閲覧でき、インターネットを使用して情報を容易に取得できた。休憩時間にネットサーフィンができたり、家族や友人と連絡がとれたり福利厚生面にも活用できたといった報告もいただきました。

5 まとめと考察

今回の工事箇所は、複数年にわたる継続工事だったため、いくつかの仕様を模索することができましたが、容易に現場条件に合ったシステムを構築することは難しいと思われ、工事箇所や工事内容の条件によっては、LTE通信仕様のように中継機械のみでの仕様でも効率が良い場合もあると考えます。そのためには、通信環境を導入しやすくなるような指標や、仕組みづくりが必要と考えます。

6 おわりに

昨今は、働き方改革の推進やデジタル技術の発達により、「林業イノベーション」や「建設DX」といった言葉を盛んに耳にするようになりました。しかし、それらは通信環境が整って初めて推進できるものが多く、通信環境が整っていない山間部奥地をフィールドとする我々は、手が出せなかった部門です。

今回の取組を通じて、技術革新を身近に手繰り寄せられる兆しが見えたと実感しています。

この取組が、これからの「選ばれる森林土木・林業」の改革を促進する一事例となれば幸いです。

参考文献

工事現場等における遠隔臨場に関する試行要領（林野庁）

令和4年度 森林・林業に係る情報基盤整備に係る基本調査通信環境構築マニュアル（林野庁）

林業イノベーション現場実装推進プログラム（令和4年7月アップデート版）（林野庁）

協力会社

中越興業株式会社

主伐地における簡易架線集材の見学会開催報告 ～スイングヤーダによる作業システムの普及と事業体連携を目指して～

長野県 佐久地域振興局 林務課 主査 ○篠原 隼^{しのはら じゅん}
南佐久中部森林組合 技師 ○井出 大二郎^{いで だいじろう}

課題を取り上げた背景

長野県佐久地域は、カラマツを中心に人工林が成熟期を迎え、積極的に「主伐・再造林」が進められていますが、木材生産を進めるうえで、森林作業道開設に適さない急傾斜地での集材作業が課題となっています。

見学会場とした長野県南佐久郡南相木村は、急傾斜地で岩場が多く、森林作業道開設が困難な箇所が多いため、土壌保全を考慮しつつ森林作業道を開設できる箇所まで開設し、尾根までの間の伐採木はウインチ付グラップルによる引き下げワイヤー集材を行っていました。

しかし、森林作業道から尾根までの集材距離が長く、人力でワイヤーを担いで何往復も荷掛けをすることから、荷掛け作業への労働負荷が大きく、集材作業が生産性のボトルネックとなっていました。

そこで、生産性向上・労働負荷軽減・労働安全性の向上・林業事業体同士の連携を目的として、スイングヤーダを使用した簡易架線集材現場見学会を開催しましたので紹介します。

1 現場見学会開催目的

佐久地域における主伐・再造林の推進においては、森林作業道開設に適さない急傾斜地での集材作業が課題となっています。集材作業が生産性向上の観点から、ボトルネックとなっている現状を踏まえ、生産性向上・土壌保全の観点からも有効な作業システムである、スイングヤーダを使用した簡易架線集材を普及するため、現場見学会を開催しました。

また、重労働となっている集材作業の労働力軽減を図り、現場作業従事者への労働負荷軽減、労働安全性の向上、林業就業者の雇用促進も合わせて目的としています。

2 日時・開催場所・参加者・使用機械

令和6年8月7日（水）に南佐久中部森林組合に御協力いただき、長野県南佐久郡南相木村で開催しました。対象者は市町村林務担当者・林業事業体とし、佐久管内・上田管内・諏訪管内から24名の参加がありました。スイングヤーダは、イワフジ工業（株）SW-302を使用し、ベースマシンは0.45m³・ワイヤードラム巻込容量はホールライン250m・ホールバックライン430m・ワイヤー径11.2Φとなります。

3 開催場所の長野県南佐久郡南相木村の特徴

- ・長野県の東南端、群馬県境に位置をしている。
- ・海拔985m（南相木村役場）冬季は-15℃まで冷え込む。
- ・民有林面積は3,812haになっており、人工林が67.6%、天然林が32.4%となっている。人工林面積のうち、カラマツが62%、アカマツが12%、その他広葉樹が26%となっている。
- ・中傾斜地・急傾斜地が多く、岩場が多い。マツタケの産地。
- ・優良なカラマツ材が搬出されている。



図－1 見学会開催地全景

4 見学会会場での作業システムの紹介

見学会開催現場では、土壌保全を考慮し森林作業道を開設できる箇所まで開設し、森林作業道から尾根までの間をスイングヤードを使用した簡易架線集材を行いました。集材は引き下げ集材となります。

集材箇所の面積は0.48ha、平均斜度は30～35度になり、簡易架線索張りにかかった人工は、3人で0.5日の1.5人工、集材完了までにかかった人工は8.5人工で、計10人工でした。

集材作業は3名で行い、森林作業道に配置しているグラップル付きBH（バックホー）のオペレーターが、スイングヤードをラジコン操作し、荷掛け者とトランシーバーを使い合図を出します。ラジコン操作をするオペレーターは、グラップル付きBHと兼務になります。

荷掛け者は2名で行い、斜面中腹の退避場所で待機しオペレーターからの合図を待ちます。荷掛け者は、毎回斜面を上り下りする手間が省け、労働力の軽減・転倒等による労働災害の減少につながります。

集材木は1箇所に引き下げ全幹集材をし、グラップル付きBHのオペレーターが荷を外し、森林作業道下に集積します。集積後は、ハーベスタで造材・フォワーダーで搬出するシステムとなります。



写真－1 見学会開催地全景

5 森林作業道・スイングヤード・グラップル付きBHの配置

（写真－2）簡易架線集材箇所の伐採前の写真になります。赤○印が森林作業道開設最終箇所になり、森林作業道から尾根までの間を、伐採し簡易架線索張りを行い、簡易架線集材を行います。

（写真－3）伐採後の写真になります。左側がスイングヤードとなり、右側がグラップル付きBHです。

スイングヤード付近のカラマツがガイドツリー（向柱）となり、滑車がついています。スイングヤードとグラップル付きBHの中間に、集材木が集積されるように簡易索張りされています。



写真－2 森林作業道開設最終箇所



写真－3 左側赤○印スイングヤード
右側赤○印グラップル付きBH
黄色○印ガイドツリー（向柱）
緑○印 ヘッドツリー（元柱）

6 簡易索張り図

簡易索張り図とスイングヤード・グラップル付きBHの関連図になります。



図-2 簡易索張り・スイングヤード・グラップル付きBH関連図

7 1箇所に全幹集材による効果

1箇所に全幹集材をすることで、枝葉も付いてくるため伐採斜面に枝条が残りにくく、その後の人力地拵作業の軽減につながります。また、枝条を集積しやすくなり作業の効率化、枝条の未利用材としての有効活用の可能性も考えられます。



写真-4 1箇所に全幹集材をしている



写真-5 グラップル付きBHのオペレーターが荷を外し、スイングヤードのラジコン操作も兼務している

8 現場見学会の内容

南佐久中部森林組合に御協力いただき、施業中の主伐地で現場見学会を開催しました。イワフジ工業(株)様の御協力をいただき、参加者との質疑応答・意見交換等を行い、以下のような課題等を把握しました。



写真-6 現場見学会開催の様子



写真-7 現場見学会開催の様子

(1) 現状の集材作業

- ・現状の集材作業は、森林作業道を開設しウインチ付グラップルでワイヤー集材、直取りをしている。
- ・森林作業道から道上となる尾根までの間は、人力でワイヤーを担いで毎回斜面を上り下りしている。

(2) 集材作業における課題

- ・ワイヤー集材の距離を短くするため、森林作業道開設に適さない場所での、作業道開設による山腹崩壊の恐れがある。
- ・斜面の上り下りが、重労働となっているため、作業従事者への労働負荷が大きい。
- ・斜面での転倒や、斜面に残存している伐倒木が滑り落ち、伐倒木に激突される危険性がある。
- ・毎回斜面を上り下りするため、集材作業に多くの時間を要し、生産性向上のボトルネックとなっている。

9 スイングヤード簡易架線集材の有効性

現状の集材作業と集材作業における課題を把握した上で、スイングヤード簡易架線集材の有効性を挙げます。

- ・スイングヤードはベースマシンがBHのため、機械の移動・設置が容易にでき、機動性を向上できる。
- ・簡易架線索張り・撤去を少人数で行える。
- ・作業従事者は、毎回斜面を上り下りする手間が省け、労働負荷の軽減を図れる。
- ・労働負荷が軽減されることにより、作業従事者のモチベーションアップにつながる。(毎回苦勞するのは誰でも嫌)
- ・斜面での転倒や、斜面に残存している伐倒木が滑り落ち、激突される危険性を排除し、労働災害減少・労働安全性の確保を図れる。
- ・土壌保全の観点から、森林作業道開設に適さない場所での無理な開設を減らし、土砂の崩壊を防ぎ、将来につながる森林の保全を図れる。
- ・取り残しのない集材を行い、搬出材積量の増加を図れる。

- ・全幹集材をすることにより、枝葉も付いてくるため、伐採斜面に枝条が残りにくく、その後の人力地拵作業の軽減につながる。また、1箇所集材することで枝条を集積しやすくなり、その後の作業の効率化・枝条の未利用材としての可能性も考えられる。
- ・生産性のボトルネックとなっている急傾斜地での集材工程の作業時間短縮につながる。
- ・ボトルネック解消、取り残しのない集材を行うことにより、林業事業体の収益を上げ、雇用促進につなげられる。
- ・安全な集材作業・労働負荷軽減により、危険・キツイ林業から脱却し、林業のイメージアップを図れる。結果、離職率の低減につながる。

10 今後の課題

主伐におけるスイングヤーダ簡易架線集材を普及するために、今後の課題について挙げてみます。

- ・簡易架線索張りが出来る技能者が少ない。
- ・簡易架線索張りに興味があっても、学ぶ方法がわからない。
- ・現場で講習会をやってほしいが、機会がない。誰に言えばいいかわからない。
- ・林業事業体同士の施業技術の交流や、情報共有がされていない。
- ・交流や情報共有がされていないので、他の林業事業体に聞けない。聞きにくい。講師派遣を頼めない。
- ・スイングヤーダ（高性能林業機械）を所有していない。

11 課題解決に向けて（林業事業体同士の横のつながりを目指す）

課題解決に向けて、解決策を挙げてみます。

- ・簡易索張り現地講習会を開催し、実際に現場で索張り体験をし、意見交換等を行うことにより、林業事業体同士の交流を図り、今後のつながりを持たせる。
- ・林業事業体同士の横のつながりにより、技術相談や講師派遣を行い、作業効率の向上・労働安全性の向上を目指す。
- ・施業技術の情報共有を行うことで、簡易索張りが出来る技能者の育成ができ、将来的に簡易架線集材システムの普及につながる。
- ・スイングヤーダ（高性能林業機械）の導入には、補助金の活用やレンタルを利用する。
- ・林業事業体同士が交流・連携を図ることで、地域の林業活性化につながる。

おわりに

地域の林業・林業界を盛り上げるためにも、まずは林業事業体同士の連携を目指し、技術情報の共有、作業効率の向上、労働安全性の向上を図るために、林業普及指導員として橋渡しができればと考えます。

最後に、見学会開催に御協力いただきました、イワフジ工業（株）様、ご参加いただきました林業事業体の皆様ありがとうございました。



写真－8 施業中現場風景



写真－9 施業後現場風景

大苗植栽による下刈省力化の検討

長野県林業総合センター 主任研究員 ^{おおや} 大矢 ^{しんじろう} 信次郎

はじめに

我が国の造林コストは諸外国と比較して突出して高く、林業の収益性を低下させていることから、造林コストの削減が求められています。特に下刈は造林初期コストの約半分を占めており（林野庁 2021）、重点的な対策が必要です。これまでの研究により、バケットやグラップル等の機械地拵を行うことによって表土の攪乱及び埋土種子や雑草木の根系が除去され、競合植生の回復が遅れることから下刈回数を1～2回削減可能であることが明らかになっています（大矢ら 2021）。本研究では、こうした機械地拵による競合植生抑制効果に加えて、大苗の植栽による初期樹高の確保と競合状態の改善を組み合わせることによって、さらなる下刈回数削減が可能か検証しました。

1 調査地の概要

佐久市の大曲国有林及び南牧村の団体有林に大苗植栽試験地を設定しました（図－1、表－1）。佐久では、2019年夏季～秋季に皆伐及び人力地拵を行い、同年11月上旬にカラマツのコンテナ中苗（以下、コン中）、裸中苗（以下、裸中）、コンテナ大苗（以下、コン大）、裸大苗（以下、裸大）の4種類の苗木を300本ずつ植栽しました。南牧では、2019年秋季～2020年冬季に皆伐及びグラップルによる機械地拵を行い、2020年4月に佐久と同様の4種類の苗木を320本ずつ植栽しました。使用した苗木はいずれも山形村産の2年生苗であり、平均苗高はコン中が約40cm、裸中が約50cm、コン大が約60cm、裸大が約90cm（佐久）及び70cm（南牧）でした。両試験地において植栽直後に樹高、根元直径を測定し、以後の測定は各成長期後（11月）に行いました。また、両試験地とも苗種ごとに下刈あり・なしに区分し、生存率及び成長量に及ぼす影響を比較しました。



図－1 佐久試験地及び南牧試験地のプロット配置

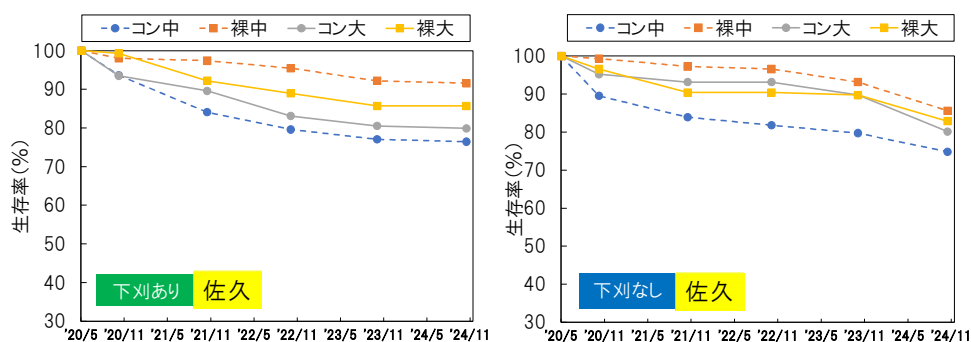
表－1 試験地の概要

所在地	佐久市 (大曲国有林)	南牧村 (団体有林)
主 伐	2019年夏～10月	2019年冬～2020年3月
地拵え	2019年10月 (人力地拵え)	2020年3月 (グラップル地拵え)
植 栽	2019年11月	2020年5月
樹 種	カラマツ	カラマツ
苗 種	・コンテ苗：中40cm・大60cm ・裸 苗：中50cm・大90cm	・コンテ苗：中40cm・大60cm ・裸 苗：中50cm・大70cm
下刈り	・あり (4夏目まで) ・なし	・あり (2夏目まで) ・なし
競合植生	木本類	ササ
植栽密度	1,000本/ha 1,500本/ha 2,300本/ha	10,000本/ha 5,000本/ha 2,300本/ha

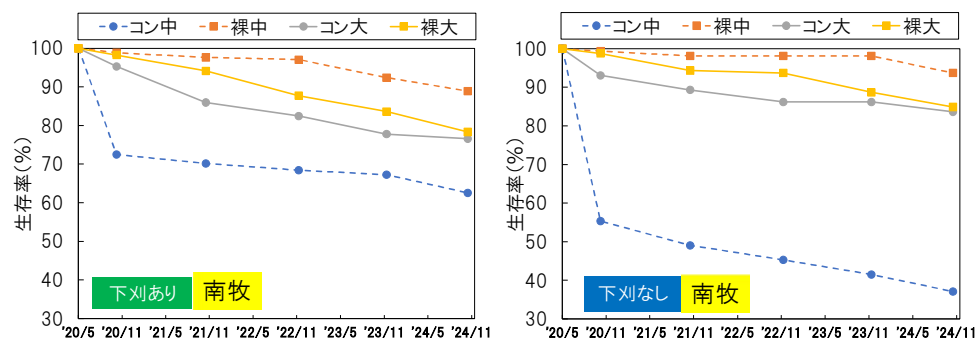
2 結果と考察

(1) 生存率

佐久試験地のカラマツ植栽木の生存率は、下刈あり・なしで大きな違いは認められませんでした (図－2)。コン中は、下刈あり・なしとも5年後に生存率が80%をやや下回りました。この原因としては、人力地拵であったため1夏目でもある程度植生が回復し、コン中は初期サイズが小さいことから下刈実施前に被圧され枯死したと考えられます。一方、南牧試験地では下刈なし区におけるコン中の生存率低下が顕著に認められ (図－3)、5年後には40%を下回りました。コン中は下刈を行っても生存率が低く、3年後には70%以下に低下しました。



図－2 佐久試験地におけるカラマツ植栽木の生存率の推移



図－3 南牧試験地におけるカラマツ植栽木の生存率の推移

(2) 樹高

佐久及び南牧における植栽苗種ごとの初期樹高は、コン中<裸中≦コン大<裸大の順で、1～2夏後には下刈の有無に関わらず裸中とコン大の樹高の順位が逆転しました(図-4)。両試験地とも下刈の有無による樹高及び生存率の有意差は5夏後においても認められませんでした。しかし、両試験地の植栽木と競合植生の競合状態は大きく異なり、山川ら(2016)の競合状態の指標で考えると、C3+C4の割合が20%の基準(大矢2022)を下回って下刈不要と判断されたのは、佐久では1夏目の裸大のみで、それ以外は各区の植栽木の多くが木本類を主体とした競合植生に被圧されていました。一方、南牧ではグラップル地拵を行った効果から植生が抑制され、なおかつ植生タイプもササ(クマイザサ)のみであったことから他の植生が発達せず、1～2夏目のコン中を除き下刈が不要でした(図-5)。つまり、佐久では大苗であっても2夏目以降は下刈が必要であり、南牧では大苗でなくても下刈は期間を通じて不要であった、ということです。大苗の優位性というよりは、機械地拵による植生の抑制と、競合植生タイプがササであったことが大きく影響したと考えられます。

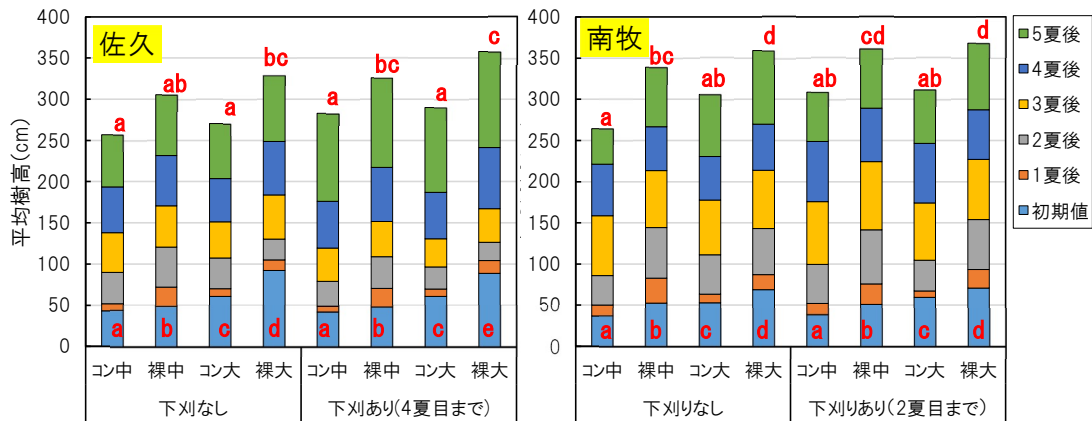


図-4 カラマツの苗種・下刈区分ごとの平均樹高の推移

※Tukey-Kramerの多重比較検定(試験地別に初期樹高及び5年後の樹高について下刈区分と苗の種類総当たり)
 ※同一試験地内で同一符号を含まない試験区間に有意差あり(P<0.05)

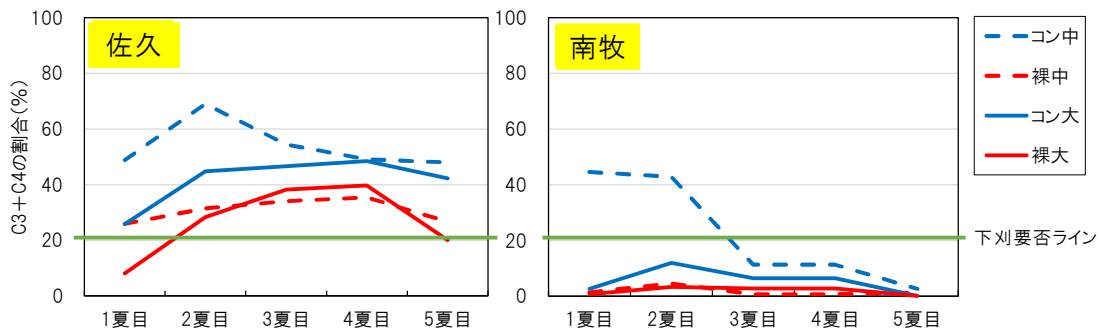


図-5 下刈なし区における競合状態 C3+C4 の割合

※C3: 植栽木の樹高が競合植生の高さと同等、C4: 植栽木が競合植生に被圧されている状態

(3) 根元径

根元径の初期値は樹高と異なり、コン中<コン大<裸中<裸大の順でコンテナ苗が裸苗より有意に小さく、コンテナ苗が裸苗より小さい傾向は5年後においても両試験地ともほぼ変わりませんでした(図-6)。下刈なしの場合、競合状態が良くなかった(植栽木が被圧されていた)佐久では各苗種とも根元径の成長が抑制され、5年後には下刈ありと比較して有意に小さくなっていました。一方、下刈なしでも競合状態

が良好だった（植栽木が被圧されていなかった）南牧では、5年後も下刈なし区は下刈あり区と有意差がなく（図-6）、健全性が保たれていたと判断できました。これらの影響は、樹高と根元径の関係を表す形状比（樹高/根元径）にも現れており、佐久の下刈なし区では各苗種とも形状比が年々上がり続け、5年後には120~130になっていた一方で、南牧の下刈なし区では下刈あり区と同様に各苗種とも80程度に落ち着いていました。このことから、競合状態が良好であれば下刈の有無が形状比に及ぼす影響はないと言えるでしょう。

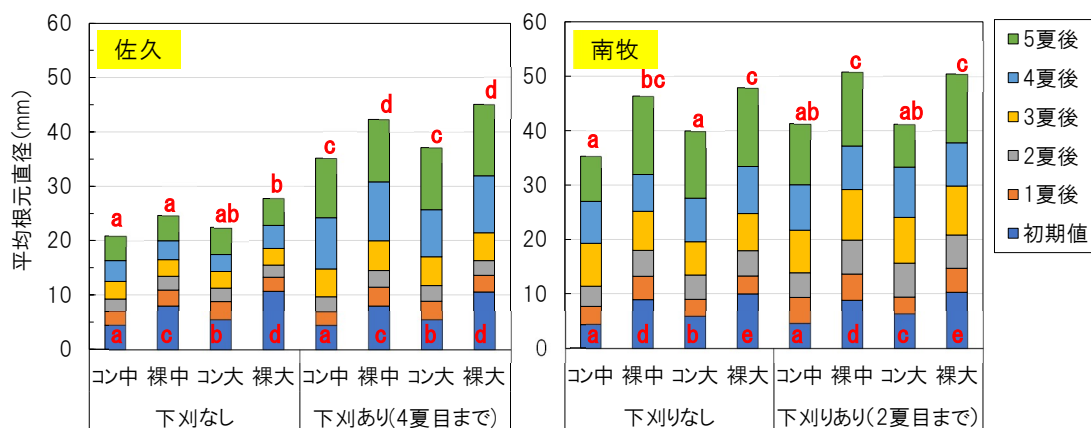


図-6 カラマツの苗種・下刈区分ごとの平均根元径の推移
 ※Tukey-Kramerの多重比較検定（試験地別に初期樹高及び5年後の樹高について下刈区分と苗の種類総当たり）
 ※同一試験地内で同一符号を含まない試験区間に有意差あり（ $P < 0.05$ ）

おわりに

今回、2か所の試験地において大苗植栽によって下刈回数を減らせるか検証を行いました。佐久試験地のように、人力地拵かつ競合植生が木本類（競合状態が悪化しやすい）の場合は、大苗によって1夏目の下刈を省略することは可能と考えられます。それに対して、南牧試験地のように、グラップル等で機械地拵かつ競合植生がササ（競合状態が悪化しにくい）の場合は、大苗でなくても下刈が不要となることが確認できました。これらの結果だけでは大苗の効果は限定的と思われるかもしれませんが、機械地拵で競合植生が木本類の場合であったり、人力地拵で競合植生がササであったりする場合には、大苗の効果がより鮮明に出るかもしれません。

また、コンテナ苗は中苗・大苗とも1夏目の樹高成長が停滞する傾向があり、初期形状比の改善、すなわち根元径の太い苗の育成が求められます。近い将来的、「初期成長が極めて速いコンテナ大苗」が供給され、機械地拵と組み合わせると無下刈でも成林可能となることを期待します。

引用文献

- 大矢信次郎・倉本恵生・小山泰弘・中澤昌彦・瀧誠志郎・宇都木玄（2021）機械地拵えによる競合植生抑制効果と下刈り回数の削減．森林利用学会誌 36：99-110.
- 大矢信次郎（2023）カラマツの植栽試験（長野県）—大苗による下刈り回数削減—．クリーンラーチ・カラマツ類の優れた成長を活かす育苗と育林、施業モデル：11.
- 林野庁（2021a）令和2年度森林及び林業の動向 令和3年度森林及び林業施策．オンライン、
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo/attach/pdf/zenbun-64.pdf>
- 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．日本森林学会誌 98(5)：241-246.

センダン種苗生産及び育林技術に関する研究

愛知県森林・林業技術センター 主任 ^{はせがわ のりたか} ○長谷川 規隆
愛知県新城設楽農林水産事務所 技師 ^{いわした こうへい} 岩下 幸平

はじめに

愛知県では、人工林面積の8割以上が50年生を超え、本格的な利用期を迎えており、今後主伐・再造林の増加が見込まれています。そうした中、植栽後15～20年程度の比較的短い期間で収穫ができ、木材として利用可能な早生樹「センダン」(写真-1)について、新たな造林樹種として導入を目指しています。

そこで、当センターでは、本県由来のセンダンの成長特性を明らかにし、現場で扱いやすい種苗生産及び育林技術の開発に取り組みました。



写真-1 センダン(植栽2年目)

1 方法

(1) 育苗研究

ア 発芽試験

2022年12月に県内各地で採取したセンダンの種子を、果肉を取り除き保湿した状態で5℃の冷蔵庫内に保管しました(低温湿層処理)。2月中旬に、赤玉土を培地とした育苗箱に播種(写真-2)し、ビニールハウス内で20℃に設定した加温マット(農電電子サーモND-610、筑波電器株式会社製)上に設置し、加温区としました(写真-3)。同時に、加温なしの対照区として、屋外にも播種した育苗箱を設置しました。その後、発芽本数を毎日目視で確認しました。



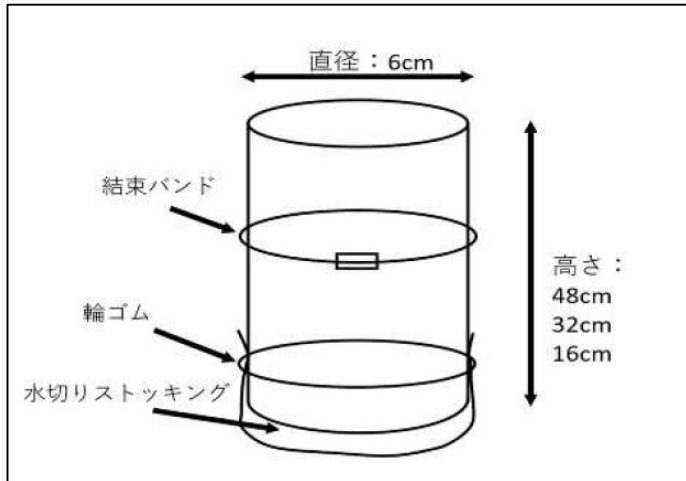
写真-2 播種状況



写真-3 加温による発芽試験

イ 育苗試験

発芽試験で得られた幼苗を、Mスターコンテナ(図-1、写真-4)(径6cm、高さ48cm・32cm・16cm)及びマルチキャピティコンテナ(300cc、150cc)に移植しました。コンテナの培地は、ココピートオールドと鹿沼土を4:1で混合したものとし、肥料(ハイコントロール650、180日タイプ、ジェイカムアグリ株式会社製)を培地1L当たり10g与えました。その後、毎月成長調査を実施しました。



図ー1 Mスターコンテナの構造

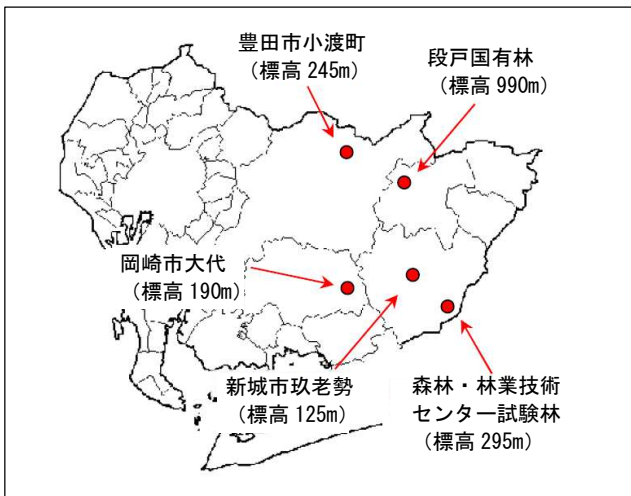


写真ー4 Mスターコンテナ（高さ 48 cm）への移植状況

(2) 育林研究

ア 成長調査

2021年4月に当センター構内の苗畑に播種し、育苗した裸苗を2022年2～5月に県内5試験地（図ー2）において植栽（写真ー5）し、4半期毎に成長調査を実施しました。なお、各試験地においては、植栽1年目と2年目に春と夏の芽かきを実施しました（計4回）。また、^{だんだん}段戸国有林を除く4試験地では土壌調査及び施肥（ウッドエース4号、ジェイカムアグリ株式会社製）を行いました。



図ー2 育林試験地



写真ー5 植栽状況（豊田市小渡町）

イ 病虫害被害調査

各試験地において、病虫害による被害を6～9月にかけて毎月目視で調査し、その対策の検討を行いました。

2 結果及び考察

(1) 育苗研究

ア 発芽試験

加温区では、播種後38日目に1本目が発芽し、92日目には発芽率55%で幼苗を得ることができました（写真ー6）。一方、対照区では、1本目の発芽に85日を要し、147日目でも発芽率26%でした。これらのことから、センダンの種子は、加温することにより発芽が促進されることが明らかとなりました（図ー3）。



写真-6 発芽状況

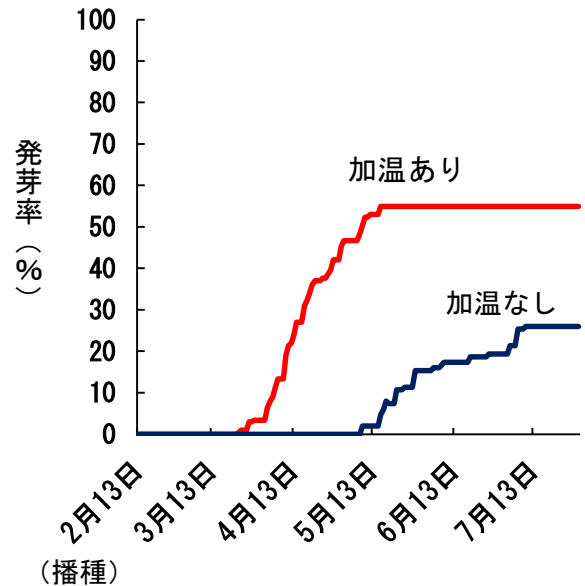


図-3 発芽率の推移

イ 育苗試験

加温区での発芽試験で得られた幼苗を5月下旬に各コンテナに移植したところ、6月から急激な成長を見せ、9月にはコンテナサイズに応じた苗高に収束しました。Mスターコンテナでの平均苗高は、高さ48cmサイズで 84.8 ± 3.4 cm、32cmサイズで 89.3 ± 3.6 cm、16cmサイズで 78.2 ± 3.4 cmとなりました。マルチキャビティコンテナでは300ccで 50.9 ± 2.6 cm、150ccで 44.3 ± 1.6 cmとなりました(図-4及び写真-7)。なお、加温をしていない対象区で得られた幼苗を、8月に移植しましたが加温区ほどの著しい成長は見られませんでした。

これらのことから、センダンの十分な苗高のコンテナ苗を生産するには、種子を加温により発芽促進し、6～9月の成長期間に間に合うよう、幼苗をコンテナに移植することが有効であると考えられました。また、コンテナサイズに応じて、苗高を調整できることも分かりました。

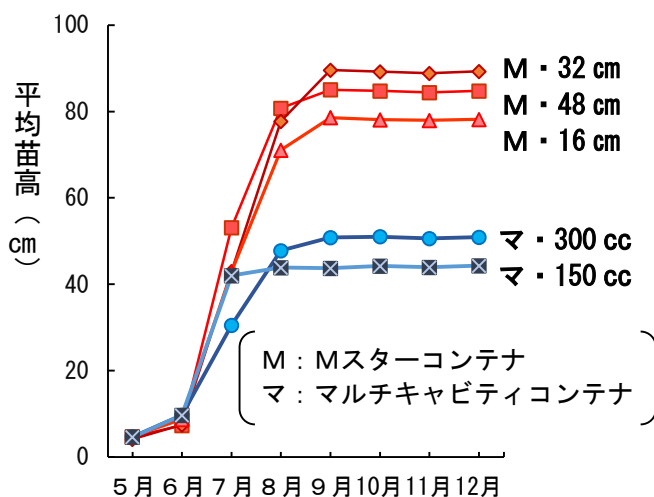


図-4 加温区における各コンテナでの苗高の推移



写真-7 コンテナでの育苗状況

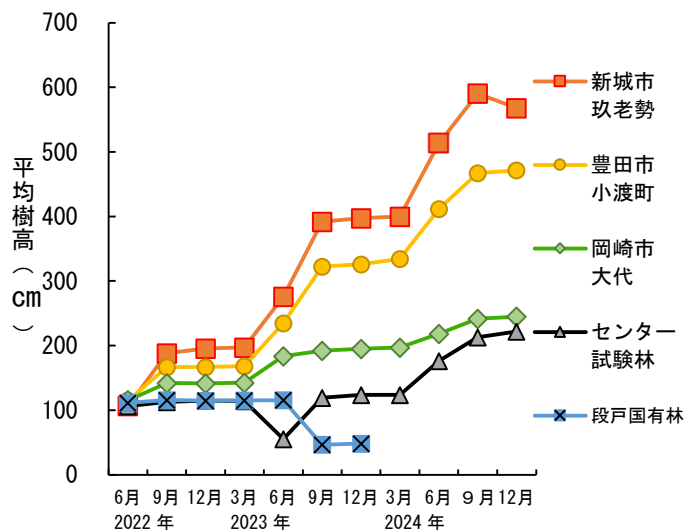
(2) 育林研究

ア 成長調査

2022年6月から2024年12月までの2年6カ月間における、試験地毎の平均樹高の推移は図-5のとおりとなりました。センダンの樹高成長の傾向として、3～9月の春季から夏季が成長期間で、秋季から冬季は横ばいとなりました。

た。新城市及び豊田市の試験地（写真－8）は著しい成長が見られました。一方、岡崎市の試験地では成長はあまり見られませんでした。森林・林業技術センター試験林では、ゴマダラカミキリ被害による成長阻害を受けました。段戸国有林（写真－9）では、高標高で冬季に低温による先枯れが生じ、成林は困難となりました。

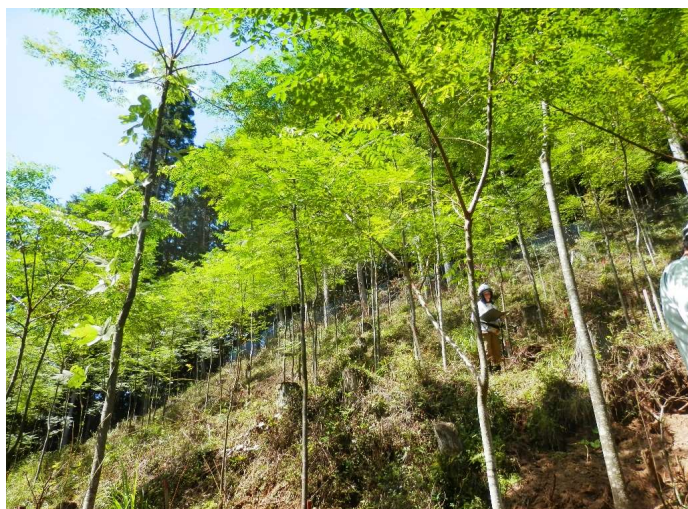
また、土壌調査の結果は、表－1のとおりとなりました。良好な成長を示した新城市及び豊田市の試験地では、A0+A層が発達していました。岡崎市の試験地では透水性が高く、センダンが利用できる水分が少ない状態にありました。これらの結果から、センダンの育林において良好に成長する土壌の条件として、A0+A層が発達し、適度な透水性を持っていることが考えられました。また、冬季に低温となる高標高地域での植栽は避ける必要があることも分かりました。



図－5 樹高の推移

表－1 土壌調査の結果

	新城市 玖老勢	豊田市 小渡町	岡崎市 大代	センター試験林
A0+A層厚さ (cm)	45	45	30	30
pH	6.2	5.4	5.6	5.0
EC ($\mu\text{s/cm}$)	24.9	7.7	12.0	16.0
PF1 (ml)	84.8	46.4	—	51.7
透水性	中	中	大	中



写真－8 豊田市小渡町（2024年9月）



写真－9 段戸国有林（2022年12月）

イ 病虫害被害調査

2022年8月、森林・林業技術センター試験林において、ゴマダラカミキリによる樹皮への被食被害が発生しました（写真－10）。被害は、植栽したセンダンの91%で発生し、樹皮全体がえぐられ、中には自重で倒れる個体も見られました。

2023年3月、被害の大きい個体を地際から3～4cmの高さで伐採したところ、72%で萌芽更新しました（写真－11）。萌芽更新個体の平均樹高は同年12月で107.4cmとなり、木化も進んでいました。なお、対策として、ゴマダラカミキリに適用がある薬剤（ダントツ水溶剤、住友化学株式会社製）を2023年5月及び6月に散布したところ、この年はゴマダラカミキリの被害は確認されませんでした。

この結果から、センダンの天敵であるゴマダラカミキリに対し、予防策として薬剤散布が有効であること、そして

被害を受けた場合であっても、萌芽更新による回復は可能であることが分かりました。しかしながら、ゴマダラカミキリ被害により成長阻害が生じることから病害虫被害対策を講じる必要があります。



写真-10 ゴマダラカミキリ被害 (2022年8月)



写真-11 萌芽更新の様子 (2023年12月)

おわりに

本研究では、センダンの種子の採取から育苗までのコンテナ苗生産のスケジュール(表-2)を確立し、苗木生産技術の基礎的な知見を得ることができました。また、県内の多様な環境にセンダンを植栽することにより、本県におけるセンダン育林に適した条件も明らかにすることができました。

今後、更に研究の精度を高めつつ、苗木生産や育林の現場で有効な技術に落とし込み、造林樹種としての導入に向け、林業普及指導員等の各関係者と連携の上、普及につなげていきたいと考えています。

表-2 コンテナ苗の生産スケジュール

時期	実施内容
12月	種子採取 低温湿層処理
2月中旬	育苗箱に播種 加温
5月下旬	コンテナに幼苗を移植 施肥
9月	苗木の成長停止
3~4月	山林へ植栽

再造林地における下刈りのための植生分類

岐阜県森林研究所 研究員 ○宇敷 京介
主任専門研究員 わたなべ ひとし

はじめに

再造林の省力化や低コスト化を指向し、植栽後5～6年間実施される下刈りの回数や期間を減らす取り組みが行われています(林野庁 2024)。具体的な例として、植栽木と雑草木との競合状態から下刈りの要否を判断して下刈りを省略する方法(山川 2016)や、筋刈りや坪刈りにより作業面積を削減する方法が挙げられます。しかし、正しい判断に基づいた下刈りの省略でなければ、植栽木の健全な成長を阻害する懸念があります。植栽木と競合する植生の種類やその生態に基づいた情報を競合状態に加味できれば、下刈りの回数や期間を合理的に圧縮できる可能性があります。そこで、本研究では、再造林地に出現する植生を調査し、植生に応じた下刈り完了の判断基準の提案を目的としました。

1 方法

調査は、2018年から2022年の期間に、岐阜県内の植栽後1～5年が経過した再造林地114地点(標高:330～1120m、傾斜:5～45°)を対象に行いました(図-1)。各再造林地の平均的な植生の地点に、1×1mの方形区が9～25個からなる調査区を設定し、方形区ごとに、全植被率と植被率が上位の3種の種名、植被率(C)、最大植生高(H)を記録しました。各方形区で出現した種のC×Hを算出し、それを調査区に木本類、草本類、ササ類、シダ類ごとに積算し、最も値の大きかった種類の植生を、対象とした再造林地の植生型として分類しました。

2 結果と考察

全体で59科99属141種、木本類は39科67属105種、草本類は15科22属23種、ササ類は1科2属5種、シダ類は4科8属8種を記録しました(表-1)。各方形区で記録した最大植生高は、木本で1～370cm、草本で10～250cm、ササで8～200cm、シダで15～168cmでした(図-2)。木本の外れ値を除いて考えると、最大植生高は概ね200～250cmでした。木本類のばらつきが多かった理由として、調査地ごとに下刈りの履歴が様々であったことが影響したと推測されました。これらのことから、下刈りを繰り返した場合、それにより制御できる競合植生の植生高は200～250cm程度と考えられました。

C×Hの生活型ごとの積算値をもとに、調査地の植生型を分類した結果、木本型が46ヶ所、草本型が20ヶ所、ササ型が43ヶ所、シダ型が5ヶ所となりました(表-2)。各植生型の調査区的全植被率は、木本型で37～93%、草本型で43～99%、ササ型で75～100%、シダ型で69～93%でした(図-3)。木本型は、他と比べて、全植被率にばらつきがありました。これは、調査区内の方形区ごとの植被率にばらつきがあったためと考えられます。また、草本型やシダ型には、全植被率がやや低い調査地がみられました(図-3)。一方、ササ型は全植被率が高い傾向にあり(図-3)、造林地全体を被覆する特徴があると考えられます。

植生型の出現頻度と植栽からの経過年数の関係を見ると、まず、シダ型の出現頻度は低く、ササ型の頻



図-1. 調査地

白地図の中の線は各水系を示す。()の中の数字は調査地の数を示す。

度は安定していました(図-4)。そのため、経年変化の大きい木本型と草本型に着目すると、木本型の出現頻度は植栽からの経過年数とともに低下する傾向がある一方、草本型は増加する傾向がみられました(図-4)。このように整理すると、木本型は、植栽からの経過年数が進むにつれて、草本型、一部はシダ型に移行することが示唆されました。また、ササ型は植栽からの経過年数によらず、ササが優占する植生として維持されやすいと考えられました(図-4)。

以上の結果から、再造林地の下刈りの完了の目安を植生型ごとに考えました(図-5)。まず、どの植生型でも前年の下刈りから1年間で植生高が200~250 cmに到達する可能性があるため、植栽木がこの高さに達するまでは、連年の下刈りが必要と考えられます。草本類、ササ類、シダ類が到達しうる最大植生高は200~250 cmであるため、草本型、ササ型、シダ型の3つの植生型は、植栽木が250 cmに達したことを目安として下刈り完了の判断ができると考えられます(図-5)。一方、木本型は、連年の下刈りをしないと、250 cm以上に成長する可能性があるため、現地の競合状態を確認しながら、下刈りの要否を判断する必要があります(図-5)。ただし、木本型は植栽からの年数が経過するにつれて、草本型やシダ型へ移行する可能性があるため、移行が確認できた場合かつ、植栽木の高さが200~250 cmに達した時点をもって完了の目安にできると考えられます(図-5)。

現在、岐阜県で一般的に流通しているヒノキのコンテナ苗を適期に植栽すれば、3~4年で200 cmに到達します(渡邊ら 2021)。下刈りの総回数ではなく期間を短縮する方法によって、下刈り完了の時期を従来よりも1~2年前倒しすることが可能となります。

また、競合植生を種の単位まで分類すれば、さらに詳細な計画が可能だと思います。例えば、今回のササ型に関していえば、チシマザサ、スズタケ、チマキザサ、クマイザサ、ミヤコザサがあり、このうちヒノキの造林適地(竹下 1972)内に分布するササには、スズタケ、クマイザサ、ミヤコザサがあります(西條 1989)。この中で、ミヤコザサの植生高は最大100 cm程度であり、他のササより植生高が低いので、ミヤコザサが優占する場所であれば、それを識別することにより、一括でササ型に分類するより早期に下刈りが完了する可能性があります。同様のことは木本型や草本型にも想定できます。ただし、細分化は便利のようにみえますが、その分、現場の手間が増えていくことも考えられます。そのため、実際の計画や作業の中で、利用しやすい程度の分類基準にする必要があります。

表-1. 再造林地に出現した種

区分	科属種	主な出現種
木本類	39科67属105種	アカメガシワ、シロモジ、マルバノキ
草本類	15科22属23種	ススキ、ヨツバヒヨドリ、タケニグサ
ササ類	1科2属5種	クマイザサ、ミヤコザサ
シダ類	4科8属8種	ワラビ、イワヒメワラビ、コバノイシカグマ

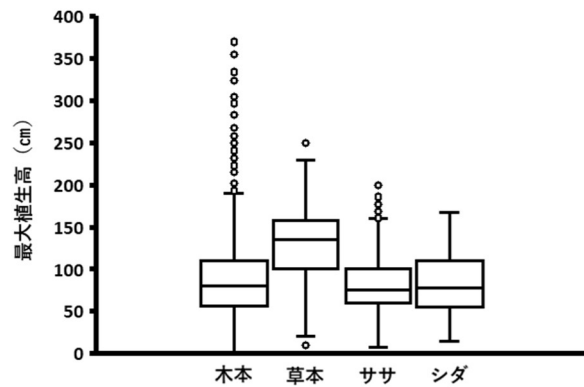


図-2. 各植生の種類の最大植生高

箱は四分位範囲を、箱中の線は中央値を示す。ひげの上端、下端はそれぞれ第三四分位数±四分位範囲×1.5の値を示し、それ以上またはそれ以下の場合には外れ値として示されている。

表-2. 植生型の箇所数とその特徴

分類	箇所数	特徴
木本型	46	植栽からの経過年数が短いときに出現頻度が高い 全植被率はばらつきが大きく、造林地内で植被率に濃淡がある
草本型	20	植栽からの経過年数進むと出現頻度が高くなる
ササ型	43	植栽からの経過年数によらず一定の頻度で出現 全植被率が高く、造林地が覆われることが多い
シダ型	5	数は多くないが植栽からの経過年数が進むと出現

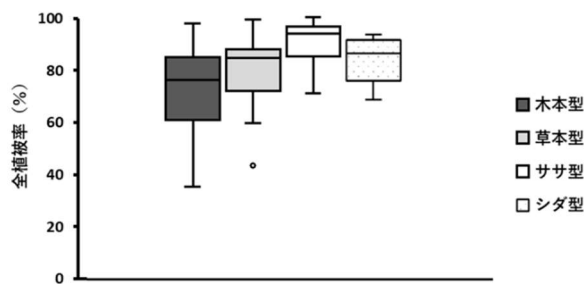


図-3. 各植生型の全植被率

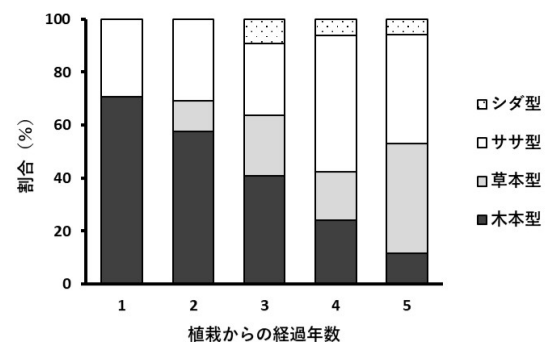


図-4. 植栽からの経過年数別の植生型の構成割合

nは調査地の数を示す

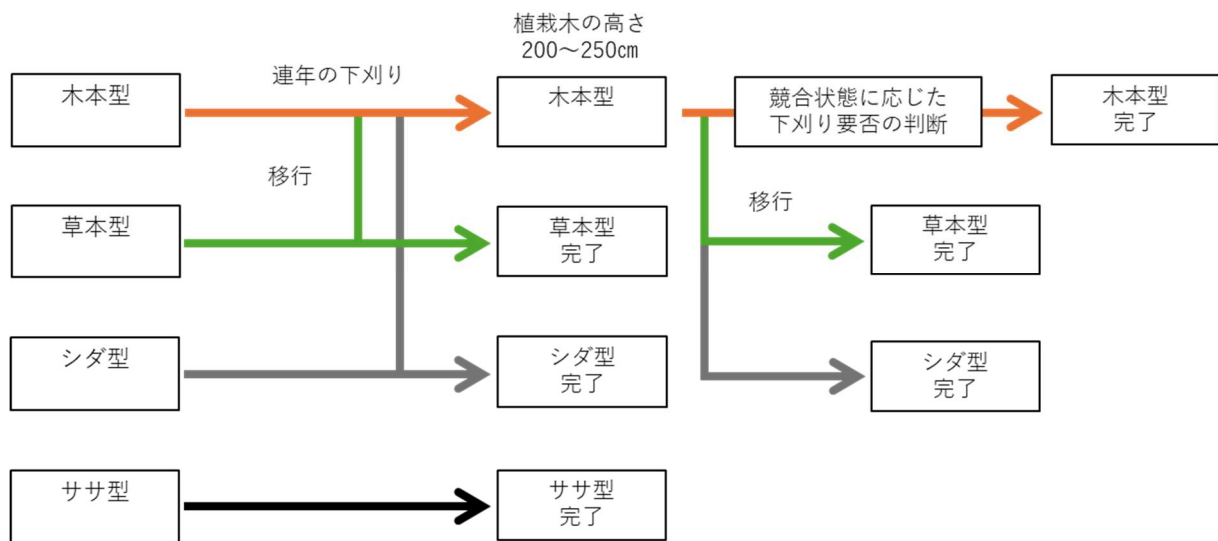


図-5. 各植生型における下刈り完了の基準

おわりに

本研究では、再造林地に出現した植生を分類し、植生型ごとに下刈り完了の基準を考えました。競合状態の情報に競合植生の情報を加味したことで、下刈りの判断基準が明確になると考えられます。さらに、競合植生を種の単位で分類すれば、より細やかな基準が示せる可能性があります。現場に応じた分かりやすい分類を作る必要があります。

謝辞

本研究にご協力いただいた中部森林管理局 岐阜森林管理署、同 東濃森林管理署、同 飛騨森林管理署、同 森林技術・支援センター、および岐阜県森林研究所の職員に厚く御礼申し上げます。

なお、本研究の一部は、環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF2023M01)により実施しました。

引用文献

- 西條好迪. 1989. ササ生地の植生管理に関する生態学的研究 2. 中部日本におけるササ属数種の分布. 岐阜大農研報. 54 : 251-264.
- 林野庁. 2024. 令和 6 年版森林・林業白書. 全国林業改良普及協会. 102p. 東京
- 竹下純一郎. 1972. 岐阜県飛騨地方におけるヒノキ人工造林の適地域. 森林立地. 14 : 14-19.
- 渡邊仁志, 茂木靖和, 三村晴彦. 2021. ササ地における下刈りの省略がヒノキ植栽木の成長に及ぼす影響. 中部森林研究. 69 : 17-20.
- 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.

超緩効性肥料で育成したヒノキ実生コンテナ苗による 低コスト造林技術の提案

岐阜県森林研究所 森林環境部 主任専門研究員 ○渡邊 仁志
 中部森林管理局 森林技術・支援センター 森林技術普及専門官 田口 康宏

はじめに

造林のコスト削減を目的として、コンテナ苗（遠藤・山田 2009）の導入が進められています。コンテナ苗は、当初、初期成長の早さが期待されましたが、全国規模の実証試験により、裸苗との成長差が明確ではないことがわかりました（梶本ら 2016；渡邊ら 2021c）。しかし、岐阜県森林研究所と中部森林管理局 森林技術・支援センターの共同研究チームは、超緩効性肥料（後述）を育苗時の元肥に使用して、初期成長が早いヒノキ実生コンテナ苗を作出し（渡邊ら 2017b；2021b）、岐阜県下各地での実証調査（渡邊ら 2021c）を経て、下刈り期間の短縮を実証しました。

本研究では、超緩効性肥料で育成したヒノキ実生コンテナ苗の成長特性を評価し、この苗を導入することにより確実な造林と初期保育コスト低減を実現するための注意点について報告します。

1 調査方法

用いた苗木は、根鉢容量300ccの2年生ヒノキ実生コンテナ苗2種類で、岐阜県産同一種子の1年生稚苗をマルチキャビティ・コンテナ（JFA-300）に移植し、1年間育成したものです。これらのうち一方は、初期の育成マニュアル（遠藤・山田 2009）に従い、培土1Lあたり5gの従来肥料（ジェイカムアグリ（株）製ハイコントロール085（溶出日数100日型：N10-P18-K15））を元肥として育成した苗木（以下、従来苗）、他方は元肥を培土1Lあたり10gの超緩効性肥料（同650（溶出日数700日型：N16-P5-K10））に変えた苗木（以下、超緩効性苗）です。コンテナ苗の育成時は、溶出期間が1年以下の元肥を使うのが一般的ですが、超緩効性肥料はこれよりも溶出期間が長いので、植栽後も1年程度の肥効の持続が期待されます。

調査は、2018年5月～2024年11月までの7成長期間にわたり、湯舟沢国有林（中津川市神坂、標高980m）と小川長洞国有林（下呂市小川、標高660m）の2地点で行いました（図1）。湯舟沢調査地は傾斜18度の西向き斜面、小川長洞調査地は傾斜35度の南東向き斜面に位置し、どちらも土壌の母材は濃飛流紋岩（溶結凝灰岩）、土壌型は適潤性褐色森林土（偏乾亜型）～適潤性褐色森林土でした（表1）。また、気候の平年値は、平均気温約9～12℃、年降水量約2,300mmでした（表1）。湯舟沢調査地にはクマイザサが優占しており、

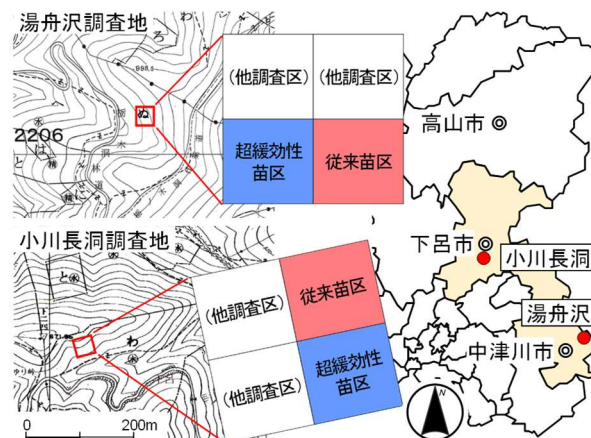


図1 調査地および調査区の配置

表1 調査地の概要

調査地	湯舟沢 (中津川市)	小川長洞 (下呂市)
標高	980m	660m
地形・傾斜	西斜面・18度	南東斜面・35度
地質(母材)	流紋岩類	流紋岩類
土壌型	B _D (d)～B _D	B _D (d)
平均気温 [†]	8.9℃	11.7℃
年降水量 [†]	2,289.9mm	2,334.2mm
植生型	クマイザサ	木本
防鹿柵	設置	設置

[†]国土数値情報(国土交通省国土数値情報ダウンロードサイト 2022)のメッシュデータによる平年値(1991～2020年)

方、小川長洞調査地ではカラスザンショウ、アカメガシワ、エゴノキなどとキイチゴ類、ムラサキシキブなどから構成される木本類が優勢でした。

調査地を分割し、2018年5月に超緩効性苗の植栽区（以下、超緩効性苗区）および従来苗の植栽区（以下、従来苗区）に、それぞれ100本ずつの苗木を2m間隔（密度約2,500本/ha）で植栽しました。毎年夏に植栽木と競合植生との高さの関係を評価し、80%以上の本数の植栽木が競合植生より高くなるまで、必要に応じて毎年下刈りを実施しました。植栽時（0年目）と、植栽1～7年目の成長休止期に樹高（cm）と根元直径（mm）を計測し、苗種間で各サイズ、比較苗高〔（樹高／根元直径）×10〕、成長を比較しました。成長は相対成長率（期首サイズを加味した数値）により評価し、 $[(1n \text{ (n年目期末の樹高または根元直径)} - 1n \text{ (n-1年目期末の樹高または根元直径)}) / 1 \text{ (年)}]$ により算出しました。外因（誤伐、食害など）による成長停滞木や枯死木は、設定時まで遡って解析から除外し、解析個体は湯舟沢調査地で87本（超緩効性苗区45本、従来苗区42本）、小川長洞調査地で151本（超緩効性苗区89本、従来苗区が62本）になりました。なお、湯舟沢調査地の本数減少が著しいのは、ノウサギによる根元剥皮が多かったためです。

2 結果および考察

(1) 超緩効性苗の成長特性と下刈り省略効果

植栽時の大きさは両苗ともほぼ同じであり、差はありませんでした（図2）。しかし、樹高では植栽2年目から超緩効性苗の方が大きいか、やや大きい傾向が続きました（図2a）。根元直径でも、湯舟沢調査地では2年目以降、小川長洞調査地では3年目からは、超緩効性苗の方が大きい傾向がありました（図2b）。また、これらの傾向はそれ以降調査期間を通してみられました（図2a,b）。

比較苗高は、植栽直後には120程度で高い値でしたが、植栽2～3年目以降には80～60まで低下しました（図2c）。植栽直後にコンテナ苗の樹高成長が停滞するのは、「徒長」気味な苗木が、直径成長を優先

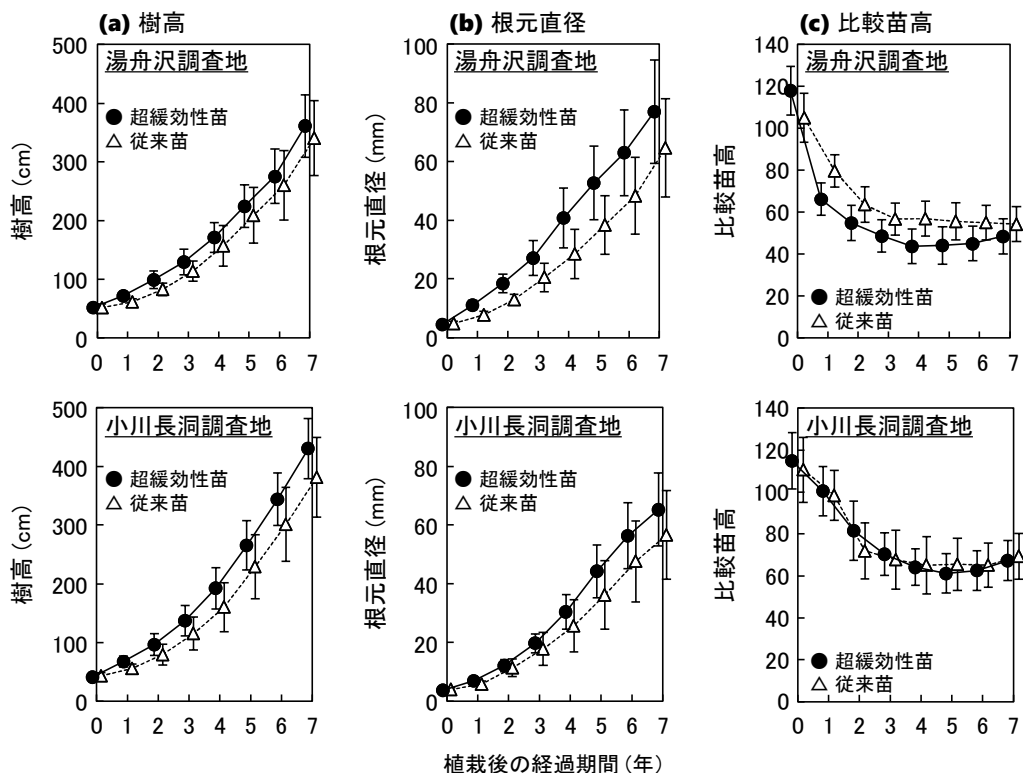


図2 樹高(a)、直径(b)、比較苗高(c)の推移

上段：湯舟沢調査地、下段：小川長洞調査地。ひげは標準偏差を示す。

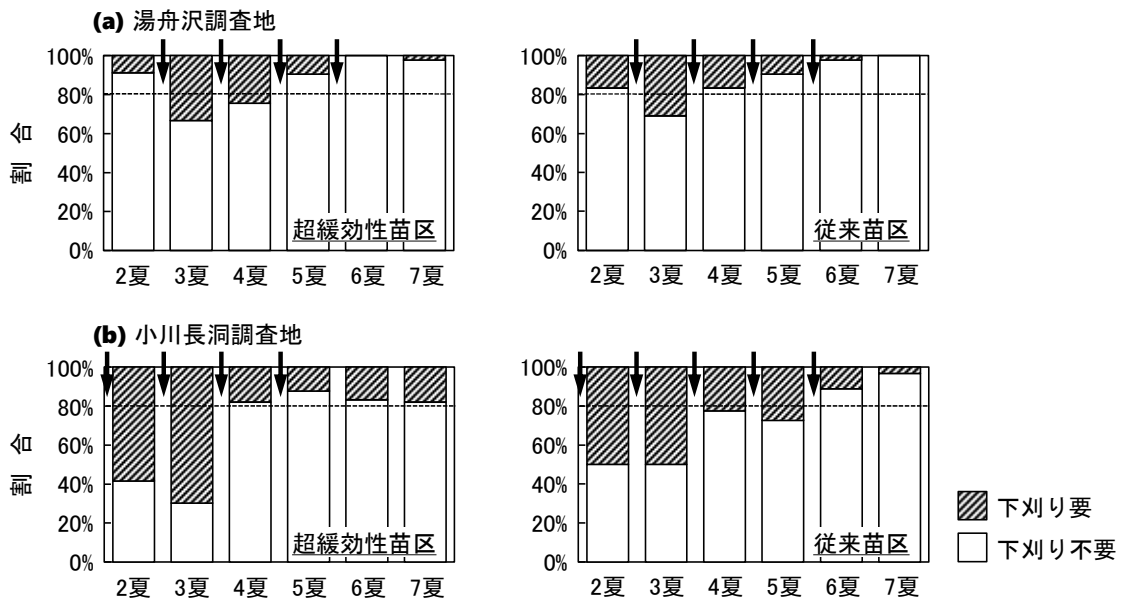


図3 湯舟沢調査地(a)と小川長洞調査地(b)における下刈りが必要な植栽木の割合の推移
 点線は下刈り要否の基準とした割合（植栽木>競合植生の割合が全体の80%）、下向き矢印（↓）は下刈り実施時期を示す。

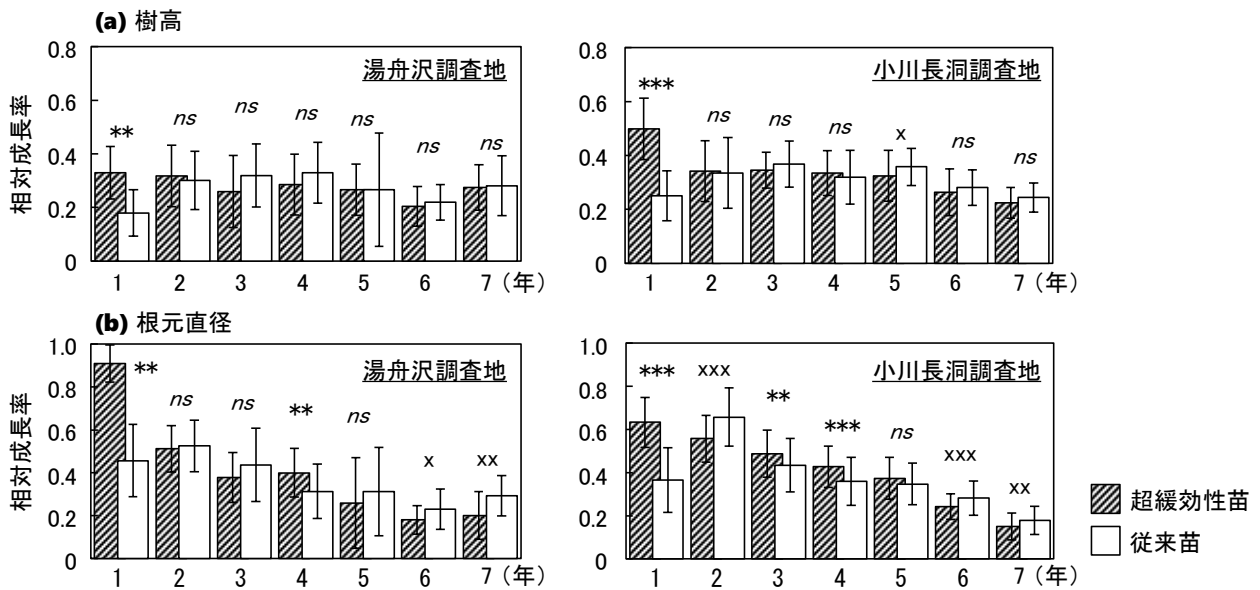


図4 植栽後の年数別の相対樹高成長率(a)と相対根元直径成長率(b)

ひげは標準偏差、*およびxは苗種間の有意差（Mann-WhitneyのU検定、記号2個： $p < 0.01$ 、記号3個： $p < 0.001$ ）を示し、*の場合は超緩効性苗の、xの場合は従来苗の値が大きい。

させて形状を整えるためと、一般的には言われています。本研究の超緩効性苗は、これに対して直径成長を伴いながらも樹高成長の停滞はなく、安定した水準の比較苗高まで速やかに到達した点で、品質に問題はありませんでした（図2）。

超緩効性苗の成長が造林用裸苗や従来苗に比べて優位な傾向は、岐阜県下13調査地67調査区3,402本のデータを解析した結果からも裏付けられています（渡邊ら 2021c）。以上のことから、超緩効性肥料で育成したヒノキのコンテナ苗は、従来のコンテナ苗（や裸苗）に比べ初期成長において優位であると結論づ

けられます。

湯舟沢調査地では、超緩効性苗区と従来苗区の下刈り回数は、ともに4回でした(図3a)。小川長洞調査地では、従来苗区の5回に対し、超緩効性苗区は4回になりました(図3b)。湯舟沢調査地の競合植生(クマイザサ)は高さが150cm程度で、植栽木が植生高を越えたのはどちらの区も4成長期目でした。このため、超緩効性苗は下刈り年数の短縮には寄与しませんでした(両苗の成長比較が研究目的であったため、十分な回数の下刈りを行いました、5年目夏の下刈りは不要だった可能性があります)。一方、木本類が優占する小川長洞調査地では、超緩効性苗区の年数を1年短縮しても、下刈り終了後に競合植生が植栽木の高さを越えることがなく、植栽木の成長に影響はありませんでした。このように、競合植生の種類や高さ(雑草木タイプ)によって効果に差がありますが、超緩効性苗によって下刈り期間が短縮できることが確認されました。

(2) 超緩効性苗の性能を活かした植栽～初期保育の手法

一方、樹高(図4a)や根元直径(図4b)の相対成長率に着目すると、超緩効性苗の値は、植栽1年目において従来苗を上回るものの、2年目以降は従来苗と同等か、それ以下の水準であることが多いことが確認されました。つまり、超緩効性苗は植栽1年目には元肥の残効によって大きく育ちますが、2年目以降は前年の大きさに応じた成長量を維持しているものの(図2a,b)、成長そのものの優位性はなかったといえます。言い換えれば、肥効による成長促進は植栽直後に限られるため(渡邊ら 2021b)、超緩効性苗の性能を活かすには、この期間中に苗木の成長を妨げないような管理が求められます。

その管理方法として、植栽時期と下刈り時期の注意点を示します。まず、超緩効性苗を夏や秋に植栽すると、生育期間が短い植栽当年だけでなく翌年も成長が停滞する可能性があります(渡邊ら 2017a)。これは、ヒノキ苗が春期出荷用に育成されており、それ以外の時期まで残された苗は、過成長した「徒長苗」であるからだと推測されます。さらに、寒冷寡雪地域(岐阜県や中部森林管理局管内の中部山岳地域に広く分布する)では、11月以降の植栽による活着率の顕著な低下が報告されています(渡邊・茂木 2023; 注1)。それらの結果として発生する補植(状況によっては改植)や下刈り回数の増加は、低コスト再造林とは相反するものです。したがって、岐阜県下または中部森林管理局管内の寡雪地域にヒノキを植栽する場合、コンテナ苗であっても春期が最適であると考えられます。

また、ヒノキは梢端が被圧されると成長が停滞するため(渡邊ら 2021a)、競合植生の影響を受ける前に下刈りを実施することが重要です(渡邊ら 2021a; 安江・渡邊 2021)。この点においては、コンテナ苗であろうと成長が早い苗であろうと、生理的には同様です。したがって、肥効によって成長が促進されている期間に下刈りを実際に行い、植栽木が競合植生による被圧を回避できる状態を維持することが、植栽木の健全な成長に対して効果的です。植栽年から下刈りを毎年繰り返すと、競合植生の高さはおおよそ200~250cmに収束することが分かっています(宇敷・渡邊 2025)。一方、植栽木がこの高さに到達するのは3~4年生時です(図2)。そのため、植栽後3年目程度までは続けて下刈りを実施し、4年目以降は状況に応じて実施の可否を判断することで、下刈りの総回数ではなく下刈り終了までの期間を縮減すれば、現行の下刈り終了年限を1~2年前倒しすることが可能です。また、このとき、競合植生の種類や高さ(雑草木タイプ)を考慮することにより、下刈り期間のさらなる短縮と、より効率的な管理が実現できると考えられます(宇敷・渡邊 2025)。

おわりに

以上をまとめると、苗木の生理生態や特性を理解したうえで、それに即した適切な方法で植栽や下刈りを行うことが重要であるといえます。さらに、この管理方法は、初期保育における労力の削減や低コスト再造林にもつながると考えています。

本研究の一部は、中部森林管理局と岐阜県との共同研究です。一連の研究にご協力いただいた中部森林管理局 岐阜森林管理署、同 東濃森林管理署、同 森林技術・支援センター、および岐阜県森林研究所の職員各位に厚くお礼申し上げます。

注釈

1 多雪地域では降雪が植栽木を保護するため、晩秋植栽を行う地域があります（桜井 1998；宮嶋・小柳 2017）。ただし、多雪地域（最大積雪深1.0m以上）はヒノキの造林適地ではなく（竹下 1972）、植栽は推奨されていません（例えば、岐阜県林政部林政課 2023）。

引用文献

- 遠藤利明・山田健（2009）JFA-150コンテナ苗育苗・植栽マニュアル。（低コスト新育苗・造林技術開発事業報告書（平成20年度）．林野庁）．74-90
- 岐阜県林政部林政課（2023）第15次木曾川流域森林計画書．岐阜県
- 梶本卓也・宇都木玄・田中浩（2016）低コスト再造林の実現にコンテナ苗をどう活用するか、研究の現状と今後の課題．日本森林学会誌98：135-138
- 国土交通省国土数値情報ダウンロードサイト（2022）国土数値情報（平年値メッシュデータ第3.0版）；[2025. 1. 14 参照]．https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02-v3_0.html
- 宮嶋大介・小柳正彦（2017）多雪地の緩傾斜地におけるスギコンテナ苗の植栽工期と活着．新潟県森林研究所研究報告57：31-36
- 桜井尚武（1998）人工造林、植え付け．（林業技術ハンドブック．全国林業改良普及協会編、全国林業改良普及協会）．798-824
- 竹下純一郎（1972）岐阜県飛騨地方におけるヒノキ人工造林の適地域．森林立地14：14-19
- 宇敷京介・渡邊仁志（2025）再造林地における下刈りのための植生分類．中部森林・林業交流発表集（令和6年度）：<https://www.rinya.maff.go.jp/chubu/gijyutu/siryousitu/chubu02.html>
- 渡邊仁志・茂木靖和（2023）晩秋に植栽したヒノキ実生コンテナ苗の活着と気象条件．中部森林技術交流発表集（令和4年度）：39-44
- 渡邊仁志・三村晴彦・茂木靖和・千村知博（2017a）植栽時期がヒノキ・コンテナ苗の活着と植栽後2年間の成長に及ぼす影響．岐阜県森林研究所研究報告46：1-5
- 渡邊仁志・茂木靖和・三村晴彦・千村知博（2017b）ヒノキにおける実生裸苗と緩効性肥料を用いて育成した実生コンテナ苗の初期成長．日本森林学会誌99：145-149
- 渡邊仁志・茂木靖和・三村晴彦（2021a）ササ地における下刈りの省略がヒノキ植栽木の成長に及ぼす影響．中部森林研究69：17-20
- 渡邊仁志・茂木靖和・三村晴彦・千村知博（2021b）ヒノキ実生コンテナ苗の4年間の成長と下刈り年数短縮の可能性．日本森林学会誌103：232-236
- 渡邊仁志・茂木靖和・三村晴彦・千村知博・安江清文（2021c）育成方法が異なるヒノキ実生コンテナ苗の多点データによる活着と初期成長．日本森林学会大会発表データベース132：94
- 安江清文・渡邊仁志（2021）ササ生地でのヒノキ造林地における省力保育を目的とした下刈りスケジュールの検討．中部森林技術交流発表集（令和2年度）：52-55