

研 究 報 告

No. 39

2025. 3

岡山県農林水産総合センター森林研究所

岡山県農林水産総合センター森林研究所
研究報告 第39号

2025年3月

目 次

－ 研究報告 －

ヒノキ板材の中湿乾燥時における揮発性テルペン類の
残存割合について（Ⅱ）・・・1

松田 洋樹

少花粉スギ・ヒノキコンテナ苗生産技術の確立・・・・・・・・・・11

藤原 直哉

高齢級人工林の資源量推定に関する研究（Ⅱ）・・・・・・・・・・27

牧本 卓史

ナラ類集団枯損の防除に関する調査研究
－カシナガトラップによる防除技術の検証－・・・・・・・・・・35

三枝 道生

Bulletin of the Okayama Prefectural
Technology Center for Agriculture
Forestry and Fisheries
Research Institute for Forestry and Forest Products
No. 39

March 2025

Contents

—ARTICLES—

Hiroki MATSUDA

Remaining ratio of volatile terpenes on drying process of Japanese
Cypress Board at medium temperature (II) 1

Naoya FUJIWARA

Establishment of production technology of container seedlings for less pollen
varieties *Cryptmeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* 1 1

Takushi MAKIMOTO

Prediction of timber volume on mature artificial forest (II) 2 7

Michio SAEGUSA

Study of management method for deer fences installed in forests (II) . . 3 5

ヒノキ板材の中温乾燥処理における揮発性テルペン類の残存割合について (II)

松田 洋樹

Remaining ratio of volatile terpenes on drying process
of Japanese Cypress Board at medium temperature (II)

Hiroki MATSUDA

要 旨

松田洋樹：ヒノキ板材の中温乾燥処理における揮発性テルペン類の残存割合について (II) 岡山県農林水産総合センター森林研究所報39：1-9 (2025) ヒノキの乾燥材は、乾燥処理において香りが変質することが指摘されており、ヒノキの香りの特徴づけている揮発性テルペン類が乾燥時に揮発減少することが、その要因の一つと考えられる。前報において、複数の乾燥条件でヒノキ材を乾燥し、テルペン類の残存割合を測定したところ、乾燥初期から中温低湿度で乾燥することで残存割合が高くなる可能性が示唆された。そこで、本研究では、まず予備試験において、温度条件が異なる複数の低湿乾燥条件と既存の中温乾燥条件で乾燥試験を実施し、乾燥結果やテルペン類の残存割合を比較した。次に、得られた条件のうち様々な観点から最も実用に適していると評価された条件を選択し、実大材における中温低湿度乾燥試験を実施した。その結果、既存の中温乾燥に比べ、乾燥に要する時間は半分程度に短縮でき、テルペン類の残存割合も大きくなる可能性が示唆された。

キーワード：ヒノキ、香り、木材乾燥、テルペン類

I はじめに

岡山県は、令和5年度のヒノキ素材生産量が238千m³で全国4位の生産量であり（農林水産省 2024）、国内でも有数のヒノキ生産県として知られている。ヒノキ材は、その心材の耐久性の高さから、製材のJASにおける心材耐久性区分はD1樹種に区分され、薬剤による保存処理なしに土台などに使用することできる。また、構造材として有用なだけでなく、美しい材色や心地よい芳香を有していることで知られている。過去に岡山県で行ったアンケート調査（野上 2014）によると、多くの県民がヒノキ材の良いところを、香りに見出していることが明らかとなっており、この香りを付加価値とした製品づくりが出来れば、県の林業・木材産業の活性化に寄与できると考えられる。

ヒノキやスギなどの針葉樹材には、樹種に特徴的な数十種類のテルペン類が含まれており、その量や組成により樹種特有の香りが形成されている（谷田貝 1997）。テルペン類は、イソプレン単位の骨格を持ち、その付加量によってモノテルペン類、セスキテルペン類、ジテルペン類と順次分類される。この中でも、香りに寄与するのは、分子量が比較的小さく揮発性の高い成分であり、ヒノキにおいてはモノテルペン類やセスキテルペン類が香り成分の主体となる（谷田貝 2008）。しかし、これらの香り成分は、その揮発性の高さから、乾燥工程においても、

揮発減少しやすいことが指摘されており（Ohira *et al.* 2009）、香りを付加価値とした製品づくりには、乾燥において香りを失わないことが重要であると考えられる。

既報（松田 2023）において、ヒノキ材を様々な条件で乾燥し、その前後における揮発性テルペン類の量を測定し残存割合を求めたところ、乾燥初期から低湿度で乾燥する乾燥条件（以下、中温低湿乾燥）で残存割合が高くなる可能性が示唆された。しかし、ヒノキなどの針葉樹板材は中温蒸気式乾燥による乾燥が一般的であり（信田ら 2020）、乾燥初期は乾球温度40～60℃、乾湿球温度差3～5℃程度の高湿度条件で乾燥を開始し、材の含水率が下がるにつれて、徐々に乾球温度を上げ乾湿球温度差を開く乾燥スケジュールが組まれることが多い（以降、既存中温乾燥）。このように乾燥初期から低湿度で乾燥するということは一般的に推奨されておらず、中温低湿乾燥後の材質については不明な点が多い。また、これまで、乾燥によるテルペン類の減少量を測定した研究はあるがスギ材での研究が多く（奥田ら 2017）、ヒノキ材を既存中温乾燥や中温低湿乾燥した際に、テルペン類が生材時からどの程度減少するのかは不明である。

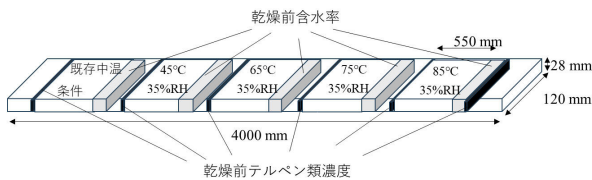
そこで、本研究では、まず以下の予備試験を行った。すなわち、試験用の短尺材を、湿度は35%一定で複数の異なる温度条件で乾燥し、テルペン類の残存割合が高くなる

条件を求めた。その際、乾燥により生じた欠点を測定し、既存の中温乾燥の結果と比較した。次に、予備試験の結果、残存割合が高く乾燥結果が良好であった条件において、実大材を用い乾燥の実証試験を行い、既存の中温乾燥の結果と比較した。

II 材料と方法

1. 材料

予備試験に用いる材料は、岡山県北部で伐採されたヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）の板材（120 mm[W]×28 mm[T]×4000 mm[L]）を使用した。ヒノキの板材はすべて異なる個体から得たもので、心材部分のみとし、県内の製材所から製材直後の生材の状態ですでに5枚購入した。板材は、いずれも図－1のように分割し、乾燥条件毎に各5枚、合計25枚の試験板を得た。各試験板から初期含水率測定用試験片を採取し、全乾法で初期含水率を求めた。また、テルペン類濃度測定用の試験片を各板から6か所採取し、生材時のテルペン類濃度を測定し残存割合の基準とした。



図－1 予備試験に供する試験板の採取方法

実証試験に用いる材料は、乾燥条件毎に県内の原木市場で材長4000 mm、直径約300 mmのヒノキ原木15本を購入し、自所で製材して作製した。すなわち、各原木を30mm厚で7～8枚の板に製材し、すべて心材部分からなる板を原木あたり2枚ずつ選定することで、合計30枚の試験材を得た。乾燥前に端部から、乾燥前含水率測定用試験片とテルペン類濃度測定用試験片を採取したため、乾燥に供した寸法は150 mm[W]×30 mm[T]×3600 mm[L]とした。試験材としなかった板材の測定は行わなかったが、乾燥時にダミー材として試験材と合わせ乾燥した。

2. 乾燥処理と乾燥仕上りの測定項目

予備試験における乾燥は、恒温恒湿機ARL-1100（エスベック㈱）により行った。乾燥条件は、湿度35%一定で温度が異なる中温低湿乾燥4条件（乾燥期間中温湿度一定）と、既存中温乾燥の合計5条件とした。この時、既存中温乾燥の乾燥スケジュールは、既存資料（信田ら2020）を参考に、表－1のとおりとした。いずれの乾燥条件においても、重量測定から求めた推定の含水率が12%を下回った時点で乾燥終了とした。また、この時試験材の材長が550 mmと短尺であることから、急速な乾燥を防ぐため、木口面にはシリコンシーンを施した。各乾燥条件と乾燥結果を表－2に、詳細な乾燥経過を図－2に示

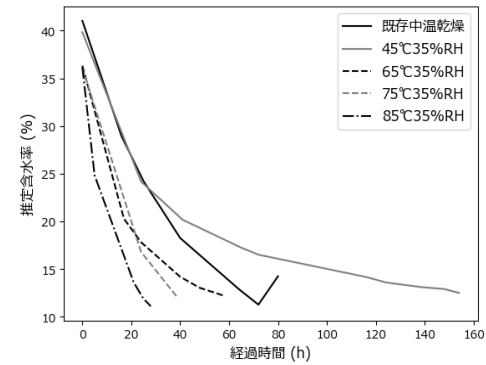
した。なお含水率は、個体間のばらつきが小さかったため、5個体の平均値を用いた。

表－1 既存中温乾燥スケジュール

処理時間(h)	経過時間(h)	乾球温度(℃)	湿球温度(℃)	乾湿球温度差(℃)
12	12	60	56	4
11	23	60	54	6
11	34	62	54	8
12	46	65	54	11
15	61	70	56	14
10	71	75	57	18
3	74	80	56	24
6	80	80	75	5

表－2 乾燥結果

乾燥方法	初期含水率(%)	乾燥後含水率(%)	乾燥時間(h)
中温乾燥	41.02	13.02	80
45℃35%RH	39.83	10.83	154
65℃35%RH	41.68	9.94	58
75℃35%RH	36.10	11.17	39
85℃35%RH	36.13	10.41	28



図－2 乾燥経過

各試験材の乾燥後の仕上がり、およびテルペン類の残存割合を求めるため、材中央部の放射方向含水率傾斜、材中央部の放射方向解放ひずみ傾斜、各種欠点（割れ、反り、曲がり）、テルペン類濃度を測定した。放射方向含水率傾斜は、試験材の中央部（端からおよそ250 mm位置）から長さ30 mmの試験片を採取し、木表木裏両面の表層から3 mm間隔で3層ずつと中心部の合計7層に鉋で分割し、全乾法により含水率を測定した。放射方向解放ひずみ傾斜は、乾燥後材内に残った応力を調べるために測定を行った。測定は村野らの方法を参考にした（村野 2020）。まず材中央部から長さ30 mmの試験片を採取し、図－3のように木口断面に油性マジックで黒色ターゲットを付与した。次に一定の距離で撮影できるようにデジタルカメラを固定し、分割前の木口断面を撮影した。その後、放射方向に鉋で9分割し、分割後の木口断面を撮影した。撮影した画像を用い、ターゲットの重心

座標をImageJにより求め、2点間の距離を測定し、解放前後における距離の差を解放ひずみとした。テルペン類濃度については、後述する方法により求めた。

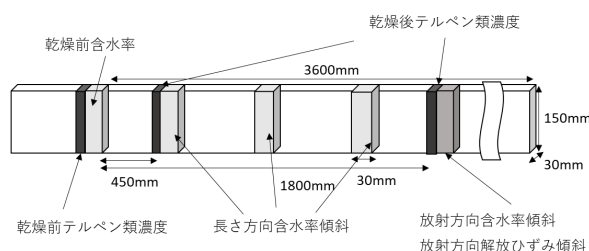


図－3 解放ひずみ傾斜測定用試験片の例

実証試験における乾燥は、蒸気式乾燥機（OHV4-1HSV 特殊型、大井製作所）で行った。乾燥条件は、予備試験と同様な既存中温乾燥（乾球温度60～80℃、乾湿球温度差4～24℃）と、予備試験の結果から成分の残存割合が比較的高く、乾燥時間の短かった新規中温低湿乾燥（乾球75℃湿球51℃一定）の2条件とし（表－3）、乾燥後、図－4に示した位置において長さ方向および放射方向含水率傾斜、解放ひずみ傾斜、各種欠点（割れ、反り、曲がりなど）、テルペン類濃度を測定した。

表－3 実証試験における乾燥スケジュール

既存中温乾燥		
経過時間(h)	乾球温度(℃)	湿球温度(℃)
12	60	56
23	60	54
34	62	54
46	65	54
61	70	56
80	75	57
92	80	56
98	80	75
新規中温低湿乾燥		
経過時間(h)	乾球温度(℃)	湿球温度(℃)
48	75	51



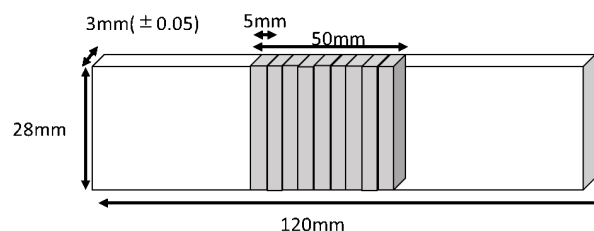
図－4 実証試験の試験片採取位置

3. テルペン類濃度測定の抽出用試験片の作成

テルペン類濃度の測定は、予備試験、実証試験ともに同様の方法で行った。すなわち、まず測定対象箇所は、予備試験においては、乾燥前は図－1のように材両端部2か所とし、乾燥後は試験材中央部（端部から250 mm）と、端部（端部から100 mm）の2箇所とした。実証試験におい

ては、図－4に示すように、乾燥前は材端部の1箇所とし、乾燥後は試験材中央部（端部から1800 mm）と、端部（端部から450 mm）の2箇所とした。次に試験片の採取は、それぞれの測定箇所において、長さ方向に3 mm±0.05 mm幅の試験片を正確に切り出し、さらにその試験片の中央部幅50 mmを10分割し10本のマッチ棒状の試験片をあわせて抽出用試験片とした（図－5）。

得られた抽出用試験片は、直に50ml容量のガラス製褐色スクリュウ管に入れ、内標入りヘキサシ25ml（内標：ペンタデカン50mg/L）にて24時間抽出を行った。抽出後、後述する条件でガスクロマトグラフィー質量分析計（GC/MS）により分析した。



図－5 テルペン類濃度測定のための抽出用試験片

4. GC/MSの分析条件

GC/MSの分析条件は以下のとおりである。

GC/MS機種：GCMS-QP2020NX（島津製作所）
カラム：SH-Rtx-5ms（30m×0.25mm、膜厚0.25μm、島津製作所）
キャリアーガス：超高純度He
注入方法：スプリット（スプリット比30）
昇温条件：40℃で3分保持、10℃/minで250℃まで昇温、250℃で3分保持
検出器温度：200℃、イオン化方法：EI、イオン化電圧：70eV、測定モード：SCAN

5. 対象とする成分の定量と残存割合の計算方法

検出されたピークのうち、ピークの大きかった25種類の成分を測定対象とした。各成分の定性分析は行わず、分子量により分類を行い、分子量136をモノテルペン類、分子量154をモノテルペンアルコール類、分子量204をセスキテルペン類、分子量222をセスキテルペンアルコール類として4つに分類し、成分類毎に内標換算で濃度を算出し、以降の解析に用いた。この時、最初に測定した生材時の測定データを用いて、対象とするピークの分類及び選定を行った。その結果、対象となった成分は、モノテルペン類で5種、モノテルペンアルコール類で4種、セスキテルペン類で12種、セスキテルペンアルコール類で4種となった。このとき、残存割合は乾燥後に抽出された各成分類の濃度を生材時の濃度で除すことにより求めた。

予備試験においては、乾燥前のテルペン類濃度の測定は、図－1のように、長尺の板材から材長方向に6か所で測定を行った。このとき残存割合の基準（分母）として、この6か所の平均値を用いるか、各試験材の近傍2か所の平均値を用いるかのどちらが適切であるかを判断するために、事前に材長方向におけるテルペン類濃度のばらつきを確認した（図－6）。モノテルペン類濃度、セスキテルペン類濃度ともに、No1, No2の個体で材長方向における濃度のばらつきが大きく、No1では徐々に減少、No2では徐々に増加する傾向がみられた。特にNo2の個体の位置1と位置6では濃度に3倍程度の違いがみられた。この理由は不明だが、すべて心材部分を指定して購入した材であったが、材長方向に沿って心材率が変化し辺材部が混入した可能性などが考えられた。このように材長方向にばらつきがみられたため、後の残存割合の計算には、6か所の平均値を用いずに、測定する試験体採取した近傍の2か所の平均値を用いることとした。また、この結果から、ヒノキ材には個体間にも大きなテルペン類の濃度の差があり、No1のように濃度が大きい材があることや、No2のように逆に濃度が低い材がある可能性が示唆された。

実証試験においても、図－4のように乾燥前と乾燥後で測定位置が大きく異なるため、乾燥によるテルペン類の減少だけでなく、材中のテルペン類のばらつきの影響を受ける可能性があったが、予備試験において材長方向でばらつきが少ない個体もあったこと（図－6）、実証試験では測定対象が30枚と増えることなどから、各試験材のテルペン類の残存割合の比較は可能であると判断し、材端部の1か所においてのみ乾燥前のテルペン類濃度の測定を行い、残存割合の基準とした。

Ⅲ 結果と考察

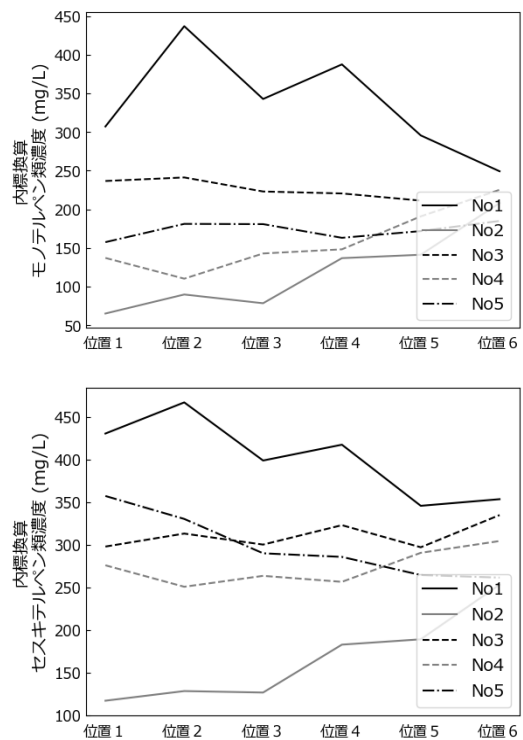
1. 予備試験

(1) 乾燥結果

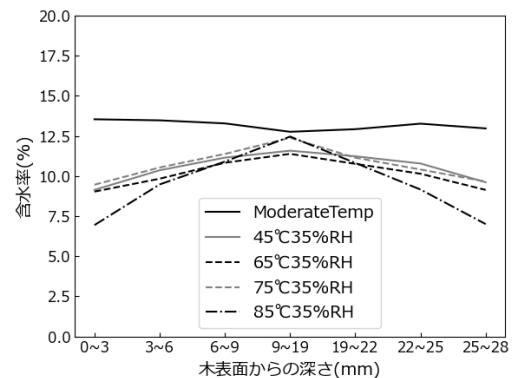
予備試験における各条件の乾燥後の平均含水率や乾燥時間の結果は表－2のとおりであった。乾燥温度が上がるにつれて乾燥時間は短くなる傾向が確認された。

乾燥条件毎の放射方向含水率傾斜の5個体の平均値を図－7に示した。放射方向含水率は、材中心部で高く、表層になるにつれて低くなる傾向があり、乾燥温度が高くなるにつれて、その傾斜が大きくなる傾向がみられた。次に、乾燥条件毎の解放ひずみ傾斜の5個体の平均値を図－8に示した。解放ひずみ傾斜は、いずれの中温低湿乾燥でも材中心部でマイナスの値（引張応力）となり、表層部でプラスの値（圧縮応力）となる傾向がみられた。また含水率と同様に乾燥温度が高くなるにつれて、その傾斜は大きくなる傾向がみられた。既存中温乾燥では、解放ひずみは深度によらず、ほとんど一定で常にプラス

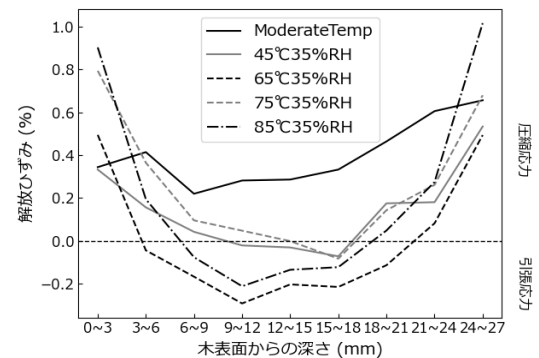
の値となった。



図－6 材長方向におけるテルペン類濃度のばらつき

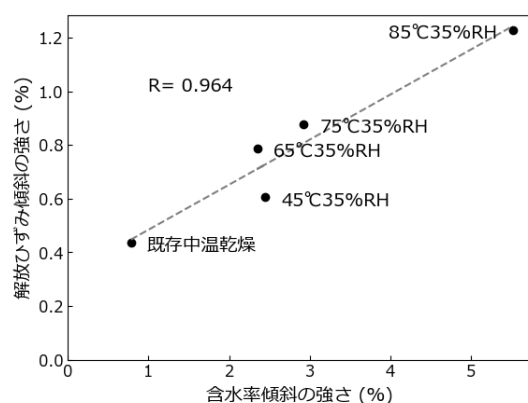


図－7 乾燥条件毎の含水率傾斜



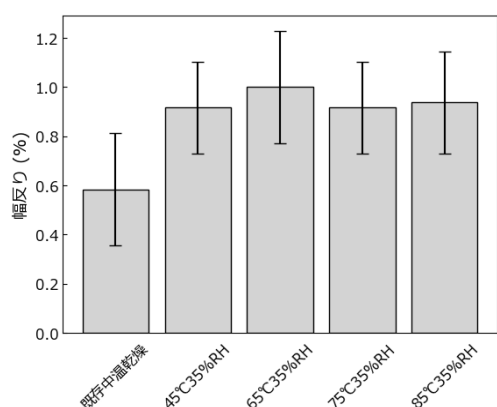
図－8 乾燥条件毎の解放ひずみ傾斜

また、含水率傾斜と解放ひずみ傾斜について、その傾斜の強さを定量的に表現するために、断面内における最大値と最小値の差を求め、両者の相関関係をとったところ、強い正の相関がみられた（図－9）。このことは両者の因果関係を説明するものではないが、含水率傾斜が大きくなるような乾燥条件では、乾燥応力も大きくなる可能性が示唆された。また、乾燥温度が85℃の条件では応力傾斜の強さ、含水率傾斜の強さともに、ほかの条件に比べ極端に強くなり、逆に既存中温乾燥では弱くなることが判った。



図－9 解放ひずみ傾斜の強さと含水率傾斜の強さの関係

乾燥条件毎の乾燥後の幅反り率の5個体の平均値と標準偏差を図－10に示した。幅反り率は、既存中温乾燥で小さくなる傾向がみられたが、既存中温乾燥とその他の中温低湿乾燥の間で、それぞれt検定を行ったところいずれも有意差はみられなかった。いずれにせよどの条件においても幅反り率は1%以下と小さく、実用に当たっては問題にならない程度であると思われる。

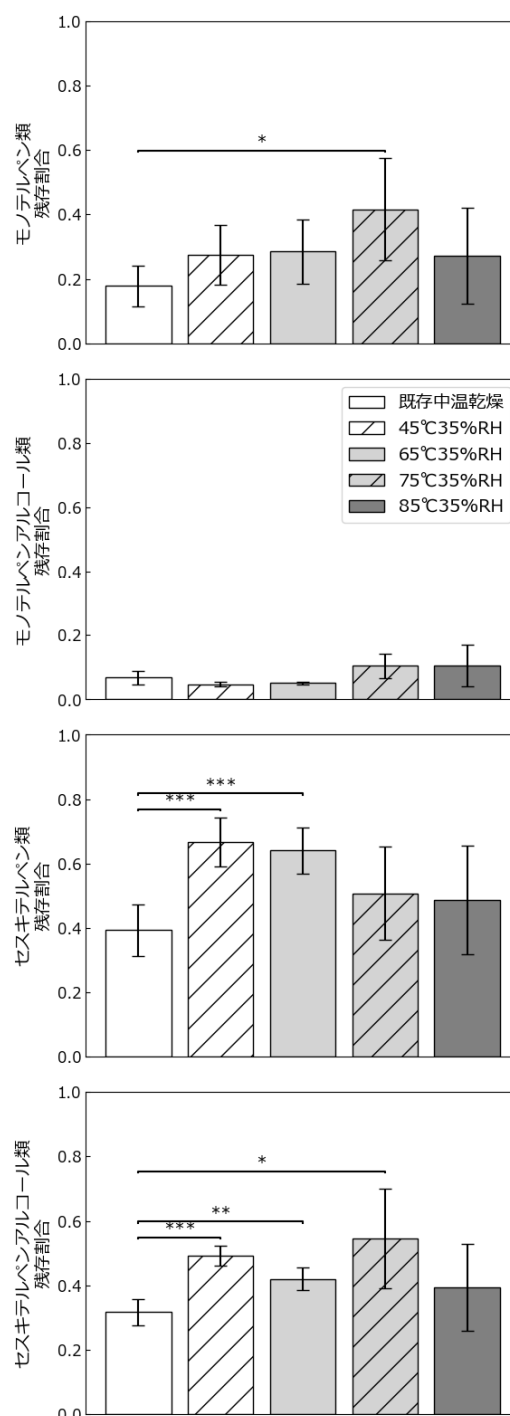


図－10 乾燥条件毎の幅反り率の比較

（2）テルペン類濃度および残存割合について

乾燥後のテルペン類濃度の測定は、各試験材あたり、材長方向に2か所（L=100, 250mm地点）で測定したが、い

ずれも同程度の値となったため、乾燥後の濃度については2か所の平均値を用いた。それを近接する左右2か所の乾燥前の濃度で除すことにより残存割合を求めた。乾燥条件毎の残存割合の5個体の平均値と標準偏差を、成分毎に図－11に示した。



図－11 乾燥条件毎のテルペン類の残存割合の比較

既存中温乾燥時の残存割合の平均値とその他の中温低湿乾燥時の残存割合の平均値の差を比較し、それぞれt検定で検定を行ったところ、モノテルペン類については、いずれの中温低湿乾燥においても残存割合は高くなり、

75°C35%RHでは有意差がみられた ($p<0.05$)。

モノテルペンアルコール類については、いずれも有意差はみられず、すべて残存割合は1割以下となり、いずれの条件でも乾燥により大部分が損失することが判った。これはモノテルペンアルコール類が親水性の成分で揮発性も高いため、水の蒸発とともに揮散した可能性が考えられた。

セスキテルペン類については、いずれの中温低湿乾燥でも残存割合は高く、45°C35%RH、65°C35%RHのとき、有意差がみられた ($p<0.005$)。

セスキテルペンアルコール類については、45°C35%RH、65°C35%RH、75°C35%RHのとき、有意差がみられた ($p<0.005$, 0.01, 0.05)。

(3) 考察

既存中温乾燥条件では、乾燥初期から低湿度で乾燥する方法に比べ、含水率傾斜や解放ひずみ傾斜が抑えられ、乾燥後の幅反りが抑えられるが、テルペン類の残存割合は中温低湿乾燥に比べ減少する結果となった。これは、乾燥初期に高湿度条件で徐々に乾燥するため、乾燥時間が長くなる傾向があり、熱が加わる時間が長くなる結果テルペン類の揮散が進むことによるものと推察された。また乾燥工程で排出される精油成分は乾燥条件により、その組成が異なることが報告されており(大平 2000)、湿度が高い状態がテルペン類の揮発に影響した可能性も考えられた。

一方で乾燥温度が65~75°Cで乾燥初期から低湿度で乾燥する条件では、割れや曲がりといった大きな欠点はみられず、幅反りも実務においては問題にならない程度であると思われた。また乾燥時間は既存中温乾燥に比べ3分の2~半分程度に短縮でき、テルペン類の残存割合は有意に大きくなった。含水率傾斜や解放ひずみ傾斜は既存中温乾燥に比べ若干大きくなるものの、乾燥後に養生することでも緩和されると推察されることや、表面が圧縮応力で終了しており乾燥後の表面割れの可能性は少ないことから、実務においては特に問題にならないと思われる。また、45°C条件では乾燥時間が既存中温乾燥の2倍程度になることに加え、85°C条件では含水率傾斜や開放ひずみ傾斜が極端に大きくなることがデメリットになると考えられた。それらのことを考慮すると、65~75°C程度の温度で乾燥初期から低湿度で乾燥することで、既存条件よりテルペン類を残し、乾燥時間を短縮した上で、材質も問題なく仕上げるができる可能性が示唆された。そのため、次からの実証試験では、低湿条件として乾球温度75°C湿球温度51°C一定条件(以降、D75°CW51°C)を採用することとした。

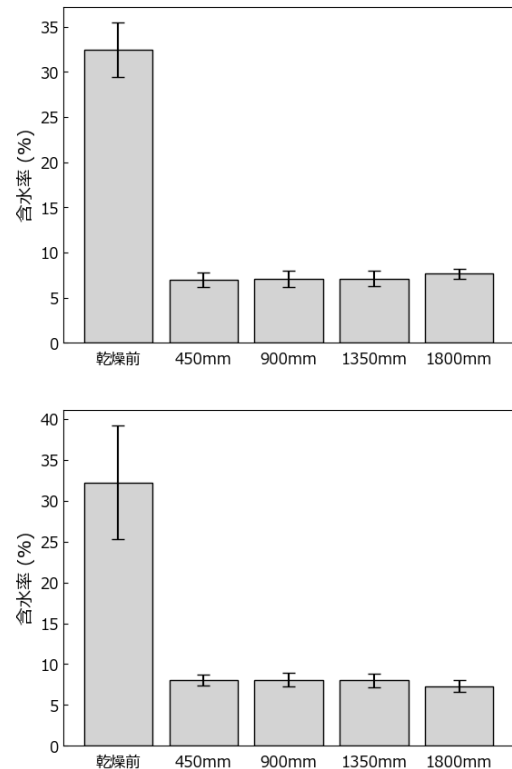
2. 実証試験

(1) 乾燥結果

乾燥スケジュールと乾燥に要した時間については、表

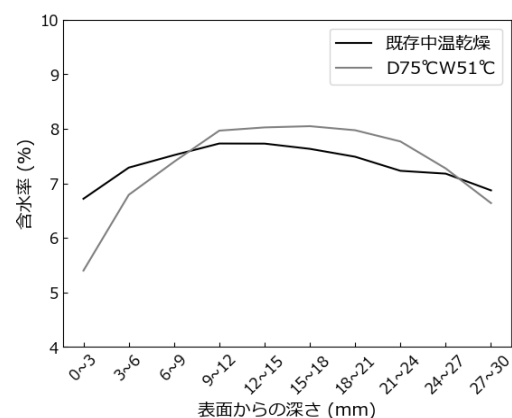
ー3に示した。D75°CW51°Cの乾燥時間は、予備試験時に比べ長尺になることを考慮し、48時間とした。

長さ方向含水率傾斜の30枚の平均値と標準偏差を図ー12に示した。いずれの乾燥条件においても乾燥後の長さ方向含水率には位置による違いはみられず、材端部から中央部まで均一に乾燥されていた。



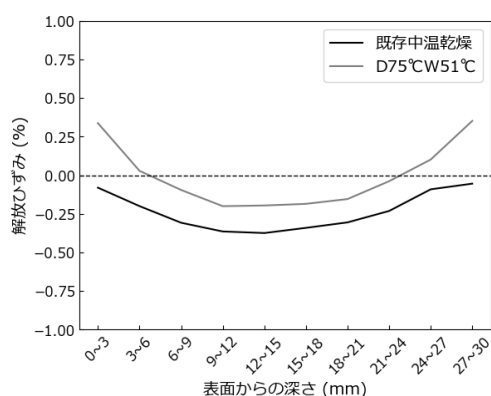
図ー12 乾燥前含水率および長さ方向含水率傾斜
(上：既存中温乾燥 下：D75°CW51°C)

放射方向含水率傾斜の30枚の平均値を図ー13に示した。予備試験の結果と同様に、既存中温乾燥に比べD75°CW51°Cで表層部の含水率が低く、中央部の含水率が高くなる傾向がみられた。



図ー13 放射方向含水率傾斜

放射方向解放ひずみ傾斜の30枚の平均値を図ー14に示した。既存中温乾燥は予備試験の結果と異なり、一律に解



図－14 放射方向解放ひずみ傾斜

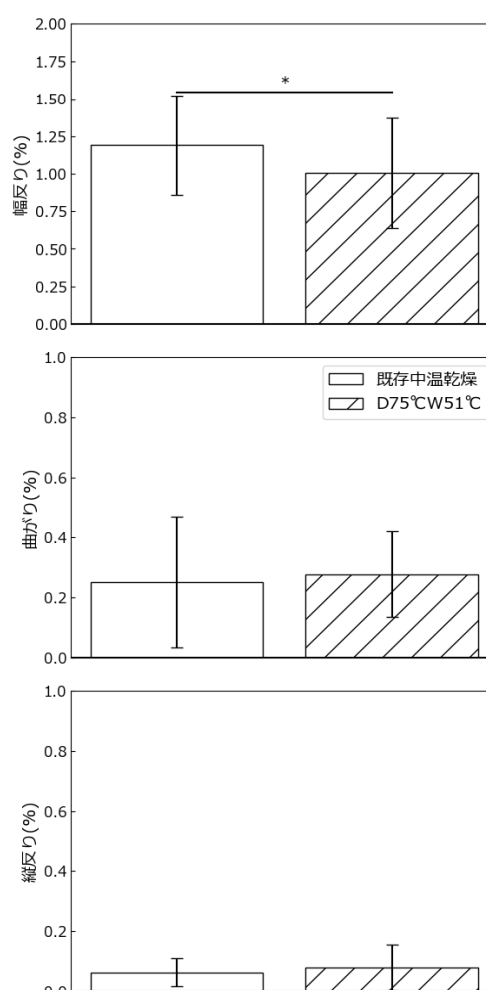
放ひずみがマイナスになったのに対し、D75°CW51°Cでは予備試験の結果と同様に表層部はプラス（圧縮応力）、中心部はマイナス（引張応力）となった。既存中温乾燥時の値がすべてマイナス側になった原因は不明であるが、予備試験時の結果がすべてプラス側であったことを考慮すると、測定精度による問題である可能性が考えられた。本測定では、デジタルカメラ（Canon SX620HS）を用い試験片の切断前後において一定距離からの撮影を試みたが、切断の前後において固定した治具の位置が若干ずれてしまった可能性がある。その場合、解放ひずみの絶対値には意味がなくなるが、解放ひずみ傾斜の傾向は変わらない。今回の測定では、D75°CW51°Cのほうが表層と中心の解放ひずみの差は大きくなっており、既存中温乾燥に比べ若干の傾斜がついていることが確認できた。今後、絶対値も含め解放ひずみを正確に測定するためには、卓上スキャナーの導入等を検討するなど測定方法に改善が必要だと思われる。

表面割れ、木口割れは、目視の確認において、いずれの乾燥条件でもみられなかった。ヒノキ材は他の樹種に比べ比較的乾燥が容易であり、乾燥初期から中温低湿乾燥で乾燥しても割れなどの欠点は発生しにくいことが確認された。

幅反り、曲がり、縦反りの結果を図－15に示した。それぞれの平均値を比較し、t検定で検定したところ、幅反りは、既存中温乾燥よりもD75°CW51°Cで小さくなった（ $p < 0.05$ ）。曲がり、縦反りに有意な差はみられず、いずれも非常に小さなものであり実務上問題となるものではなかった。

（2）テルペン類の残存割合について

テルペン類の残存割合は、図－4のように乾燥後の2か所のテルペン類濃度の平均値を、乾燥前1か所のテルペン類濃度で除すことにより求めた。乾燥条件毎の残存割合の30個体の平均値と標準偏差の結果を、成分毎に図－16に示した。それぞれ残存割合の平均値を乾燥条件間で比較しt検定で検定したところ、モノテルペン類については、予備試験の結果と同様にD75°CW51°Cで有意に



図－15 幅反り、曲がり、縦反りの比較

大きかった（ $p < 0.001$ ）。モノテルペンアルコール類については、予備試験の結果と同様に乾燥方法によらず、残存割合は2割以下となり、乾燥により大部分が消失した。セスキテルペン類については、予備試験では有意差はみられなかったが、実証試験では、D75°CW51°Cで有意に大きくなった（ $p < 0.05$ ）。セスキテルペンアルコール類については、予備試験では有意差がみられたが、実証試験では有意差はみられなかった。D75°CW51°Cでテルペン類の残存割合が大きくなる理由は不明であるが、乾燥時間が短いこと、高湿度条件が乾燥処理中になくことなどにより、テルペン類の揮発を防ぐことができていると思われる。

（3）考察

実証試験においても、予備試験と同様に乾燥初期から低湿度で乾燥しても、材質に目立った欠点はみられず、問題なく乾燥できることが判った。また乾燥にかかる時間は半分程度と大きく削減できることが判った。テルペン類の残存割合についても、モノテルペン類、セスキテルペン類とともに残存割合が大きくなり、既存の方法より香り成分を残すことができる可能性が示された。

従来、板材の乾燥では、乾燥初期に発生しやすい表面

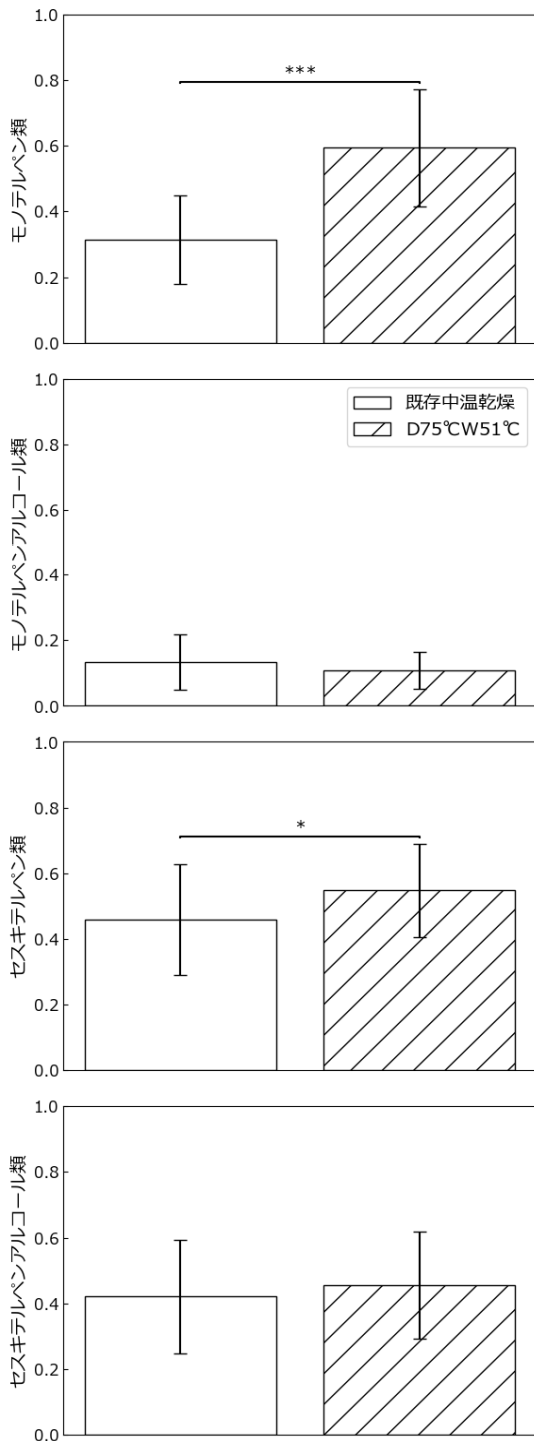


図-16 残存割合の比較

割れを防ぐため、乾燥初期の湿度は高く設定されることが多い（信田ら 2020）。しかし、これは広葉樹等における板材の乾燥を念頭においていると考えられ、広葉樹に比べ、乾燥による割れなどの欠点の発生リスクが小さいヒノキ材は、乾燥初期から低湿度で乾燥することができたと考えられた。また、今回ヒノキ材の香りを残すことにのみ注目して乾燥スケジュールを検討したため、中温低湿条件で乾燥を行ったが、ヤニの滲出を防ぐためには、乾燥初期に高湿度条件を用いることが多い（北林産

試 2005, 中山 2013)。今回、ヤニ滲出量の測定などは行わなかったが、ヒノキの香り成分であるテルペン類を残すことと、ヤニ滲出抑制処理は、真逆の関係にある可能性があり、今後の検討課題の一つである。また、今回の測定では、材中のテルペン類を抽出し含有するテルペン類濃度を測定したが、本来、ヒノキ材に求めるのは実際に揮発する香り成分である。今後は、実際に本法で乾燥した材から揮発する成分の測定も行う必要がある。また、今回の実証試験では、乾球温度75℃、湿球温度51℃という条件を用いたが、予備試験の結果を考慮すると、乾球は65～75℃程度が適当であると思われ、板厚の薄い材であれば乾燥時間は早まるため、適宜乾球温度を下げて用いることが適切であると推定された。

IV まとめ

本研究では、ヒノキ材の付加価値となりうる香りについて着目し、香り成分を残す乾燥方法について検討した。予備試験では、乾燥初期から低湿度で乾燥する際の温度条件について検討し、乾燥後の材質やテルペン類の残存割合について、既存中温乾燥と比較した。また、予備試験の結果から、一つの乾燥条件を選択し、実大材による実証試験を行い、既存中温乾燥と比較した。これらの試験から以下の結果を得た。

（1）乾燥初期から低湿度で乾燥することで、含水率傾斜や解放ひずみ傾斜は乾燥温度に応じて大きくなるものの、その他の材質には影響がないことが判った。

（2）乾燥温度が85℃になると含水率および解放ひずみ傾斜が他の条件に比べ大きくなることが判った。

（3）乾燥初期から低湿度で乾かす乾燥方法では、複数のテルペン類で残存割合が大きくなることが判った。

（4）乾燥温度が65～75℃で乾燥初期から低湿度で乾燥することで、乾燥時間が短縮でき、テルペン類の残存割合が大きくなり、材質は問題なく乾燥できる可能性が示された。

（5）実証試験の結果、乾球温度75℃、湿球温度51℃で乾燥初期から低湿度で乾燥することで、既存中温乾燥に比べ乾燥時間は半分程度に短縮できること、材質面は問題なく乾燥できること、テルペン類の残存割合は大きくなることをそれぞれ確認した。

今後、これらの結果を踏まえて、実際の製造現場における実証および普及に取り組み、香りを付加価値とした県産ヒノキ材の需要拡大に努めたい。

引用文献

- 北海道立林産試験場（2005）カラマツ活用ハンドブック：18-19。
 松田洋樹（2022）ヒノキ板材の中温乾燥処理における揮発性テルペン類の残存割合について、岡山県農林水産

- 総合センター森林研究所報38:1-6.
- 村野朋哉・藤本登留（2012）乾燥スケジュールがスギ芯
去り正角の内部応力に及ぼす影響，木材学会誌Vol.67,
No2:86-92.
- 中山伸吾（2013）三重県産ヒノキを用いた内装材用部材
の開発（1），県林業研究所研究報告:27-29
- 野上英孝（2014）日本木材学会中国・四国支部第26回研
究発表要旨集:20-21.
- 農林水産省（2022）令和3年木材統計:21pp.
- 大平辰郎（2009）木質建材製造工程で排出する成分とそ
の利用，におい・かおり環境学会誌40巻6号:400-411.
- Ohira, T., Park, B. J., Kurosumi, Y. and Miyazaki, Y.
（2009） Evaluation of dried-wood odors: comparison bet-
ween analytical and sensory data on odors from dried
sugi wood. J wood Sci 55: 144-148.
- 奥田拓，中川敏法，村野朋哉，三好悠，亀井裕人，佐々木
隆雄，三枝康弘，和田善行，湊俊司，阪井彰一，千里泰
三，藤本登留，清水邦義（2017）乾燥処理がスギ板材の
抽出成分に与える影響中温乾燥によるテルペン類の量
的变化，木材学会誌Vol.63, No.5:204-213.
- 信田聡・河崎弥生（2020）木材科学講座7 木材の乾燥 II
応用編，海青社:187-189.
- 谷田貝光克（1997）木材と感性4．におい感覚と木材, J.
Soc.Mat.Sci., Japan 46:1222-1227.
- 谷田貝光克（2008）森の香り・木の香り その正体と働
き，におい・かおり環境学会誌38巻6号:428-434.

少花粉スギ・ヒノキコンテナ苗生産技術の確立

藤原 直哉

Establishment of production technology of container seedlings for less pollen varieties *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*

Naoya FUJIWARA

要 旨

藤原直哉：少花粉スギ・ヒノキコンテナ苗生産技術の確立 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報39：11-26（2025） 県内における造林用苗木の需要は、従来の裸苗から、ほぼコンテナ苗に移行し、育苗現場でもコンテナ育苗が中心となりつつある。そこで、コンテナ苗の生産効率向上を目的として、選別種子の導入による直接播種について、育苗試験を行った。まず、風選機や種子選別機による選別種子の生産を検討し、選別効率を調べた。次に、種子の催芽条件を明らかにするため、湿潤処理や加温による種子糖化酵素の活性化条件を調べ、発芽が促進される基礎条件と、それによる実際の発芽促進効果を確認した。また、県内で発生する針葉樹バークに着目し、コンテナ用培土の代替資源としての利用可能性を探り、既存培土への混合利用を実証した。さらに、測定機器による培土中肥料濃度の把握方法の有効性、温室を利用した成長促進技術、底面灌水技術や、光環境が与えるコンテナ苗の成長への影響について、それぞれ検証した。また、少花粉モデル林4か所に植栽した少花粉スギ・ヒノキコンテナ苗の成長について、植栽後の調査を実施した。

キーワード：アミラーゼ、光環境、コンテナ苗、選別種子、少花粉

I はじめに

岡山県では、「第3次晴れの国おかやま生き生きプラン」（岡山県 2021）により、花粉の飛散を低減させることを目標に、重点施策として、少花粉スギ・ヒノキ（以下、スギ、ヒノキ）の苗木の植替え割合を、2024年度までに100%とする取り組みを実施している。さらに、「おかやま21 森林林業ビジョン」（岡山県 2020）でも、2030年度までの植替え割合95%以上に目標としている。また、それに関連する対策として、再造林の効率化を図るために、コンテナ苗による育苗を推進している。苗畑を利用した従来の育苗と比較し、容器を利用したコンテナ育苗は、その生産工程が大きく異なっている。現在取り組まれているコンテナ苗の栽培状況については、①苗畑で1年間育成した幼苗を、コンテナトレイに移植する（幼苗移植）、②種子をセルトレイに播種し、数か月育成した後にコンテナトレイに移植する（セル苗移植）、③種子を、直接コンテナトレイに播種する（直接播種）の3つの方法がある。それぞれに一長一短があるが、省力化には、③の直接播種が最も適すると考えられ、コンテナトレイや培土、肥料のロスを抑制するために、発芽率の高い種子（高発芽種子）の使用が必要であり、このためには、あらかじめ種子の選別により、高発芽種子を分別する必要がある。これまで、種子の選別方法には、

風選、水選、塩水選、アルコール選、せっけん水選等、主に種子の重量や、比重の差を利用した選別方法があった（近藤 1998）。しかし、近年では、近赤外光の照射による種子の含有成分の測定が可能になり、針葉樹の種子についても、先進技術を駆使した高度な種子の選別方法が開発された（Matsuda *et al.* 2015）。このため、岡山県では、2020年度に、高精度で充実した種子の分離が可能な充実種子選別機（九州計測器製）を購入し、本機器による選別種子の苗木生産現場への普及を検討した。この課題では、選別種子の選別過程における諸問題と利用の可能性について検証を行った。

一方、スギ・ヒノキの種子の発芽条件についての科学的な知見が乏しいことから、発芽の過程で重要な役割を果たす種子の酵素活性について研究し、活性を高め、種子の発芽率を向上させるための処理時間や温度について検討を行った。さらに、種子の酵素活性を高める条件を利用した催芽試験を行い、種子の発芽促進効果を確認した。

また、培土の主要資材として利用されるヤシガラ培地について、一部、原材料の枯渇が懸念されている（柴崎ら 2017）ことから、代替資材として、製材工程で余材として発生する針葉樹バークの利用を検討し、コンテナ

育苗培土への利用可能性を調べた。

次に、苗木生産者からの要望が強いコンテナ育苗における施肥管理については、従来から明確な指針が示されていないことから、今回、試験的に肥料濃度の測定を行い、コンテナ培土中の肥効の持続性を調べた。さらに、温室や、ビニールハウスを利用したコンテナ育苗について、育苗期間の短縮と低コスト化を目標に、播種時期ごとに、苗木の成長を測定し、比較した。また、スギのコンテナ苗で実用化が検討されている底面灌水の実際（近藤 2022）について、ヒノキのコンテナ苗への適用性を試験した。

育苗段階におけるコンテナ苗の成長に対する光環境については、西日本各地で生産者の意見が異なり、ほ場における寒冷紗による底陰の設置状況も多様である。そこで、苗木の生育段階における光環境の影響を明らかにするため、遮光による苗木の育成条件を調べた。

一方、植栽されたスギ・ヒノキコンテナ苗の成長について、様々なデータを蓄積し、各造林地の参考とするために、2021年度から新たに設置された少花粉品種のモデル林における苗木の成長を調査した。

本課題は、単県課題「スギ・ヒノキコンテナ苗の生産技術の確立（2021～2023年度）」のほか、種子採取事業、「少花粉スギ・ヒノキ普及加速化事業（2020～2023年度）」、および、「岡山県スギトライアル生産支援事業（2022～2023年度）」で実施した。

II 材料と方法

1. 種子の選別

(1) 風選機による種子選別

風選式の種子精選機（本山製作所製）によって、2019年度産スギ・ヒノキ種子（各500ml）の選別を検討した。また、選別前の種子、選別後の種子、除去された種子について、2020年2月下旬、常法に従って発芽試験（n=30, 3反復）を行い、発芽率を比較した。

(2) 充実種子選別機による種子選別

2020, 2021年度の10月、所内の少花粉品種採種園より採取し、冷凍庫（-20℃に設定、以下、種子の保存方法は同様。）内に保存したスギの種子とヒノキの種子について、2022年1月下旬、各3ロット（1ロット300g）を選別試験に供試した。種子の選別は、充実種子選別機（九州計測器製、以下、選別機）を使用し、充実種子の選別基準であるSQI値を、スギでは40、ヒノキでは35に設定した。

この選別機では、設定されたSQI値より低い値を示す種子を充実種子と判定して選別し、閾値より高い値を示す種子を不稔種子として排出する構造となっている。また本機器は、一つのロットに対して3回以上、選別処理を繰り返す条件を基本としているが、今回の選別処理で

は、実際の運用効率を考慮し、選別処理を1回とした。

2. 種子の α -アミラーゼ活性測定

2021年6月上旬、2020年度に採種したスギ・ヒノキの選別種子各1gを、湿潤処理として50mlの水道水を入れた100ml容量のコニカルビーカーに浸し、5, 10, 15, 20, 25, 30℃に設定したインキュベーター（日本医科器製作所製LH-30-8CT, 8時間日長）内に静置した。この種子を、0, 1, 3, 5, 7, 10日毎に取り出し、種子の α -アミラーゼの活性の変化を、経時的に測定した。

α -アミラーゼ活性の測定は、種子を茶こしで漉し取った後、蒸留水10mlを添加した後、ミル（TESCOM社製TML162）で、1分間粉碎処理を行った。この粉碎液をコニカルビーカーに戻し、往復振とう（100r.p.m, 3時間）後、ろ過処理（ADVANTEC社製、ろ紙2C）を行った。その後、ろ液を、市販の α -アミラーゼ測定キット（キッコーマン社製）で処理し、処理液を分光蛍光光度計（e-spect）で測定した。反応条件は、37℃, 10分間とした。

3. スギ・ヒノキ種子発芽試験

2021年7月上旬、スギ・ヒノキの選別種子（2020年度のコンテナ用出荷分）各100粒を、ろ紙を2重に敷いた後、吸水させたプラスチックシャーレに播種し、前処理として、スギは気温15℃で7日間、ヒノキは30℃で3日間の湿潤処理を行った。その後、気温20℃の条件下で、4週間、3反復で発芽試験を行った。コントロールは、それぞれ前処理無しとした。

4. バーク培土育成試験

(1) バーク培土試験

2021年8月中旬、真庭木材事業協同組合から購入した針葉樹バーク100lを、気温40℃で、12時間定温送風乾燥処理（ADVANTEC FC-612）後、ハンマークラッシャー（三庄インダストリー製）で粉碎し（以下、バークとする。）、室温で保存した。次に、2022年4月上旬、この粉碎バークに、MAGAMP PLUS K MEDIUM（HYPONEX JAPAN）5g/lに加え、別のNeXCOTE PRO野菜果樹用9カ月（HYPONEX JAPAN）5g/lを混合し、培土として使用した。容器は、コンテナトレイ（150cc容量、リブ+スリット構造、OY150, 全苗連、以下、同様。）を使用し、粉碎バークを充填後、2022年4月上旬、スギとヒノキの選別種子を、3粒/キャビティずつ播種（以下、播種方法については、以下、同様。）した。覆土は、鹿沼土（細粒）をふるい（メッシュ 3mm, 以下、同様。）で散布した。灌水は、4～11月の期間、自動灌水機で、朝と夕方2回、10～15分間散布した。比較として、豊並培土を使用したコントロールを設定後、苗高と

根元直径を測定した（40本／トレイの3反復）。

（2）バーク混合培土試験

2023年4月上旬、豊並培土にバークを20%（体積比）混合した培土（以下、バーク20%とする。）を使用し、（1）と同様の条件で、3反復で試験を実施した。

5. 肥料成分の測定

2022年1月上旬、豊並培土に、ハイコントロール391（180日タイプ）12.3g/lを混合し、培土とした。これをコンテナトレイに充填後、スギとヒノキの選別種子を播種した。覆土は、鹿沼土（細粒）をふるいで散布した。育苗は野外で行い、灌水は、1～10月の期間、自動灌水機で、朝と夕方の2回、10～15分間散布した。苗木生産者は、それぞれが異なった気象条件にあり、使用する培土や肥料が異なっている。また、灌水条件も様々であり、一律に施肥量やタイミングを決定することが困難である。そのため、施肥の濃度を測定する手段として、ECメーター（竹村電機製作所製 CM-20）を使用し、5～7月の間、育苗中のコンテナ苗について、添付の仕様書に従い、培土中の肥料成分の濃度を測定した。

6. ガラス温室育成試験

（1）春期温室育成

2022年4月上旬、豊並培土に、市販のMAGAMP PLUS K MEDIUM 5g/l, NeXCOTE PRO 5g/lを混合して使用した。これをコンテナトレイに充填後、スギとヒノキの選別種子を播種した。覆土は、鹿沼土（細粒）をふるいで散布した。このコンテナトレイを、4月上旬から、既存のガラス温室（高温時、天窓は自動開閉）内に、2重のビニール温室を設置し、1～2回/日、適宜灌水を実施しながら、5月下旬まで育苗した。その後、ハイコントロール391（270日タイプ、ジェイカムアグリ製、以下、同様。）を各1g/キャビティ追肥し、10月まで野外で育成した（3反復）。

（2）冬期温室育成

2023年1月初旬、豊並培土に、基肥としてハイコントロール391を、1.2g/lを混合後、コンテナトレイに充填した。これに、スギの選別種子を播種した後、鹿沼土（細粒）で覆土した。これらを（1）と同様に育成した。

（3）苗木生産者育成試験

前述の（2）で育成した幼苗を、同年5月下旬～6月上旬の期間、新規に取り組む苗木生産者の苗畑6か所（苗畑A～F）に、それぞれ25トレイ（1,000本）を設置し、各生産者が10月まで育苗管理を行った。その後、苗高と根元直径を調査した。

7. 底面灌水試験

2022年4月上旬、豊並培土に、MAGAMP PLUS K M-

EDIUM 5g/l, NeXCOTE PRO 5g/lを混合して使用した。これをコンテナトレイに、手で充填後、スギとヒノキの選別種子を播種した。覆土は、鹿沼土（細粒）をふるいで散布した。播種後、コンテナトレイを底面灌水トレイに乗せ、自動灌水機で、朝と夕方の2回、底面かん水トレイに、10分間散布しながら11月まで育成した。コントロールは、底面かん水トレイ無しとし、苗高と根元直径を測定した。

8. 異なる光環境におけるコンテナ苗の成長

2023年4月上旬、スギとヒノキの選別種子を、あらかじめ培土圧入機（サンテクノ社製 KYE-2型）で、豊並培土を充填したコンテナトレイに播種した。基肥に、MAGAMP PLUS K MEDIUM 5g/l, NeXCOTE PRO 5g/lを培土充填時に混合した。覆土は、鹿沼土（小粒）を使用した。次に、4月下旬に発芽を確認した後、50%遮光の寒冷紗を全体に設置し、5月下旬まで育成した。その後、6月上旬に、遮光無し（コントロール）、20%遮光（20%区）、50%遮光（50%区）を設け、北側方向を空けた状態で全体を被覆し、10月末まで育苗した。

調査は、苗高については、定規で6～11月までの6回、根元直径については、ノギスで8月と11月の2回、それぞれ中旬に測定した（0.1mm単位）。光条件については、各試験区について、光量子束密度を、高さ20cmに各1か所センサーを設置し、30分間隔で測定した（本体：D1歪み16pl, ログ電子製、センサー：IKS27, KOITO製）。温度については、30分間隔で測定した（TR51i T AND D製）。

なお、病虫害の予防を目的として、スギ用として、殺菌剤のエムダイファー水和剤（500倍）、ステンレス液剤（500倍）、ベンレート水和剤（2,000倍）と、トリフミン水和剤（3,000倍）を、殺虫剤としては、スミチオン乳剤（1,000倍）、アディオン乳剤（1,000～5,000倍）を、1週間ごとローテーション散布した。ヒノキ用として同様に、ベンレート水和剤（2,000倍）、トリフミン水和剤（3,000倍）、スミチオン乳剤（1,000倍）、アディオン乳剤（1,000～5,000倍）をローテーション散布した。

9. 少花粉スギ・ヒノキモデル林の生育調査

2021年度に設置された（1）高梁市と（2）吉備中央町と、2022年度に設置された（3）新庄村、および2023年度設置の（4）新見市の各モデル林（表－1）について、植栽されたスギ・ヒノキコンテナ苗の初期成長を明らかにするため、現地調査を行った。各モデル林への植栽は、それぞれ地域の住民や学生が実施した。

現地調査は、苗木の樹高をスタッフ（0.5cm単位）で、根元直径はノギス（0.1mm単位）で測定したが、植栽初年度は、それぞれの苗木に個体番号を記載した番号テー

ブを巻き付け、識別の目安とした後、苗木の全数を測定した。2 成長期経過後は、全体数の25%を抽出して調査した。

表－1 少花粉モデル林の概要

場 所	植栽日	調査日（初回）	スギ（本）	ヒノキ（本）	備 考
高梁市有漢町	2021/11/28	2021/12/9	120	480	市有林
吉備中央町上田西	2022/2/22	2022/3/8	90	210	町有林
新庄村大原	2022/11/8	2022/11/25	12	498	村有林
新見市哲西町矢田	2023/10/14	2023/12/20	600	0	市有林

Ⅲ 結果と考察

1. 種子の選別

（1）風選機による種子選別

ヒノキでは、風選機の上側ブロー風量を 5.0、下側ブロー風量を 7.5に設定条件した条件下で、軽量種子を分離することが可能であった。発芽試験の結果、選別前種子の発芽率は 61.1%，選別後種子の発芽率は 86.7%，除去された種子の発芽率は 20.0%と、風選処理により、選別前に比較し、発芽率が25.6%向上した。この理由として、風選処理により、発芽率の低い軽量種子が一定量除去された結果、選別後種子の発芽率が向上したと考えられた。また、スギでは、風選機の上側ブロー風量を8.0、下側ブロー風量を 6.0 に設定した条件下で選別した場合、発芽率は、選別前 24.4%，選別後 34.4 %，選別残3.3%と、発芽率は、10.0%しか向上しなかった。ヒノキに比較し、スギでは、選別前後の発芽率はあまり差が無かったことから、当該機器によるスギ種子の選別について、現状では実用性が乏しいことが明確となった。これらのことから、ヒノキは、本手法による種子の選別が可能であるが、スギの風選は困難であるため、別の手法による選別が望ましいと見込まれた。

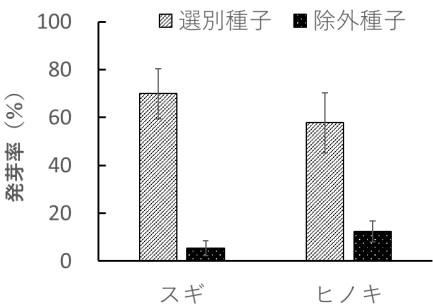
（2）充実種子選別機による種子選別

スギの選別種子の発芽率は69.9%，除外種子の発芽率は5.4%，ヒノキの選別種子の発芽率は57.9%，除外種子の発芽率は12.4%となった（図－1）。

選別種子の発芽率が、おおむね58～70%となった一方で、除外種子の発芽率が 5～12%と、一定の数値を示し、除外種子と判定されたものについても、発芽種子が混入するという結果となった。このため、除外種子と判定された種子については、1 回の選別処理ではなく、複数回の選別処理を実施する必要がある、想定の数倍の処理時間が掛かることが想定された。なお、スギ、ヒノキともに、種子への混入物は非常に多く、これらは、充実種子選別機の稼働効率を低下させるとともに、選別種子として判定される例も発生した。種子の選別について、ヒノキは風選機による選別種子と、充実種子選別機による選別種子の発芽率が同レベルであったことから、本県において需要が大きいヒノキについては、風選機による種子

選別が効率的と考えられた。一方、スギについては、風選機による種子選別が困難であったことから、充実種子選別機による種子選別が適していると結論付けられた。

なお、充実種子選別機の故障や誤判定を予防するために、前処理として、種子に混入している針葉等の植物破片などの混入物を、篩やピンセット等を用いて除去する必要が生じたが、多大な労力を要することが判った。このため、ヒノキについては、風選機と充実種子選別機を組み合わせた種子選別により、効率的に発芽率の高い充実種子を選別することが可能と考えられた。



図－1 発芽率の比較
※ エラーバーは、標準偏差を示す。

2. 種子のα－アミラーゼ活性測定

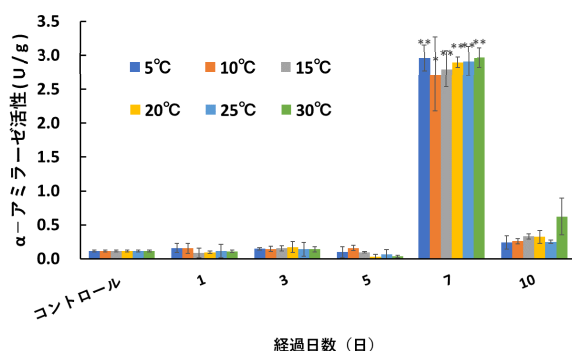
スギ種子のα－アミラーゼ活性の測定結果を図－2に示す。活性は、湿潤処理開始から7日目に、5～30℃のいずれの温度でも急激に活性化した後、10日目には低下した（図－2）。この実験結果から、スギ種子のα－アミラーゼの活性は、温度の影響による酵素活性の変化が少ない一方で、水分が存在する条件下で、一定の時間経過によって、急速に酵素活性が上昇することが判った。

従って、スギ種子を効率良く発芽させるための条件として、種子を7日間程度、湿潤条件下に置く前処理が重要と考えられた。

また、ヒノキ種子のα－アミラーゼの活性は、湿潤処理開始後1日目に、例外として気温5℃の条件下で酵素活性が高まったが、特に3日目に、気温25℃、30℃の条件下で、最初の酵素活性の上昇があった（図－3）。また、5日目に酵素活性は、一旦低下した後、7日目にも2回目の上昇が確認された。このことから、ヒノキ種子のα－アミラーゼの活性は、3日以上湿潤条件に置くことにより、温度が高いほど活性化され、複数回に亘って上昇を示す特性を持つことが示唆された。

α－アミラーゼは、種子の内部に蓄積されたデンプンを、大まかに糖に分解する酵素で、植物の発芽に必要な糖の生成に不可欠な酵素として知られ（Mori 2005），他の農作物でも重要視されている。今回の試験結果により、スギ、ヒノキのα－アミラーゼの活性について、気温と時間の経過による反応の差が明らかとなり、湿潤処

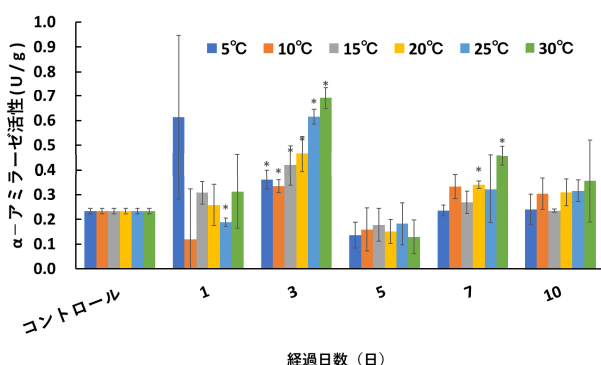
理による催芽条件が判明したことにより、発芽までの期間を短縮することが可能となった。



図－2 スギ種子αーアミラーゼ活性の変化

t検定 (* : 5 %水準, ** : 1 %水準で有意を示す。

※ エラーバーは、標準偏差を示す。



図－3 ヒノキ種子αーアミラーゼ活性の変化

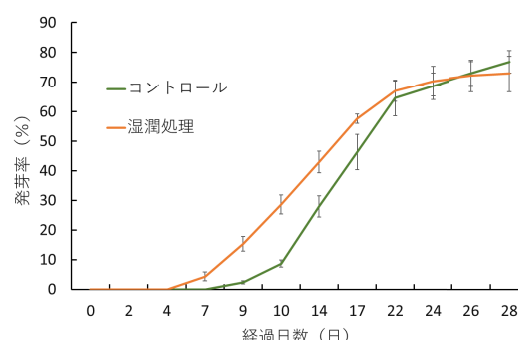
t検定 (* : 5 %水準, ** : 1 %水準で有意を示す。)

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

3. スギ・ヒノキ種子発芽試験

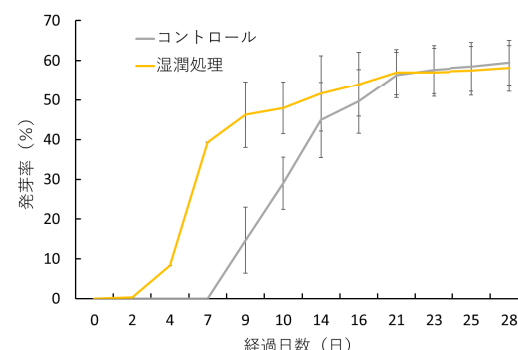
スギの湿潤処理区では、播種後7日後から発芽が始まり、コントロールでは、9日後から発芽が始まった(図－4)。湿潤処理(15°C, 7日間)を行った場合、コントロールに比較し、2～3日間程度早期に発芽が早まった。しかし、その差は時間の経過とともに徐々に短縮し、21日経過後における発芽促進効果は小さかった。一方、ヒノキでは、コントロールに比較し、湿潤処理(30°C, 3日間)した試験区は、早期に発芽率が高まり(図－5)、湿潤処理による発芽促進効果が確認された。特に、播種後、顕著にヒノキの発芽率が向上したことから、湿潤処理は、ヒノキでの実用性が見込まれることが判明した。この後、播種28日後までに、それぞれの試験区における発芽率の差は徐々に縮小し、最終的に一致した。その結果、今回の湿潤処理では、スギ、ヒノキとも数日間の発芽促進効果を示すことが判ったが、湿潤処理に一定

の期間を要した。従って、実際のコンテナ育苗における湿潤処理については、播種後の灌水によっても同様の効果を示すことが予測され、種子の吸水によって発芽が促進されるスギについては、特に、湿潤処理の利点は少ないと考えられた。一方、ヒノキ種子に対する湿潤処理中の加温処理については、実用的な効果を持つことが判った。近年の針葉樹のコンテナ育苗では、生産規模の拡大も進行しており、より効率的な育苗方法が求められることから、発芽時期の同調性を高めることは、その後の生育にも好影響が思われた。



図－4 スギ種子の発芽率

※ エラーバーは、標準偏差を示す。



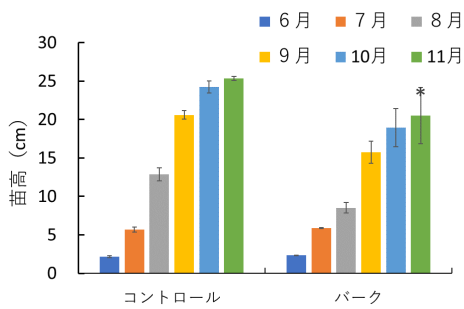
図－5 ヒノキ種子の発芽率

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

4. バーク培土育成試験

(1) バーク培土試験

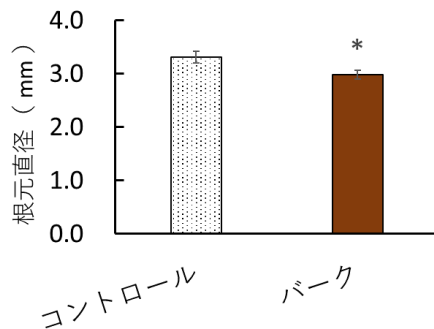
調査の結果、スギ、ヒノキともに、バークを培土とした試験区の成長は有意に劣り(図－6, 7, 8, 9)、特に、成長初期に該当する7～8月に、コントロールでは苗高が2.3倍/月となったのに比較し、バーク試験区では、1.4倍/月と成長量が抑制されていた。調査を終了した11月時点で、スギではコントロールの80.8%、ヒノキでは、コントロールの64%の伸長量となり、ヒノキの伸長が強く抑制される傾向が確認された(図－6)。



図－6 スギの苗高（パーク100%）

t検定（*：5%水準で有意を示す。）

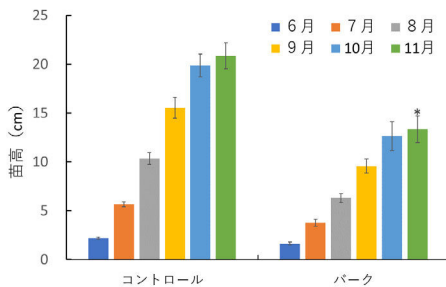
※ エラーバーは、標準偏差を示す。



図－7 スギの根元直径（パーク100%）

t検定（*：5%水準で有意を示す。）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

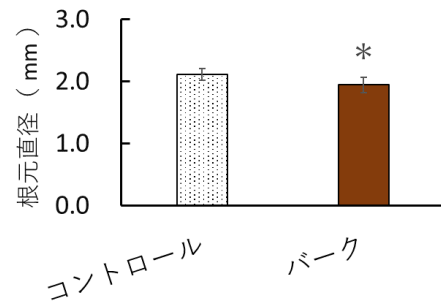


図－8 ヒノキの苗高（パーク100%）

t検定（*：5%水準で有意を示す。）※ エラーバーは、標準偏差を示す。

パークには水溶性フェノール性物質が多く含有されており、植物の生育阻害を引き起こすことが知られている（田近 2016）。今回の試験でも、これらの物質の溶出が根系の生育に悪影響を与えた結果、間接的に、地上部の成長抑制に繋がったものと推測された。一方、根元直径については、スギはコントロール比90.3%，ヒノキではコントロール比91.9%と、やや成長が劣ることが示唆された。

これらのことから、粉碎処理したのみのパークについては、培土の代替品としての利用は困難と見られ、水溶性フェノール性物質を低減させるための堆積処理などの前処理が不可欠と考えられた。



図－9 ヒノキの根元直径（パーク100%）

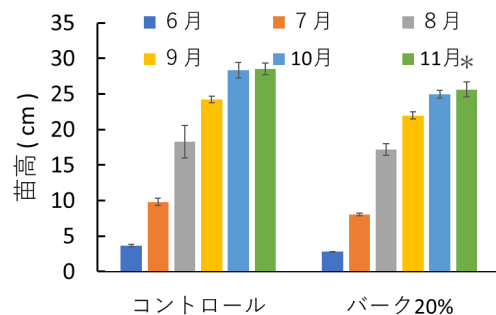
t検定（*：5%水準で有意を示す。）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

（2）パーク混合培土試験

調査も結果、スギでは、11月時点の苗高は、コントロールより有意に小さいことが確認された（図－10）。根元直径についても、統計的にやや成長が劣ることが確認された（図－11）。しかし、その差は小さいものであり、今後、育成を継続すれば、出荷規格（苗高35cm以上、根元直径4.0mm以上）に達するものと推測された。

ヒノキでは、苗高についてはコントロールと同等の成長を示し、有意差は見られず（図－12），ともに出荷規格（苗高30cm，根元直径3.5mm）には至らなかった。経時的な苗木の変化を比較した場合でも苗高の差は小さく、ほぼ同等となった。しかし、根元直径については、パーク20%培土では、有意に成長が抑制されることが示唆された（図－13）。これらのことから、培土への粉碎パークの混合については、少量でも根元直径の成長について、抑制的な効果を示すことが認められた。



図－10 スギの苗高（パーク20%）

t検定（*：5%水準で有意を示す。）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

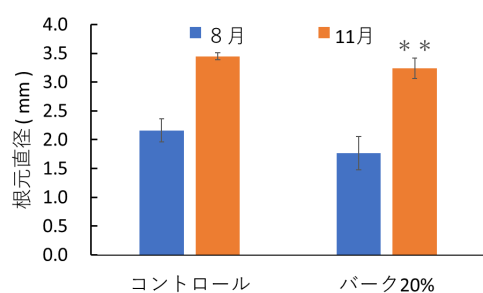


図-11 スギの根元直径（バーク20%）

t検定（**：1%水準で有意を示す。）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

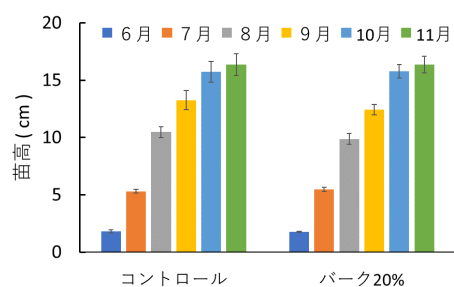


図-12 ヒノキの苗高（バーク20%）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

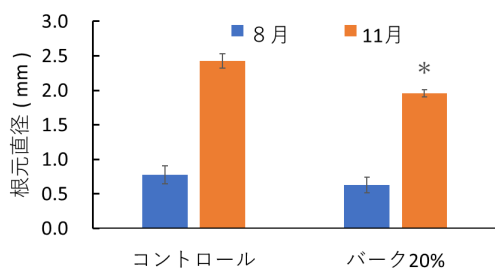


図-13 ヒノキの根元直径（バーク20%）

t検定（*：5%水準で有意を示す。）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

5. 肥料成分の測定

ECメーターによる育苗中のコンテナ苗の培土EC値の測定では、スギは、0.1以下～0.8（図-14）、ヒノキでは、0.1以下～0.7であった（図-15）。両樹種とも、測定下限値の0.1を下回る値が測定され、該当のコンテナ苗が、肥料不足の状態にあることが明示された。コンテナ育苗では、限られた培土の乾燥防止を目的とした灌水によって、肥効成分の溶出が起るため、効率的なコンテナ栽培を実現するためには、EC値の測定による適切な肥料濃度の管理が望ましい。スギ、ヒノキのコンテナ育苗におけるEC値の適正な許容範囲について、参考となるデータ

は少ないが、山林用苗木（スギ、ヒノキの裸苗）の土壌養分診断基準値として、0.1以下、または、0.2以下が示されている（神奈川県 2023）。しかし、実際のコンテナ育苗では、スギ、ヒノキともにEC値が0.8付近を示した場合でも枯死には至っておらず、数値の乖離が大きい。この点については、培土中の肥料成分が局所的に偏在し、それ以外の場所では、細根に影響を及ぼしていない可能性もあり、肥料の分布についても考慮する必要がある。また、コンテナ苗の根量によっても影響の度合いが異なる可能性もあり、生育ステージ毎の調査が必要である。このため、コンテナ育苗におけるEC値の上限については、今後の調査を待つ必要があるが、肥料切れを早期に知る手段として、EC値の測定は、有効であった。

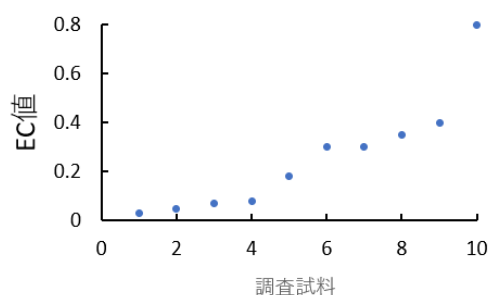


図-14 スギ培土のEC値

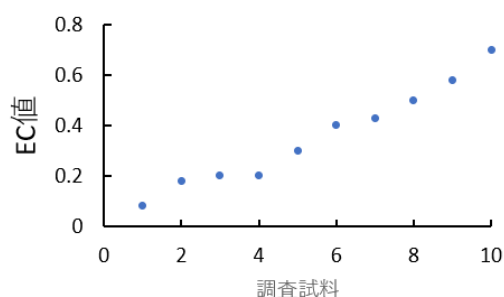


図-15 ヒノキ培土のEC値

6. ガラス温室育成試験

(1) 春期温室育成

スギの春期温室育成では、苗高の測定を開始した6月時点でコントロールに比べ生育が勝っており、その後も差が維持される（図-16）ことが判った。最終的に11月時点の比較では、コントロールより、春期温室育成の苗高が有意に高く、根元直径の比較でも同様の結果となった（図-17）。

この結果は、種子や幼苗凍結の可能性のある厳寒期を避け、気温が不安定な春に播種を実施した場合でも、温室を有効に活用して5月頃まで育苗すれば、その後、野外に移しても、コンテナ苗の生育を促進することが可能であることを示している。これは、ヒノキでも同様であり、スギより差は小さいものの、有意に生育を促進することが判った（図-18, 19）。ただし、岡山県内でも、

冬期、温室内でコンテナ苗の培土が凍結する事例が確認されており、1、2月などの冬期播種については、注意を要する。特に、発芽後間もない幼苗は、凍結に弱く、壊死するため、ロスが非常に大きい。そのため、厳寒地に於ける播種、育苗については、凍結の予防が課題であり、電熱温床や、保温や加温が可能な温室の利用が必須である。一つの工夫として、加温が難しい場合は、温室内に、2重、3重の被覆による複層温室の設置により、温室内の気温低下と、凍結による幼苗の壊死を、最小限に抑制することが可能である。その他にも、地面からの冷気を遮断する断熱材や、保温シートの敷設等も、一定の保温効果が期待される。

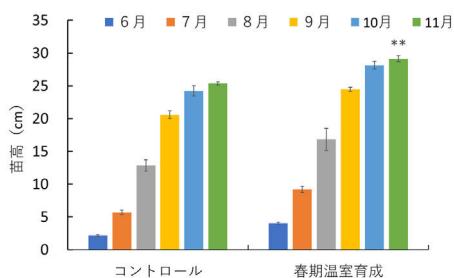


図 - 16 スギの苗高 (春期温室育成)

t検定 (** : 1%水準で有意を示す。)

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

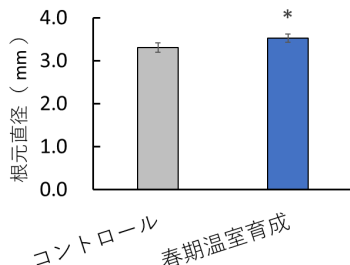


図 - 17 スギの根元直径 (春期温室育成)

t検定 (* : 5%水準で有意を示す。)

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

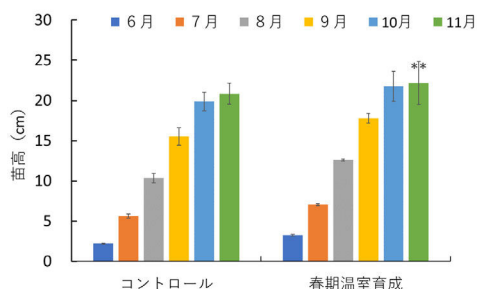


図 - 18 ヒノキの苗高 (春期温室育成)

t検定 (** : 1%水準で有意を示す。)

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

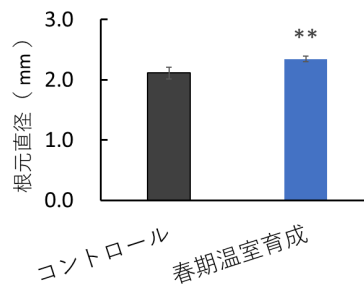


図 - 19 ヒノキの根元直径 (春期温室育成)

t検定 (** : 1%水準で有意を示す。)

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

この結果は、種子や幼苗凍結の可能性がある厳寒期を避け、気温が不安定な春に播種を実施した場合でも、温室を有効に活用して5月頃まで育苗すれば、その後、野外に移しても、コンテナ苗の生育を促進することが可能であることを示している。これは、ヒノキでも同様であり、スギより差は小さいものの、有意に生育を促進することが判った (図-18, 19)。ただし、岡山県内でも、冬期、温室内でコンテナ苗の培土が凍結する事例が確認されており、1、2月などの冬期播種については、注意を要する。特に、発芽後間もない幼苗は、凍結に弱く、壊死するため、ロスが非常に大きい。そのため、厳寒地に於ける播種、育苗については、凍結の予防が課題であり、電熱温床や、保温や加温が可能な温室の利用が必須である。一つの工夫として、加温が難しい場合は、温室内に、2重、3重の被覆による複層温室の設置により、温室内の気温低下と、凍結による幼苗の壊死を、最小限に抑制することが可能である。その他にも、地面からの冷気を遮断する断熱材や、保温シートの敷設等も、一定の保温効果が期待される。

(2) 冬期温室育成

1月播種したスギでは、10月末までに、43.8%の苗が出荷規格に達した (図-20,21)。平均値としては、スギの苗高は33.4±1.7cm、根元直径は4.7±0.4cmとなった。

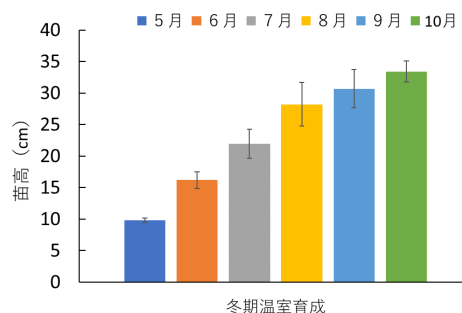


図 - 20 スギの苗高 (冬期温室育成)

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

苗高の成長は、8月をピークとして9月以降の伸びは鈍り、10月で停止した。半数以上が出荷規格に届いていないものの、顕著に伸長した。根元直径は、逆に、8、9月で成長が鈍るか、停止し、再度、伸長が停止した後の10月に肥大成長が高まった。

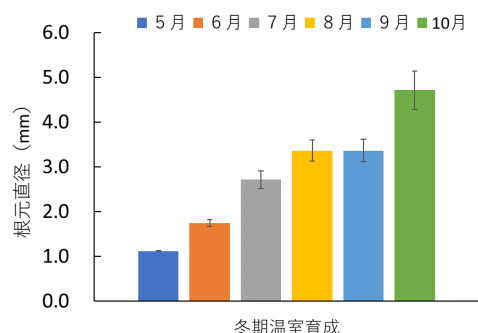


図 - 21 スギの根元直径 (冬期温室育成)
※ エラーバーは、標準偏差を示す。

(3) 生産者育成試験

苗畑 Aの育成試験では、スギの出荷規格に達した個体は全体の59.8%を占め、最も高い値を示した(図-22)。また、形状比は77.8となり、苗木の形状としては、根元が太く、安定感が高いものとなった。散布図でも、苗高に関わりなく、根元直径が6.0~8.0mm以上の個体も多数確認され、苗高と根元直径にやや相関が認められた(相関係数 0.43)。その理由として、標高260mの育成場所の立地として、近隣に遮蔽物は無く、日当たりが良好であったことが誘因として挙げられる。根元直径は、根量との相関が高いことが知られている(林野庁 2023)ことから、根系の成長が根元直径の増と、形状比の低下に繋がることと推定された。

苗畑 Bの育成試験では、苗木規格に達した個体の割合は47.5%であり(図-23)、今回の平均的な苗木の形状比は、100.6となった。苗木はやや細長い形状となり、苗高40cmを超える苗も多数あった。この苗畑でも、苗高と根元直径にやや相関が認められた(相関係数 0.59)。林野庁が定めた山林用主要苗木の標準規格では、スギコンテナ苗の形状比は、110が推奨値として記載されているため(林野庁 2023)、形状比はさらに高くても許容範囲であった。また、湾曲や倒伏は発生していないことから、造林用苗木としての条件を満たしていた。当苗畑は、標高250mの深い谷地形の一角に設置されていることから、朝夕の日当たりが不十分となっている可能性が高いものの、コンテナトレイの移動による地理的な制約の解消は困難であった。

苗畑 Cでは、苗木規格に達したスギコンテナ苗の割合は18.3%(図-24)と極めて低い値となった。また、形状比は97.7と、やや細長い苗木となった。散布図では、

苗高、根元直径ともに低位に集中する傾向があり、全体的に苗木の成長が低調であったが、苗高と根元直径にやや相関が認められた(相関係数 0.48)。また、苗畑Cは、標高320mの谷地形に設置された温室での育苗形態であり、かつ寒冷紗で被覆されているため、常時、直射日光が差し込むことはなく、薄暗い環境であった。苗木の成長が不十分であったことから、光合成に不可欠な日射量が、かなり不足していることが推測された。改善点としては、温室に設置されている寒冷紗の除去であるが、温室内の気温上昇に与える影響も大きいため、随時、気温の変化に合わせた底陰の調整が必要であった。

苗畑 Dでは、苗木規格をクリアした割合は、46.9%となった(図-25)。形状比は86.5と、根元直径が太い傾向があった。当苗畑も、標高560mの広い谷地形の一角に設置されていたが、他の苗畑と比較しても、平均的な苗木の成長を示したことから、環境的な影響は小さいと判断された。ここでも、苗高と根元直径にやや相関が認められた(相関係数 0.58)。

苗畑 Eでは、全体の45.3%の苗木が規格に達しており(図-26)、形状比84.4と、今回取り組んだ中では、2番目に低い値となった。この苗畑も、標高170mの障害物の無い開けた場所にあったことから、十分な日射量を確保することができたと推定された。散布図からも、苗高と根元直径に相関が認められた(相関係数 0.57)。

苗畑 Fでは、72.9%と、多数の苗木が苗木規格を満たした(図-27)。他の苗畑と比較して分布が小さい特徴があり、出荷時の規格ロスが少なくなった。苗高50cmを超える個体はごく少数であった。苗木の形状比は88.8となり、今回の試験では、中位の値となった。コンテナ育苗の現地は標高530mの場所で、遮蔽物が無いため苗木への日当たりは良好であった。当畑では、苗高と根元直径に弱い相関が認められた(相関係数 0.36)。

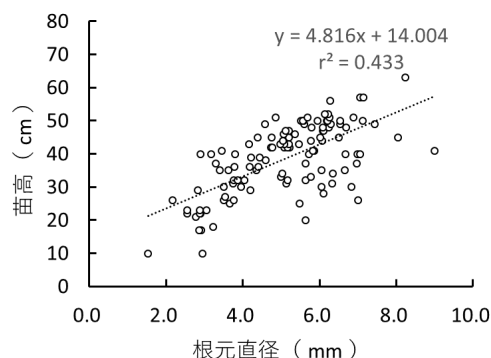


図 - 22 スギ苗木の大きさ (苗畑A)

標高など、苗木生産者の地理的な環境は様々であり、一年を通じてそれぞれの気候も異なるため、コンテナ苗

の成長にも相応の差が生じる可能性があったが、今回、春まで温室で育苗した幼苗を配布した結果、大半の地域で、極端な生育の遅れを生じることなく、同調的なコンテナ苗の育成が可能となった。ただ一部の地域では、地形に加え、遮光資材を設置した結果、コンテナ苗の生育が抑制され、出荷規格に達する苗が減少した。

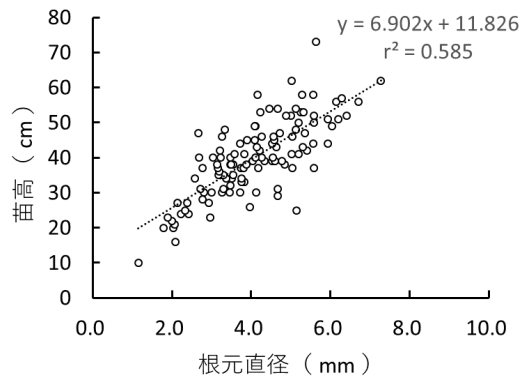


図 - 23 スギ苗木の大きさ (苗畑B)

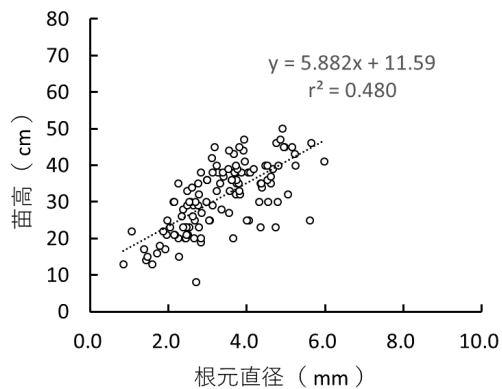


図 - 24 スギ苗木の大きさ (苗畑C)

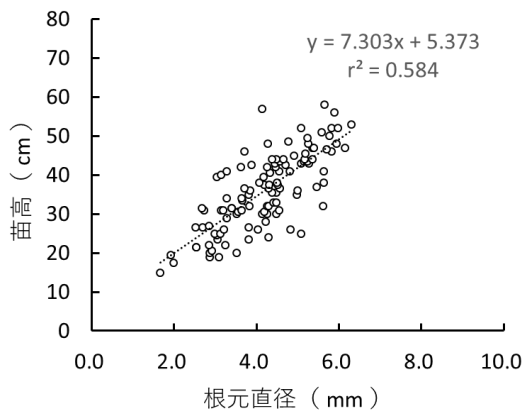


図 - 25 スギ苗木の大きさ (苗畑D)

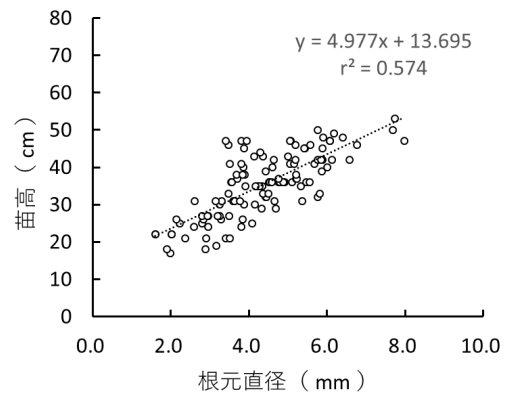


図 - 26 スギ苗木の大きさ (苗畑E)

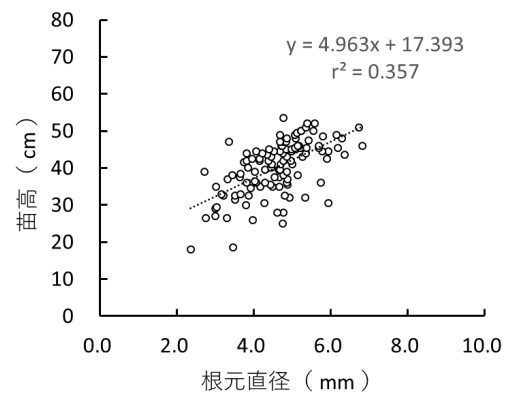


図 - 27 スギ苗木の大きさ (苗畑F)

7. 底面灌水試験

スギの苗高について、6～11月までの推移を、図-28に示す。6～8月の期間については、コントロールとした通常の灌水と、底面灌水の間に、明確な差は見られない。しかし、9月以降、底面灌水における成長は、11月時点の比較で、コントロールより有意に抑制される傾向を示した。

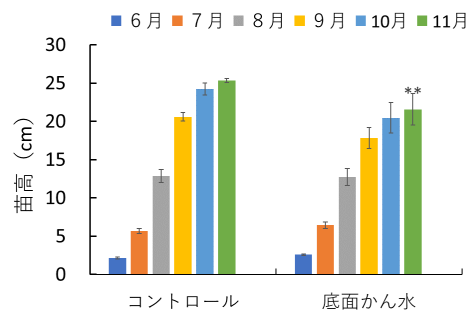


図 - 28 スギの苗高 (底面灌水)

t検定 (* : 5%水準, ** : 1%水準で有意を示す。)

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

また、底面灌水試験では、常時、培土湿润状態にあるうえ、コンテナトレイが空中に設置されないため、キャビティ底部の排水孔から細根が外部に伸長したため、苗の抜き取り時に細根を切断する必要があるなどの短所が認められた。根元直径の比較では、大きさに有意差は見られなかった（図-29）。

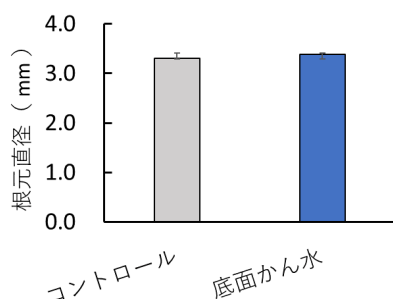


図-29 スギの根元直径（底面灌水）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

ヒノキでは、9月頃から顕著に苗高の伸長が抑制され（図-30）、最終的に11月時点で、5 cm以上もの差が発生するなど、負の影響が生じた。

この原因として、細根の成長が抑制され、苗高の伸長に必要な養分を確保することができなかったと推定された。また、根元直径についても、コントロールと比較し、やや細い傾向が示された（図-31）。

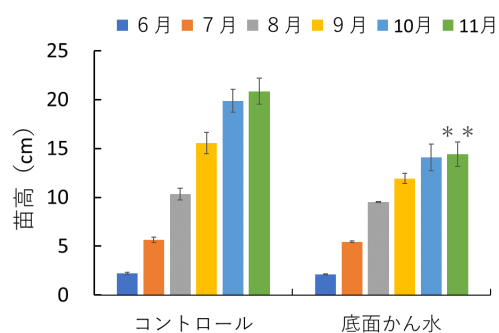


図-30 ヒノキの苗高（底面灌水）

t検定（*：5%水準，**：1%水準で有意を示す。）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

底面灌水については、水稻の育苗と同様に、既存の農地を有効利用できる可能性があり、簡易な設備で対応できることから、スギに应用されたが（近藤 2023）、ヒノキへは、根腐れの発生が懸念されるため、実用化されていない。しかし、今回の試験の結果から、6～8月の3か月間については、スギ、ヒノキともに苗高の成長への影響が小さいことから、育苗初期の期間に限定すれば、底面灌水の実施も可能と推定された。

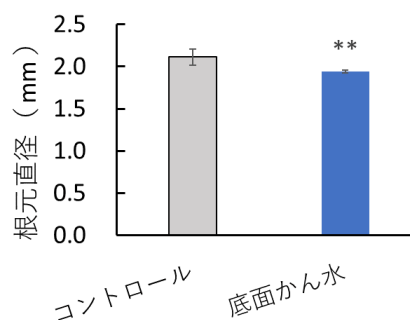


図-31 ヒノキの根元直径（底面灌水）

t検定（**：1%水準で有意を示す。）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

8. 異なる光環境におけるコンテナ苗の成長

スギのコンテナ育苗では、11月時点の苗高の比較では、コントロールに比較し、20%区では差が見られなかったが、50%区では有意に苗高が抑制され、光の不足がコンテナ苗の成長に影響することが示された（図-32）。光合成は、植物の成長に不可欠なグルコースを産生する生化学反応であるが、その阻害の結果と考えられた。

育苗現場では、遮光は行われていないケースが多いが、一部では、8月など高温期の防寒紗を敷設するなど、生産者によって、遮光への対応には差がある。これらは、育苗現場における環境が、それぞれ異なっていることが原因で、苗木生産者は、長年の育苗経験から、その場の環境と時期に応じた対応を行っていると思われる。

また、根元直径の比較においても、コントロールに比較し、50%区では、有意に成長が抑制される傾向を示した（図-33）。根元直径の大きさは、苗の根量に相関があることが知られている（林野庁 2023）ことから、50%の遮光処理は、根の発達に負の影響を与えることが明らかとなった。

一方、ヒノキの苗高の比較では、コントロール、20%区、50%区、いずれの試験区でも差は小さく、有意差は無かった（図-34）。樹木としてのヒノキの性質としては、耐陰性が強い（四手井 1974）ため、光要求性があまり高くないことが知られているが、今回の試験では、遮光条件下における苗高の成長量については、大きく低下しないことが認められた。

根元直径を比較した8月の測定結果では、コントロールに比較し、20%区、50%区ともに、一時、有意に高い値を示したものの、その後3か月経過した11月の調査では、有意に低い値となった（図-35）。このことは、幼苗時は、遮光が根元直径の成長に好影響を与えた一方、8月以降の根元直径の成長は、遮光処理によって抑制されたことを意味している。つまり、8月以降は遮光しない方が、根元直径の成長を促進する傾向が示された。これまで、コンテナ苗に与える遮光の影響は不明であった

が、今回の調査により、根元直径の成長に影響することが判った。

さらに、形状比の比較では、スギではいずれの試験区も差が見られなかったが、ヒノキでは、根元直径の成長が抑制された結果、コントロール、20%区より、50%区の形状比が高くなることが示された（図-36）。形状比が高いコンテナ苗は、植栽後に倒伏する危険性が高まることから、より形状比の低い苗木に需要がある場合があり、今後の育成条件については、何らかの指針が必要である。今回の試験結果から、耐陰性の高いヒノキであっても、十分な光を当てることが、根元直径の成長を促進し、形状比の低いコンテナ苗の育成に繋がるということが明確となったため、今後の育苗の参考としたい。

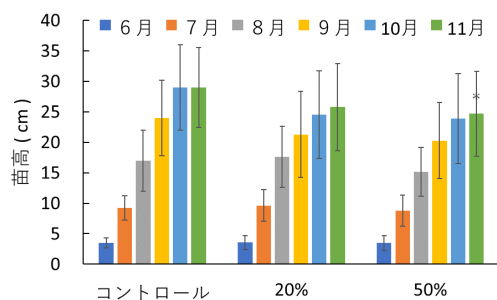


図-32 スギの苗高（光環境）

t検定（*：5%水準で有意を示す。）※
エラーバーは、標準偏差を示す。

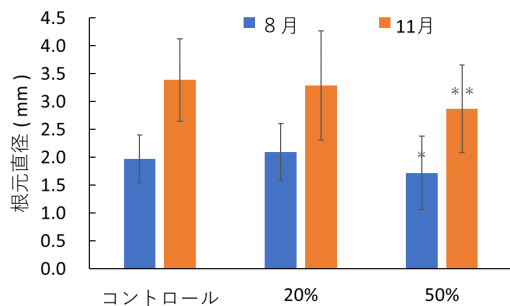


図-33 スギの根元直径（光環境）

t検定（**：1%水準で有意を示す。）※
エラーバーは、標準偏差を示す。

生産者の間では、夏期の遮光を目的とした寒冷紗の設置について、設置の労力が大きいことから省略されることが多いが、苗木の高温障害を抑制する目的で、設置している生産者も存在する。例えばスギの苗木では、高温時、新梢部の萎れや枯死が発生する場合があります、これらの枯損は、二又の発生など、苗木の形態の影響を及ぼす可能性がある。

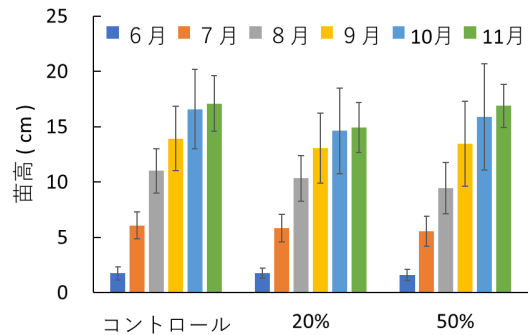


図-34 ヒノキの苗高（光環境）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

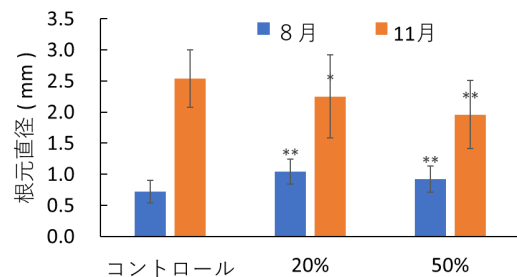


図-35 ヒノキの根元直径（光環境）

t検定（*：5%水準，**：1%水準で有意を示す。）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

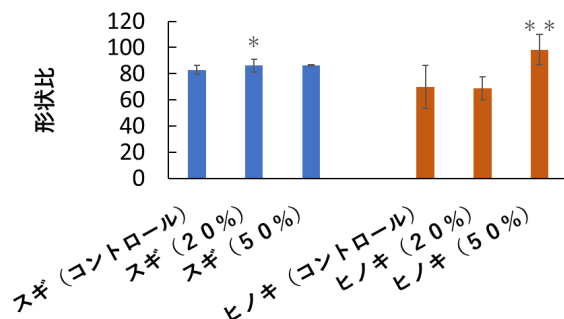


図-36 スギ・ヒノキの形状比（光環境）

t検定（*：5%水準，**：1%水準で有意を示す。）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

近年では、夏期の最高気温が35℃を上回る猛暑日も多い（気象庁 2020）ことから、恒常的な高温障害の発生も危惧される。このため、気温上昇による種々の被害を予防するために、必要に応じて遮光を行う一方で、コンテナ苗の成長を促進する光については、最大限確保することが重要と見込まれた。

遮光下における育苗中の光量子束密度（積算値）の測定結果（図-37）では、コントロールに比較し、20%区では59.5%の値を示し、試験で想定される80%を下回った。さらに50%区では38.3%の値となり、試験設定の50

%より高い遮光率となった。

今回、コントロールにおける月別の比較では、降順に8月(1,766mV) > 9月(1,364mV) > 10月(1,351mV) > 6月(1,318mV) > 7月(1,250mV)の順となった。光量子束密度と、苗木の成長、特に、苗高や根元直径の成長との関連性については、気温の変動、降水量等他の要因も考慮する必要があると予測されるため、今後の検討事項としたい。

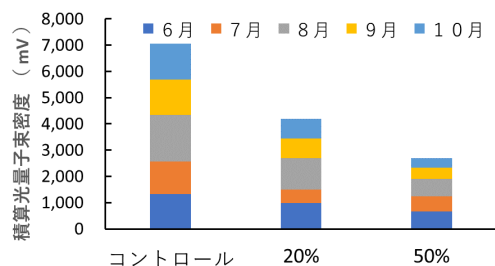


図-37 積算光量子束密度の比較

9. 少花粉スギ・ヒノキモデル林の生育調査

(1) 高梁市

2021年度植栽後の、苗木の大きさを図-38, 39 に示す。また、2023年度までの調査結果を図-40, 41 に示す。

高梁市では、植栽直後のスギの苗高の平均値は、47.6 ± 8.2 cm, 根元直径の平均値は、6.5 ± 1.3mm であった。苗の大きさとしては、苗高は出荷規格より10cm以上大きく、根元直径は充実し、太いものが大多数を占めた。

これらの苗は、植栽後2年間で、苗高は、2.8倍、根元直径は、3.5倍に成長した。植栽直後のヒノキの苗高は、54.7 ± 8.2mm, 根元直径は、6.4 ± 1.2mmであり、2年間で、苗高は、3.5倍、根元直径は、6.2倍にまで成長した。スギ、ヒノキともに、植栽後1年経過後より、2年経過後の成長量が多い傾向が示された。

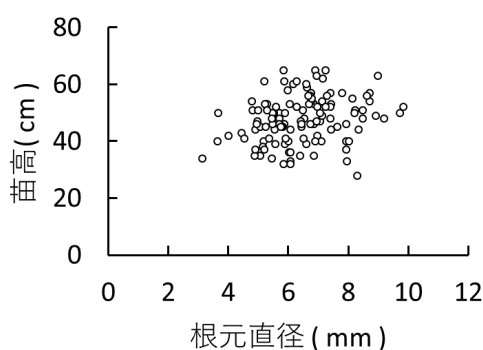


図-38 植栽時のスギの大きさ (高梁市)

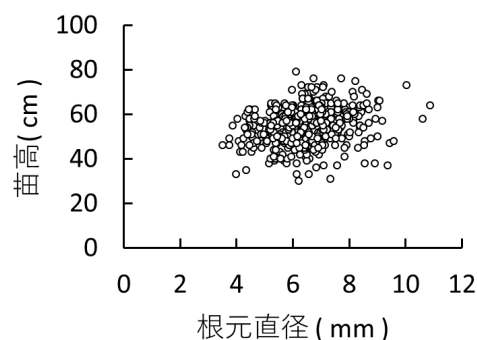


図-39 植栽時のヒノキの大きさ (高梁市)

また、主林木を伐採後、直ちに苗木を植栽する一貫施業であり、毎年下刈りも実施されていることから、2年経過後でも林地に苗木を被圧するような雑草類はほとんど無く、既に、苗高が1mを超え、根元直径についても20mmより太くなるなど、順調な生育を示した。

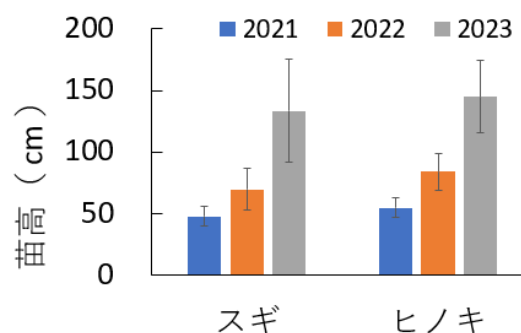


図-40 スギ・ヒノキの苗高 (高梁市)

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

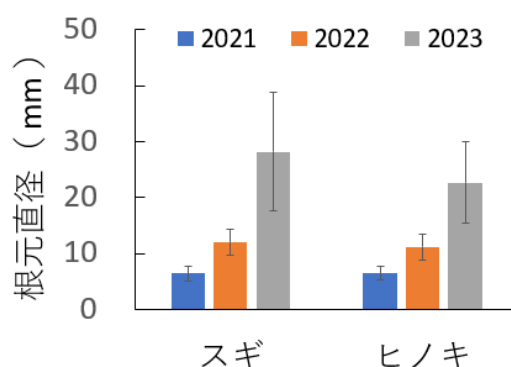


図-41 スギ・ヒノキの根元直径 (高梁市)

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

(2) 吉備中央町

2021年度植栽後の苗木の大きさと、2023年度までの調査結果を図-42, 43, 44, 45 に示す。植栽直後のスギの苗高の平均値は、49.3 ± 13.3cm, 根元直径の平均値は、5.3 ± 1.1 mmであった。この苗は、植栽後2年間で、苗高は、2.4倍、根元直径は、2.5倍成長した。植

栽直後のヒノキの苗高は、 $55.0 \pm 12.3\text{mm}$ 、根元直径は、 $5.1 \pm 0.9\text{mm}$ であり、2年間で、苗高は、1.8倍、根元直径は、2.7倍にまで成長した。

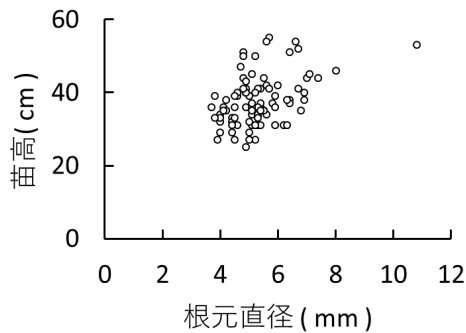


図-42 植栽されたスギの大きさ（吉備中央町）

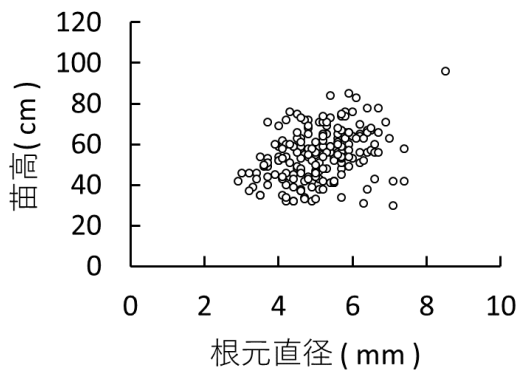


図-43 植栽されたヒノキの大きさ（吉備中央町）

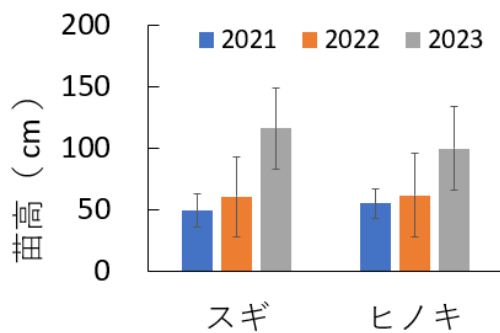


図-44 スギ・ヒノキの苗高（吉備中央町）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

植栽2年後の枯死率は、スギ43.5%、ヒノキ24.5%と、枯死被害が大きかった。その原因は、一部区画の雑草繁茂と、それによる植栽木への被圧であった。当区画は湿地であり、周辺の区画と比較し、局所的に高さ1mを超えるセンダングサ属の植物が繁殖していたため、1回の下刈りでは抑制しきれなかったと考えられた。今後は、下刈りの回数を増加するなど、さらなる雑草対策の強化が重要であると思われる。

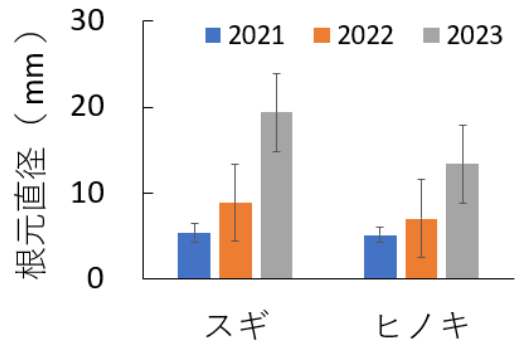


図-45 スギ・ヒノキの根元直径（吉備中央町）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

(3) 新庄村

2022年度に植栽された苗木の大きさを、図-46, 47, 48, 49 に示す。苗木の大多数がヒノキで、スギは少数である。当初の測定値は、スギの苗高の平均値は、 $71.6 \pm 8.8\text{cm}$ 、根元直径の平均値は、 $7.1 \pm 1.1\text{cm}$ 、ヒノキの苗高は、 $59.2 \pm 7.6\text{cm}$ 、根元直径は、 $4.9 \pm 0.7\text{cm}$ であった。

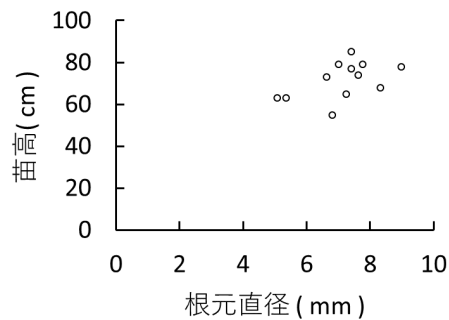


図-46 植栽されたスギの大きさ（新庄村）

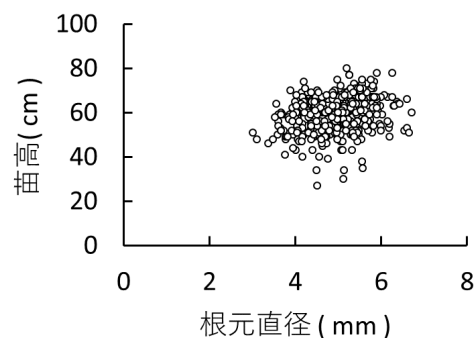


図-47 植栽されたヒノキの大きさ（新庄村）

また、1年経過後の測定の結果、苗高では伸長が確認されるものの、根元直径では数値の低下が確認された。番号テープが紛失している苗木も多数あったことから、関係者への聞き取りを行ったところ、獣害によって当初植栽した苗木が枯損したため、一度、補植されたことが確認された。当モデル林については、今後とも獣害によって苗木が植替えられる可能性があるため、

同じ苗木の追跡調査を行うことは困難と考えられた。従って、次年度以降は、参考値の測定として調査することとした。

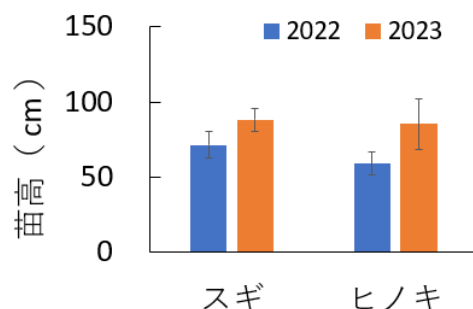


図-48 スギ・ヒノキの苗高（新庄村）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

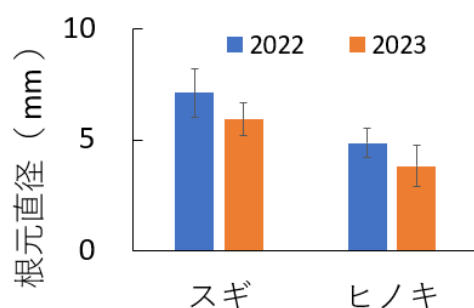


図-49 スギ・ヒノキの根元直径（新庄村）

※ エラーバーは、標準偏差を示す。

(4) 新見市

2023年度に設置された新見市では、全数がスギであり、それぞれの苗木の大きさについては、図-50のとおりであるが、一部では、出荷規格に満たない苗も確認された。苗高の平均値は、 40.4 ± 9.4 cm、根元直径の平均値は、 4.8 ± 0.9 mmとなった（図-51、52）。

植栽時のコンテナ苗の大きさについては、樹高、根元径の差が、苗木の初期成長に影響するものの、ともに、2～3成長期後の有意差は認められなかったとする報告（袴田ら 2020）があり、これらの苗木について、植栽後の成長に、どのような影響が発生するか、引き続き、今後の追跡調査により明らかにする予定である。また、（1）～（4）のモデル林に植栽されたコンテナ苗の成長や、雄花の着果性については、今後、長期的な視点から、調査の継続が必要である。

これまでの調査では、モデル林に植栽されたコンテナ苗の生育は順調であるが、一部、雑草による被圧が発生した吉備中央町と、獣害の激しい新庄村では、外因の影響が大きいことと、苗木の植替えのため、コンテナ苗本来の成長が判りにくい。今後も、他のモデル林との単純な比較は難しい可能性があるが、それらを前提として調

査を継続し、少花粉品種コンテナ苗について、林地植栽後のデータ蓄積を図りたい。

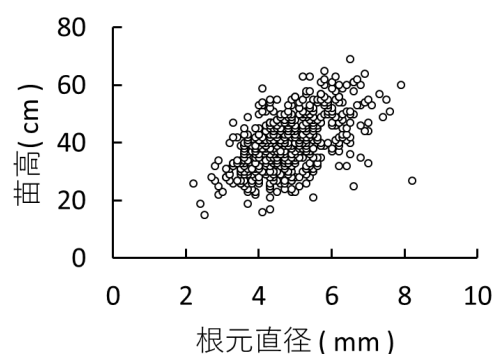


図-50 植栽されたスギの大きさ（新見市）

IV おわりに

今回の研究では、本県の少花粉品種について、特に、選別種子の利用を目的としたコンテナ苗生産の研究に取り組んだ。具体的には、種子選別の方法、スギ、ヒノキ種子の発芽促進、温室を利用したコンテナ苗の成長促進について、苗木生産者の協力を得ながら、効率化を目指した。また、議論が交わされた光環境とコンテナ苗の成長についても、その影響を提示した。

コンテナ苗の育苗方法については、全国的にも一律ではなく、各地域の諸事情によって異なっている。今後、全国的に再造林が進められ、それに伴って苗木需要が高まると予想される中、生産規模の拡大に向けて官民一体での改良が求められる。特に、苗木生産の中核となる造林用種子の確保については、各府県とも既存採種園の改良、新規造成に取り組み、将来の需要増に応えようとしているところである。

針葉樹種子を生産する採種園の造成、運用には、多大な生産コストが掛かるため、種子の枯死ロスを抑制するし、生産効率を上げることは、種子生産コストの低減に大きく寄与することは確実である。なお、近年、資材費や人件費の上昇傾向が続いており、徐々に苗木生産者の経営を圧迫している。生産規模の拡大が求められる一方で、苗木の生産者価格に変化がない状況では、最も高い人件費の抑制が重要な課題となる。これらのことから、少花粉品種コンテナ苗の育苗方法として、機械化や自動化を目標とした効率的な育苗方法について、いち早く取り組む必然性がある。

また、当所の採種園から生産された種子に由来する少花粉スギ・ヒノキコンテナ苗については、林地での成長を周知する必要があるため、引き続き県内少花粉モデル林の調査を継続する予定である。

なお、調査にご協力いただいた岡山県山林種苗協同組合および苗木生産者の皆様には、感謝の意を表す。

引用文献

- 岡山県（2020）第4章 施策の基本方針と施策体系. 21
おかやま森林・林業ビジョン（改訂版）. p23
- 岡山県（2021）快適な環境保全プログラム. 第3次晴れの国おかやま生き生きプラン. p74.
- 気象庁（2020）2. 平均気温の上昇と共に極端な高温の頻度も増加している. 日本の気候変動2020. P6－7.
- 近藤晃（2022）育苗時の灌水方法がスギコンテナ苗の成長と根鉢形成に及ぼす影響－底面給水と頭上灌水の比較－. 日緑工誌 48. 144-147
- 近藤晃（2023）底面吸水と頭上灌水がスギコンテナ苗の水使用と成長に及ぼす影響. 第134回日本森林学会大会学術講演集, p152.
- 近藤楨二（1998）タネの生産. 林業技術ハンドブック. p715.
- Matsuda, O., Hara, M., Tobita, H., Yazaki, K., Nakagawa, T., Shimizu, K., Uemura, A., and Utsugi, T. (2015) Determination of seed soundness in conifers *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* using narrow-multiband spectral imaging in the short-wavelength infrared range. *PLOS ONE*
- Mori, H. (2006) Identification and Manipulation of Subsite Structure and Starch Granule Binding Site in Plant α -Amylase. *J.Appl.Glycosci.*, 53: 51 pp.
- 柴崎一樹・棚橋雄平・高橋芽衣（2017）途上国森林ビジネスデータベース（BFPRO）の構築と森林ビジネスモデルの紹介－途上国の持続可能な森林利用と地域住民の生計向上を目指して－. 海外の森林と林業 No.98: 50pp.
- 静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター（2018）コンテナ苗～その特徴と植栽成績～, p3.
- 袴田哲司, 山本茂弘, 近藤晃, 三浦真弘, 平岡裕一郎, 加藤一隆（2020）スギコンテナ苗の植栽時のサイズと初期成長の関係. 森林遺伝育種 9: 51-60.
- 林野庁（2023）第3章 コンテナ苗の標準規格の考え方. 山林用主要苗木標準規格（コンテナ苗）の解説. 2－8.
- 静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター（2018）コンテナ苗～その特徴と植栽成績. 3pp.
- 四手井綱英・赤井龍男・斎藤秀樹・河原輝彦（1974）1. ヒノキ林の生態学. ヒノキ林 その生態と天然更新. 地球社. p33.
- 田近克司（2016）スギ樹皮の農林業用資材としての利用（第1報）－スギ樹皮の野積による簡易無害化処理の検討－, 富山県農林水産総合技術センター木材研究所研究報告 8, p1.

高齡級人工林の資源量推定に関する研究（Ⅱ）

牧本 卓史

Prediction of timber volume on mature artificial forest（Ⅱ）

Takushi MAKIMOTO

要 旨

牧本卓史：高齡級人工林の資源量推定に関する研究（Ⅱ）岡山県農林水産総合センター森林研究所研報 39：27-34（2025） ドローン空撮により取得された画像を用いて、スギ・ヒノキ人工林の立木密度及び樹高を解析した時の、林況による推定精度の特性と、この解析結果を用いた林分材積の推定精度についてそれぞれ検証を行った。空撮を行ったスギ・ヒノキ人工林において、図上で設定した任意のサブコドラートにおいて、画像解析による立木密度の解析結果を地上レーザ計測装置による実測結果と比較したところ、立木密度が概ね1,500本/ha以下の林分では、高精度に密度推定ができることが明らかとなった。また、樹頂点抽出の精度が高い解析結果を使用することで、樹高についても高い精度で推定できることが示唆された。立木密度と樹高を使用して林分材積を算出できる「人工林林分密度管理図」の数式を用いて算出した林分材積においても、森林簿や過去に再調整した成長モデルと同等かそれ以上の精度で、現状の林分状態を調べることができた。このことにより、齢級が高く立木密度の低い人工林においては、撮影方法や解析の手法を工夫することで、ドローン画像に基づく森林調査が適用可能であることが示された。

キーワード：ドローン、高齡級人工林、GIS、資源量推定

I はじめに

全国的な傾向と同様に、岡山県でも、スギ・ヒノキ人工林は12齢級前後がピークであることから、若齢林が少ない齢級構成の平準化が求められている（岡山県林政課 2023）。最近では、木材需要の高まりから、皆伐の動きが活発になっているが、実効的な森林管理計画や施業の実施に当たっては、事前に林分の収穫予測を正確に行うことが極めて重要である。

人工林の資源管理については、これまでも用いられてきた森林簿や林分収穫予想表による林分状態を参照して計画的に行う必要があるが、これらの資料に使用されている成長モデルを用いた資源量推定値については、個々の林分に対する精度が必ずしも高いとは言えない。とりわけ、齢級の高い人工林では、成長モデルを調整した際の信頼区間の幅が、若齢時に比べて相当程度広く、その精度は編成時に各林分に与えられた地位級の正確性にも依存する。また、現在に至るまでの管理履歴が、標準的な人工林施業に依らない林分などでは、前述の成長モデルの信頼区間からも逸脱する林分が多くなる点も、高齡級人工林の特徴であると言える。

前報（牧本 2023）では、LiDARによる地形情報に基づいて算出した立地環境ごとに、過去に調整した成長モデルを補正することによって、精度を高める手法の検討を行った。しかし、実際の施業の設計或いは短期的な経営管理のためには、個々の林分について、極力現況に近い資源量の推定値が必要となる場合が多い。その場合、現状では、森林経営計画の策定時や施業提案に当たって、調査員が現地に赴き、標準地の毎木調査を行うのが一般的である。しかし、施業団地の集約化等に際して、標準地調査を実施することは、非常に大きな労力を要する。加えて、広大な林地の全容があいまいなまま、その施業地の標準的な調査区を見出すには、一定の知見と技術を要することから、結果的に施業前の資源量予測と実際の出材量の間に乖離が生じることがままあると考えられる。そういった状況にあって、省力的かつ効果的な標準地調査の方法の確立は、効率的な林業経営を行う上で喫緊の課題となっている。

最近では、ドローンを活用した森林調査が注目されていて、民間事業者等においてもドローンの導入が進んでいる。これらの比較的安価なドローンでは、レーザ計

測等は行えず、専ら空撮のみの機能を有するものが主流であり、森林の現況記録や、オルソモザイク画像にしてGIS上での境界管理や簡易な面積計測に用いられることが多い。しかし、人工林に成立する立木の情報については、ドローン空撮による簡易な調査方法が普及しておらず、専門の測量業者等によるレーザー計測と森林解析に依るところが大きい。従って、林木の成長や施業に伴って頻繁に変化する人工林の情報を、累次更新するためには、コスト面や即応性に課題があると考えられる。

そこで、本研究では、有人航空機による計測のような大面積の調査ではなく、ドローンを活用した比較的小面積の森林空撮画像から、目的的林分の現況を簡易に調査する手法の検討を行った。

なお、本研究は、2019～2023年度の期間で実施した単県課題「高齢級人工林の資源量推定に関する研究」の中で行ったものであり、今回の研究報告は、主にドローンをを用いた簡易な森林調査の方法について取りまとめたものである。

II 調査方法

1 調査地及び供試データ

調査は、岡山県北西部の新庄村地内のヒノキ人工林で実施した。2023年及び2024年の夏から秋に、ドローン（Matrice 300 RTK, Mavic II zoom, いずれもDJI製）で、ヒノキ人工林の空撮を行った。撮影方法は、主に国土地理院が定めた公共測量の準則に従ったが、現地の地形等によりこれに依りがたい場合は、縦横のラップ率が80%以上を下回らないように配慮して撮影した。併せて、撮影した林分の立木を、地上レーザー計測装置（OWL, アドイン研究所製、以下OWLという）で計測した。ドローンで一度に撮影する面積は、概ね3～4 ha程度とし、撮影範囲の中心付近でOWLによって0.5ha前後の毎木調査を複数実施した。撮影した画像は、SfMソフト（Pix4D mapper, Pix4D(株)製）を用いて、GSD（Ground Sampling Distance）の解像度で、オルソモザイク画像およびDSM（表面モデル、Digital Surface Model、以下DSMという）を作成した。OWLによる毎木調査データは、OWL Managerで主林木以外の不要木を除去した後、立木位置及び等高線を作成した。

解析に供する地表面モデルとしては、2018年に新庄村が実施した航空レーザー計測調査の成果を、新庄村から提供を受け、当該成果に含まれる1 mメッシュのDEM（Digital Elevation Model、以下DEMという）を用いた。

作成したオルソモザイク画像、DSM及びOWLの調査データを、QGISに読み込み、DSMとOWLデータの双方が重複するエリアから、任意に20m×20m（400m²）のコードラート60箇所を図上で設けた。DSMの持つ高さの

情報をDEMと合わせるために、道路や土場などの地表面が写る箇所の高さをそれぞれサンプリングし、その差分に応じてDSMの高さを調整した。調整後のDSMからDEMを減じて、DCHM（林冠高モデル、Digital Canopy Height Model、以下DCHMという）作成し、QGISのプラグインTree Density Calculatorで樹頂点を抽出した。

2 樹頂点抽出条件の検討

Tree Density Calculatorでは、設定したメッシュの範囲内で、最も輝度の高い地点にポイントを落としたシェープファイルが作成される。DCHMの解像度が低ければ、モデルの表面の形状は実際の林冠よりも平滑になり易く、頂点部分の明瞭さが低下する。また、樹冠が近接する林木の頂点は、抽出漏れとなる傾向が強い。逆に、解像度が高すぎる場合、林冠の形状の中に、個々の樹冠の凹凸が多く含まれ、過大に抽出される傾向が強くなる。そこで、最適なDCHMの解像度とTree Density calculatorの解析メッシュサイズのパラメータを検討するため、DCHMの解像度を5cm/px, 20cm/px, 50cm/px, の3段階に区分し、それぞれ樹頂点の抽出精度を比較した。また、Tree Density calculatorのメッシュサイズを、その林分の密度から逆算した立木の平均占有面積の0.5倍、0.8倍、1.2倍の3段階とし、次式により決定した。

$$S = \sqrt{\left(\frac{10000}{D}\right) \times p}$$

ただし

S：メッシュサイズ（Sliding window size）

D：想定立木密度（本/ha）

p：平均占有面積に対する倍率

なお、パラメータの入力に当たっては、計算結果の小数点第2位を四捨五入した。また、同一林木の重複抽出を避けるため、抽出範囲の概ね4分の1を「Snap Distance」として設定した。

まず、解像度の異なるDCHM別に、それぞれ上式の条件により抽出された樹頂点による立木密度を、GIS上で目視により判読した立木密度と比較した。

次に、抽出結果の最も良好であった解像度のDCHMについて、それぞれ10コードラートを抽出し、各コードラートからランダムに10個体の樹頂点の位置について、前述の各倍率により抽出された樹頂点と目視による樹頂点との距離を計測し、樹頂点抽出の際に設定した抽出範囲の別に、樹頂点抽出位置の精度を比較した。この時、Tree Density calculatorで樹頂点として付されたポイントが、樹冠の内側にあるものだけを当該林木の樹頂点と判断し、同一林木の樹冠内に複数のポイントがある場合においては、実際の樹頂点に近いポイントだけ

を計測した。

3 樹高推定精度の検証

前項までの解析により、最も抽出精度の良好であった解像度のDCHMを用いて、それぞれの倍率で抽出された樹頂点について、DCHMのラスター値からサンプリングした樹高を、OWLによる計測結果と比較した。位置精度の検証と同様に、樹頂点として付されたポイントが、樹冠の内側にあるものだけを当該林木の樹頂点と判断し、同一林木の樹冠内に複数のポイントがある場合においては、実際の樹頂点に近いポイントだけを計測し、その他のポイントは計測から除外した。また、OWLの計測結果と樹頂点抽出の結果による立木位置には若干の誤差があるが、配置等から同一とみなせる立木を決定して行った。なお、OWLには樹高を補正する機能が搭載されているが、本研究では樹高補正を行っていない。樹頂点の抽出位置と樹高の推定精度の関係を比較するため、樹頂点抽出範囲として設定したパラメータの内、最も実際の樹頂点と平均距離が大きかった条件と最も小さかった条件の2者を比較した。

4 林分材積の推定

中国・北近畿地方のヒノキ人工林林分密度管理図（森林技術協会）から参照した次式により、林分材積を算出し、OWLによる計測結果との比較を行った。

$$V=(0.0390819H-1.147348+8524.5H3.102942)/D$$

ただし

V： 林分材積（ $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ）

H： 上層樹高（m）

D： 立木密度（本・ ha^{-1} ）

なお、上層樹高は、「被圧木と枯死木を除く林冠木の平均」とされているが、本研究では、齢級の高い一

斉林であることから、林冠に達していない被圧木は無いものとみなし、全立木の平均値とした。

III 結果と考察

1 立木密度の推定

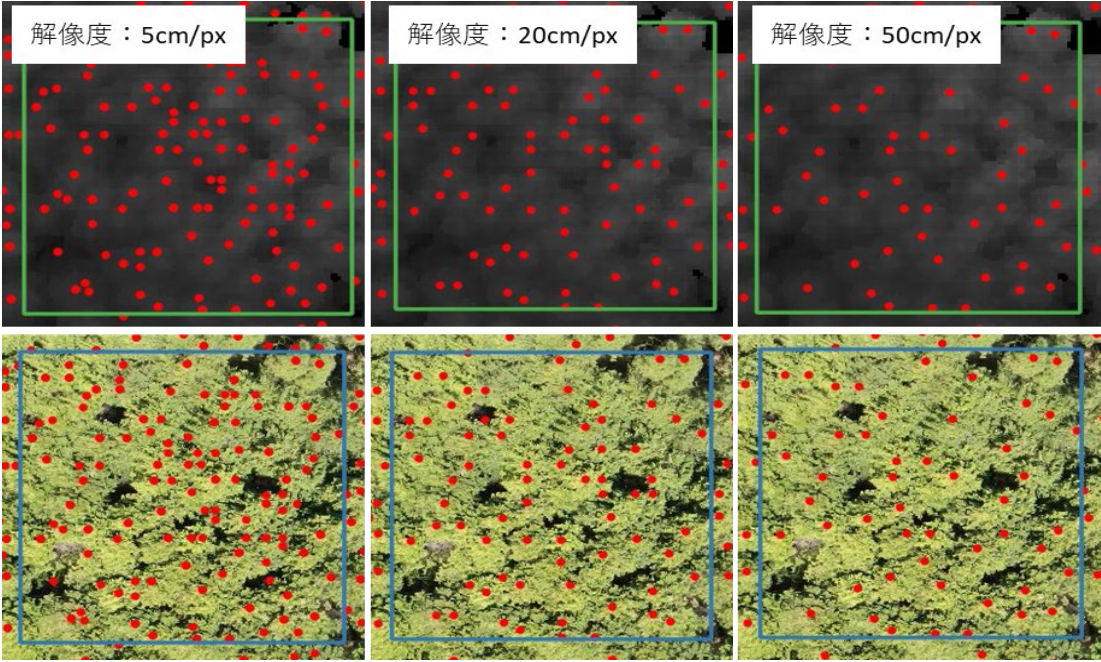
DCHMの解像度を変えて樹頂点抽出した結果を表1及び図1、2に示す。解析に供したコドラートには、平均50本の林木が出現し、その範囲は33本から72本であった。これをha当たりの立木密度に直すと、850～1,800本/haに相当する。解像度別の平均本数誤差を比較すると、解像度5cm/pxが0.8本で最も小さく、次いで、20cm/pxの-1.9本、50cm/pxの-7.0本となった。しかし、本数誤差の範囲は、解像度5cm/pxが-10～16本であったのに対し、解像度20cm/pxでは、-7～4本に留まった。最大誤差率についても、解像度5cm/pxの30.0%に対し、解像度20cm/pxでは、14.8%であった。

解像度5cm/pxで作成したDCHMでは、立木密度の多寡にかかわらず全体的にばらつきが大きく、最大30%程度の誤差が生じた。この解像度では、過大抽出となる傾向がやや強いと考えられた。また解像度50cm/pxでは、全体的に抽出漏れが多く、過小評価となる傾向が認められた。特に、立木密度が高い林分では、その傾向が顕著であった。一方、解像度20cm/pxの場合、全体的に誤差が小さく、特に立木密度が1,200本/ha程度以下の林分では、非常に推定精度が高いことが分かった。この場合においても、立木密度が高い林分では、やや抽出漏れが多くなる傾向が認められた。

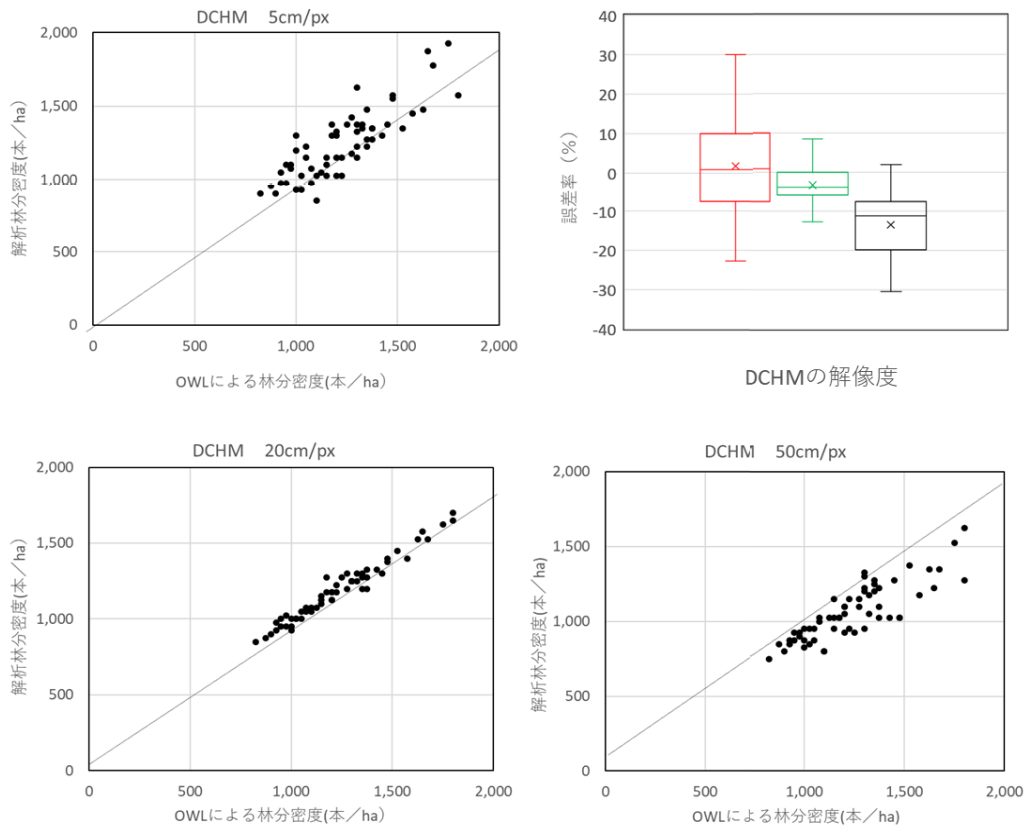
解像度が高いDCHMの場合、樹冠形状の小さな変化点を樹頂点として過誤認識する場合があるほか、主林木が存在しないギャップ等に樹頂点を付す事例が散見された。後者の点については、抽出後の樹頂点から、平均樹高よりも相当程度低い点を選択して削除することで錯誤抽出を除外できる。また、DCHMの解像度にかかわらず、立木位置の近い個体の抽出能は低いことが

表1 DCHMの解像度別樹頂点抽出本数と抽出誤差

	コドラート内の解析平均本数				換算平均立木密度				平均本数誤差(下段：範囲)			平均誤差率(下段：最大)		
	OWL				DCHMの解像度				DCHMの解像度			DCHMの解像度		
	OWL	5cm	20cm	50cm	OWL	5cm	20cm	50cm	5cm	20cm	50cm	5cm	20cm	50cm
全体	50	50	48	43	1,239	1,258	1,192	1,064	0.8 (-10~16)	-1.9 (-7~4)	-7.0 (-21~1)	1.8 (30.0%)	-3.3 (14.8%)	-13.4 (30.5%)
1,000本/ha未満	37	40	38	34	922	1,003	939	861	3.2 (0~6)	0.7 (-1~2)	-2.4 (-4~-1)	8.7 (15.8%)	1.8 (5.4%)	-6.7 (11.1%)
1,000≦1,500本/ha	49	49	47	42	1,224	1,228	1,177	1,051	0.2 (-10~13)	-1.9 (-7~4)	-6.9 (-18~1)	0.5 (30.0%)	-3.6 (12.7%)	-13.9 (30.5%)
1,500本/ha以上	67	68	62	55	1,675	1,703	1,556	1,363	1.1 (-9~16)	-4.8 (-7~-3)	-12.5 (-21~-4)	1.3 (22.2%)	-7.1 (14.8%)	-18.6 (29.2%)



図－1 DCHMの解像度別の樹冠抽出結果の画像



図－2 DCHMの解像度別の立木密度推定精度と誤差率（上右図）。直線は $y=x$ 。

分かったが、解像度20cm／pxの解析では、ある程度立木密度の低い林分において、過大に抽出される傾向が

大幅に解消された。このことは、林冠形状のモデルをある程度単純化することで、林冠の凹凸の情報を維持

表-2 抽出条件別の抽出位置の誤差

	抽出メッシュサイズ		
	1.2	0.8	0.5
位置の平均誤差(m)	0.87 ±0.58	0.15 ±0.21	0.31 ±0.26
最大誤差(m)	2.64	0.75	1.18
誤差無しの割合(%)	20	63	31
n	114	118	114

しながら、錯誤抽出の要因となり易い細かな変化点やノイズが除去された効果であると考えられた。

次に、Tree Density calculatorの抽出パラメータの設定による、樹冠抽出位置の誤差を表-2及び図-3に示す。Tree Density calculatorの解析メッシュサイズを、想定される立木密度から算出した林木の平均占有面積の0.5倍及び1.2倍の範囲で抽出した場合には、位置の平均誤差が比較的大きくなる傾向が示された。同時に、0.5倍で抽出した時には、樹頂点は過大に抽出される傾向があった。このことは、抽出メッシュに全く立木の頂点がない場合であっても、その範囲で最も輝度の高い点にポイントを付すことから、予め想定されたことであった。一方、林木の平均占有面積の1.2倍の時には、抽出漏れが多くなる傾向があったが、抽出範囲に複数の立木を含む場合、周囲のいずれの立木よりも樹高の低い個体が抽出漏れとなることが多かった。

林木の平均占有面積の0.8倍のメッシュで抽出した

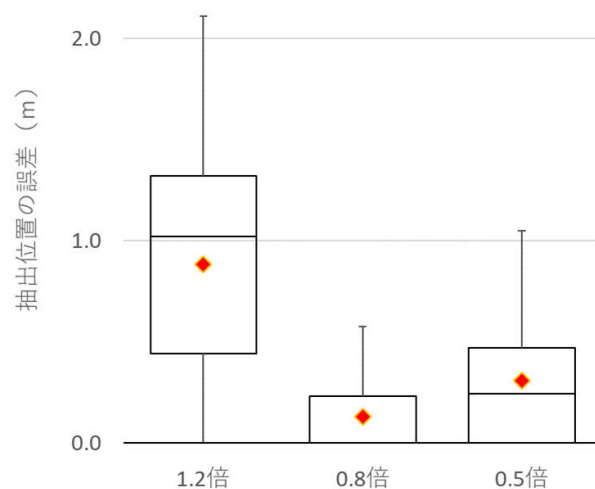


図-3 抽出条件別の抽出位置の誤差

場合、63%の立木を誤差のない正確な位置で抽出することができ、平均誤差についても0.13mであった。林木の平均占有面積の0.8倍となる設定値は、900本/haの想定時で3.0m、1,500本/haの想定時で2.3mである。同じく0.5倍となる設定値が2.3mになるのは、立木密度が

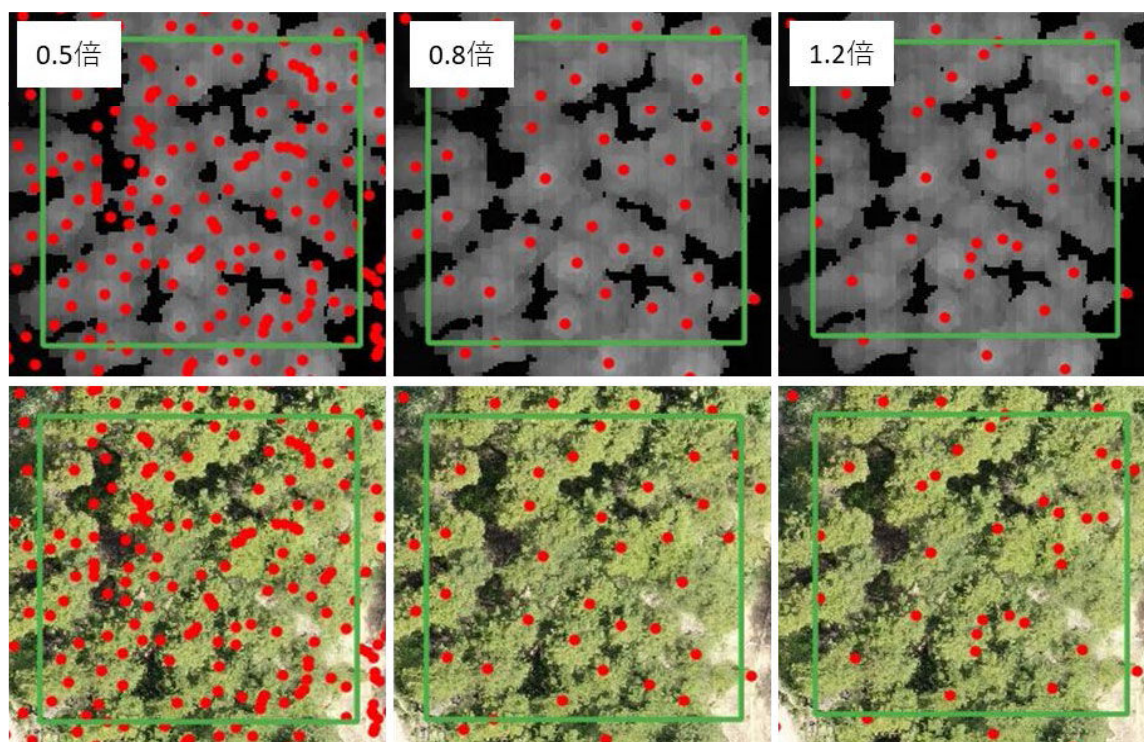
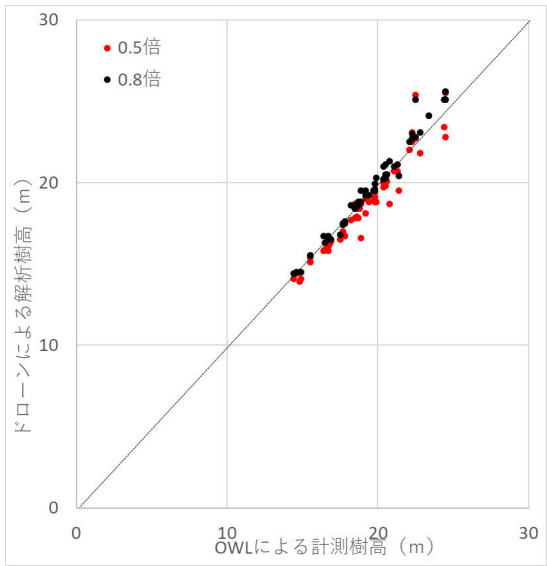


図-4 抽出条件別の抽出結果の画像（倍率は、林木の平均占有面積に対するもの）



図－５ 抽出条件別樹高の解析精度

950本/ha前後の時であり、同じく1.2倍となる設定値が3.0mになるのは1,350本/ha前後の時である。従って、おおよその立木密度の想定をしない状態で解析を始める場合、2.5程度の設定で解析を行い、その時の抽出結果から、設定値を増減させて、最も精度の高い値に調整するのが望ましいと考えられた。乾（2023）は、供試林分の密度とDCHMの解像度については言及がないが、設定値を1 mから5 mまで、1 m毎に変えた解析により、設定値2 mの時に本数の計数結果が最も良好で、位置の誤差は設定値を大きくするほど相対的に大きなずれの少ない結果が得られることを示した。本研究により、抽出漏れが少なく、位置の誤差も小さい解析結果を得るための、最適な解析手順が明らかとなったと考えられる。

2 樹高の推定

DCHMの解像度が20cm/pxで、樹頂点の抽出漏れが少なかった2種の抽出条件による樹高の推定精度を比較検証した。いずれの試験区においても、概ねOWLによる実測値に近い解析結果が得られた（図－5）。想定立木密度から逆算した、各立木の平均占有面積の0.8倍の範囲を抽出条件とした場合、樹高の平均誤差は、0.1 m（範囲：-1.0～2.6m）であった。同じく0.5倍で抽出した場合の平均誤差は、-0.5m（範囲：-2.3～2.9m）であった（表－3）。

前述のとおり、0.8倍の場合、位置の誤差が極めて小さいことが分かったが、樹頂点を正確な位置で推定できたことが、樹高の推定精度に寄与していると考えられた。一方、解析された樹頂点の位置が、実際の樹頂点の位置からずれていると、必ずそのポイントのモデル

表－3 樹高の推定精度

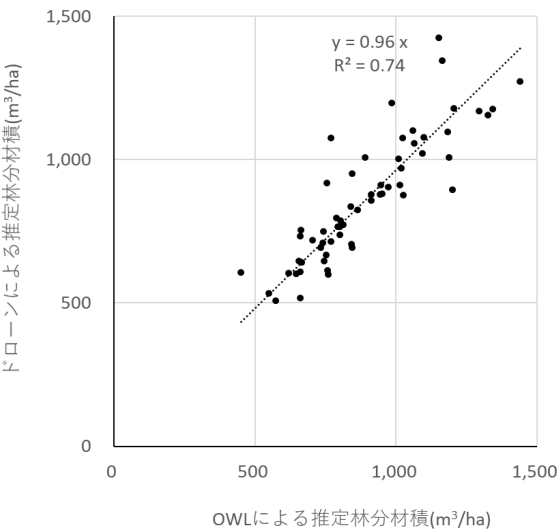
	UAV_0.5倍	UAV_0.8倍
平均誤差	-0.5 ± 0.8	0.1 ± 0.5
最大	2.9	2.6
最小	-2.3	-1.0
平均誤差率	-2.7 ± 3.6	0.3 ± 2.4

の持つ高さ（DCHMのラスター値）は小さくなる。このことが、0.5倍区の平均誤差が相対的に小さくなることに由来していると考えられた。なお、本研究で調査したヒノキ人工林の樹高は、最大でも25m程度であるが、比較対照として用いた地上レーザ計測装置OWLについては、樹高が高い林分では、樹高測定精度が低下することが知られている（西園ら 2019, 北原ら 2020）。このことから、DCHMが正確に作られており、ほぼ正確な位置で樹頂点抽出ができていている場合にあっては、本研究による樹高推定の結果の方が、OWLによる調査結果よりも正確であることも考えられる。

3 林分材積の推定

前項までで、立木密度及び樹高については、ドローン空撮による画像から作成したDCHMから、高精度に推定できることが明らかとなった。そこで、立木密度と上層樹高から林分材積を推定できる「中国・北近畿地方のヒノキ人工林林分密度管理図」に記載された数式を用いて、林分材積を推定した結果を図－6に示す。

本研究で調査した60コドラートの平均誤差率は、-



図－6 林分材積の解析精度

3.6%±12.7であり、誤差の範囲は、-25.4～40.0%であった。各コードラートのOWLによる推定林分材積は450.3～1440.2m³/haであったが、材積の多寡による誤差の生じ方には、明確な傾向は認められなかった。

人工林分密度管理図には、この推定式は「8割の林分について、±20%以内の誤差で推定できる」と記載されている。本研究で解析した60コードラートのうち、誤差が-20%を下回ったのは3コードラート、20%を上回ったのが5コードラートであり、全体の約86%が、±20%以内の誤差で推定できた。本研究では、標準地調査に準じた調査方法を念頭に、400m² (20×20m) のコードラートを図上で設けて解析を行った。コードラート設ける際には、スギ林や混交した他樹種を含まないことはもとより、極力林相が均一で、林縁部等を含まない区域を設定している。また、ヒノキ林の場合、尾根部等の斜面上部で相対的に樹高が低い林分が多い傾向があるが、20m四方という限られたエリアの中では、そういった立地の変化も限定される。このことが、林分材積の解析結果に優位に働いた可能性が考えられた。即ち、この方法を林分調査に適用する場合、これらの点に留意して解析区域を絞ることで、良好な解析結果が得られることが示唆された。

IV おわりに

本研究は、ドローン空撮画像から生成したDSMを用いて作成した林冠モデル(DCHM)から、ヒノキ人工林の成立本数、樹高をGIS上で計数し、林分材積を算出することで、簡易に森林調査を行う手法を検討した。本県では、ヒノキ人工林が最も多く、再造林においてもヒノキの植栽が主流となっている。本研究では、ヒノキ人工林を供した解析を行ったが、筆者の印象では、比較的林齢の高い人工林の場合、スギの林冠の方がヒノキと比べて個々の林木の分解能が高く、ヒノキ林で良好な解析結果が得られる場合、スギ人工林でも同様の精度が期待できる。従って、この方法は、スギ及びヒノキ人工林の、双方で適用できると考えられる。

近年、林業分野では、林業DXの社会実装を目指して、森林情報のデジタル化の推進が求められ、森林解析にも用いることができる空撮画像の取得や保存の重要性は益々高まっている。本県においても、県の支援策等により、民間事業者等で撮影用ドローンの導入が急速に進みつつある。一方で、撮影用ドローンの用途は、空撮画像に基づくオルソモザイク画像の作成と、それらのGIS上での利用が主流であり、森林の資源解析に活用する向きは必ずしも多いとは言えない。一方、森林のドローンによる空撮

画像は、市販の森林解析ソフトウェアを所有していない場合や、本報告の方法などによる森林解析に直ちに用いない場合でも、それらを保存しておくことで、将来、資源量解析を行う時や各種情報をデジタル化したい時に、時を遡って活用することができるものである。本報告で示すような、有人航空機の調査よりも密度が高く、質の高い生の情報をデジタルで保存することは、林業DXの重要なファーストステップとして有益であると考えられる。

本研究は、ドローンに搭載できるレーザー計測装置等を使用せず、誰もが、必要な時に、何度でも簡単に行える調査方法の検証と普及を目的として行った。本報に示す方法は、立木密度と樹高を計測し、林分材積を推定する手法を検討したものであるが、さらにQGISによる画像解析と既存の関数を使用した統計処理を発展させれば、市販の森林解析ソフトウェアが算出するレベルの精度で、単木の胸高直径の値も求めることができる見込みがある。本報告で示したような手法を用いた、人工林資源量の調査を目的とする、森林情報の取得と保存の動きが広がり、林業DXに繋がるデジタル化の基盤が整うことを期待するものである。

謝辞

本研究に当たって、貴重な航空機レーザー計測成果を快く提供して下さった新庄村に心から謝意を表します。

参考文献

- 千葉幸弘(2018) 可搬型レーザー計測装置による森林調査の計測精度, 関東森林研究69(2):195-198.
- 千葉幸弘(2017) 地上レーザー計測による森林調査のこれから, 森林科学80:32-35.
- 古川修平, 長島恵子(2020) 地上型レーザースキャナを用いて算出した樹冠量指数と胸高直径, 材積の関係, 森林計画学会誌54(1): 3-11.
- 平田泰雅 (2005) 航空機レーザースキャナーデータを用いたヒノキ人工林における樹高と地形の関係, 日本森林学会誌87(6):497-503.
- 乾偉大 (2023) ドローンによる空中写真を使った立木本数確認方法の検討, 奈良県森林技術センターセンターだより 140: p7.
- 伊藤拓弥, 松英恵吾, 内藤健司 (2008) 航空機LiDARによる森林資源量推定—スギ・ヒノキの樹高・樹冠量による立木幹材積推定式の検討—, 写真測量とリモートセンシング47(1):26-35.
- 伊藤拓弥, 松英恵吾, 内藤健司 (2006) 航空機LiDARに

よる森林資源量推定－密度の異なるスギ・ヒノキの
林分パラメータ推定－，写真測量とリモートセンシ
ング45(1):4-13.

伊藤拓弥，松英恵吾，執印康裕，内藤健司 (2011) 本数
密度の異なるスギ・ヒノキ林における航空機LiDAR
による単木の立木幹材積推定，写真測量とリモート
センシング50(1):18-26.

北原文章，西園朋広，細田和男，小谷英司 (2020) 2機
種の地上型レーザースキャナを用いた森林計測精度
の比較，森林計画誌54(1)：63－66.

牧本卓史 (2023) 高齢級人工林の資源量推定に関する研
究 (I)，岡山県農林水産総合センター森林研究所研
究報告38：22-29.

森山誠，瀧誠志郎 (2024) 小型無人航空機とソフト
ウェアによる立木本数計測の省力化の評価，森林利
用学会誌39(1):31-40.

根本光，加藤顕，小林達明 (2012) 航空機レーザー測量
を用いた異なるスケールアプローチでのスギ・ヒノ
キ林材積の推定，日本緑化工学会誌38 (1):79-84.

西園朋広，細田和男，高橋正義，齋藤英樹，北原文章，
小谷英司 (2019) TLSを用いた林分構造の計測：間伐
履歴の異なるヒノキ人工林での事例，関東森林研究
70(1)：109－110.

岡山県林政課 (2018) 岡山県の森林資源，p7.

李定洙，箕輪光博 (2005) 森林簿情報とリモートセンシ
ング情報などを併用した林分材積の推定，森林計画
学会誌39(1):9-21.

辻貴文，石井弘明，金澤洋一 (2007) 京都府北部の無間
伐ヒノキ高齢林における斜面位置と林分構造の関係，
日本森林学会誌89(3):160-166.

ナラ類集団枯損の防除に関する調査研究 カシナガトラップによる防除技術の検証

三枝 道生

Research on the control of Japanese oak wilt

— Verification of oak wilt control technology by
installing Ambrosia beetle traps on oak trees —

Michio SAEGUSA

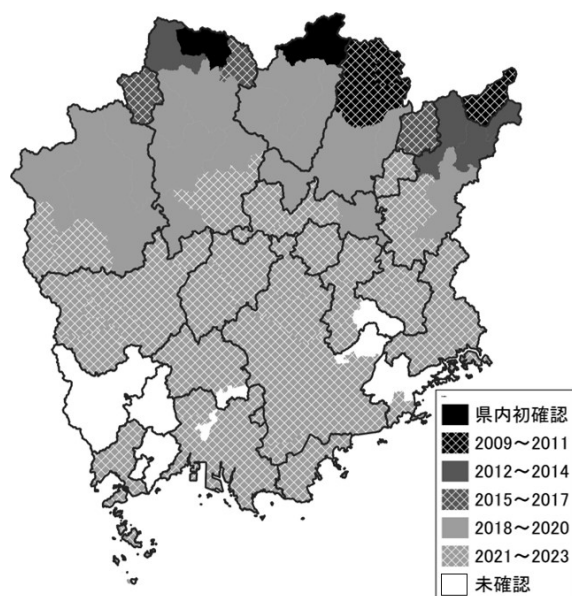
要 旨

三枝道生：ナラ類集団枯損の防除に関する調査研究～カシナガトラップによる防除技術の検証
岡山県農林水産総合センター森林研究所研報39：35～42（2025）緑地公園や境内林、景勝地等ナラ枯れによる被害を特に回避したい区域の防除方法として、カシナガトラップによる防除対策の検証を、作業の実動主体を地域住民として行った。カシナガトラップによる防除作業を3年間実施したところ、設置3年目には新たな枯死木の発生が確認されなくなり、その翌年は防除作業を行わなかったが、枯死木は前年同様発生しなかった。また、穿入生存木は設置1年目から急増したが、設置木に近いほど発生率は高く、カシナガトラップを設置することで穿入生存木の発生が促進されたと考えられた。周辺地域におけるナラ枯れの被害状況を調査したところ、標高の高い地域では現時点においては、標高の低い地域ほどナラ枯れの影響は深刻ではなかった。

キーワード：地域住民、カシナガトラップ、カシノナガキクイムシ、景勝地、ナラ枯れ

I はじめに

カシノナガキクイムシ（以下、カシナガ）が媒介して発生するブナ科樹木萎凋病（以下、ナラ枯れ）は、1980年代以降に日本各地で拡大した（伊藤・山田 1998；小林・上田 2005；小林・吉井 2014）。岡山県では、2009年に確認されて以降、徐々に拡大し、2023年では瀬戸内海沿岸部においても枯死木が確認されるなど、県下全域にナラ枯れが広まっている（図－1）。



図－1 ナラ枯れの発生初期年度

ナラ枯れの被害対象となるブナ科樹木は、山林のみならず、都市公園や学校等の教育施設、街路樹等でも多く存在する。また、観光資源、巨樹老樹や天然記念物として地域の重要な資産となっている場合もある。枯死木は期間に差があるにせよ、必ず樹体の劣化による落枝や倒木が発生するため、住民の生活環境で枯損が発生した場合に重大な危険因子となり得る。住民の安全を確保するためにも、人の入込が多いところでは、できる限り枯損被害を軽減させることが望まれる。

ところで、カシナガの穿入を受けて枯れた木では、材内でカシナガが繁殖し、翌年、その木から脱出したカシナガによって被害が拡大する。一方、カシナガの穿入を受けても生き残った木（以下、穿入生存木）ではカシナガは繁殖が困難であり、しかも、翌年以降は穿入生存木に穿入したカシナガの多くは死亡する（小林ら 2008）。カシナガトラップ（図－2）はこうしたナラ枯れの特性に着目した防除資材である。カシナガトラップ（以下、トラップ）は、カシナガのオスが木に穿入した後に発散する集合フェロモン（Ueda and Kobayashi 2001）によってカシナガを誘引・捕殺する装置で、カシナガを捕獲する25段の衝突部と、衝突部で捕獲したカシナガを回収する捕虫部からなる。トラップを設置した木（以下、トラップ設置木）では、マスアタックが抑制され、設置木の周辺木についても緩やかな穿入を受けるため、穿入生存

木を早期に増やすことができる。この手法は、トラップと同様の構造を有するペットボトルトラップを対策の主体とし、伐倒や薬剤防除、ヒノキ木屑の設置等を併用して実施された総合防除（IPM）によって、寺社林の保全に成功した事例が報告されており（小林ら 2014）、当研究所でもトラップを用いた防除方法を検討し、2年間の防除作業により、周辺林分より短期間で穿入生存木を増加させることができた（三枝 2021）。

一方、本手法によるナラ枯れ対策は、設置期間中における十分な管理が必須であるため、専門家等限られた人員による活動では、管理できる件数に限りがある。そのため、地域の住民等、頻繁に管理が可能な人員による作業でも実行できるか検証する必要があることから、トラップ設置後の管理を地域住民が主体的に実施した現場における防除効果を検証した。なお、本調査は、真庭市シルバー人材センターを委託先とした真庭市の委託管理事業で実施しており、管理を実行した作業者への指示は、主に林地の管理者である真庭市を通じ行った。

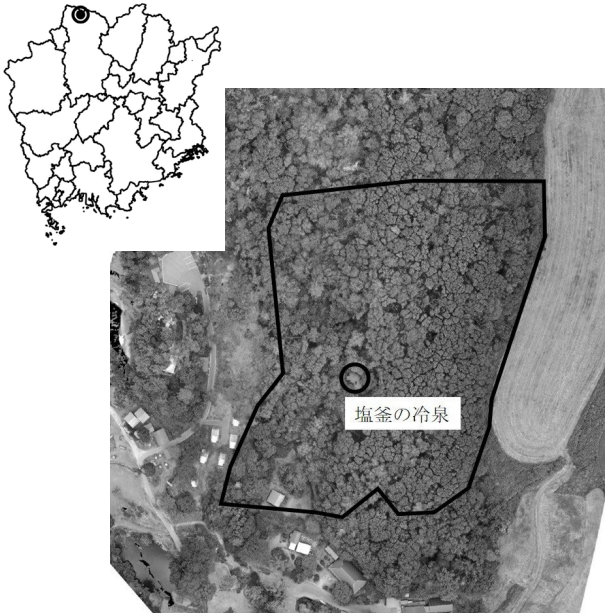


図ー2 カシナガトラップ

II 方法

1. 試験地と対象木

試験は、岡山県真庭市上福田の景勝地「塩釜の冷泉」の周辺林で実施した（図ー3）。試験地の標高は約570 m、面積は約2.2ha、中央部に塩釜の冷泉の周辺になだらかな傾斜を有する地形で、中蒜山から繋がる林分である。東側は牧草地、西側にはキャンプ地に挟まれており、周辺には比較的草地が多い。同林分はコナラが優占する広葉樹林で、一部アカマツが混在する。同試



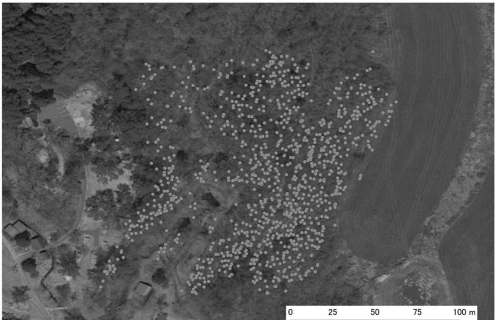
図ー3 調査地位置図

験地のある真庭市蒜山地域では、2014年にナラ枯れが初確認された後、徐々に拡大したが同試験地では2019年にナラ枯れが初確認された。

2020年5月に、林内のブナ科樹木の位置を、地上レーザー計測装置OWL（アドイン研究所製）及び下層植生による影響により、計測できない箇所については、レーザー距離計TRUPULSE360（LASER TECHNOLOGY製）で計測するとともに、胸高直径とカシナガによる穿入の有無を記録した。試験地内のブナ科樹木のうち胸高直径10cm以上の996本を対象木とした。対象木の樹種別の本数と胸高直径を表ー1に、その位置を図ー4に示す。調査開始時点における調査対象木の状態の内訳は、未穿孔木767本（77.0%）、穿入生存木204本

表ー1 対象木の樹種別本数と胸高直径 (cm)

		ave.	max.	min.
コナラ	937本	24.5	57	10
クリ	16本	20.6	36	12
カシワ	4本	17.3	22	12
アベマキ	2本	31.5	35	28
ミズナラ	7本	33.7	44	14
クヌギ	30本	26.5	59	10
合計	996本	24.5	59	10



図ー4 対象木の位置図

(20.5%), 枯死木25本 (2.5%) であった。

2. カシナガトラップの設置及び管理方法

本調査は、トラップによるナラ枯れ抑制効果を検討するとともに、地域住民が自ら実施するナラ枯れ対策方法として利用可能か検証するため、トラップの設置、設置期間中の管理及び終了後の撤去は、真庭市シルバー人材センターの構成員が実施した (図-5)。



図-5 地域住民による管理作業

トラップは、2020年4月30日、2021年5月14日及び2022年5月11日に設置し調査を開始した。カシナガの飛翔が終息、または、その後終息に向かうと予測された2020年10月28日、2021年9月29日及び2022年9月28日にそれぞれ調査を終了し、調査期間外は管理が不十分になるため、破損を未然に防止するためにトラップを撤去した。

カシナガは明るい場所に集まりやすく (Esaki *et al.* 2002, Igeta *et al.* 2004), 大きな木に穿入しやすいことから (衣浦 1994; 小林・上田 2002), 林縁部などの明るい場所に分布する木のうち、周辺木に比べて大きな個体をトラップ設置木とした。同じような条件の木が隣接している場合は、相互比較でより好条件の木を選ぶことでトラップ設置木が集中しないように試験地全体に配置した。

トラップの設置数は、1本当たり3基ずつ、35本の木に設置した。2年目以降は前年と同じ木に再設置することを基本とするが、前年に設置木が枯死した場合は、近隣の対象木のうち、カシナガの飛来が見込める条件の良い木に設置した。

トラップの見回り及び捕獲したカシナガの回収は、8月中旬までは1回/週、それ以降は1回/2週とした。見回りの際に、トラップに落ち葉や落枝、大型の昆虫等が混入している場合は除去し、風雨等により破損した場合は再設置した。また、捕虫部内に落ち葉等が堆積すると雨水の排出ができずペットボトル内に流れ込む原因となるため、これらの除去も併せて行った。な

お、捕虫部内の堆積物にはカシナガが含まれることがあるため、堆積物も回収した。回収したカシナガは、森林研究所に持ち帰り、計数した。

トラップを3年間設置した翌年の2023年はトラップを設置せず、11月14日に新たな枯損の発生状況を調査した。

3. カシナガトラップによるナラ枯れ枯損軽減効果の検討

(1) トラップによる捕獲数の把握

回収物は、カシナガとカシナガ以外の昆虫やゴミを選別した。捕虫部内の堆積物には、稀に生存しているカシナガが混入していることがあるため、エタノールに浸し、完全に殺虫した後にカシナガを選別した。選別後に、カシナガの総重量を求め、その中から約4gを2回無作為に抽出し、雌雄別に計測して重量比から捕獲総数を推定した。なお、総重量が4gに満たない場合は全量を計測した。

(2) 枯死木の発生状況及び穿入生存木の分布

試験開始前及び各年における試験終了後に、カシナガによる対象木への穿孔状況を調査した。未穿孔木、穿入生存木、枯死木に分類し、枯死木は当年度の枯死木と前年度以前の枯死木に分け、前年度以前の枯死木は過年度枯死木とした。なお、穿孔状況を調査した際に、カシナガによる穿孔を受け、かつ一部の枝を除いて葉が枯れている木については、翌年度開葉が確認できれば穿入生存木、開葉が確認できなかった場合は枯死木とした。

(3) 周辺林分の被害状況調査

2020年10～11月に、調査地がある真庭市蒜山地域の林分においてナラ枯れ被害状況調査を実施した。蒜山は上蒜山 (標高1,202m)、中蒜山 (同1,123m) 及び下蒜山 (同1,100m) 等の各主峰で構成されており、頂上付近からトラップ試験地を設置した約500m付近まで広葉樹林が広がっている。標高によるナラ枯れの発生への影響が考えられることから、標高別に調査地を設定してナラ枯れ発生状況を調査した。標高1,000m付近には、高標高地域として2箇所 (中蒜山①、下蒜山)、標高600～700mには、中標高地域として4箇所 (上蒜山、中蒜山②、蛇ヶ峠①、蛇ヶ峠②) を設置した。

調査地はそれぞれの設置箇所で、周辺の林分の標準的な植生及び枯損状態の箇所、植生が偏らない範囲及び主林木の植生間隔を考慮して、20m×20m～30m×30mの範囲で設定した。

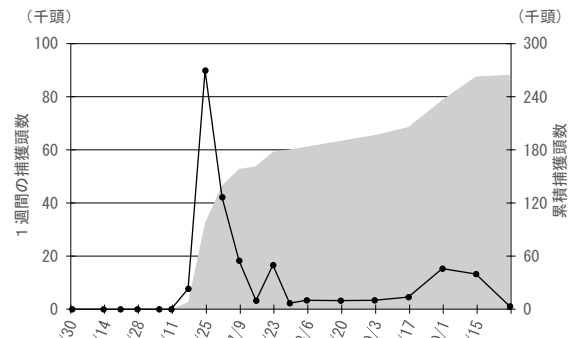
胸高直径が10cm以上の木を記録し、そのうちブナ科樹木について、カシナガによる穿孔状況及び生死について調査した。

Ⅲ 結果と考察

1. トラップによる捕獲数の把握

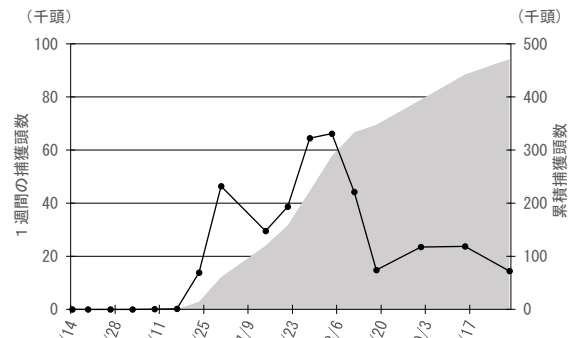
図－6～8に各年におけるカシナガの1週間での捕獲頭数及び累計捕獲数の推移を示す。

2020年は、設置3週間後の5月20日に2頭の捕獲が確認され、調査を終了した10月28日まで捕獲が継続した。初捕獲から半月程度は、1回の回収による捕獲総数が10頭未満の回が続いたが、6月10日以降に複数頭の捕獲が確認された後に急激に増加し、6月24日には当年のピークである89,926頭／週を捕獲した。その後、9月下旬から10月に若干の増加が確認された後に終息に向かった。2020年度の総捕獲数は264,875頭だった。



図－6 カシナガ捕虫数（2020年）

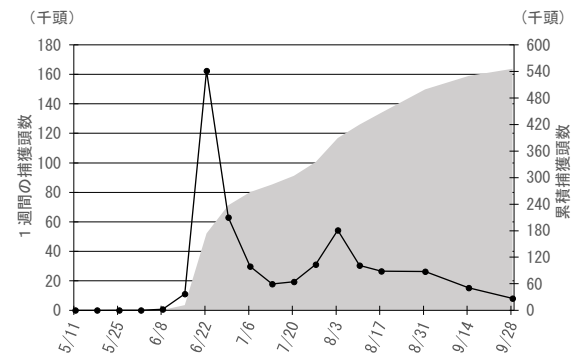
2021年は、設置翌週の5月19日に1頭の捕獲が確認され、調査を終了した9月29日まで捕獲が継続した。初捕獲からしばらく10頭程度の捕獲が継続した後に急激に増加し、6月30日に1度目のピークである46,415頭／週を捕獲した。その後、若干減少した後に再び増加しはじめ、8月4日に当年のピークである66,204頭／週が確認された。その後、9月上旬に若干の捕獲数の増加がみられた後に終息に向かった。2021年度の総捕獲数は471,060頭だった。



図－7 カシナガ捕虫数（2021年）

2022年度は、設置2週目の5月25日に3頭の捕獲が確認され、調査を終了した9月28日まで捕獲が継続した。捕獲初確認2週後の6月8日以降、急激に増加し、6月22日に当年のピークである162,485頭／週を捕獲し

た。その後8月上旬に小さなピークが確認された後に調査終了まで緩やかに減少した。2022年度の総捕獲数は545,913頭で、トラップを設置した3年間で最も多い捕獲数となった。



図－8 カシナガ捕虫数（2022年）

各年における捕獲動向はピークの大きさや捕獲数については違いがあるものの、類似の動向を示した。つまり、3年間とも5月中下旬に初めての捕獲を確認し、6月下旬及び7月下旬～8月上旬にピークが発生した。同様の傾向は、2015年～2017年に岡山県美作市で実施した調査でも確認された（三枝 2020）。

2. 枯死木の発生状況及び穿入生存木の分布

表－2に調査地における枯死木の発生数及びトラップによる総捕虫数を示す。

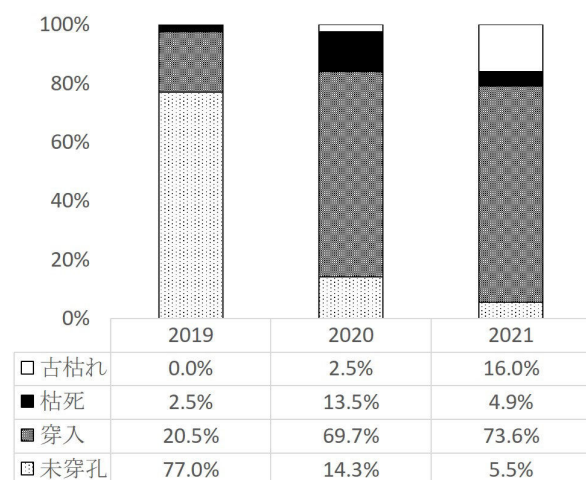
表－2 調査年度における捕虫数と枯死数

対象木	トラップによる捕虫数	枯死木	
		当年	累計
2019年	未実施	25本(2.5%)	25本(2.5%)
2020年	264,875頭	134本(13.5%)	159本(16.0%)
2021年	996本 471,060頭	49本(4.9%)	208本(20.9%)
2022年	545,913頭	0本(0.0%)	208本(20.9%)
2023年	未実施	0本(0.0%)	208本(20.9%)

調査地内でナラ枯れが初確認された調査開始前年に、25本（対象木の2.5%）が枯死し、トラップを設置した2020年～2022年ではそれぞれ134本（同13.5%）、49本（同4.9%）、0本（同0.0%）が枯死した。トラップを3年間設置した後に静観した2023年には新たな枯死は発生せず、調査地におけるナラ枯れによる枯損は終息したと考えられた。

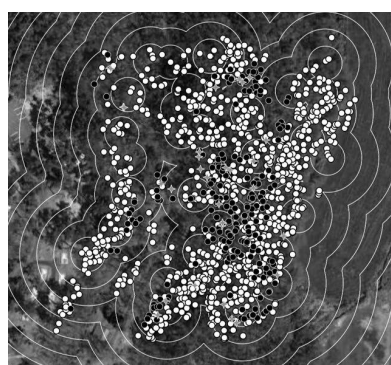
図－9に、新たに当年枯死木が発生した調査実施前の2019年度と、2020年度及び2021年度における調査実施後の対象木の状態の割合を示す。実施前は、未穿孔木が77.0%、穿孔木が23.0%であったが、トラップ設置1年目で未穿孔木14.3%、穿孔木85.6%と割

合が逆転した。さらにトラップ設置2年目には未穿孔木は5.5%にまで減少した。穿入生存木の割合は、実施前が20.5%，設置1年目が69.7%，設置2年目が73.6%と調査地内に占める割合を大きく増加した。

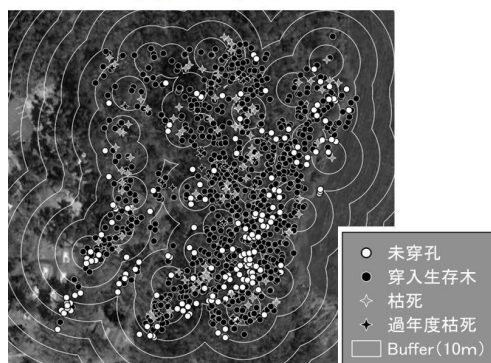


図－9 トラップ設置期間中における対象木の状態の変遷

ナラ枯れは、発生から5年から10年程度で終息し、その間にコナラでは3～5割程度枯死するとされている（日本森林技術協会 2013）。今回の結果では、発生から3年間トラップを設置した結果、設置前に発生した枯死を含めて208本（対象木の20.9%）の枯



実施前（2020年4月）



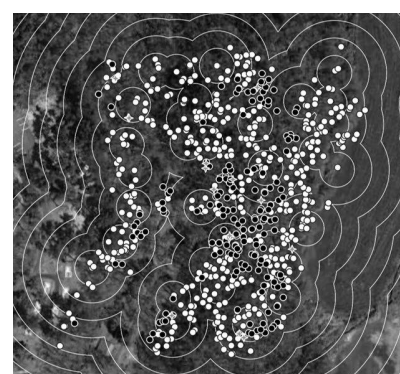
実施後（2020年12月）

図－10 トラップ設置1年における木の状態の変化（全対象木）

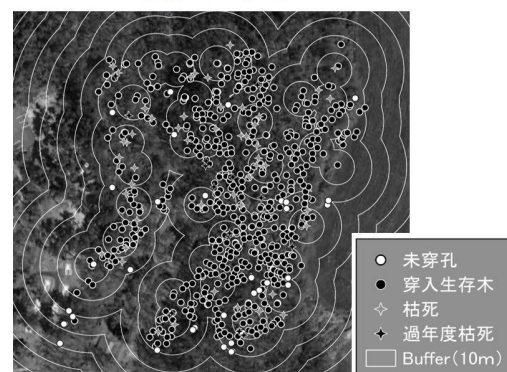
死が発生したものの、設置3年目でも多くのカシナガが多数捕獲されており（前述表-2），カシナガの生息密度が依然として高いにも関わらず，その後の枯死木の発生がみられなかったことから，トラップによる防除対策を実施することで枯死の発生を抑制しつつ，短期間でナラ枯れ対策を終了できると考えられた。

図－10にトラップ設置初年度（2020年度）の調査実施前及び実施後における未穿孔木，穿入生存木及び枯死木の分布の変化を示す。同心円は，トラップ設置箇所からの距離を10m間隔で示しており，円の中心がトラップ設置箇所である。

調査実施前は，前年に枯死した木の周辺に，穿入生存木が多く確認され，未穿孔木が大半を占めていたが，実施後は，調査地全体に穿入生存木が確認された。



実施前（2020年4月）



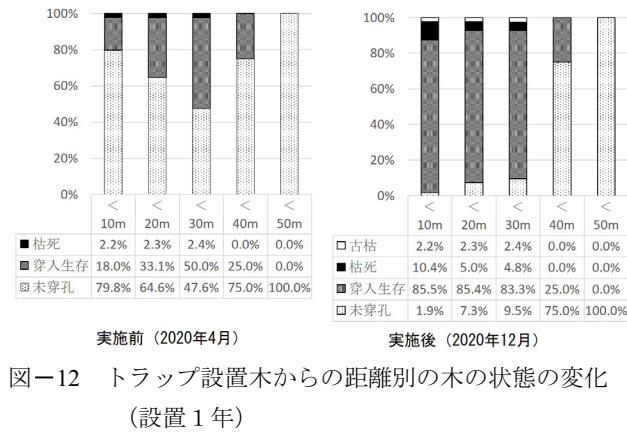
実施後（2020年12月）

図－11 トラップ設置1年における木の状態の変化（コナラ）

林内における樹木の枯死は，虫害のほかに，被圧や獣害等，複数の要因が考えられる。また，樹種によってナラ枯れによる枯損率が異なる（小林・萩田 2000）ことから，ナラ枯れ以外の要因やナラ枯れに対する感受性の異なる樹種の混在による調査結果への影響を考慮し，以降の分析における対象は，主林木であるコナラの胸高直径20cm以上の木とした。コナラの胸高直径20cm以上の木における未穿孔木，

穿入生存木及び枯死木の分布の変化を図－11に示す。全対象木の場合と同様に、調査実施前は調査地全体に未穿孔木が広がり、枯死木の周辺に穿入生存木が集中していたが、実施後は調査地全体に穿入生存木が広がった。未穿孔木についてもトラップ設置木間の中間付近や離れた箇所でも多くみられた。

2020年度の調査実施前後におけるトラップ設置木からの距離別の未穿孔木、穿入生存木及び枯死木の割合を図－12に、前年度（2019年度）枯死木からの距離の割合を図－13に示す。



図－12 トラップ設置木からの距離別の木の状態の変化（設置1年）



図－13 前年度枯死木からの距離別の木の状態の変化（設置1年目）

トラップ設置木からの距離について、調査実施前は距離の違いによる傾向はみられなかったが、実施後には設置木からの距離が遠くなるほど未穿孔木の割合が大きくなった。また、設置木から30mまでは、穿孔された履歴のある木（穿入生存木+枯死木、以下、穿孔木という。）の割合が90%を超えたが、40mより遠い場所ではその割合が大きく減少した。当

調査のみの結果のため特定はできないが、トラップを設置する間隔を検討する上での指標の一つとして検討する余地があると考えられた。

2019年度の枯死木からの距離について、調査実施前は枯死木に近いほど穿孔木の割合が高かったが、実施後は全体的に穿孔木の割合が増加しており、枯死木からの距離に対しての傾向は確認できなかった。

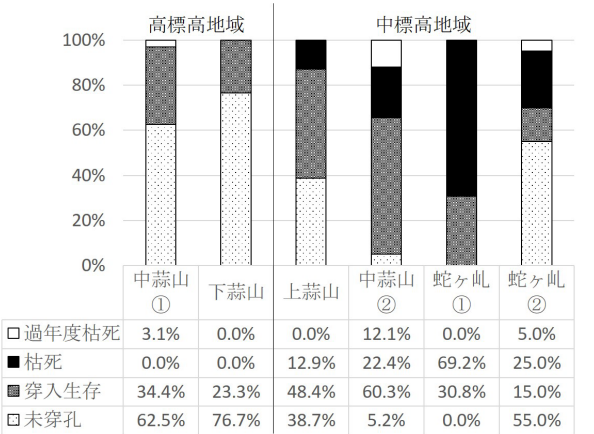
このことから、穿孔木の発生は前年度枯死木との位置関係よりも、トラップを設置することが、範囲は限定的であるものの、より強く影響していると考えられた。

3. 周辺林分の被害状況調査

調査地における構成樹種、本数及び胸高直径を表－3に、ブナ科樹木の生死及び穿孔状況の割合について図－14に示す。

表－3 周辺林分調査地概要

区 分	高標高地域		中標高地域			
調査地	中蒜山①	下蒜山	上蒜山	中蒜山②	蛇ヶ峠①	蛇ヶ峠②
標高 (m)	1,011	1,070	730	683	669	709
調査地サイズ (m)	30×30	30×30	30×30	30×30	25×25	20×20
DBH (cm)	ave.	14.7	19.5	16.7	19.3	25.8
	max	34.0	36.0	30.0	41.0	59.0
	min.	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
		10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
樹種	ミズナラ	32	30	1	10	26
	コナラ	0	0	55	48	0
	アベマキ	0	0	1	0	0
	カシワ	0	0	5	0	0
	クリ	0	0	0	0	6
	対象木計	32	30	62	58	26
密度 (本/100㎡)	その他	41	35	6	35	13
	合計	73	65	68	93	39
密度 (本/100㎡)		8.1	7.2	7.6	10.3	6.2
					10.8	



図－14 周辺林分におけるブナ科樹木の状態比較

高標高地域及び中標高地域のうち、蛇ヶ峠ではミズナラ及びブナ科植物以外の広葉樹が、その他の中標高地域ではコナラが優占していた。

高標高地域については、カシナガによる穿孔はみられるものの、枯死木は確認されず、70%程度は未穿孔木であった。また、中標高地域のうち、ミズナラが優占する蛇ヶ峠の2ヵ所では、それぞれで異な

るナラ枯れによる被害の状況がみられた。すなわち、蛇ヶ峠①調査地では被害が急速に進んでおり、蛇ヶ峠②調査地では前者と比較すると緩やかに被害が進行していた。蛇ヶ峠①調査地では過年度枯死木がなく、枯損被害は当年度から始まったにもかかわらず、ブナ科樹木のすべてが穿孔木となっており、69.2%が枯死していた。一方、蛇ヶ峠②調査地では、過年度枯死木が確認され、当年度の枯死木も発生していたが、ブナ科樹木の55.0%は未穿孔であった。2つの調査地は同一の山裾にあり、距離的にも近く、標高差もあまりない（標高差約40m）が、林分を構成する本数は、蛇ヶ峠①調査地で6.2本/100㎡と少なく林内空間が開けており、蛇ヶ峠②調査地で10.8本/100㎡と密であった。下層植生は両調査地ともにササで覆われていたものの、被害が大きかった蛇ヶ峠①調査地のほうが、明るい環境を好むとされる（Esaki *et al.* 2002 ; Igeta *et al.* 2004）カシナガが利用しやすかったのではないかと推測される。

中標高地域のコナラが優占する調査地では、それぞれナラ枯れによる被害が始まった時期が異なると考えられた。ナラ枯れが早く進行したと考えられる中蒜山②調査地では、過年度枯死木が12.1%であったが、未穿孔木は5.2%でほとんどの木が穿孔木（穿入生存木60.3%、枯死木34.5%）であった。上蒜山調査地では過年度枯死木はなく、当年度から枯損被害が始まったと考えられるが、未穿孔木が38.7%、穿孔木は61.3%（穿入生存木48.4%、枯死木12.9%）であった。ナラ枯れ被害が先行している中蒜山②調査地における過年度枯死木（12.1%）と上蒜山調査地の当年度の枯死木（12.9%）の割合がほとんど同じであり、今後、上蒜山調査地は中蒜山②調査地と同様の経過をたどる可能性があると思われる。

既報の樹種別のナラ枯れによる枯損率は、ミズナラでは林分の約5割程度、コナラでは3～5割程度枯死するとされている（日本森林技術協会 2015）。今回の調査では、コナラが優占する林分では、概ね既報の枯損率と同様の傾向がみられた。一方、ミズナラが優占する林分では、一様の被害状況を示していなかった。これは、標高や立木密度、周辺林分の被害状況などが影響しているものと考えられる。

ところで、トラップ設置によるナラ枯れ対策を実施した調査地はコナラが優占する林分であるが（前出表－1）、中蒜山②の未穿孔木（5.2%）と同程度（5.5%：前出図－9）であった2021年における累計の枯死木は20.9%であり、中蒜山②における枯損率（34.5%）や、既報の枯損率と比較すると、枯死を抑制しつつナラ枯れ対策を完了できたのではないかと考えられた。

IV まとめ

前年にナラ枯れが初確認されたコナラが優占する林地において、カシナガトラップを3年間設置した結果、設置した2年目までにブナを除くブナ科樹木のうち、カシナガによる穿孔履歴のない未穿孔木は約5%に減少した。一方、トラップ設置3年目以降はナラ枯れによる枯死は発生せず、調査終了までの累積の枯損率は約2割にとどまった。

未穿孔木が多かった調査1年目の結果では、トラップ設置木から比較的離れた位置の木に未穿孔木が散見された。本調査では、林分全体のナラ枯れ防除を目指していたため、トラップ設置木間の距離（半径約30m以内）を、比較的狭く設定していたので、トラップ設置間隔の違いによる効果について検証することは難しいものの、少なくとも本試験地と同程度（約2.2ha）であれば、同様の設置数（設置木35本）で一定の効果が得られると考えられた。

今回、トラップの設置、捕獲虫の回収、トラップの管理清掃、終了後のトラップの回収等、現地で実施する作業全般を、地域住民で構成されている真庭市シルバー人材センターの構成メンバーにより実施された。著者は、調査開始時のトラップ設置木の選木、トラップの設置方法や管理方法に関する指導を行うとともに、年間数回程度管理状況を確認し、改善が必要な点があれば助言を行った。1年目は、作業が不慣れであったことに加え、落ち葉やフラスなどのごみの清掃やトラップの接続部分における緩みの確認等の点検項目の徹底が不十分であるケースが散見されたが、2年目以降は、助言を要するケースはほぼなくなった。これは、同林地を管理している真庭市を含めた関係者間のコミュニケーションが十分に図れていたことによるものと考えている。

カシナガトラップを利用した防除方法は、設置後の捕獲中の回収やトラップの管理清掃等を要するため、少人数による広域を対象とした防除は困難であるが、対象地域を限定した場合は、地域住民主体でも実施可能な有効なナラ枯れ対策の一つであると考えられた。

V 謝辞

本調査の実施に当たり、調査地の提供及び事業の実施、並びに地域住民との連絡調整にご尽力いただいた真庭市林業バイオマス産業課職員の皆様、現地における作業に従事いただいた真庭市シルバー人材センター構成員の皆様に多大なるご協力をいただきました。改めて厚く感謝申し上げます。

引用文献

Esaki K, Kamata N, Kato K (2002) A sticky screen trap for surveying aerial populations of the ambrosia beetle

- e *Platypus quercivorus* (Coleoptera : Platypodidae) . Appl Entomol Zool 37 : 27~35
- Igeta Y, Esaki K, Kato K, Kamata N (2004) Spatial distribution of a flying ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera : Platypodidae) at the stand level. Appl Entomol Zool 39 : 583~589
- 伊藤進一郎・山田利博 (1998) ナラ類集団枯損被害の分布と拡大. 日林誌 80 : 229~232.
- 衣浦晴生 (1994) ナラ類の集団枯損とカシノナガキクイムシの生態. 林業と薬剤 130 : 11~20.
- 小林正秀・萩田実 (2000) ナラ類集団枯損の発生経過とカシノナガキクイムシの捕獲. 森林応用研究 9-1 : 133~140
- 小林正秀・野崎愛・細井直樹・村上幸一郎 (2008) カシノナガキクイムシ穿入生存木の役割とその扱い. 森林防疫 57 : 166~181
- 小林正秀・上田明良 (2002) 京都府内におけるナラ類集団枯損の発生要因解析. 森林防疫 51 : 62~71
- 小林正秀・上田明良 (2005) カシノナガキクイムシとその共生菌が関与するブナ科樹木の萎凋枯死—被害発生要因の解明を目指して—. 日林誌 87 : 435~450
- 小林正秀・吉井優 (2014) ブナ科樹木萎凋病 (ナラ枯れ) の防除法. 森林防疫 63 : 54~65
- 小林正秀・吉井優・竹内道也 (2014) ペットボトルを利用したカシノナガキクイムシの大量捕獲—京都市船岡山での事例—. 森林防疫 63 : 11~21
- 日本森林技術協会 (2015) ナラ枯れ被害対策マニュアル 改訂版
- 三枝道生 (2021) カシナガトラップによるナラ枯れ防除. 森林防疫 70 : 151~161
- Ueda A, Kobayashi M (2001) Aggregation of *Platypus quercivorus* (Murayama) (Coleoptera : Platypodidae) on oak logs bored by males of the species. J For Res 6 : 173~179.

編集・発行	研 究 報 告 第 3 9 号
郵便番号	岡山県農林水産総合センター森林研究所 709-4335
所在地	岡山県勝田郡勝央町植月中 1001
電話番号	(0868) 3 8 - 3 1 5 1 (代)
F A X	(0868) 3 8 - 3 1 5 2
ホームページ	http://www.pref.okayama.jp/ soshiki/209/

B U L L E T I N

N o . 39

OKAYAMA PREFECTURAL TECHNOLOGY CENTER FOR
AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES
RESEARCH INSTITUTE FOR FORESTRY AND FOREST PRODUCTS

Uetsukinaka. Shoo-cho. Katsuta-gun.

OKAYAMA-Ken. 〒709-4335. Japan

M a r c h 2025

<http://www.pref.okayama.jp/soshiki/209/>