

研 究 報 告

No. 38

2023. 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38号

2023年3月

目 次

－ 研究報告 －

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・1

松田 洋樹

ヒノキ材の高温熱処理時の異臭成分の生成量について・・・・・・・・・・7

松田 洋樹

樹木デンプンによる菌根性きのこの人工培養・・・・・・・・・・11

藤原 直哉

高齢級人工林の資源量推定に関する研究（I）・・・・・・・・・・22

牧本 卓史

林内に設置された侵入防止柵の管理技術の検討（II）・・・・・・・・・・30

三枝 道生

自然災害による影響を受けにくいシカ侵入防止柵の検討・・・・・・・・・・37

三枝 道生

不嗜好性植物を利用したシカ被害軽減の試み・・・・・・・・・・43

三枝 道生

Bulletin of the Okayama Prefectural
Technology Center for Agriculture
Forestry and Fisheries
Research Institute for Forestry and Forest Products
No. 38

March 2023

Contents

—ARTICLES—

Hiroki MATSUDA

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

Hiroki MATSUDA

The amount of strange odor components produced during high-temperature heat treatment of Japanese Cypress board 7

Naoya FUJIWARA

Artificial culture of mycorrhizal mushrooms by tree starch 11

Takushi MAKIMOTO

Prediction of timber volume on mature artificial forest 22

Michio SAEGUSA

Study of management method for deer fences installed in forests(Ⅱ) . . 30

Michio SAEGUSA

Study of deer fences that are less susceptible to natural disaster . . . 37

Michio SAEGUSA

Trial to reduce damage to planted trees by sika deer using unpalatable plants 43

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

松田 洋樹

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

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 岡山県農林水産総合センター森林研究所報38：1-6（2023）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。そこで、揮発性テルペン類の残存割合を、部位や乾燥条件ごとに求め、揮発性テルペン類が残存しやすい条件について検討した。ヒノキ心材部から採取した試験板を異なる条件で乾燥し、その乾燥前後におけるヘキササン抽出物量をGC/MSにより測定することで、主要な揮発性テルペン類の残存割合を、部位ごとに求めた。その結果、木口端部や材面表層部でモノテルペン類の残存割合が低いことや、特にモノテルペン類においては低温低湿条件が残存割合を高める可能性があること、モノテルペンアルコール類は乾燥条件によらず残存率が低いこと、セスキテルペン類はいずれの条件でも残存しやすいこと、などが明らかとなった。

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3年度のヒノキ素材生産量が278千 m^3 で全国1位の生産量であり（農林水産省 2022）、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ができる。また、ヒノキは構造材として有用なだけでなく、他の材にはない、美しい材色や心地よい芳香を有している。特に、過去に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の良さを香りに見出していることが明らかとなっており、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。

一般的に、ヒノキを含む針葉樹材の香り成分は、数十種類のテルペン類からなっており、樹種により特徴的な組成を持ち、その材の香りの特徴づけている（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、ジテルペン類とそれぞれ分類される。この中でも分子量が比較的小さく揮発性の高い成分が材の香りに寄与するため、香りの主体はモノテルペン類やセスキテルペン類が形成していると考えられる（谷田貝 2008）。これらの香り成分は、その揮発性の高さから、乾燥工程において失われやすく、乾燥処理においてテルペン類が揮発減少することや（奥田ら 2017）、熱により消失、変質す

ることなどが指摘されている（Ohira *et al.* 2009）。そのため、香りによりヒノキ材の付加価値を上げるためには、乾燥工程においてこれらの香り成分の損失を抑制することが重要であると考えられる。しかし、どのような乾燥条件が、揮発性テルペン類を残し、香りを残す上で有効であるかを具体的に検討した例は少ない。

そこで、本研究では、乾燥時の温湿度条件を変えた5条件で、ヒノキ板材を乾燥し、乾燥前後における主要な7種の揮発性テルペン類の残存割合を部位ごとに求め、揮発性テルペン類の残存割合が高くなる条件や、部位ごと、成分ごとの残存割合の違いを明らかにすることを目的とした。

II 材料と方法

(1) 材料

材料は、岡山県北部で伐採されたヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）の板材（200mm[W]×30mm[T]×4000mm[L]）を使用した。ヒノキの板材は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5枚購入した。板材は、いずれも図-1のように分割し、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。

乾燥前の抽出成分量を測定するために各試験板から乾

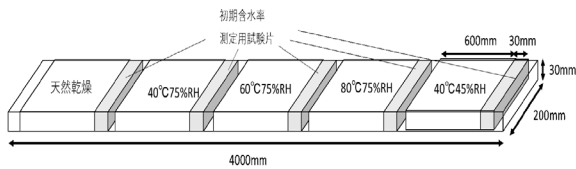


図-1 各種乾燥試験に供する試験板の採取方法

乾燥前の抽出成分測定用試験片を図-2（左）のように採取した。その後、個体が異なる試験板5枚を1セットとし、それぞれ所定の条件で乾燥し、乾燥後の抽出成分測定用試験片を、図-2（左）のように2か所（木口端部、中央部）から採取した。

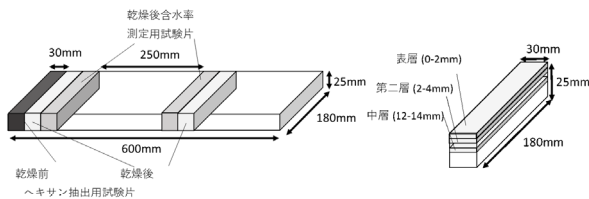


図-2 各試験板からの乾燥前後における抽出成分測定用試験片の採取方法

(2) 乾燥処理

乾燥は、天然乾燥と恒温恒湿機ARL-1100(エスペック)による乾燥を行った。天然乾燥は、屋根のある風通しの良い屋外に積みし、2022年4月6日から2022年4月22日までの16日間乾燥した。恒温恒湿機による乾燥は、温湿度条件を変えて4条件で行った。いずれの乾燥条件も、重量測定から求めた推定の含水率が15%を下回った時点で乾燥終了としたが、40°C75%乾燥では、乾燥開始から2週間経過時点において重量変化がほとんどなくなったため、2週間で乾燥終了とした。各乾燥条件と乾燥結果を表-1に、乾燥経過を図-3に示す。

表-1 乾燥試験結果

drying	乾燥時間 (h)	初期含水率 (%)	乾燥後推定含水率 (%)	乾燥後全含水率 (%)
Air drying	368	34.2	15.6	15.8
40°C75%RH	320	35.5	17.4	17.5
60°C75%RH	72	33.9	15.1	14.6
80°C75%RH	28	33.6	13.8	12.9
40°C45%RH	71	33.2	14.0	13.7

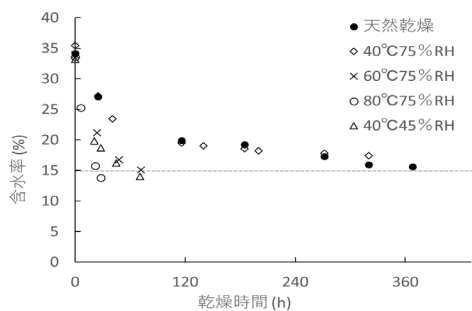


図-3 各試験板の乾燥経過

乾燥結果と乾燥経過の含水率には、個体ごとに大きなばらつきがなかったため、5個体の平均値のみ示した。乾燥終了後は、直ちに溶媒抽出の操作を行ったが、サンプル数が多いため最長で2日程度保管期間が生じた。保管中は、成分の揮発を防ぐため、試験板をラップにて密封し、室温5°C以下の木材保管庫で保管した。

(3) 溶媒抽出

各抽出成分測定用試験片は、試験板の深度による違いを求めるため、図-2（右）のように、木表面から深度別に3層に鉋で分離し、スライス片を採取した。このスライス片はそのままでは抽出できないため、さらに剪定鋏で3mm幅に切り分け、多数のマッチ棒状の試料を作製した。この試料の中から、乾燥前は1.5±0.01 g、乾燥後は1.3±0.01gの重量となるように12本を選定し、各層の抽出成分測定用の試料とした。

(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°Cで3分保持, 10°C/minで250°Cまで昇温, 250°Cで3分保持
 検出器温度：200°C、イオン化方法：EI、イオン化電圧：70eV
 測定モード：SCAN

(5) 成分の同定と定量

得られたピークの同定および推定は、標品が入手できるものは標品とのマススペクトルと保持時間の比較を行い同定した。標品が入手できなかったものは、マススペクトルライブラリの一致率による比較を行い推定した。

定量の対象とした成分は、ヒノキの抽出成分として既報の文献で報告があり(山田ら 2017, 原田ら 2017, 山下ら 2017, 渋谷 2008)、かつ標品が入手できたものとし、モノテルペン類の4種はα-Pinene, β-Pinene, D-Limonene, γ-Terpineneとし、モノテルペンアルコール類の2種はTerpinene-4-ol, L.alpha.-Terpineolとし、セスキテルペン類はδ-Cadinene (いずれも東京化成)の合計7種類とした。定量は絶対検量線法により4点検量で検量線を作成し行った。

(6) 残存割合の計算方法

成分の残存割合は、乾燥後の定量値を、対応する個所の生材時の定量値で除すことにより求めた。例えば、α-Pineneの中央部中層における残存割合は、乾燥後の中央部中層におけるα-Pineneの定量値を乾燥前の試験片の中層における定量値で除すことで求めた。

III 結果と考察

(1) 代表的なクロマトグラムと各成分の定性

代表的なクロマトグラムとして、ある個体の80℃75%RH乾燥試験板の生材時の中層と乾燥後の中央部中層のクロマトグラムを図-4に示す。

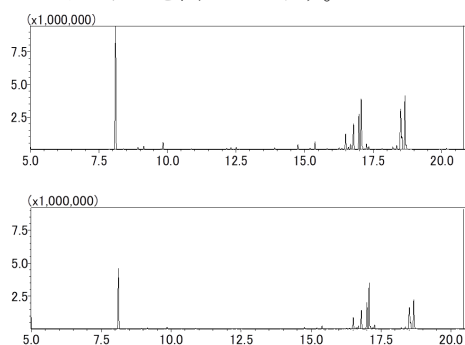


図-4 クロマトグラムの一例
(上段：80℃75%RH乾燥前中層、
下段：80℃75%RH乾燥後中央部中層)

また、図-4（上段）のピークのうち、ピーク面積の大きかった20成分について表-2に示す。太字で示したものは、標品と比較することで同定を行ったものであり、今回定量の対象とした成分である。その他の成分については、マススペクトライブラリとの一致率が高く、かつ既報の文献でも報告されている化合物であり、推定成分とした。一致率の高いものが複数あり、既報の文献を参照しても判別し難いものは不明とした。

表-2 80℃75%RH乾燥試験板の乾燥前中層の分析で得られた主な成分

Component	RT	Area	MW
α-Pinene	8.108	4001813	136
β-Pinene	8.927	49095	136
β-Myrcene	9.139	71569	136
D-Limonene	9.844	64220	136
γ-Terpinene	10.361	10154	136
Terpinen-4-ol	12.32	41882	154
L-α-Terpineol	12.511	32660	154
Bornyl acetate	13.913	19523	196
α-Terpinyl acetate	14.758	65293	196
β-Elementene	15.382	26305	204
unidentified	16.499	249058	204
unidentified	16.597	36771	204
unidentified	16.985	574081	204
δ-Cadinene	17.067	889859	204
Cubenene	17.2	35970	204
unidentified	17.261	96731	204
Di-epi-1,10-cubenol	18.363	52961	222
unidentified	18.495	661406	222
unidentified	18.551	160728	222
α-Cadinol	18.663	504982	222

RT : Retention Time , MW : Molecular Weight

(2) 乾燥条件と成分の残存率の関係

モノテルペン類である、α-Pinene, β-Pinene, D-Limonene, γ-Terpineneの残存割合の平均値を図-5に示す。デ

ィスタンスバーは、5個体の中の最大値、最小値を表している。モノテルペン類4成分は、いずれも同様の傾向にあった。

木口端部では、乾燥条件に関係なく、すべての層で残存割合がおおむね2割程度と低い値であった。

中央部における層ごとの違いは、天然乾燥を除くすべての乾燥条件で、表層部の残存割合が最も低くなり、表層から成分の揮発が進む様子が推察された。天然乾燥では表層の残存割合が高くなったため、抽出操作の不備の可能性も考えられたが、明確な理由は分からなかった。次に、乾燥条件ごとの違いについて、内層の残存割合をみると、いずれの成分も60℃や80℃乾燥では残存割合が4割を下回り、40℃乾燥や天然乾燥よりも残存割合が小さくなっており、低温での乾燥の方がモノテルペン類の残存割合が高くなる傾向がみられた。また40℃45%RH乾燥は、40℃75%RH乾燥より残存割合が高くなった。

モノテルペンアルコール類であるTerpinene-4-ol, L-α-Terpineolの残存割合の平均値を図-6に示す。ディスタンスバーは、5個体の最大値、最小値を表している。モノテルペンアルコール類2成分は、いずれも同様の傾向にあった。

木口端部は、いずれの乾燥条件でも、成分の残存割合は低く、2割以下であった。

中央部も、いずれの乾燥条件でも成分の残存割合は低く、おおむね3割以下であった。モノテルペンアルコール類は、部位や乾燥条件によらず、均一に減少する傾向があった。

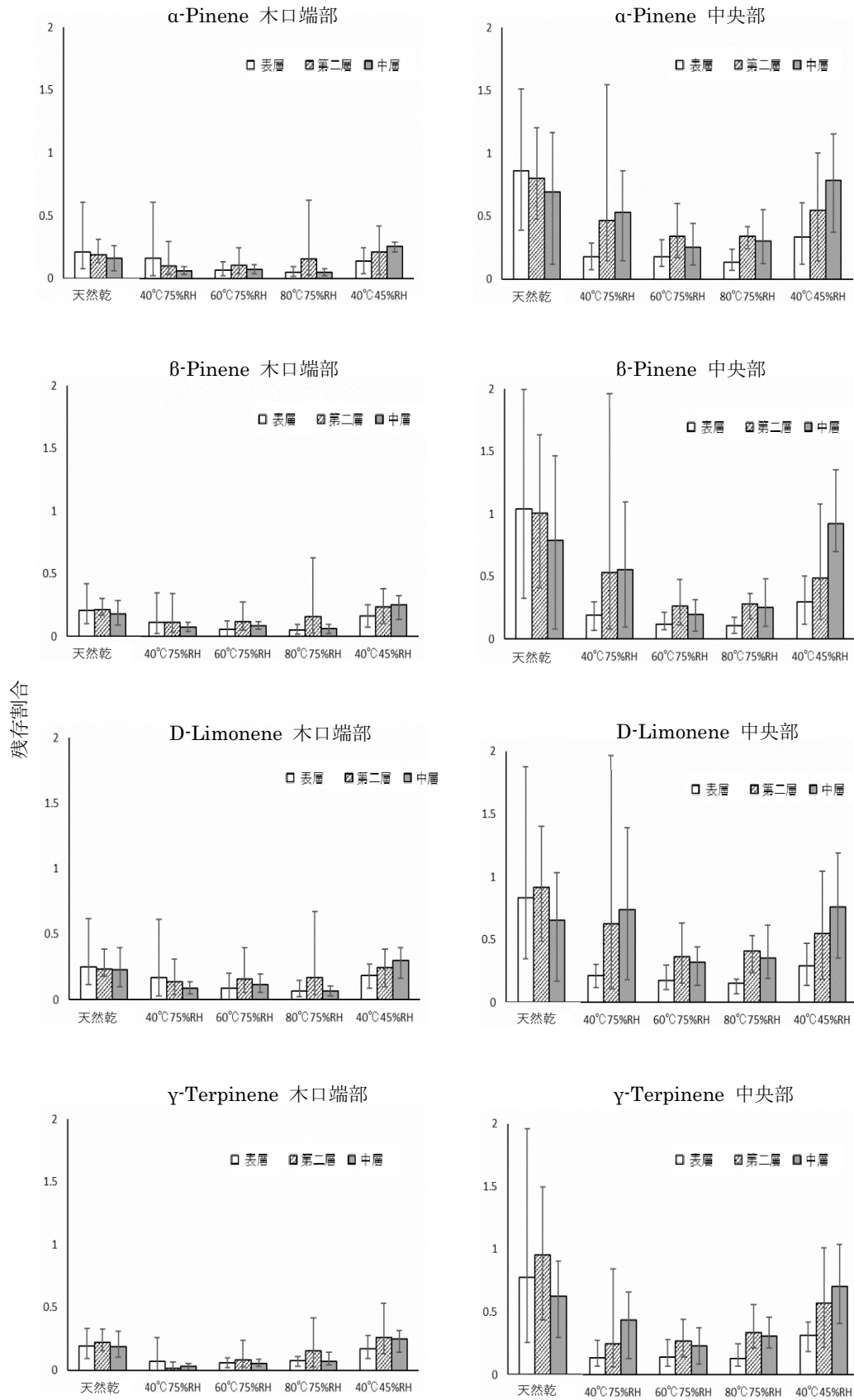
セスキテルペン類であるδ-Cadineneの残存割合の平均値を図-7に示す。ディスタンスバーは、5個体の最大値、最小値を表している。

木口端部では、天然乾燥が、いずれの層でも残存割合が高く10割程度であった。他の乾燥条件では、乾燥温度が低いほど残存割合が高くなる傾向があり、40℃乾燥では中層で5割以上残存していた。

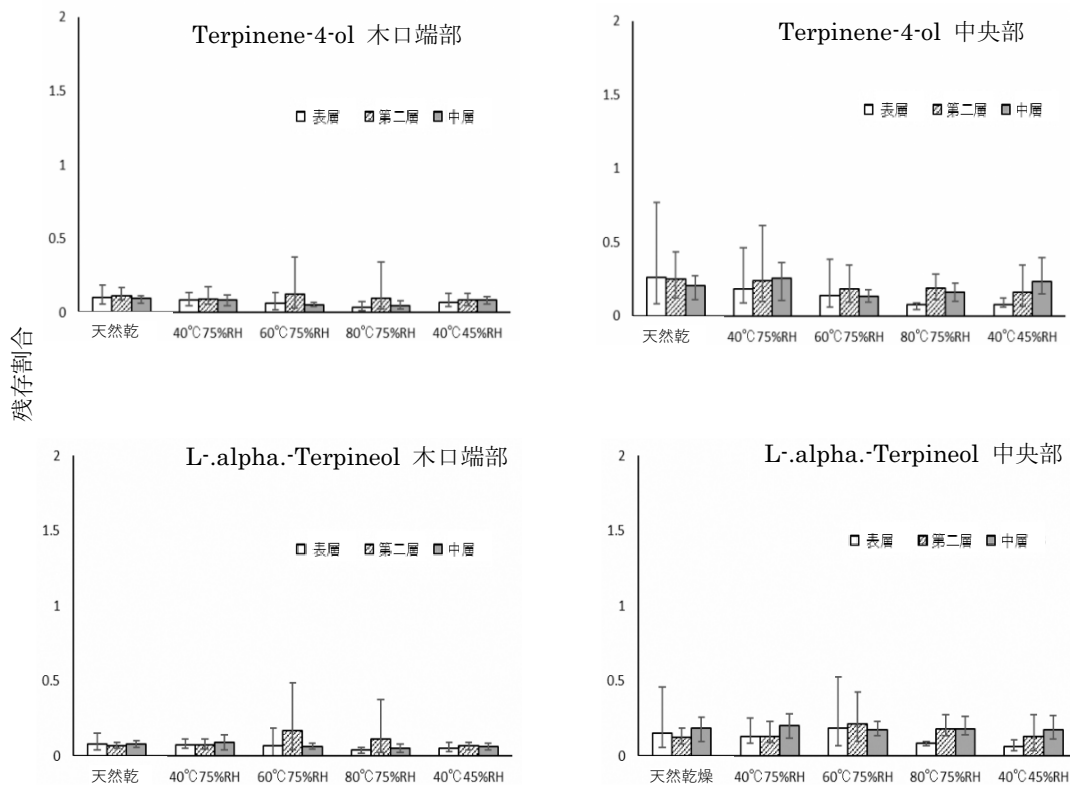
中央部では、天然乾燥材が、表層、第2層で残存割合が10割を超えており、中層よりも高くなった。その他の乾燥条件では、40℃45%RH乾燥を除きいずれも第2層の残存割合が高くなる傾向であった。特に、40℃75%RH乾燥で最も高くなり、第2層で10割以上残存していた。その他の乾燥条件でもほかの成分に比べると残存割合が高く、80℃75%RH乾燥でも第2層は10割近く残存した。

(3) 考察

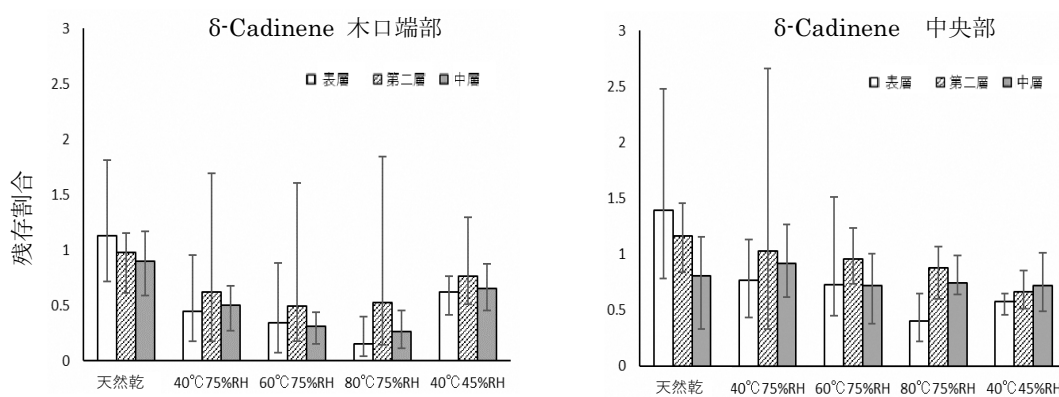
部位ごとの違いをみると、いずれの成分、乾燥条件でも、木口端部は中央部に比べ残存割合が低くなる傾向があり、テルペン類も水分同様、乾燥に伴い仮道管を通じ木口面から揮発減少しやすいことが示唆された。また、中央部では、層ごとの残存割合に違いがあり、多くの成分で表層の残存割合が低くなる傾向がみられた。表層も、



図ー5 モノテルペン類の各種乾燥条件で乾燥したときの各部位における残存割合



図－6 モノテルペンアルコール類の各種乾燥条件で乾燥したときの各部位における残存割合



図－7 セスキテルペン類の各種乾燥条件で乾燥したときの各部位における残存割合

木口端部と同様に、成分の揮発減少が進みやすいと考えられる。これらの結果から、香りを活かした製品を加工する際には、乾燥後に表面を2mm程度切削すると香り成分を多く有した面を露出することができる可能性が示唆された。

成分ごとに乾燥条件の違いをみると、モノテルペン類については、天然乾燥が、他の乾燥条件に比べ残存割合が高くなった。また、40℃乾燥では2層以降の残存割合が5割を超えており、40℃までの乾燥であれば、モノテルペン類の揮発を抑制できる可能性が示唆された。また40℃乾燥でも低湿度の乾燥条件の方が、残存割合は高くなったが、これは低湿度の乾燥の方が乾燥に要する時間が短かったことなどが原因と考えられた。低温低湿度の乾燥条件が、香りを残す乾燥方法として有効であると思われた。

モノテルペンアルコール類は、乾燥温度、部位によらず一律に残存割合が小さくなり、他の成分と明らかに異なる傾向を示した。水酸基を有しているこれらの成分は、他の成分に比べ水に溶けやすいと考えられるため、乾燥過程における水分の移動や蒸発に付随する形で材内部からも多く減少したのではないかと推察された。

セスキテルペン類は、モノテルペン類や、モノテルペンアルコール類に比べるといずれの乾燥条件でも残存割合が高くなる傾向を示した。これは分子量の大きいセスキテルペン類の沸点がモノテルペン類等に比べ高いことによると考えられた。特に中央部の第2層以深においては、80℃の乾燥でも7割以上残存しており、通常の中温乾燥によるセスキテルペン類の揮発減少はわずかであると思われる。また、天然乾燥と40℃45%RH乾燥を除くいずれの乾燥条件でも、第2層の残存割合が最も高くなった。その理由として、材内部にあった成分が乾燥中に移動して表層付近に集積している可能性が考えられたが、詳細は不明である。

残存割合のばらつきについては、残存割合が最大で生材の3倍程度となる個体がみられた。これらのばらつきの原因は、抽出操作における不備の可能性もあるが、個体内での成分のばらつきが影響を与えた可能性もある。抽出成分が香りや耐朽性に与える影響を研究する上では、ヒノキの個体内における抽出成分のばらつきについての知見を集積することも、今後の課題の一つである。

IV まとめ

本研究では、ヒノキ材の乾燥時における香りの変質の要因としてテルペン類の残存割合に着目し、乾燥条件を変えて部位ごとに各成分の残存割合を求め、以下の結果を得た。

- (1) 木口端部および表層で、香り成分の揮発減少が大きい。表層では、乾燥後2mm程度の切削が香り成

分を多く含んだ面の露出に有効であると考えられる。

- (2) モノテルペンアルコール類は、他の成分と異なり、乾燥条件、部位によらず残存割合が低く、いずれの乾燥条件でも失われやすい。
- (3) 乾燥温度が高くなると乾燥時間は短くなるが、特にモノテルペン類の残存割合が低下する傾向にある。40℃以下の低温で乾燥することで、香り成分の残存割合が高められる可能性がある。
- (4) 40℃乾燥でも、低湿度条件の場合には、モノテルペン類の残存割合が高かった。これは乾燥に要した時間が短かったためと思われた。
- (5) なるべく早く乾燥したいという経済的合理性からも、低温低湿度での乾燥は、香りを残す最も有効な乾燥方法である可能性が示唆された。

今後これらの結果を踏まえて、香り成分をなるべく減少しない乾燥方法について、より具体的に検討していきたい。

引用文献

- 原田千聡・鍵直樹・西岡実実・東賢一・柳宇・大澤元毅・金勲・長谷川兼一・萬羽郁子(2017) 木材から発生するVOCの特徴と住宅における実測調査. 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集第7巻: 77-80.
- 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.
- Ohira, T., Park, B. J., Kurosumi, Y. and Miyazaki, Y. (2009) Evaluation of dried-wood odors: comparison between 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変化. *木材学会誌Vol.63, No.5*: 204-213.
- 澁谷栄(2008) 抽出成分による木材の生物劣化抵抗性. *木材保存34(2)*: 48-54.
- 山田建太・武田圭斗・佐藤真・高田勝己・村上篤司(2017) ヒノキ間伐材抽出成分の組成分析. *常葉大学社会環境学部紀要4*: 31-42.
- 山下里恵・櫻川智史・斎藤幸恵・渡邊拓・安村基(2017) 国産材を使用した木造施設における室内空気質の形成. *木材学会誌Vol. 63, No. 2*: 86-97.
- 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.

ヒノキ材の高温熱処理時の異臭成分の生成量について

松田 洋樹

The amount of strange odor components produced during high-temperature heat treatment of Japanese Cypress board

Hiroki MATSUDA

要 旨

松田洋樹：ヒノキ材の高温熱処理時の異臭成分の生成量について 岡山県農林水産総合センタ一森林研究所研報38：7-10（2023） 構造材を中心に近年多用されている高温乾燥処理においては、乾燥中に材から異臭が発生し、材本来の香りが失われることが指摘されている。この異臭は、材中のヘミセルロースが熱分解し低分子化することにより発生するとされているが、その発生条件については不明な点が多い。そこで、ヒノキ材を熱処理した時の処理温度や処理時間による異臭成分の生成量の違いを求め、異臭成分が生成する条件について検討した。その結果、100℃までの処理では処理時間を長くしても異臭成分の生成はわずかであった。次に、120℃処理においては処理時間が増加するのに伴い生成量も増加することが明らかになった。また処理時の含水率が高い材の方が異臭成分の生成量は大きくなる傾向にあった。今後、実際の高温乾燥工程における異臭成分の生成過程を詳細に明らかにするとともに、異臭の生成を抑制する乾燥方法について検討する必要がある。

キーワード：ジアセチル，フルフラール，ヒノキ，高温乾燥，酢酸

I はじめに

岡山県の2021年度のヒノキ素材生産量は278千 m^3 で全国1位であり（農林水産省 2022），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ができる。また、ヒノキは構造材として有用だけでなく、他の材にはない、美しい材色や心地よい芳香を有している（有岡 2011）。特に、過去に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の良さを香りに見出していることが明らかとなっており、香りを付加価値とした製品づくり可能となれば、本県の林業・木材産業の活性化に寄与できると考えられる。

一般的に、ヒノキを含む針葉樹材の香り成分は、数十種類のテルペン類からなっており、樹種により特徴的な組成を持ち、その材の香りを特徴づけている（谷田貝 1997）。テルペン類は、イソブ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、ジテルペン類と分類される。この中でも分子量が比較的小さく揮発性の高い成分が材の香りに寄与するため、香りの主体はモノテルペン類やセスキテルペン類が形成していると考えられる（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、乾燥工程において失われやすく、乾燥処理においてテルペン類が揮発減少

することや、熱により消失、変質することなどが指摘されている（Ohira *et al.* 2009）。そのため、香りによりヒノキ材の付加価値をあげるためには、乾燥工程においてこれらの香り成分の損失を抑制することが重要であると考えられる。

一方で、木材を高温で処理すると、木材主成分の一つであるヘミセルロースが熱分解により低分子化し、生成する低分子は異臭の原因成分であることが知られている（Manninen *et al.* 2002）。近年、心持ち柱材等の構造用製材品を乾燥する際に多用されている高温乾燥処理では、この異臭成分が発生し香りが変質することが確認されている（松田ら 2021）。しかし、ヒノキ材において、異臭が発生する温度や時間などの詳細な条件については不明な点が多い。

そこで本研究では、高温乾燥において香りの変質の要因となる異臭成分の生成に着目し、これについて基礎的な知見を得るため、以下の実験を行った。処理時含水率（生材、気乾材）の異なる試験片に、処理温度（80℃～120℃）、処理時間（0～18時間）を変えて熱処理を行い、各試験片から揮発する異臭成分の濃度をGC/MSにより定量した。これにより、熱処理条件と異臭成分の生成量の関係を明らかにすることを目的とした。

II 材料と方法

(1) 材料

材料は、岡山県北部で伐採されたヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の1番玉から製材された板材 (130mm[W]×35mm[T]×4000mm[L]) を使用した。ヒノキ板材は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3枚購入した。熱処理時の含水率が与える影響をみるために、これらの板材をそれぞれ図-1のように分割し、気乾材及び生材の試験板を作製した。気乾材試験板は、恒温恒湿機ARL-1100 (エスペック) により、温度20℃、湿度65%で乾燥し、重量測定から求められた推定の含水率が15%以下になるまで乾燥した。生材試験板及び乾燥後の気乾材試験板は、温度5℃以下に設定した木材保管庫内で、ラップで密封した状態で保管し、試験直前まで含水率の変動を抑制した。各試験板は、試験直前に図-2のように、切断及び表面切削し、120mm (W) ×30mm (T) ×50mm (L) の寸法の熱処理用の試験片を採取した。その際に得られた端材から、試験直前の試験板の含水率を全乾法にて求めた (表-1)。

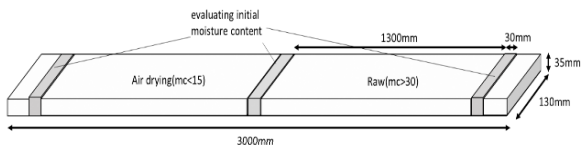


図-1 生材と気乾材の試験板の作成方法

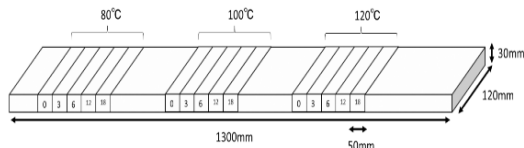


図-2 各試験板からの試験片の採取方法

表-1 各試験板の初期含水率

Sample	Moisture Content (%)	
	Raw	Airdrying
Sample1	37.6	13.6
Sample2	27.9	16.7
Sample3	31.7	16.1

(2) 熱処理

オートクレーブ (島津製作所製) により、処理温度 (80℃, 100℃, 120℃), 処理時間 (0時間, 3時間, 6時間, 12時間, 18時間) の条件で、3個体分の試験片にまとめて熱処理を加えた。処理中の含水率の変動を抑えるため、試験片は耐熱性ラップで密封した状態で熱処理に供した。処理前後の重量から推定含水率を求め、処理中に含水率が大きく変動しなかったことを確認した。

(3) 捕集

処理後の試験片は、表面に水分が付着しているものがあつたため、前処理として、20℃、65%RHの恒温恒湿機

内で24時間養生を行った。次に、1個体ずつ、2Lのテドラバッグ (近江オドエアサービス) に入れ、内部の空気を窒素バージ後、40℃の恒温槽に30分間静置し、揮発成分をバッグ内に充満させた。その後、揮発成分が充満した空気を、ダイヤフラム式ポンプにより流速100ml/minで2分間、TenaxTA管に捕集した。

(4) 加熱脱着GC/MSの分析条件

加熱脱着GC/MSの分析条件は以下のとおりである。

加熱脱着装置: TD-30(島津製作所)
 チューブデゾープ温度: 250℃
 GC/MS機種: GCMS-QP2020NX(島津製作所)
 カラム: SH-Rtx-Wax(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50)
 昇温条件: 50℃で5分保持, 10℃/minで220℃まで昇温, 220℃で5分保持
 検出器温度: 200℃, イオン化電圧: 70eV
 測定モード: SCAN/SIM (m/z 39, 43, 60, 86, 95, 96) 同時測定

(5) 成分の同定と定量

異臭成分については、ヘミセルロースの分解生成物として指摘されている酢酸、フルフラール及び、著者らが事前に行った調査 (松田ら 2021) により高温乾燥材で発生することを確認したジアセチルを対象とした。

成分の同定は、標準品 (酢酸: 富士フィルム和光純薬, フルフラール: 富士フィルム和光純薬, ジアセチル: 純正化学) の保持時間とマススペクトルを、サンプルから検出されたピークと比較して同定した。また、この標準品を用いたヘキサン希釈溶液による4点検量により検量線を作成し、測定されたピークの定量を行った。この検量線により得られる定量値は、ヘキサン溶液中の濃度からテドラバッグ内の気中濃度に換算して解析を行った。換算に用いた計算式は以下のとおりである。

気中濃度 (ppm) =

検量線から得られた濃度 (mg/L) × 1 × 10⁶ (L) ÷ 0.2 (L)

III 結果と考察

(1) 代表的なクロマトグラムと各成分の定性分析

代表的なクロマトグラムとして、気乾材の120℃18時間処理材の1個体のクロマトグラムを図-3に示す。このうち、対象とした3つの異臭成分及びピーク面積の大きかった10種類のテルペン類について表-2に示す。テル

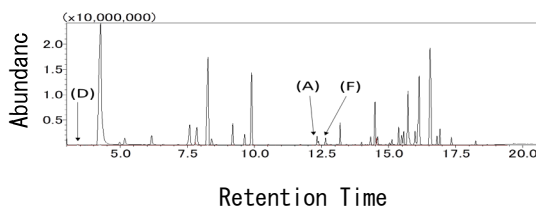


図-3 120℃18時間処理材の揮発成分から得られたクロマトグラム

(D): ジアセチル, (A): 酢酸, (F): フルフラール

ペン類はすべて推定であり、ライブラリとの一致率が高かったものを記載した。

表-2 120℃18時間処理材の分析で得られた主な成分

Component	RT	TIC Area	MW
Diacetyl	3.418	44051	86
α -Pinene	4.265	159024459	136
β -Pinene	7.582	12218761	136
D-Limonene	8.267	70052459	136
γ -Terpinene	9.187	11386484	136
2-Carene	9.891	42224070	136
Acetic acid	12.38	1359572	60
Furfural	12.646	3222547	96
Copaene	13.19	9160435	204
β -Elemene	14.485	19433321	204
γ -Muurolene	15.719	28075959	204
α -Muurolene	16.136	42137569	204
δ -Cadinene	16.542	71348947	204

RT : Retention Time MW : Molecular Weight

(2) 定量値の比較

生材及び気乾材についての、処理温度及び処理時間別のフルフラールの気中濃度の平均値を図-4に示す。ディスタンスバーは3個体の最大値及び最小値を示した。120℃処理においては、処理時の含水率によらず、処理時間が増加するにつれて、気中濃度は増加する傾向がみられた。また処理時の含水率で比較すると、生材の方がいずれの処理時間でも気中濃度は高かった。100℃処理においては、生材では処理時間が増加すると気中濃度が増加する傾向がみられたが、その量は120℃処理に比べ小さかった。気乾材では、処理時間が増加しても気中濃度は増加しなかった。80℃処理は、処理時の含水率によらず、処理時間が増加しても気中濃度が増加する傾向はなかった。人がにおいを感じるようになる濃度とされる臭覚閾値は、フルフラールについては過去の報告事例がなかったため不明である。

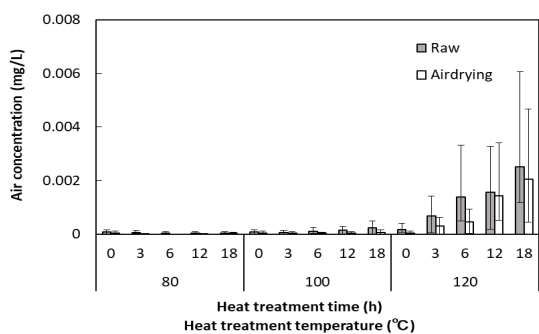


図-4 各熱処理条件におけるフルフラールの気中濃度

次に、生材及び気乾材の処理温度及び処理時間別の酢酸の気中濃度の平均値を図-5に示す。ディスタンスバーは、3個体の最大値、及び最小値を示した。120℃処理においては、処理時の含水率によらず、処理時間が増加するにつれて、気中濃度は増加する傾向がみられた。処理時の含水率で比較すると、18時間処理では気乾材の方が気中濃度は高くなったが、その他の処理時間では生材の方が高かった。100℃処理、80℃処理では、処理時の含水率によらず、処理時間が増加しても気中濃度が増加する傾向はみられなかった。また、いずれの処理温度、処理時間も生材の方が、気中濃度は高くなった。この原因は、酢酸が無処理材にも含まれており、気乾材では処理前の乾燥に伴い、本来含まれていた酢酸が揮発減少したためと考えられた。また、既報の文献(永田ら 1990)によると、酢酸の臭覚閾値は、0.006ppm 付近にあるとされている。その値を図-5中に点線で示した。生材でも酢酸の揮発はあるが、処理温度 80℃~100℃では閾値を超えておらず、120℃の熱処理によりその揮発量が増え、120℃、6時間の処理から臭覚閾値を超えることが明らかとなった。

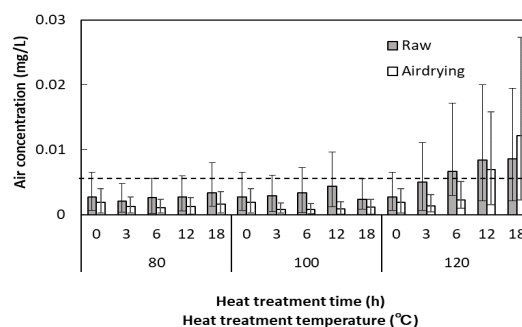


図-5 各熱処理材における酢酸の気中濃度

最後に、生材及び気乾材の、処理温度及び処理時間別のジアセチルの気中濃度の平均値を図-6に示す。ディスタンスバーは、3個体の最大値、最小値を示した。120℃処理においては、生材では処理時間が増加するにつれて気中濃度は増加する傾向がみられた。気乾材では、12時間処理で特異的に生材より高くなったが、この原因は不明である。100℃処理、80℃処理では、処理時の含水率

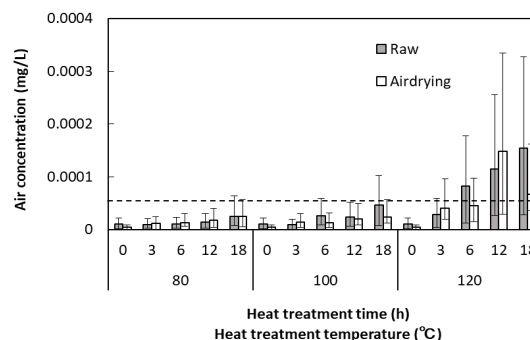


図-6 各熱処理材におけるジアセチルの気中濃度

によらず、処理時間が増加するにつれて気中濃度は増加する傾向がみられたが、その量は120℃処理に比べ極端に小さかった。永田らによると、ジアセチルの臭覚閾値は、0.00005ppm付近にあるとされ、その値を図-6中に点線で示した。酢酸と同様に、ジアセチルも120℃、6時間の処理で、臭覚閾値を超えることが明らかとなった。

(3) 考察

熱処理により新規に生成、あるいは増加する成分としてフルフラール、酢酸、ジアセチルがそれぞれ確認された。フルフラール、酢酸については、いずれもヘミセルロースの熱分解生成物として知られている物質であり、120℃以下の処理でもヘミセルロースの分解が起こり、これらの成分が生成したと考えられた。またジアセチルについては、生成経路についてはわからなかったが、酢酸やフルフラールと同様に熱処理を加えることにより生成することが確認された。これらは、焦げ臭（フルフラール）、刺激臭（酢酸）、不快臭（ジアセチル）といわれるのもので、これらの生成量を抑えることが、香りの変質を抑えるために有効であると考えられた。

定量値の測定結果から、いずれの異臭成分も120℃処理において、処理時間とともに増加することが明らかになった。100℃処理においても、処理時間が長くなると増加する成分がみられたが、120℃処理に比べるとその増加量は小さかった。また、含水率の異なる2種類の材に、同様の熱処理を加えた結果、含水率の高い生材の方が、異臭成分の生成量はおおむね大きかった。これらの結果から、高含水率時における120℃程度の熱処理は、処理時間に応じて異臭成分の生成量が大きくなる可能性が示唆された。木材の高温乾燥処理では、一般に含水率の高い乾燥初期に100℃を超える高温を長時間使用する。そのため異臭の発生を抑制するためには、乾燥初期の温度を抑え、時間も短くするような方法を検討することが重要であると思われた。

IV まとめ

本研究では、ヒノキ材の高温乾燥時における香りの変質の要因として、異臭成分の生成に着目し、基礎的な知見を得るための実験を行い、以下の結果を得た。

- (1) ヒノキの心材部から得られた試験片に熱処理を加えると、処理温度、処理時間に応じてフルフラール、酢酸、ジアセチルといった異臭成分が生成することが確認された。
- (2) 異臭成分は、処理温度が120℃の時、100℃までの処理に比べ、生成量が大きくなることが明らかとなった。
- (3) 異臭成分は、100℃以上の処理温度の時、処理時間が増加するのに伴い、生成量が大きくなることが明らかとなった。

- (4) 熱処理時の含水率が高いほど、異臭成分の生成量が大きくなる可能性が示唆された。

今回行った実験では、熱処理中の含水率の変動を抑えるため、処理をオートクレーブにより行っており、実際の乾燥工程とは異なる。今後は実際の高温乾燥中における経時的な異臭成分の発生状況を明らかにする必要がある。それらの結果をもとに異臭の生成を抑制した乾燥方法について、具体的に検討したい。

引用文献

- 岡岡利幸(2011) 檜(ひのき). pp.175-201. 法政大学出版社, 東京.
- Manninen, A. M., Pasanen, P. and Holopainen, J. K. (2002) Comparing the VOC emissions between air-dried and heat-treated Scots pine wood. *Atmospheric Environment* 36: 1763-1768.
- 松田洋樹・北村啓・河崎弥生(2021) 日本木材学会中国・四国支部第32回研究発表要旨集. 15-16.
- 永田好男・竹内教文(1990) 三点比較臭袋法による臭気物質の閾値測定結果. 日本環境衛生センター所報 17: 77-89.
- 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.
- Ohira, T., Park, B. J., Kurosumi, Y. and Miyazaki, Y. (2009) Evaluation of dried-wood odors: comparison between analytical and sensory data on odors from dried sugi wood. *J wood Sci* 55: 144-148.
- 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.

樹木デンプンによる菌根性きのこの人工培養

藤原 直哉

Artificial culture of mycorrhizal mushrooms by tree starch

Naoya FUJIWARA

要 旨

藤原直哉：樹木デンプンによる菌根性きのこの人工培養 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報38：11-21（2023） 樹木デンプンの培地利用を目的として、アカマツ苗木の細根に由来するデンプンと、成木の内樹皮の利用を検討したところ、内樹皮をアルコール処理することにより、マツタケ菌糸の菌糸束を形成させることが可能になった。また、低濃度のフィチン酸を培地に添加することにより、マツタケ菌糸の成長が促進されることが確認された。さらに、感染苗への利用を前提に、広葉樹コンテナ苗の育成を検討した結果、培土の容量や組成、保水性について知見を得られ、界面活性剤の培地添加により、保水性が向上することが示された。そして、直射日光によるコンテナ内部の温度上昇を反射材によって抑制可能であること、市販の成長抑制剤による苗木のコントロールが困難であることが判った。その他、広葉樹コンテナ苗が凍結によって被害を受けやすいこと、林地への活着率が半数以上であること、防獣柵がイノシシやニホンジカには有効である一方で、ノウサギ等小動物に対しては課題があることがそれぞれ明らかになった。

キーワード：培地、フィチン酸、感染、コンテナ苗、内樹皮

I はじめに

岡山県は、全国3位のマツタケ生産量を誇る有数の産地である（岡山県 2021）。そのため、マツタケの人工培養に関する強い要望があり、また、ホンシメジ等他の菌根性きのこのについても、従来の自然発生だけでなく、さらなる増産が望まれている。こうした背景から、食用菌根性きのこの菌糸を、人工的に苗木に感染させた後、林地に植栽することにより、きのこの発生を促進する感染苗についても、量産化や育成技術の効率化が望まれている。そこで、菌根性きのこの感染苗について、効率的な量産技術を開発し、人工栽培の規模を拡大することとした。

また当研究所では、アカマツ特有のデンプンを培地に添加することにより、菌糸束を形成する（藤原 2020）マツタケの培養方法（特許6221039号）を開発した。しかし、天然物であるアカマツのデンプンを培地として用いる場合、菌糸の成長を阻害する化学成分が混入するなどの課題がある。そこで、細根の採取時期、マツタケ菌の培養方法を改良し、現在の菌糸束から原基形成への手掛かりを得るなど、マツタケの人工栽培には、一層の改良が必要である。

研究の実施にあたり、種菌の培養技術と感染苗の量産技術、感染苗の植栽試験の3つを目標とした。まず、種菌の培養技術について、マツタケ菌は、菌糸の成長が非常に遅く、培養期間が数カ月と非常に長いので、これを短縮する目的で、菌糸の成長促進作用を持つ化合物の施

用を検討した。本実験では、植物体内に含まれる貯蔵形態のリンであり、また、糖化酵素アミラーゼの活性を高めることが知られているフィチン酸（中谷 1996）を既存培地へ添加し、マツタケ菌への影響を調べた。

次に、樹木デンプンの採取源として、これまで、10年生以上のアカマツの細根を利用していたが、伐採や切り株の掘り起こし等の作業が伴い、煩雑であるため、その省力化を目的として、2年生苗木の細根からのデンプン分離と、その利用を検討した。同様の理由により、マツタケ培養用培地への添加物として、糖類などの光合成産物の通導組織として知られているアカマツ内樹皮の利用について適用性を調べた。

また、岡山県山林種苗協同組合と広葉樹コンテナ苗を育苗し、菌根性きのこの感染苗として育成した場合の、コンテナ容器の容量の適合性、培土の比較を行った。そして、苗木の成長阻害の原因となる高温について、コンテナ内部温度の抑制試験を実施した。

さらに、コンテナ苗の成長を調節する目的で、成長抑制について試験した。こうして育成したコンテナ苗については、現地植栽試験を進め、地域への技術定着に努めた。試験地の設定にあたり、シカやイノシシ等の獣害を防ぐため、防獣柵を設置し、その効果を検証した。

なお、本課題は、共同研究の外部知見活用型・産学官連携研究事業「樹木デンプンによる菌根性きのこの人工培養（2019～2021）」で実施した。

II 材料と方法

1. 樹木デンプンの利用

(1) 採取時期別培養試験

2019年の5月初旬と11月下旬、2020年の3月中旬に、所内のほ場で育成した2年生アカマツ苗木を掘り取り、細根を切断後、水道水で洗浄し、5日間自然乾燥した。その後、送風乾燥機(ADVANTEC FC-612)によって、40℃、12時間、送風乾燥処理を行った後、ハンマークラッシュャ(SANSHO NH-34S)で粉碎した。この粉末を水道水に懸濁し、1mm目のフィルターでろ過した懸濁液を沈殿させた後、上澄み液を廃棄し、沈殿物を冷蔵庫内で乾燥・固化させた。固化させた沈殿の粉末10gを、改変OH寒天培地(組成:イーストエキス1.0g/l、ハイポネックス0.5g/l、寒天12.0g/l、水酸化カリウムでpH5.1に調整。)1lに添加し、オートクレーブで120℃、10分間滅菌後、滅菌シャーレに30mlずつ分注し、アカマツデンプン添加寒天培地(以下、Ps培地とする。)を作成した。このPs培地に、OH寒天培地で前培養したマツタケコロニー(系統:NBRC108264)を、直径5mmのコルクボーラーで菌糸体を打ち抜き、接種した。これを、気温24℃、暗黒条件下で60日間培養した。

(2) フィチン酸添加培養試験

フィチン酸は、基質に含まれるタンパク質と結合することにより、 α -アミラーゼの無効吸着を抑制する効果がある。フィチン酸を、0,0.1,0.5,1.0mMの濃度で添加した改変OH寒天培地に、OH寒天培地で前培養したマツタケコロニー(系統:哲多79)を、直径5mmのコルクボーラーで菌糸体を打ち抜き、接種した。これを、気温22℃、暗黒条件下で60日間培養後、菌糸伸長量を測定した。

また、フィチン酸を、0,0.01,0.1,0.5mMの濃度で添加した改変OH寒天培地に、あらかじめOH寒天培地で前培養したマツタケコロニー(系統:美咲2016)を、直径5mmのコルクボーラーで菌糸体を打ち抜き、接種した。これを、気温24℃、暗黒条件下で50日間培養後、菌糸伸長量を測定した。なお、菌株の美咲2016は、保存菌株のなかで、最も伸長が遅いことを特徴としている。

次に、培養後のコロニー先端部を、コルクボーラー(直径5mm)で各10個を打ち抜き、その重量の3倍量(V/W)の蒸留水を添加後、室温条件下で3時間、往復振とう(100往復/分間)し、そのろ液を酵素活性測定試験に用いた。酵素活性の測定は、糖化力分別定量キット(キッコーマン)、 α -アミラーゼ測定キット(キッコーマン)を用い、それぞれの取扱い説明書に従った。なお、酵素反応時間は、45℃、2時間とした。

(3) 内樹皮培養試験

予備試験として、2020年11月に、所内の10年生アカマ

ツを伐採後、内樹皮を山菜採取用のコテで剥皮、採取した。これを短冊状(幅1.0cm×長さ5.0cm)に加工後、蒸留水3mlを添加した試験管に入れた後、120℃、10分間オートクレーブで滅菌した。この内樹皮を、マツタケ培養用の改変OH培地(イーストエキス1.0g/l、ハイポネックス0.5g/l、グルコース10.0g/l、寒天12.0g/l、水酸化カリウムでpH5.1に調整。)で継代培養中のマツタケコロニーに上置きし、気温24℃で培養した。

次に、2021年4~10月に、所内の18年生アカマツ林のアカマツを伐採後、内樹皮を剥皮した。この内樹皮を40℃の条件で送風乾燥した後、ハンマークラッシュャで粉碎し、粉末状に加工した。この内樹皮の粉末10g/lを改変OH培地に添加し、120℃、10分間オートクレーブで滅菌した。これを滅菌シャーレに30mlずつ分注後、前培養したマツタケ種菌を接種した。これを気温24℃で培養した。なお、内樹皮の粉末を、20倍容量(W/V)の80%エタノールに72時間浸漬後、20倍容量の水道水で3回リンス処理を行い、冷蔵庫内で乾燥させた加工品について、上記と同様に、マツタケ菌の培養試験を行った。

2. 広葉樹コンテナ苗の育成

(1) 界面活性剤の効果検証

培土の撥水性を抑制する目的で、農業分野で使用される界面活性剤は、粒剤、液剤など10種類以上の市販品が確認されたが、今回は比較的入手しやすい「サチュライド(粒剤、オーシャン貿易、以下、S剤)」を使用した。

市販の150cc容量コンテナ(JFA150,5×8=40孔)に、培土{鹿沼土(細粒)1:赤玉土(細粒)4:ピートモス5(体積比)、S剤15g/培土10L混合}を充填後、コンテナごと重量を測定した。また、それぞれ培土が飽和するまでかん水後、24時間経過後のコンテナ重量を測定し、含水率を求めた。供試数は、S剤を混合していないコントロールを含め、各3枚とした。

雑菌汚染を抑制するため無施肥とし、コンテナの底部には、粉碎バーク(真庭木材組合)を底敷きとして少量充填した(以下、同様。)

なお、(1)~(3)の試験は、2019年9月末から10月中旬まで所内で実施した。

次に、所内で採集したシラカシを、2019年11月に、S剤を添加した培土(ココピート)に播種し、2020年8月まで育成した。管理は、2020年3月下旬~同年5月中旬まで、所内の温室内で、適宜かん水し、その後、露地に移動した。施肥は、ハイポネックス(粉剤)3,000倍希釈液を、2週間に1回程度与え、発芽率を調査した。

(2) コンテナ容量比較試験

針葉樹の樹苗生産者が一般的に使用している市販の150cc容量コンテナ(JFA150,5×8=40孔)と、390cc容量コンテナ(LIECO,3×5=15孔)に、培土{鹿沼土

(細粒) 1 : 赤玉土 (細粒) 4 : ピートモス 5 (体積比), S 剤 15g/培土 10L 混合} を充填後, コンテナごと重量を測定した。また, それぞれ培土が飽和するまでかん水後, 24 時間経過後のコンテナ重量を測定し, 含水率を求めた。なお, 培土には界面活性剤として S 剤を混合した。供試数は, 各 12 枚とした。

広葉樹の育成では, 2019 年 11 月初旬～中旬に, 所内および津山市内の広葉樹林より, ナラガシワ, クヌギ, ウバメガシ, シラカシの種子を採集した。これらの種子は, 選別後, コンテナに直接播種したうえで, 適宜, かん水しながら育成した。供試数は, コンテナ各 1 枚を目安とした。

培土に用いたピートモスは酸性であり, きのこの菌糸に有害な細菌の繁殖を抑制する作用が強いと考えられたことから使用した。一方, ココビートは強い抗菌作用を持つフェノール性物質を豊富に含み, きのこの菌糸の繁殖を強く抑制する可能性が高いことから, 培土材料としては使用しなかった。

(3) コンテナ培土比較試験

390cc 容量コンテナ (LIECO, $3 \times 5 = 15$ 孔) に, 前述の鹿沼土, 赤玉土, ピートモス, S 剤を混合, 充填後, それぞれのコンテナ重量を測定した。その後, 各コンテナの培土が飽和するまでかん水後, 再度コンテナの重量を測定し, さらに, 24 時間経過後のコンテナ重量を測定した。供試数は, 各 12 枚とした。

広葉樹の育成は, 前述と同様に, ナラガシワ, クヌギ, ウバメガシ, シラカシを播種した。また比較として, 所内採種園より採取した抵抗性アカマツ, クロマツを播種した。なお, これらについては, 育成に一定の期間を必要とするため, 次年度以降の試験材料とした。

(4) コンテナ内部温度抑制試験

2020 年 5 月下旬～6 月初旬, 予備試験として, 150cc 容量コンテナ (JFA150, $5 \times 8 = 40$ 孔) に, 培土 {ピートモス 4 : 鹿沼土 (細粒) 1 (体積比), S 剤 15g/培土 10L 混合} を充填した。そして, コンテナの長辺方向の側面を, ラッカー系スプレー (白色) で塗装後, 直射日光が当たるように, 野外に南東向きで設置した。コントロールとして, 従来の黒色コンテナも設置し, 自動温度記録装置 (アンリツ, AM-8000) で, コンテナトレイ内の内壁の温度を, 各 6 反復で測定した。



図-1 アルミシート被覆によるコンテナ昇温抑制試験

次に 8 月中旬, これらのコンテナを, プラスチックダンボール (白色), アルミシートの 2 通りで被覆し (図-1), 前述と同様に設置し, コントロールとともに, 容器内の温度, 気温を各 3 反復で測定した。

(5) 成長抑制試験

2020 年 7 月下旬, シラカシ {150cc 容量コンテナ (JFA150, $5 \times 8 = 40$ 孔)} 各 30 本について, 樹高と地際径を測定後, 市販の成長抑制剤 (商品名: パウンティフロアブル, 以下, BF 剤) の 250 倍希釈液, 500 倍希釈液を 1 回散布した。コントロールとして BF 剤を散布しない散布無し区を設定した。その後, 12 月上旬に再度計測し, 成長量を比較した。

また, 2021 年 7 月中旬, BF 剤をコナラとクヌギについて適用し, 成長抑制剤の施用効果を調べた。コナラは, 2020 年度に播種した 1 年生コナラのコンテナ苗 24 本を用いたが, クヌギは, 2019 年度に播種した 2 年生クヌギのコンテナ苗 23 本を用い, それぞれの半数に, BF 剤の 500 倍希釈液を, 霧吹きで苗木全体が滴る程度, 葉面散布した。なお, 残り半数の苗木をコントロール (以下, コントロール区) とした。その後, 苗木の育成を 11 月まで続け, 落葉後, 苗木の樹高を測定して, 両者を比較した。

(6) 広葉樹コンテナ苗木育成試験

2021 年 9 月下旬, 390cc 容量コンテナ (LIECO, $3 \times 5 = 15$ 孔) に, ピートモス 5, 鹿沼土 (小粒) 1.5, 赤玉土 (小粒) 2, 赤玉土 (中粒) 1.5 (数値は体積比) を混合した培土に, S 剤 15g/培土 10L を添加し, コンテナトレイ 80 枚に充填した。これらに, 所内の広葉樹林から落下直後に採取した堅果 (コナラ 900 個, クヌギ 300 個) を播種した。その後, コンクリートブロックとハウス用鉄パイプで作成した, 空中根切り用架台に積載し, 育成した。2020 年度に播種した広葉樹コンテナ苗 (コナラ 300 本, クヌギ 300 本) については, 無施肥の条件下で, 秋期まで人力によるかん水を適宜行った。なお, 2021 年クヌギ 30 本と, コナラ 280 本を育成, 選抜後, 3 月中旬に, 上記のホンシメジ, コウタケ, バカマツタケの種菌をそれぞれ接種し, 温室内で感染苗を育成した。

3 接種試験

(1) コンテナ接種試験

2019 年 2 月下旬～4 月上旬に, ホンシメジの種菌を, それぞれコナラ 200 本, クヌギ 200 本のコンテナ苗に接種した。接種は, コンテナから苗木を引き抜いた後, 根鉢の細根繁殖部に, 脱脂綿の種菌 (図-2) を貼り付け, コンテナの育成孔に戻して密着させた。接種に際しては, 細根と種菌の菌糸繁殖部の接触に留意した。また, 4 月上旬に, コウタケの種菌を, クヌギ 50 本, バカマツタケの種菌を, クヌギ 50 本に接種した。そして 5 月下旬に, マツタケ種菌をアカマツのコンテナ苗 13 本に接種した。

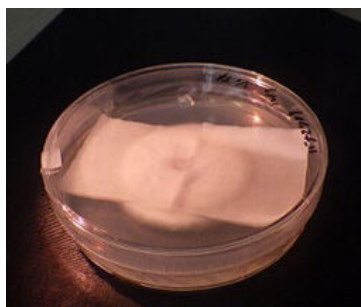


図-2 種菌の培養状況

(2) セルトレイ接種試験

2021年12月上旬、液体培地を含浸させた綿棒の種菌（マツタケ40本と、脱脂綿種菌（マツタケ24個、ホンシメジ48個、コウタケ18個、バカマツタケ22個）を、セルトレイ（216孔）で育苗したアカマツ苗木に接種し（セルトレイ感染法）、温室内で育成した。その後、6月下旬に感染状況を調べた。

4 広葉樹コンテナ苗の植栽試験

(1) 試験地への植栽

2019年6月下旬、赤磐市暮田地区（赤磐試験地）に、ホンシメジのコンテナ感染苗200本を植栽後、12月下旬に活着状況を観察した。また井原市芳井町西三原地区（井原試験地）に、感染苗200本を植栽した。さらに所内に、コウタケ感染苗6本、バカマツタケ感染苗3本を植栽した（表-1）。

2021年7月初旬～下旬、赤磐試験地に、ホンシメジ菌の感染苗41本を植栽した。さらに、所内の試験地に、感染苗木64本を植栽した。また、井原試験地にも、ホンシメジ感染苗82本を植栽後、2022年3月中旬に、環境整備施業を実施した。

表-1 感染苗の植栽（2019年度）

種名	樹種	本数(本)	植栽年月日	植栽場所
ホンシメジ	コナラ	100	2019/6/25	赤磐市暮田地内
	クヌギ	100	"	"
コナラ	コナラ	100	2019/6/27	井原市西三原地内
	クヌギ	100	"	"
コウタケ	クヌギ	6	2019/7/16	所内
バカマツタケ	クヌギ	3	2019/7/16	所内

(2) 防獣柵の設置

2019年6月初旬、赤磐試験地（面積900m²）に、防獣柵（トーアミ：いのししくん、うりぼう）を設置した。また、同年12月初旬、所内ガラス温室近傍のアカマツ伐採跡地（面積1,030m²）に、防獣柵を据え付けた。

2020年12月初旬、久米南町塩之内地区（久米南試験地）のアカマツ植栽地（面積48.1m²）に、上記と同様に防獣柵を取り付け、獣害の抑制を図った。

III 結果と考察

1. 樹木デンプンの利用

(1) 採取時期別培養試験

アカマツ2年生苗木の根から分離したアカマツデンプンを添加したPs培地によるマツタケ菌の培養は、5月、11月、3月のいずれの採取時期でも、マツタケ菌糸の成長が悪く、コロニーの形成には至らなかった。この原因として、アカマツデンプンに、抗菌作用を持つ化学物質が含まれており、マツタケ菌が生理障害を起こした可能性があった。この結果は、従来の成木由来のデンプンを添加すると、マツタケ菌の菌糸束が形成されることと比較し、菌糸の形態に差異がみられることから、アカマツ苗木の細根では、抗菌成分の除去などの二次加工が必要と考えられた。

(2) フィチン酸添加培養試験

予備試験の結果、培養後の菌糸伸長量は、フィチン酸の添加濃度が、0.5、1.0 mMの試験区で増加し、低濃度のフィチン酸の培地添加が、マツタケ菌糸の成長を促進する可能性が示唆された（図-3）。なお、2.0mM濃度の試験区では、培地の水素イオン濃度が低下し、培地が固化しなかったため、菌糸伸長量の計測は実施していない。次に、フィチン酸を、マツタケ菌糸の培地添加物として利用し、さらに検討した結果を図-4に示す。

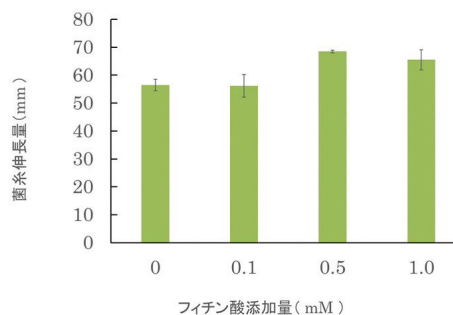


図-3 60日培養後の菌糸伸長量

注 エラーバーは標準偏差を示す

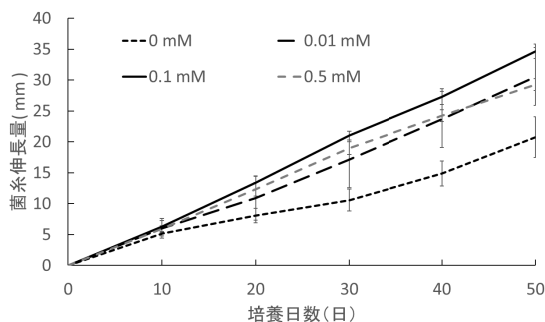


図-4 フィチン酸添加培地における菌糸伸長量

注 エラーバーは、標準偏差を示す

その結果、無添加（0 mM）に比較し、培養開始から20日間に経過する頃から、フィチン酸を、0.01mM、0.1mM、0.5mM添加した試験区で、菌糸の伸長促進効果を示すことが確認された。この結果を踏まえ、培養50日経過後の菌糸伸長量の比較した結果、いずれの添加量でも、有意にマツタケ菌糸が伸長したことが示された（図-5、6）。

次に、糖化酵素の活性を調べた結果を、図-7に示す。いずれの糖化酵素の活性も弱く、特に、 α -アミラーゼ、 α -グルコシダーゼの活性は非常に微弱であった。また、それぞれの酵素活性を、コントロールと0.1mMで比較した結果、有意差はみられなかった。これらのことから、マツタケ菌糸の成長が、糖化酵素の活性に影響を与えた可能性は低いと考えられ、むしろ、フィチン酸の培地添加によって、糖化酵素の無効吸着を抑制された結果、糖化反応に差が生じたものと推測された。フィチン酸は、植物成分として知られる化合物であることから、自然観環境中でマツタケ菌は、アカマツなど宿主の根に感染することによって、成長に必要な栄養の生産効率を向上させている可能性がある。

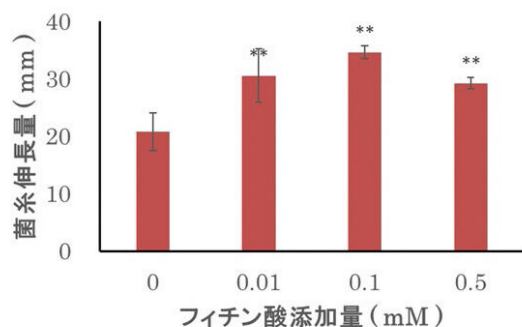


図-5 培養50日経過後の菌糸伸長量
 注1 ** は、1%水準で有意差があることを示す (t検定)
 注2 図中のエラーバーは標準偏差を示す

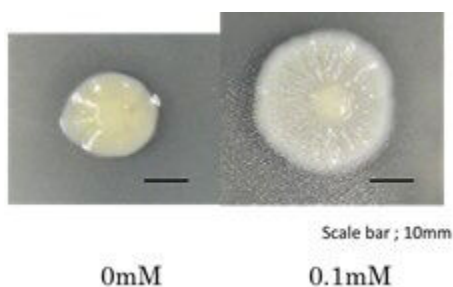


図-6 コロニーの比較（培養50日経過後）

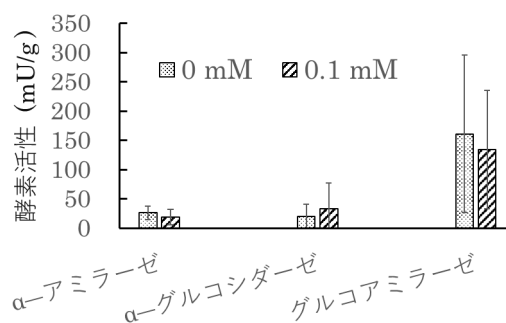


図-7 各糖化酵素の活性
 注1 コロニー1gあたりを示す
 注2 エラーバーは標準偏差を示す

(3) 内樹皮培養試験

予備試験の結果、培養開始から3か月経過後までに、マツタケコロニーから内樹皮への菌糸伸長、感染が確認された（図-8）。また、80%エタノールで洗浄処理した内樹皮を添加した試験区では、培養開始から30~40日後には、コロニーが顕著な菌糸束を形成した（図-9）。一方で、洗浄処理していない試験区では、コロニーの菌糸束は形成されなかった。この特徴は、アカマツ細根粉砕物を添加した時のマツタケコロニーと同様であった。これらのことから、洗浄処理によって、内樹皮に含まれる抗菌成分等が低減され、菌糸成長に影響を与えたものと推測された。アカマツ細根に由来するデンプンのほかに、内樹皮の細胞内にも、デンプン顆粒の蓄積が観察できたことと、加工した内樹皮の培地添加によって、マツタケ菌糸のコロニーに菌糸束が形成されたという結果は、今後、菌床栽培への足掛かりとしてなり得ると考えられた。

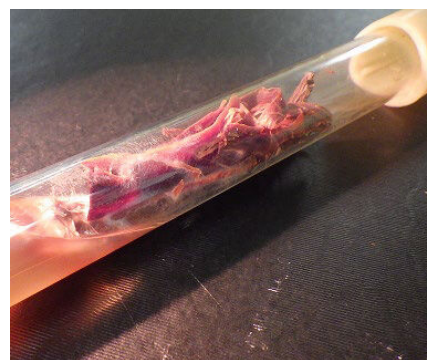


図-8 マツタケ菌糸の内樹皮への感染



図-9 マツタケのコロニーと菌糸束の形成

2. 広葉樹コンテナ苗の育成

(1) 界面活性剤の効果検証

コンテナ重量の平均値を、かん水 30 分経過後から経時的に示した(図-10, 11)。S 剤を混合した試験区 (S 区) と、コントロール (C 区) は、かん水 30 分経過後までは、共に 5,500 g 前後 (150%前後) に増加し、48 時間経過後までにやや減少したものの、約 1,800 g (145%前後, 45 g/孔) の水を包含し続けたことになる。この場合、コンテナ重量の 5% 程度の減少しか確認できなかったことから、非常に保水性が高いことが判明した。詳細な比較では、S 区が C 区を常に若干上回り、かつ標準偏差も小さく、安定した値を示した。S 剤の主な役割は、培土への浸透性を均一に保ち、滞水を防止することであり、過剰な水は排水されるが、保水性については、顕著な効果は得られないと考えられた。またコンテナ重量は、120 時間経過後に 1,000 g 弱 (125%前後, 25 g/孔) 減少し、保水性が大きく低下した。

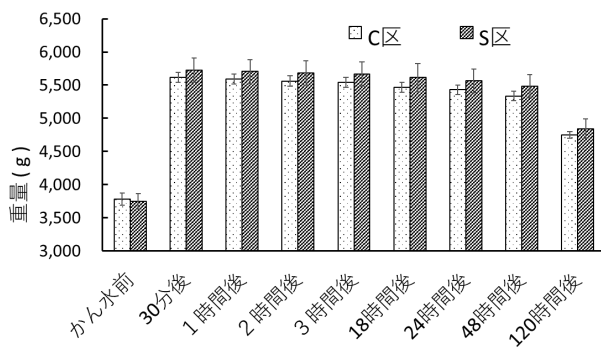


図-10 かん水後のコンテナ重量の変化 (150cc, 重量)

注 図中のエラーバーは標準偏差を示す

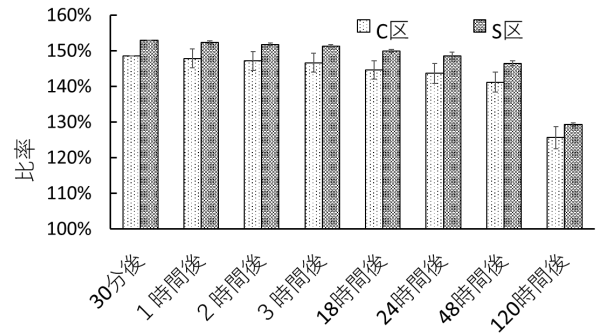


図-11 かん水後のコンテナ重量の変化 (150cc, 比率)

注 図中のエラーバーは標準偏差を示す

なお、初回のかん水後、S 区では、底面からの排水はわずかであったが、C 区では大量の排水が確認された(図-12)、二回目のかん水後も同様であり、S 区の培土は早急に湿潤化した。このことから、概算で、S 区では、150cc/個のかん水量を必要とした結果となった。一方、C 区の培土は、3 回かん水後によく湿潤化したことから、C 区では、225cc/個のかん水量を要したことになるため、S 区は、C 区の約 66.7%のかん水量で湿潤化した結果になり、約 33.3%の節水が可能であると考えられた。



図-12 かん水 2 回実施後のコンテナからの排水状況

次に、界面活性剤を用いた発芽試験の結果について、種子の模式図を図-13 に、各コンテナトレイ 3 枚 (3 反復) での結果を図-14, 15 に示す。シラカシの発芽率は、79.2% (平均値) となり、コントロールの 35.8% を優位に上回り、2 倍を超える値を示した。3 枚の合計でも添加区は、80.3% を示し、コントロールの 35.8% と、大きな差があった (2 群の差の検定, 有意水準 1% で, 有意差あり)。発芽の過程は、①種子が十分に吸水する ②胚がジベレリンを合成する ③デンプン分解酵素であるアミラーゼが合成され、それが種子のデンプンに作用することでグルコースなどの糖質が産生され、発芽成長に利用されることにより成立する。そのため、発芽率を向上さ

せるには、種子に十分に吸水させることが必要となる。

今回使用した界面活性剤は、本来、培土中の水分の分散性向上や、適度な保水性を保つ目的で添加されたものだが、その他の効果として、堅果種子の発芽を促進する可能性があることが示唆され、本試験で、界面活性剤を添加した試験区では、界面活性剤の撥水抑制作用によって撥水が抑制された結果、種子内部への吸水が促進され、発芽が促進されたと考えられた。

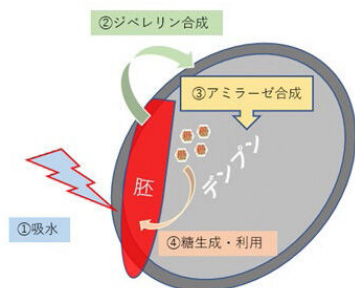


図-13 種子の発芽過程

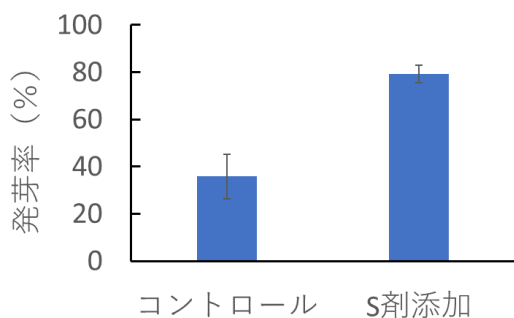


図-14 シラカシの発芽率

注 図中のエラーバーは標準偏差を示す



図-15 界面活性剤の添加効果

注 左側：コントロール 右側：界面活性剤 (S剤) 添加

(2) コンテナ容量比較試験

S剤を培土に添加した条件下でのコンテナ重量の比較では、150ccコンテナでは、かん水24時間後には約5,500g (約150%)、96時間後には、約5,000g (約140%)を維持することが可能であり、この間の減少割合は10%程度と軽微であった (図-16, 17)。390ccコンテナでは、

かん水24時間後には約4,100g (約140%)、96時間後には3,700g (約130%)を維持した。150ccコンテナと比較すると、それぞれ10%低い値を示した。390ccコンテナは、培土容量は大きい一方で、上部の開口部が大きいいため、培土表面からの蒸散が予想される。このことから、390ccコンテナを利用する場合は、150ccコンテナより早く乾燥する可能性が高いため、やや頻繁な水管理を必要とすると考えられた。

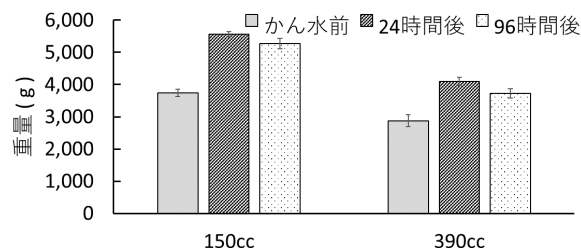


図-16 かん水後のコンテナ重量の変化 (容量別, 重量)

注 図中のエラーバーは標準偏差を示す

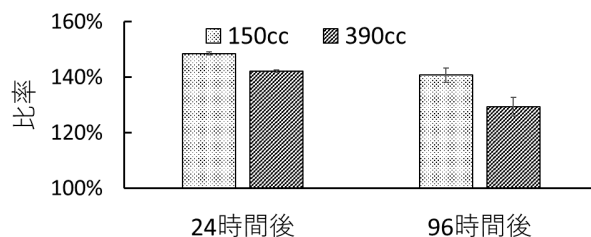


図-17 かん水後のコンテナ重量の変化 (容量別, 比率)

注 図中のエラーバーは標準偏差を示す

(3) コンテナ培土比較試験

390ccコンテナについて、培土の混合割合別のコンテナの重量の変化を、図-18に示す。かん水前のコンテナの重量は、鹿沼土3割+赤玉土7割の場合に最も大きく重くなり、逆に、鹿沼土5割+赤玉土5割の場合に最も小さくなったが、その値は、2,732~2,919gと、約200g (13.3g/孔)程度の差であった。また、かん水24時間経過後には、3,901~4,125gとなり、その差は224g (14.9g/孔)程度であった。かん水96時間経過後では、3,475~3,747gとなり、その差は272g (18.1g/孔)と徐々に広がった (図-19)。かん水前に比較し、かん水後のコンテナ重量は、24時間後では、1.41~1.44、96時間後では、1.23

～1.29 と、いずれも大きな差は無かった。

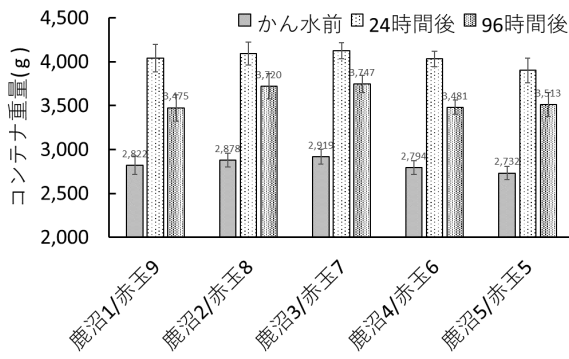


図-18 かん水後のコンテナ重量の変化 (390cc, 重量)
注 図中のエラーバーは標準偏差を示す

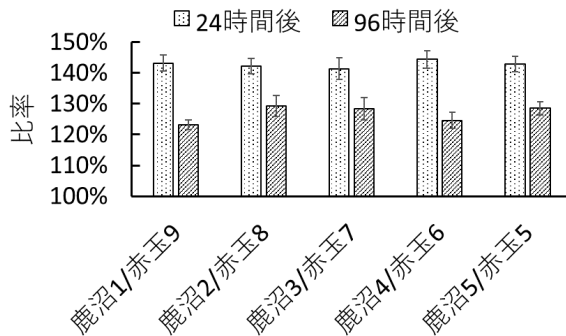


図-19 かん水後のコンテナ重量の変化 (390cc, 比率)
注 図中のエラーバーは標準偏差を示す

(4) コンテナ内部温度抑制試験

白色塗布したコンテナトレイの内壁は、コントロールと比較し、測定開始後3時間は、0.5～3.0℃程度、気温の上昇が抑制されたが、その後、気温ピーク時となった12:45頃には、ほぼ同値となった(図-20)。そのため、最高気温が32℃前後までの範囲に限定した条件下では、気温上昇を抑制する効果が見込めるものの、恒常的な気温上昇抑制効果は期待できないと考えられた。特に、コンテナトレイ育成時に、根系への被害が大きくなる高温時の気温上昇については、顕著な効果は期待できなかった。2回目の試験では、最高気温が36℃に達した後、徐々に下降を始めた後も、コントロールの黒色コンテナ内部の温度は、時間の経過とともに上昇し、最高温度41.7℃に達した(図-21)。この結果は、コンテナトレイや培土に蓄熱性があり、一旦、温度が上昇すると、気温を容易に超えることを示しており、その結果、育成している苗木の根系に、高温障害が及ぶ可能性が高いことを示唆している。その一方で、プラスチックダンボール製の白

板、アルミシートの被覆処理では、35℃以上の温度上昇は抑制することが可能であることが判明した。このうちアルミシートは、顕著な温度抑制効果を示し、コストも7.3円/枚・コンテナと安価なうえ、コンテナトレイへの設置も容易であった。このことから、温度抑制を目的とする反射材としての実用性は高いと考えられた。

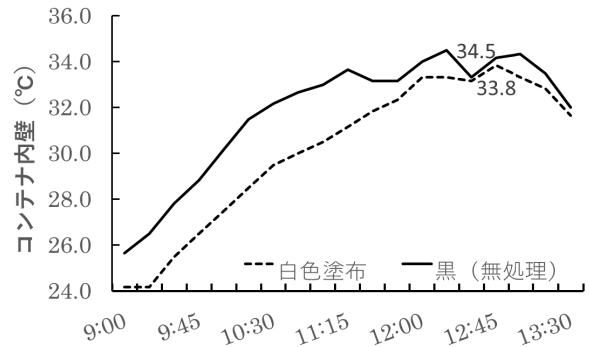


図-20 コンテナトレイ内壁の温度

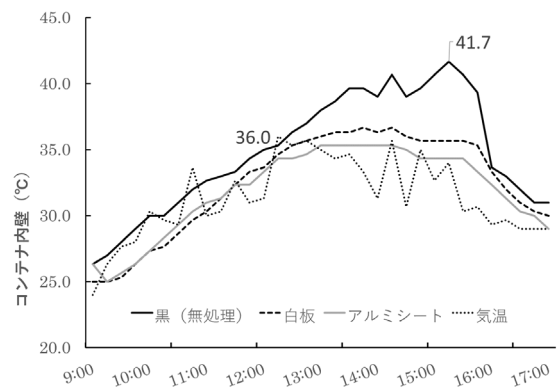


図-21 被覆処理によるコンテナトレイ内部温度の変化

また、今回得られた温度データと気温との相関を取ったグラフでは、コントロールは気温36℃付近で、コンテナトレイの内壁温度が40℃を超える(図-22)のに対し、アルミシートでは、気温とほぼ同じ数値を示している(図-23)。このことは、アルミシートの被覆によって、コンテナトレイの根鉢の温度上昇が4～5℃抑制されることを示しており、直射日光の反射が、温度上昇の抑制に効果的であることを意味している。個々の値を注視すると、特にコントロールでは、気温が32℃付近にある場合でも、コンテナ内壁が40℃を超える場合もあり、直射日光による苗木への悪影響が懸念される。このため、梅雨時期が終了し、気温が上昇する7月中旬から9月初旬頃まで、直射日光を受ける面の対策として、アルミシート被覆等による直射日光の遮断が必要と考えられた。

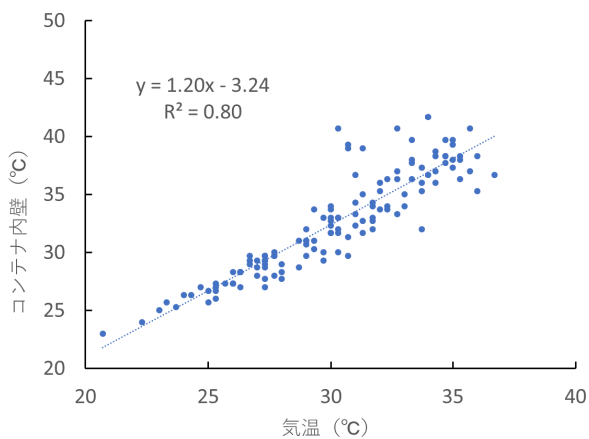


図-22 気温とコンテナ内壁温度の相関 (コントロール)

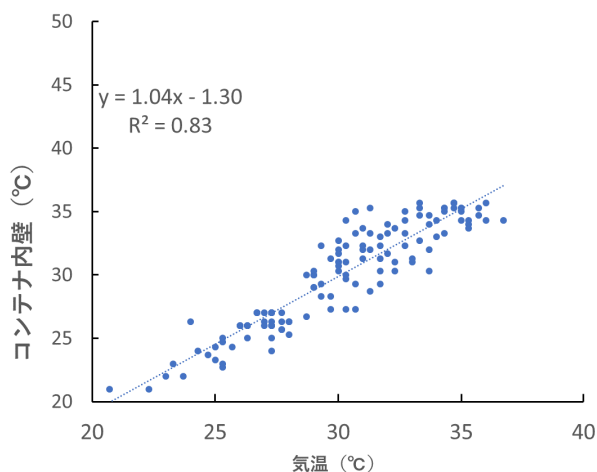


図-23 気温とコンテナ内壁温度の相関 (アルミシート)

(5) 成長抑制試験

2020年の試験では、シラカシ各30本について、樹高の測定結果(平均値)では、BF剤を散布していないコントロール区の成長率が最も高く、1.26倍となった(図-24)。次に、BF剤の500倍希釈区が、1.2倍となった。また、BF剤の250倍希釈区は、1.16倍と最も成長率が小さくなったが、コントロールや500倍希釈区との差は小さく、有意差もなかった(t検定)。250倍希釈区、500倍希釈区ともに若干の伸長は確認されたことから、伸長を完全に抑制するのではなく、伸長の程度をやや抑えることが判った。その他、地際径については、コントロール区が1.23倍、BFの250倍希釈区が1.2倍、0倍希釈区が1.18倍と、樹高と同様の傾向があった。地際径についても有意差は無く、シラカシを使用した今回の抑制試験では、効果が認められなかった。コンテナ苗は、根鉢の大きさ、及び容量が固定

している一方で、地上部の成長が著しい場合、植栽後の成長が低下する場合があります、地上部と地下部のバランスや、樹高のコントロールが課題となる。今回は、成長抑制剤によるコントロールを試みたが、明確な差がみられなかったため、切断処理など、他の方法を検討する必要があると考えられた。

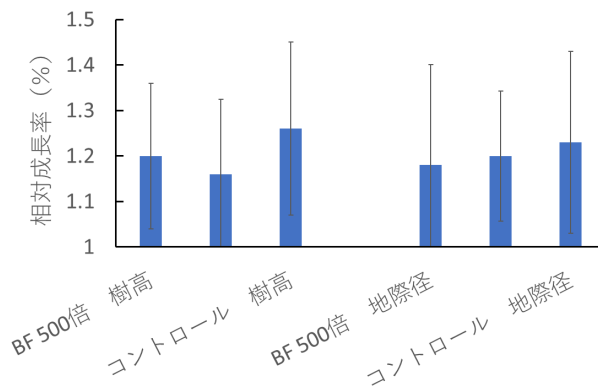


図-24 BF散布後のシラカシコンテナ苗の成長
注 図中のエラーバーは標準偏差を示す

また、2021年の試験では、コナラ樹高の測定結果(成長率の平均値)では、成長抑制剤を散布していないコントロール区の苗木では、相対成長率が11.9%となり、BF散布区の12.3%と、有意な差はみられなかった(t検定、有意差なし)。またクヌギでは、コントロール区の相対成長率は、5.1%となり、BF散布区の相対成長率3.6%と有意な差はみられなかった(t検定、有意差なし)。今回のコンテナ苗は、菌根菌の感染を目的としており、害菌の感染を予防するため、無施肥条件下で育成した。その結果、コナラ、クヌギ、いずれの樹種でも、樹高の成長率は低い値を示し、苗木がほとんど成長しなかった。このことから、無施肥条件下では、成長に必要な栄養源が無いために、伸長成長がほとんど無く、成長抑制剤の効果がみられなかったものと考えられた。

(6) 広葉樹コンテナ苗木育成試験

コナラとクヌギの堅果播種後、2020年12月末までには、それぞれの発根が確認された。今回、落下直後の堅果を採取したため、虫害は確認されなかったが、2021年5月中旬までの育成で、クヌギは根系の壊死により、全数が枯死した。これは、前年度には発生しなかった現象であったが、2021年の2月には、気温が-3℃を下回る日が6日あり、この影響によって、コンテナ内に伸長したクヌギの根系が凍結、壊死したものと考えられた。一方、コナラについては、一部の苗木に壊死が確認されたものの、260本が生存したため、引き続き育成したが、2022年

3月までに、大半が枯死した。これらのことから、コナラやクヌギのコンテナ苗については、冬期間、野外での育成は、枯死の危険性が高いため、温室内で育成するなど、凍結への対策が必須と考えられた。

3 接種試験

(1) コンテナ接種試験

接種試験の結果、150ccコンテナでは、種菌に糸状菌が繁殖し、根鉢表面の細根に感染している状況が観察できた(図-25)。これらの糸状菌は、接種したきのこの菌糸と推測されたため、植栽試験に供試した。また、マツタケ菌の接種では、1本のみ、根鉢表面の細根に、糸状菌の感染が確認され、コンテナ苗を利用したマツタケ菌の感染の可能性が残された(図-26)。そのほかに、390ccコンテナ苗に接種を試みたが、苗木の細根が根鉢表面に伸長しにくく、接種後の感染状況の確認が困難なため、観察による感染の発見頻度を高めるためには、150ccコンテナ苗の利用が適していると考えられた。



図-25 コンテナ苗の接種試験



図-26 アカマツコンテナ苗の根に感染した糸状菌

(2) セルトレイ接種試験

セルトレイで育成したアカマツ苗への接種試験では、綿棒種菌については、いずれの糸状菌の繁殖も認められなかった。しかし、脱脂綿種菌では、ホンシメジを接種

した試験区で、接種した48個のうち6本に、糸状菌の感染が認められた(図-27)。セルトレイは、比較的短期間に、根鉢表面に細根を繁殖可能な育苗資材と考えられ、入手しやすいことから、改良によって感染苗の育成に利用できると考えられた。



図-27 セル苗への感染状況

4 広葉樹コンテナ感染苗の植栽試験

(1) 試験地への植栽

2020年6月下旬に、赤磐試験地を調査したところ、ほぼ全個体が活着していた。その後、8月下旬に調査したところ、ホンシメジのコンテナ感染苗の活着率を調査したところ、クヌギは66%、コナラは72%であった。井原試験地では、広範囲に植栽されているため、各所有者からの聞き取り調査を実施しているが、現在のところ、きのこの発生は確認できていない。

(2) 防獣柵の設置

防獣柵設置後(図-28)、2022年3月下旬までの観察では、赤磐試験地における苗木の被害は、苗木の軸部に途中まで枯損している個体が一部に認められた。イノシシやニホンジカ等の侵入は困難なことから、防獣柵の格子状の網目から侵入可能なノウサギ等小型の野生動物による噛み切り被害と考えられた。その他の所内、久米南町にそれぞれ設置した植栽試験地では、苗木の被害は確認されていない。



図-28 設置した防獣柵(久米南町)

IV おわりに

今回、樹木デンプンの安定的な培地利用を目的として、アカマツ苗木の根を材料とするデンプンの利用を試みたが、マツタケ菌の成長は抑制されることが判った。しかし、フィチン酸を低濃度で培地に添加することにより、マツタケの菌糸成長が促進されること、アカマツの内樹皮を粉碎後、アルコール処理することで、細根由来のデンプンと同様に、マツタケ菌糸が菌糸束を形成することが確認された。これらの結果は、新たに培地の添加物として樹木の内樹皮が利用できることを示した。

また、広葉樹コンテナ苗の育成を目標に、界面活性剤の効果、コンテナ容量、培土組成等について、主に、コンテナ重量を指標とした保水性の検証を行ったところ、界面活性剤には弱い保水性向上効果があること、コンテナ容量ごとの保水性、培土の組成別の保水性などが明らかになった。これらの結果から、実際のかん水の頻度について検討すると、5日間隔のかん水は、培土の乾燥を招き、苗木に大きなダメージを与える可能性があるため、今回使用した培土では、2～3日間隔のかん水が望ましいと考えられた。

次に、広葉樹コンテナ苗の育成を目標に、堅果に対する界面活性剤の発芽促進試験、コンテナ内部温度の抑制試験、成長抑制試験および広葉樹コンテナ苗木育成試験を実施した。その結果、シラカシ堅果種子に対し、界面活性剤が顕著に発芽率を向上させる効果を持つことが確認された。このため、従来の播種作業と比べ、不発芽によるコンテナ苗のロスを抑え、管理コストを低減させることに繋がると思われた。そして、コンテナ内部温度の抑制試験では、アルミシートの設置によって、高温期のコンテナ内部の温度上昇を5℃以上抑制できることが可能であることを示した。これまで直射日光にコンテナ側面が晒されることによるコンテナ苗の枯死について、その対策が模索されてきたが、本試験によって高温対策を示すことができたことは、今後のコンテナ苗の生産事業の拡大を進めるうえで、一つの成果と考えられた。また、コンテナ苗の成長抑制技術については、コンテナ感染苗の量産を目標とした育苗技術の一つとして、今回試験したものであるが、顕著な効果を示さなかったため、今後の課題としたい。特に、これまでの広葉樹コンテナ苗育成試験により、コナラやクヌギについては、冬期間の凍結により、根系の壊死が発生しやすい傾向があることが確認されたことから、寒冷な地域では、冬期間の管理に注意を払う必要があると考えられた。

コンテナによって育成された感染苗の林地への活着については、植栽した苗の半数以上が活着したものの、一定の枯死が発生することが判った。

なお、今回、設置した防獣柵については、イノシシやシカの侵入は、苗木への被害は確認されなかったものの、

小動物による噛み切り被害が発生したことから、今後、格子状の網目への侵入防止対策が必要となることが把握できた。

菌根性きのこ感染苗の育成には、従来は、苗木を無菌条件下で育成することに重点が置かれてきたが、自然条件下では他の微生物と競合する中で、宿主樹木への感染がなされている。今回の研究では、殺菌処理を行わない条件の下でも、コンテナなどの容器を利用することにより、比較的容易に感染苗を育成することが可能となることが示された。今後は、植栽後のコンテナ感染苗の活着や、菌根性きのこのシロ形成状況、そして、きのこの発生を促進する技術等が重視されてゆくことが推測され、きのこが発生しやすい環境を、どう維持するかが焦点になると考えられた。

なお、岡山県山林種苗協同組合には、広葉樹苗木の育成に、多大なご協力を賜り、感謝する。

引用文献

- 藤原直哉（2020）マツタケの省力栽培技術の開発. 岡山県森研報 35: 2-5.
- 中谷俊多美ら（1996）清酒醪の並行複発酵に及ぼすフィチン酸及びその関連化合物の影響, 日本醸造協会誌, 91 : 527-532
- 岡山県特用林産流通統計（2020）作目別生産量：19pp

高齡級人工林の資源量推定に関する研究 (I)

牧本 卓史

Prediction of timber volume on mature artificial forest

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 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報38：22-29 (2023) 航空機レーザー計測により取得された地形情報を用いて、スギ・ヒノキ人工林の成長と地形条件の関係を明らかにすることにより、従来の成長モデルを補正し、より高精度の森林資源量予測を行う手法を検討した。解析に供した、スギ2,452林分、ヒノキ2,636林分の30m四方のサブコードラートで、地形パラメータとそれぞれの林分の成長動態を解析した結果、両種とも標高800m付近に成長の良否が分かれる境界値が認められ、高標高地域については従来の成長曲線を補正して予測することで精度が向上することが分かった。またスギの場合は地形湿度指数、地形起伏指数及び斜度で、ヒノキの場合は地形起伏指数、斜度及び日照条件で同様の傾向が認められ、それぞれ成長曲線の補正係数を決定した。これらの方法により、従来よりも小さい誤差で人工林資源量の推定が可能になったことに加えて、詳細な地形情報が立地条件を説明するひとつの因子となり得ることが示唆された。

キーワード：GIS, 航空機レーザー計測, 高齡級人工林, 資源量推定

I はじめに

全国的に多くの人工林が主伐期を超え、岡山県内でも人工林の齡級構成は高齡級に偏りつつある。人工林資源の持続的な利用と森林に求められる様々な機能の効果的な維持のためには、これまで以上に計画的な森林の利用と管理の必要性が高まっていると言える。森林を計画的に管理するためには、森林や林地の特性を知ることが重要であり、とりわけ、その森林の成長特性や資源量を把握することが強く求められる。

包括的な森林の管理については、地域森林計画や市町村森林整備計画に沿って実施されるが、これらの計画の基礎となっている材積等、成長予測やそれに基づく各森林の資源量推定には、一般に地域森林計画の付属資料として県が整備した森林簿や林分収穫予想表が利用されている。森林簿に使用されている森林情報の多くは、昭和中期から始まった編成調査によるものであり、その成長予測は、かつて林分収穫予想表が調整された当時の成長モデルに基づいている。成長モデルは、一般的に各樹種の構成する林分の平均的な成長過程を表現したものであり、必ずしも立地や施業履歴等の特性を反映した個々の林分の状況を正確に表すことはできない。そこで、各林分の樹高成長に基づく地位級を決定し、地位級ごとに予測を行うことでその誤差の軽減を図っている。また、人工林の成長予測は、主に標準伐期齢までを基本として算出されたものであり、それを超える林齢における算出値の信頼度は必ずしも高いとは言えないことから、各所で

長伐期に対応した林分収穫表の改訂が行われている(木戸口ら 2007, 山下ら 2017)。当森林研究所でも、150年生までに対応した林分収穫予想表を作成した(牧本ら 2005)。

森林簿は、大面積かつ長期にわたる森林管理の方向性を決定する上で一定の役割を果たしてきた。一方で、個々の事業者が個別の林分の施業を計画する時、或いは短期的な林業経営を考えると、森林簿の数値を参照する場合があるが、こういった場合には前述のとおり個々の林分データの誤差がしばしば問題にされる。

昨今は、森林におけるレーザー計測とその解析の技術が向上し、広域の大まかな森林情報を、比較的詳細な地形情報とともに把握することが可能になりつつある。とりわけ、地形情報については、これまで地位という概念で表してきた立地条件を、より具体的かつ定量的に表現できる手法が開発されている(Kopecký *et al.* 2020, Reu *et al.* 2013, Riley *et al.* 1999,2017, Rózycka *et al.* 2016, Sorensen *et al.* 2006)。廣瀬ら(2016)は、数値地理情報から算出した地理情報を基に、地位を推定する試みを行った。また、関子(2010)は、数値地形解析によるいくつかの地形条件が地位の分布を説明しうることを示唆した。

本研究では、航空機レーザー計測により取得され、解析が行われた人工林の林況と、同時に取得された地形情報を用いて、人工林の成長と資源量に影響を与える地形

条件を検討し、従来の成長モデルを補正することで、人工林資源量の予測精度を高める方法を開発することを目的とした。

なお、本研究は、2019～2023年度の期間で実施している単県課題「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、本報告は、主に地形情報を用いた成長曲線の補正方法について取りまとめたものである。

II 調査方法

1. 解析供試データの抽出

本研究では、2018年に新庄村が実施した航空レーザー計測成果を、新庄村から提供を受けて用いた。当該成果は、数値地理情報 (Digital elevation model, 以下DEMという) とそれに基づく標高区分図等の地形解析結果及び森林解析の結果を含む。一般に、航空レーザー計測による森林解析は、樹頂点の抽出に始まり、抽出された樹頂点と地表高との差から樹高を算出し、樹頂点を基準として判読した樹冠面積等から胸高直径を推定する (伊藤ら 2008,2011)。また各樹冠の色相を解析し、樹種を決定している。従って、樹頂点抽出の精度がその後の解析成果の精度を大きく左右するが、樹頂点抽出の精度を高めるためには膨大な時間と費用を要するため、通常は大面積の資源量の傾向を大まかに知るための解析では、極めて細かい樹頂点判定の修正は行われない場合が多い。本研究に用いたデータでも、詳細にわたって樹頂点をみていくと、相当数の錯誤判読があることが分かった。また、航空レーザー計測のデータのうち、林齢については森林簿の値が与えられているが、森林簿の記載と解析結果の樹種が異なる林分では与えられた林齢の信頼性が極めて低いと考えられる。しかし、成長動態を解析するためには、ある程度信頼できる林齢のデータが不可欠である。そこで本研究では、全体のデータから、樹頂点の錯誤判読の起こりやすい林縁部や針広混交林を除いた上で、比較的信頼度の高い林齢を参照するために、実際の樹種と解析結果の示す樹種が異なる林分と広葉樹が混交した林分をできる限り除外した上で、計測範囲全体を30m四方のメッシュに分割し、①メッシュの全てが解析結果の示す単一の樹種のまとまり (以下、林相区分という) に含まれること、②そのメッシュの全てが単一の小班単位に含まれること、③そのメッシュを含む林相区分の樹種が森林簿に記載された小班の樹種と一致すること、の3点全てを満たすメッシュをサブコードラートとして抽出し、森林簿の該当する小班に記載された林齢を付与することで解析に供することとした。抽出した林分については、著者ら (2005) が調整した長伐期対応型の成長曲線との適合度を確認した。

2. 地形パラメータと林況の解析

DEM と森林解析の結果の一部を使用して地形パラメータを生成するとともに、これらとスギ・ヒノキ人工林の林木の成長と資源量との関係を解析した。

生成した地形パラメータは、DEM から直接読み取ることができる標高の他、地形湿潤指数 (Topographic wetness index, 以下、TWI という)、地形起伏指数 (Terrain ruggedness index, 以下、TRI という)、斜度、日射量とした。各地形パラメータは、2種の GIS ソフト (ESRI 社製 ArcGIS Spatial Analyst, QGIS) の解析ツールを用いて算出し、解析林分を表すポリゴンのラスタ一平均値をその林分の代表値とした。

次に、各解析林分の平均樹高及び平均胸高直径の年平均相対成長率 (Annual Relative Growth Rate, 以下、ARGR という) を算出した。算出した ARGR について、地形パラメータ毎に相関解析を行った。地形パラメータと ARGR との間に相関が認められない場合には、地形パラメータの値を任意の境界値で分け、それぞれの区分ごとの ARGR の分散を分析し、分散が一定程度小さい区間を抽出した上で、分散の小さい区分の集団について従来モデルを補正する係数を決定した。

III 結果と考察

1. 解析供試データの抽出結果と林分の概要

航空機レーザー計測成果に基づく森林解析による新庄村内のスギ、ヒノキの面積は、それぞれ1,365.4ha、1,378.6haで、森林簿に記載された面積は、スギ1,162ha、ヒノキが1,600haであった (岡山県林政課 2018)。森林解析では、それぞれの小班について、樹種毎の優占度に応じて面積を算出している。森林簿でスギと記載されている小班の第1優占種がスギである面積比は、696haで全体の59.9%であった。第2優占種まで含めた場合でも、森林簿と解析結果が一致するスギ林分の面積は743haで全体の63.9%であった。同様に、ヒノキの場合も、森林簿と第1優占種が一致する林分面積は907haで全体の56.7%であり、第2優占種まで含めた場合が、1,025haで64.1%となった (表-1)。本研究に供した解析成果の、樹種の判読については主に色調を解析して行われているが、現地確認を行うと判読樹種の錯誤がある林分も散見された。一方で、森林簿の単一小班の中で、スギとヒノキが混交している林分について、解析の結果区別されたものも一定数あると考えられた。

極力正確な林齢のデータを森林簿から参照するために、森林簿と樹種の一致する30m四方のサブコードラートを抽出した結果、スギ2,452 (220.7ha)、ヒノキ2,636 (237.2ha) が該当した (表-2)。抽出されたスギのサブコードラートは、31～92年生で、平均立木密度は623本・ha⁻¹、平均材積は466m³・ha⁻¹であった。同様にヒノキは、7～

表-1 新庄村における森林簿記載の人工林面積とLiDAR解析による森林面積

森林簿		第1優占種			第2優占種		
樹種	面積(ha)	樹種	面積(ha)	割合(%)	樹種	面積(ha)	割合(%)
スギ	1,162	スギ	696	59.9	スギ	47	4.0
		ヒノキ	109		ヒノキ	93	
ヒノキ	1,600	スギ	226		スギ	191	
		ヒノキ	907	56.7	ヒノキ	118	7.4
その他	2,747	スギ	68		スギ	87	
		ヒノキ	57		ヒノキ	115	

※ "割合"は、森林簿記載の樹種と解析による樹種が一致した面積割合を表す。

表-2 解析に供したスギ・ヒノキ林分サブコドラートの概要

樹種	サブコドラート数	林齢 (範囲,年)	平均立木密度		ha当たり平均材積		平均樹高		平均胸高直径	
			(本・ha ⁻¹)	範囲(本・ha ⁻¹)	(m ³ ・ha ⁻¹)	範囲(m ³ ・ha ⁻¹)	(m)	範囲(m)	(cm)	範囲(cm)
スギ	2,452	31~92	623	33~1,833	466	27~1,040	23	10~34	33	16~52
ヒノキ	2,636	7~87	1,034	200~2,411	303	1~837	16	4~28	23	7~43

87年生で、平均立木密度は1,034本・ha⁻¹、平均材積は303m³・ha⁻¹であった。いずれも、2005年に長伐期に対応した林分収穫予想表を再調整するために使用した毎木調査による実際の林分のデータよりかなり広い範囲をもっていた。このことは、個々の林木の解析精度の問題とともに、他樹種の混交や施業等の利用履歴の様々な林分が混在していることに起因していると考えられる。

解析に供したスギ、ヒノキの林分について、著者ら(2005)の長伐期に対応した成長曲線との適合度を検討した(図-1)。スギでは、平均樹高及び平均胸高直径

の決定係数R²がそれぞれ0.36、0.35であり、また、ヒノキでも、平均樹高及び平均胸高直径の決定係数R²がそれぞれ0.44、0.46と、当初期待していたよりかなり低い結果となった。両種とも、平均樹高では、概ね分布の中心付近を成長曲線が通っていることから、決定係数が低かったことについては、成長曲線そのものの問題というより、それぞれの林齢で非常に大きなばらつきが生じていることに起因していると考えられた。また、平均胸高直径では、同様に若齢時からおおきなばらつきを持っているが、成長曲線は分布の中央よりもやや下側にずれて

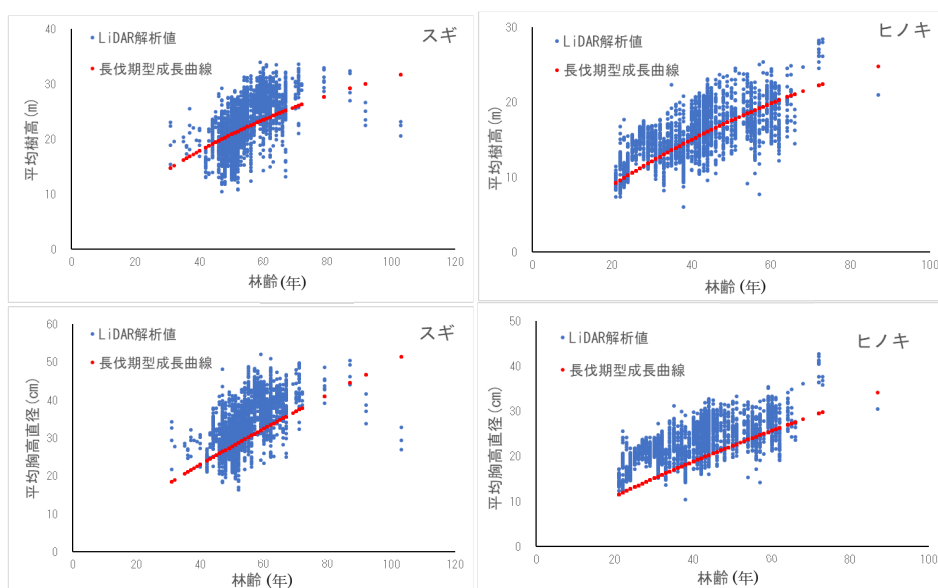
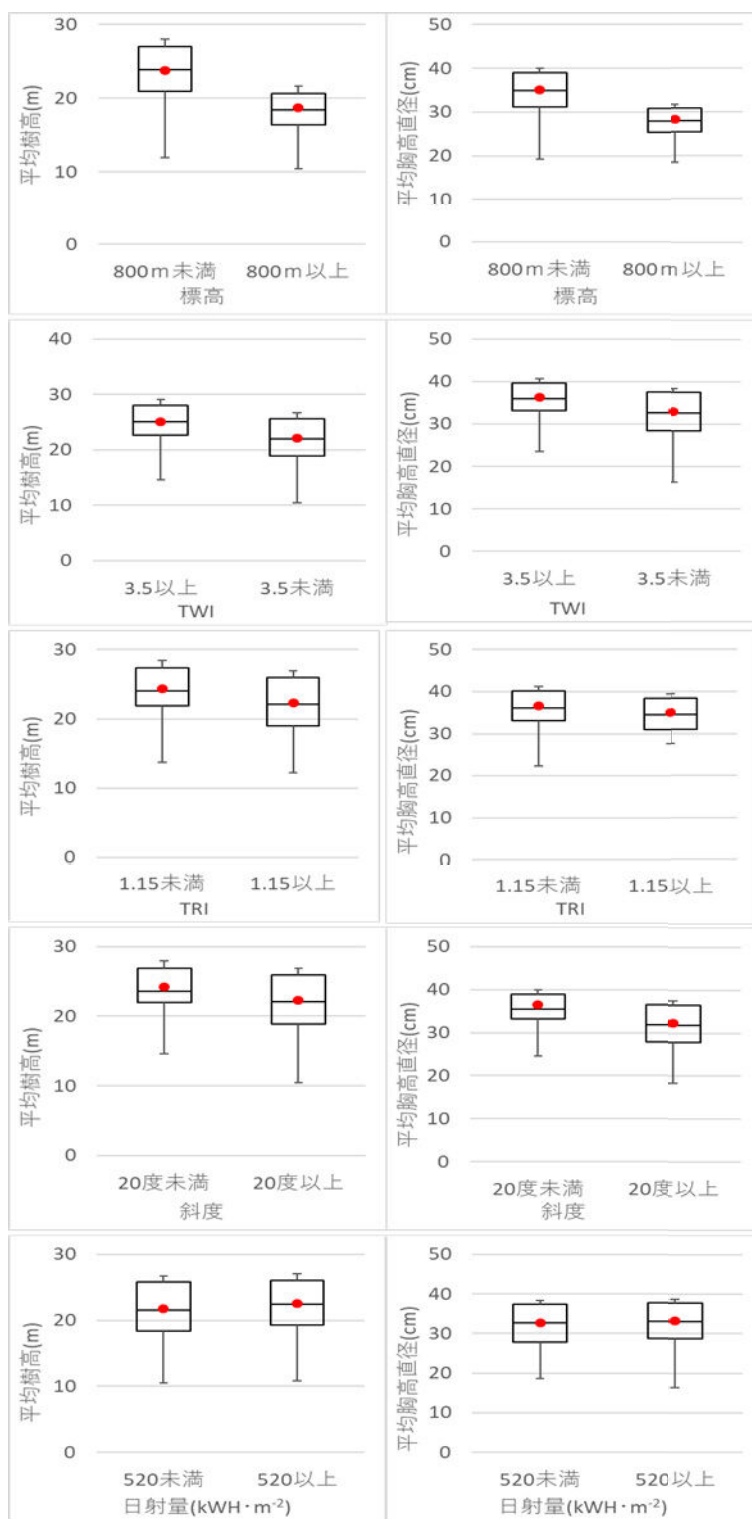


図-1 供試林分の林齢と平均樹高及び胸高直径の関係

いた。このことは、供試林分の平均胸高直径が県下全域で調整した成長曲線によって期待される予測値よりも高いこと、すなわち、やや成長が良好な林分が多いことが示唆されたと考えられる。いずれにしても、著者らが2005年に取りまとめた、毎木調査に基づく解析結果と比べて若齢時から大きなばらつきを持っている点については、今回の多量なデータに樹種の錯誤判読や林齢の錯誤があることが関係している可能性がある。今回の報告で

は調査例が少ないためデータで示さないが、実際の間伐現場に残された伐根から樹齢を判読した結果、50年生以上の林分では、森林簿の林齢と比べて10年程度の誤差が生じている林分が散見された。一方、2005年の報告で使用した毎木調査林分のデータは、現に施業が行われているか、施業履歴の明確な林分を中心に収集したものであり、今回の供試データのように、広範囲の施業履歴も様々な林分を網羅的に集めたものではないため、実際の林



図ー2 地形パラメータの境界値で区分したスギ林の平均樹高及び平均胸高直径の比較

地においては今回のような大きなばらつきが生じていることが不自然とは言い切れない。このようなことから、本研究の解析では、これらの林分データ全てをこの後の地形条件との解析に供することとした。

2. 地形パラメータと林況の解析

スギの平均樹高及び平均胸高直径の ARGR と各地形パラメータの間に明確な相関は認められなかった。しかし、

これらのばらつきの中で分布の幅が小さくなっている区間を見出すことができると考え、それぞれの地形パラメータの平均値を任意の数値で2つに区分し、それぞれの ARGR を比較し、最もその差が大きくなる境界値を探索した。その結果、標高、TWI、TRI、斜度の4つのパラメータについては、ある境界値で分けたときに、その上下で ARGR に有意な差が認められた (Welch の t 検定、図-2、表-3)。また、上記4つの地形パラメータで

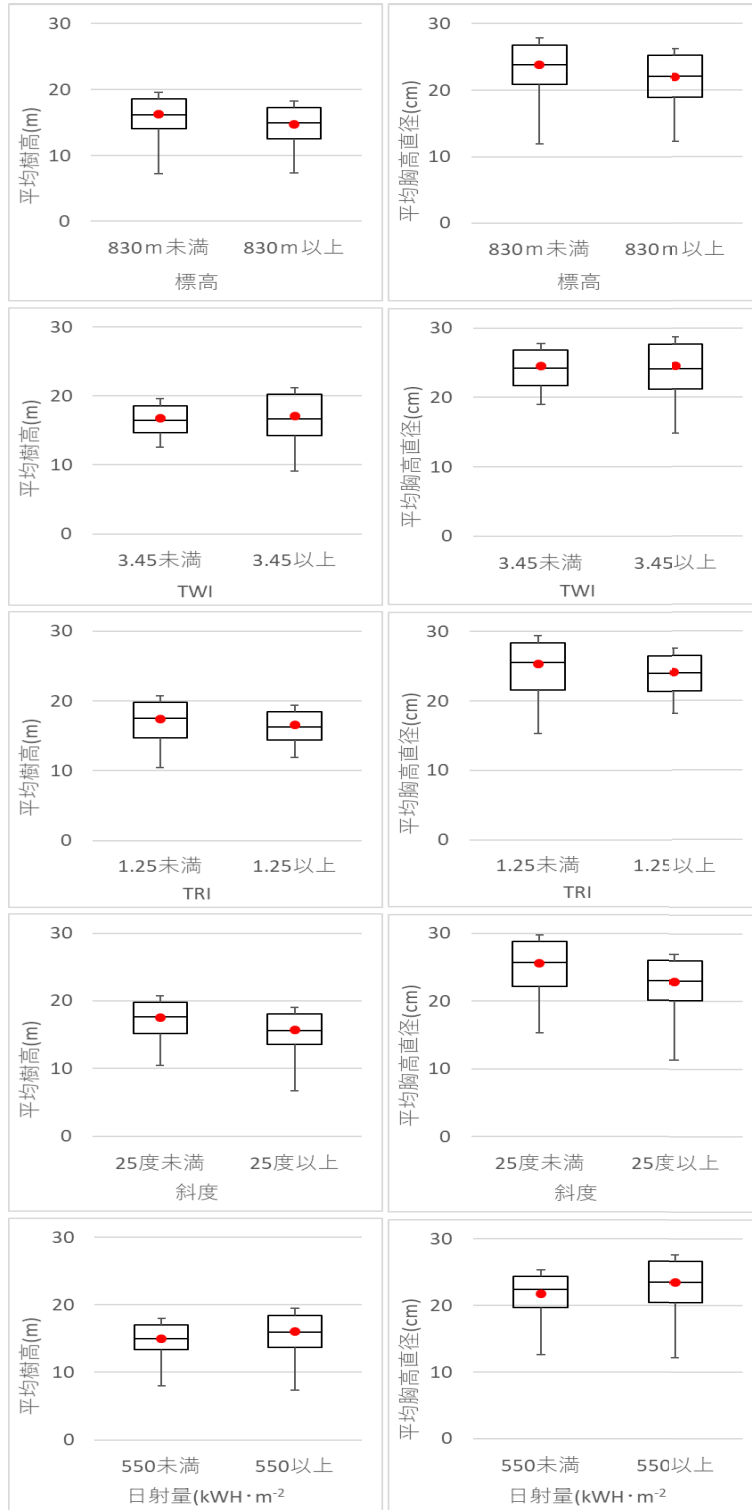


図-3 地形パラメータの境界値で区分したヒノキ林の平均樹高及び平均胸高直径の比較

表-3 地形パラメータの閾値で区分したスギ林のサイズおよび成長特性の比較

	区分	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	年平均相対成長率 (%)					
				平均樹高	平均胸高直径				
標高	800m未満	23.8	**	35.0	**	7.2	**	8.0	**
	800m以上	18.7		28.3		6.9		7.6	
TWI	3.5以上	25.1	**	36.3	**	7.1	*	7.8	N.S.
	3.5未満	22.2		33.0		7.2		8.1	
TRI	1.15未満	24.4	*	36.6	**	6.0	*	6.8	*
	1.15以上	22.3		33.0		5.8		6.6	
斜度	20度未満	24.2	*	36.5	**	7.3	N.S.	8.2	*
	20度以上	22.4		33.2		7.2		8.0	
日射量	520kWh/m ² 未満	21.7	N.S.	32.7	N.S.	7.1	N.S.	7.9	N.S.
	520kWh/m ² 以上	22.7		33.5		7.2		8	

※ Welchのt検定において、**はP<0.01, *はp<0.05でそれぞれ有意差があることを表す。N.S.は有意差なし。

表-4 地形パラメータの閾値で区分したヒノキ林のサイズおよび成長特性の比較

	区分	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	年平均相対成長率 (%)					
				平均樹高	平均胸高直径				
標高	830m未満	16.4	*	23.9	*	9.6	**	10.8	**
	830m以上	14.8		22.0		8.3		9.4	
TWI	3.45以上	15.9	**	23.3	*	9.2	*	10.3	N.S.
	3.45未満	17.1		24.5		9.8		10.9	
TRI	1.25未満	17.4	N.S.	25.3	N.S.	9.3	N.S.	10.5	N.S.
	1.25以上	15.8		23.1		8.8		9.7	
斜度	25度未満	17.5	*	25.6	**	9.3	*	10.4	*
	25度以上	15.8		23.2		8.7		9.6	
日射量	550kWh/m ² 未満	15.0	*	21.7	**	9.2	N.S.	10.3	N.S.
	550kWh/m ² 以上	16.1		23.5		9.4		10.6	

※ Welchのt検定において、**はP<0.01, *はp<0.05でそれぞれ有意差があることを表す。N.S.は有意差なし。

は、林齢と平均樹高及び平均胸高直径についても、同じ境界値で区分することで。それぞれの間に有意な差が認められた (Welch の t 検定)。このことから、各林分が持つ地形パラメータにおいて、一定の条件に合致する林分については、限定された分布域に最もよく当てはまるように成長曲線を補正することで、これまでよりも高い精度で推定値が得られると考えられた。

ヒノキについても同様に、平均樹高及び平均胸高直径の ARGR と各地形パラメータの間に明確な相関は認められなかった。スギと同様にこれらのばらつきの中で分布の幅が小さくなっている区間を見出すことができると考え、それぞれの地形パラメータの平均値を任意の数値で2つに区分し、それぞれの ARGR を比較しながら、最もその差が大きくなる境界値を探索した。その結果、標高、TWI、斜度、日射量の4つのパラメータについては、ある境界値で分けた時に、その上下で ARGR に有意な差が認められた (Welch の t 検定、図-3、表-4)。また、上記4つの地形パラメータでは、林齢と平均樹高及び平均胸高直径についても、同じ境界値で区分することで、それぞれの間に有意な差が認められた (Welch の t 検定)。このことから、ヒノキ林においても各林分が持つ地形パラメータで、一定の条件に合致する林分について

は、限定された分布域に最もよく当てはまるように成長曲線を補正することで、これまでよりも高い精度で推定値が得られると考えられた。

林齢と平均樹高及び平均直径の関係を散布図で表し、前項の地形パラメータ毎の境界値で各点を区分した上で、ばらつきの小さい集団に対して従来の成長曲線を補正する係数を最小二乗法で決定した。それぞれの結果を表-5に示す。

補正した成長曲線で予測した集団については、決定係数 R²が、いずれも従来の成長曲線よりも高い値を示し、予測精度が向上していた。標高 800m以上の林地においては、補正係数は1より小さくなり、樹高成長、胸高直径成長ともに全体よりも低くなるのが分かった。TWI、TRI 及び斜度については、いずれも補正係数が1より大きくなったが、TWI が高い林地、TRI が低い林地、斜度が小さい林地は、主に谷筋の緩傾斜地を多く含んでいる。このことは、従来から経験的に言われてきた、谷筋がスギの適地であるという概念を支持するものであると示唆された。一方、スギは実際に谷筋に植栽されているのが一般的であり、日射量において差が生じなかったことは、この点が一因であると考えられた。

スギと同様の方法で決定した補正係数と、補正前後

表一 5 決定したスギ成長曲線の補正係数と寄与率

補正条件	補正係数 上段：樹高 下段：胸高直径	決定係数R ²	
		補正前	補正後
標高800m以上	0.922	0.763	0.899
	0.941	0.741	0.798
TWI3.5以上	1.074	0.741	0.856
	1.094	0.765	0.822
TRI1.15未満	1.102	0.788	0.834
	1.099	0.723	0.851
斜度20度未満	1.105	0.742	0.840
	1.097	0.755	0.837

表一 6 決定したヒノキ成長曲線の補正係数と寄与率

補正条件	補正係数 上段：樹高 下段：胸高直径	決定係数R ²	
		補正前	補正後
標高830m以上	0.922	0.763	0.799
	0.941	0.721	0.798
TWI3.45未満	1.025	0.691	0.823
	1.036	0.774	0.847
斜度25度未満	0.959	0.781	0.814
	0.963	0.776	0.827
日射量550kWH/m2以上	1.052	0.688	0.786
	1.073	0.731	0.824

の決定係数R²を表一 6 に示す。

ヒノキ林においても、スギ林同様に、補正した成長曲線で予測した集団の決定係数R²が、いずれも従来の成長曲線よりも高い値を示し、予測精度が向上していた。標高区分では、スギ同様に高標高域で成長が鈍い傾向が認められた。一方、TWIでは、スギ林とは逆に、TWIが高い林地で、特に樹高成長がやや良好な結果となった。斜度においては、やや中庸な傾斜以下の林地で成長が良好であり、日射量の高い林分の集団でも成長が良好な傾向が認められた。これらのことから、ヒノキ林については、尾根や急傾斜地を除く比較的中庸か緩やかな、水はけと日当たりの良い山腹が適していると考えられた。

IV おわりに

この研究で得られた結果は、従来から経験的に言われてきた、スギ、ヒノキの適地の概念が、詳細なDEMによって、様々な地形上の特徴を数値化や指数化する手法が確立されてきたことで、定量的に表現しうることを示唆していると考えられる。一方、これらの指標は解析の

際に与える条件によって大きくその結果が左右されると言われており (Reu *et al* 2013, Riley *et al* 1999, Skentos 2018), どのような条件で解析を行うのが最も樹木の成長動態を良く説明するのかについては、現地調査による検証も交えてより深く検討していく必要がある。

地形条件に基づいて人工林の資源量を知るためのモデル化に当たっては、複数の地形変数を用いた多変量解析から地位を推定する手法が多く取り組まれている (廣瀬ら 2016, 伊藤ら 2021, 和口ら 2019, 山下ら 2017) が、本研究では、単独の地形変数毎に個別に成長曲線を補正し、寄与率を調べる手法をとった。これは、スギ、ヒノキ人工林の資源量推定と成長予測のみならず、両種の造林適地としてこれまでも経験的に言われてきたことの確かさを定量的に表現することや、個々の地形条件の寄与度を知ることで、今後のより効率的な人工林施業と森林管理の一助となることを期待したからである。今後は、地形条件の算出方法の深化などにより説明力の高い予測モデルを構築する必要があると考えられる。

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。

引用文献

廣瀬裕基, 川田伸治, 松村直人 (2016) 森林資源有効活用に向けた数値地理情報による地位推定—三重県菰野町の事例—, 中部森林研究64:79-82.

伊藤幸介, 塚原雅美(2021) 高齢級スギ人工林調査データを用いた地位指数曲線の延長, 新潟県森林研究所研究報告61:28-31.

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, 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.

木戸口佐織, 栗野義之 (2007) 岩手県民有林にスギ高齢林の現状と収穫予想表, 岩手県林業技術センター研究報告15 : .

Kopecký M., Macek M., Wild J. (2020) Topographic wetness index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition, *Science of the total environment* 757:1-15.

牧本卓史, 西山嘉寛 (2005) 長伐期林の収穫予測システムの開発, 岡山県林業試験場研究報告21:43-52.

岡山県林政課 (2018) 岡山県の森林資源

Reu J.D., Bourgeois J., Bats M., Zwertvaegher A., Gelorini V., Smedt P.D., Chu W., Antrop M., Maeyer P.D., Finke P., Meirvenne M.V., Verniers J., Crombé P.(2013) Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes, *Geomorphology*186:39-49.

Riley J.W, Calhoun D.L, Barichivich W.J, Walls S.C. (2017) Identifying small depressional wetlands and using a topographic position index to infer hydroperiod regimes for pond-breeding amphibians, *Wetlands*37:325-338.

Riley S.J., DeGloria S.D., Elliot R. (1999) A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity, *Intermountain journal of science* 5(1-4):23-27.

Rózycka M., Migoń P., Micheniewicz A. (2016)

Topographic wetness index and terrain ruggedness index in geomorphic characterisation of landslide terrains, on examples from the Sudetes, SW Poland, *Zeitschrift für geomorphologie*, online:1-20.

Skentos A. (2018) Topographic position index based landform analysis of Messaria (Ikaria Island, Greece), *Acta Geobalkanica* 4-1:7-15.

Sorensen R., Zinko U., Seibert J. (2006) On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations, *Hydrology and earth system sciences*10:101-112.

和口美明, 河合昌孝, 迫田和也, 山下俊二 (2019) 長伐期化に対応した奈良県ヒノキ人工林地位曲線の作成, 奈良県森林技術センター研究報告48:1-4.

山下由美子, 近藤洋史 (2017) 和歌山県スギ・ヒノキ人工林の地位指数曲線と林分収穫表の改訂およびシステム収穫表の作成, 和歌山県農林水産試験研究機関研究報告5:115-132.

林内に設置された侵入防止柵の管理技術の検討（Ⅱ）

三枝 道生

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

Michio SAEGUSA

要 旨

三枝道生：林内に設置された侵入防止柵の管理技術の検討 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報 38：30-36（2023） 林内に設置された侵入防止柵について、効率的な管理方法の検討を目的として5年間調査を実施したところ、調査を開始した直後はシカによる柵体への干渉が多くみられたが、2回目の点検以降、急速に減少したことが明らかになった。その効果は3カ月間調査を行わなかった積雪期を挟んでも持続し、同一箇所への集中的な干渉が確認されなくなって以降は、点検回数を減らしても干渉が増加することはなく、設置初期に集中的に点検を実施することによりその後の点検労力を軽減できると考えられた。既設の侵入防止柵の破損発生状況を調査したところ、多くの破損が確認されたが、設置年数や柵延長による破損数の増減傾向は把握できなかった。さらに、柵体の破損原因を精査したところ、下刈りによるネットの切断や柵体設置時の瑕疵など的人為的な行為が起因とみられる破損、不具合が多く確認され、このような回避可能な破損等を解消することも侵入防止柵の機能維持に重要であると考えられた。

キーワード：破損原因，シカ，侵入防止柵，点検技術

I はじめに

2021年度の岡山県における、シカによる農林業被害額は約3千4百万円（岡山県鳥獣害対策室 2022）で、近年では減少傾向にあるものの（図-1）、シカの生息地域は拡大しており（図-2）、それに伴い、シカによる被害が顕著な地域も広がっている。

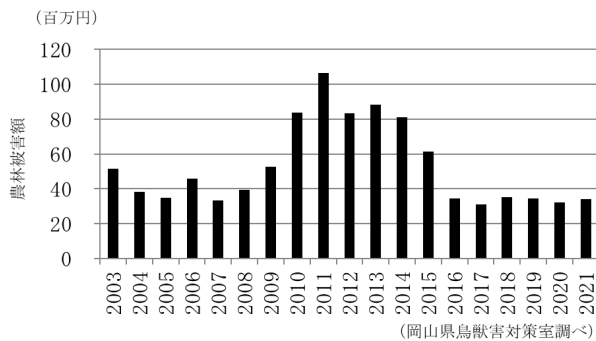


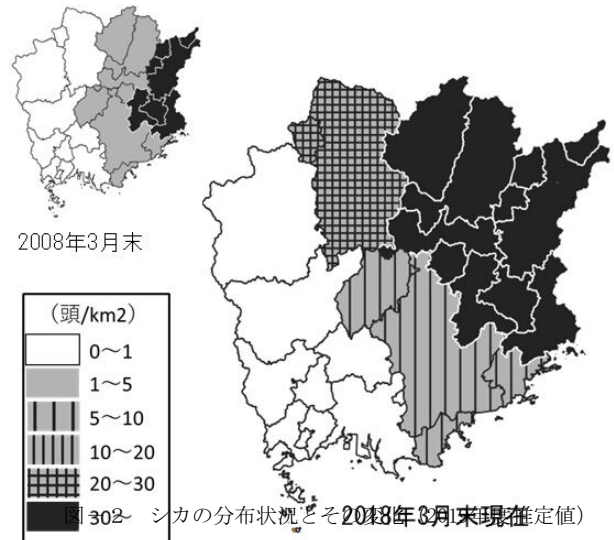
図-1 岡山県におけるシカによる農林業被害額の推移

一方、被害防止対策の実施に対しては、多くの地域で消極的である。その理由として、森林所有者や林業従事者の被害に対する意識が希薄であること、被害防止対策に対する経費や労力への懸念及び被害防止効果そのものに懐疑的である等の意見がある（三枝ら 2019）。

ところで、道路や建築物をはじめとする人工物は、その機能を良好に維持するために定期点検や補修を必要とする。このことは被害防止対策で使用される侵入防止柵

やツリーシェルター等においても同様であるが、現地での聞き取りでは、これらの資材が林内に設置された場合、定期的な点検が実施されていない、または点検していても下刈り作業実施時に年間1回程度ということがほとんどである。このような管理体制では被害防止対策資材の性能を評価することが難しい。また、林内に設置された被害防止対策資材の管理方法について明確な指標がないため、今後、これらの資材が正当な評価が得られても、性能を維持することが困難と考えられる。

そこで、林内に設置された侵入防止柵の定期点検により、シカ被害の防止効果を検証するとともに、効率的な



管理方法について、検討した。

なお、本研究は、2015年から岡山県美作県民局農林水産事業部森林整備課と連携して実施し、調査1年目の結果については前報（三枝 2019）で報告しているため、本報では一部重複して述べる。

II 方法

1. 踏査による侵入防止柵の管理方法の検討

調査地は、2004年10月に発生した台風による風倒木被害を受けた標高550～730m、斜面の傾斜25～45度の保安林で、シカの生息密度が高い県東部地域に位置する（図-3）。尾根が異なる2つの団地で構成されており、これまでに2007年及び2010年にそれぞれ植栽し、2010年には侵入防止柵（延長：A団地1, 310.1m, B団地600.3m）が設置されている。しかし、雪害による支柱の倒伏や、獣類の絡まりによるネットの破れ等により、侵入防止柵の破損が発生し、その後も修復されなかったため、本調査を開始するまでに植栽木の約7割がシカ等による食害を受けた。

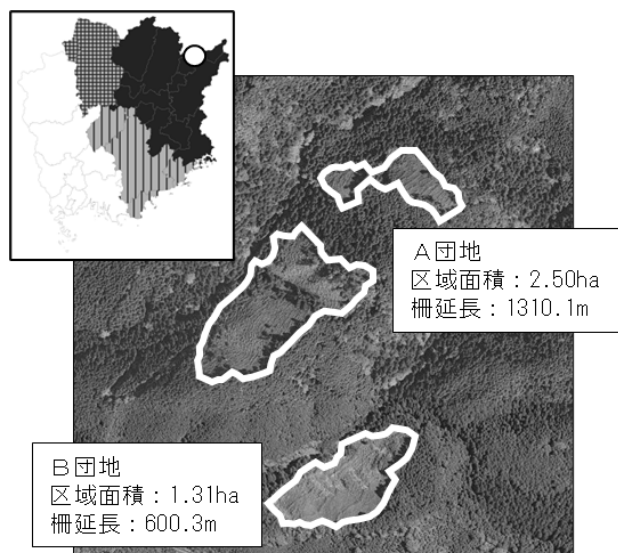


図-3 調査地位置図

そこで、2015年10～12月に、侵入防止柵の修繕及び植栽木の補植を実施し、管理方法を決定した後に、2016年7月から踏査による点検を行った。点検の間隔は2週間毎とし、破損の種類及び位置を調査した。また、ネットの切断や、倒木・落枝や雪害等による支柱の折損、柵体の倒伏が生じた場合は、結束バンドや添え木等による簡易な修繕や、柵体に干渉している倒木等の除去を行うこととした（図4～6）。なお、点検間隔の決定方法については、前報（三枝 2019）で報告しているとおりである。点検期間は、2016年は7～12月、2017年度以降は4～12月とした。



図-4 ネット補修（結束バンド）



図-5 支柱欠損の補修（添え木）



図-6 倒木（干渉部の除去）

2. 既設の侵入防止柵の破損発生状況

2018年8～10月に、シカの生息密度の高い県東部地域において、設置1～3年目の侵入防止柵6基（図-7、表-1）について、破損の発生状況を調査した。

調査は見落としを防ぐため2名で実施した。柵体に沿って踏査し、ネットの破れや支柱の折損、土砂移動による崩壊など、柵体の破損状況を調査した。併せて、破損の原因及び調査沿線付近における植栽木の被害の有無を調査した。

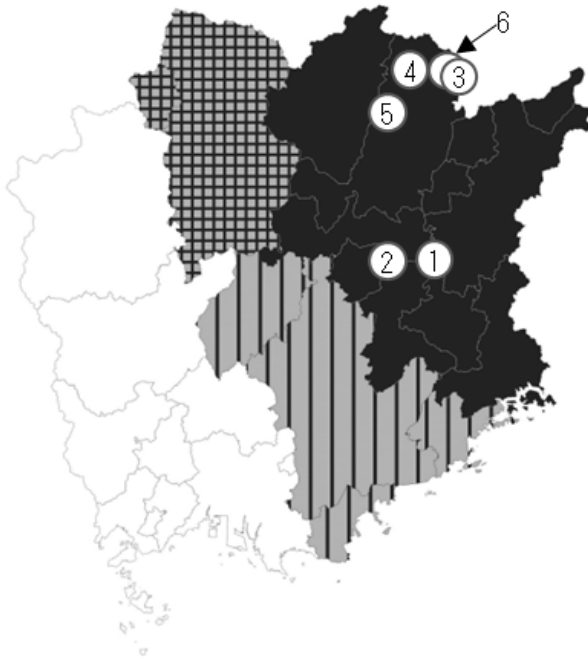


図-7 既存侵入防止柵の破損状況調査位置図

表-1 調査対象の侵入防止柵の概要

No.	設置年	経過年数	延長(m)	植栽木
1			1,200	ヒノキ
2	2015	3年	1,057	ヒノキ
3			586	ヒノキ
4	2016	2年	317	スギ・ヒノキ
5			1,080	ヒノキ
6	2017	1年	235	スギ

III 結果と考察

1. 踏査による侵入防止柵の管理方法の検討

調査開始から2年間における破損の発生状況を図-8に示す。

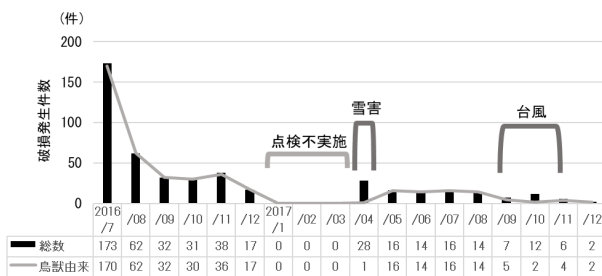


図-8 侵入防止柵の月別破損発生状況（2年間）

1年目の最初の月（7月）は173件の破損が発生したが、その後は回を重ねる毎に破損件数は減少した。翌年4月に調査を再開したところ、1～3月は点検を中断したにもかかわらず、全体的には1年目に引き続いて破損件数は減少した。短期的には、調査再開直後の4月には雪害で、9～11月には台風など、季節的な原因により柵体が破損し、件数の増加が確認された。その際、折損した支柱は添え木を当てての引き起こし、倒木による柵

体の倒伏は支障となる幹や枝等の除去など、いずれも応急的な修繕による柵体の復旧を行った。その結果、その後の該当箇所の破損が増加することはなく、全体の破損件数についても同様であった。このことから、柵体に破損が生じた場合でも、速やかに対処することで、侵入防止柵の機能を維持することが可能と考えられた。

ところで、侵入防止柵全体の破損件数が減少しても、特定の箇所に集中的に破損が発生すると、柵内にシカが侵入する恐れがある。そこで、侵入防止柵を50m毎に区切り、破損の発生状況を確認した。同一区間に連続して発生した、嚙切りなどの鳥獣由来の破損件数を図-9に示す。例えば、被害が発生した後、同一区間内で、次の回に破損が発生しなければ白色で、5回（2ヶ月半）連続で破損が発生した場合は黒色で表している。なお、調査期間中に発生した鳥獣由来の柵体への干渉は、柵体の中段でみられた嚙切りと、シカ及び鳥類の絡まりで、イノシシによるものと考えられる突き破りや潜り込みはみられなかった。そのため、本報告における鳥獣由来の破損はシカによるものとした。

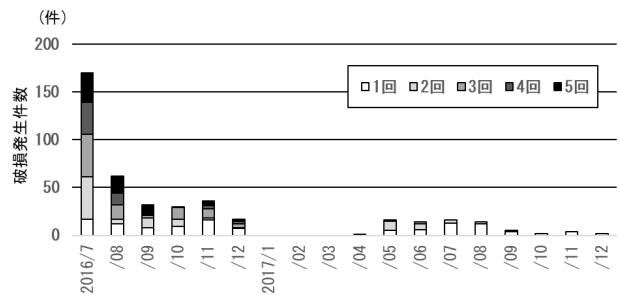


図-9 同一区画で連続して発生した回数別破損数

調査1年目は、全体の破損発生件数は大きく減少したが、2ヶ月以上（4～5回）連続で破損が発生した区間があった。これは、集中的にシカの干渉を受けている箇所があることを示しており、点検を行わず破損を放置すると、短期間で柵内へ侵入される可能性が高いと考えられた。一方、2年目は、頻繁に発生する区間はほとんどなくなった。このことから、侵入防止柵の設置当初は、破損の件数に関わらず、シカが柵内に侵入する危険性があるが、点検を継続することで解消されると考えられた。このような結果が得られた要因としては、シカにとって安全で利用しやすい餌場だった場所が侵入防止柵で囲まれたため、これまで往来していた周辺を中心に侵入を試みたものの、破損が定期的に修繕されることで利用が困難になったことが考えられた。また、定期的に人が入山することで、シカの警戒が高まり、安心できる地域ではなくなった可能性も考えられる。

これらの結果を基に、点検回数を4年目には調査開始当初の半数である年間8回（1ヶ月毎）に、5年目から

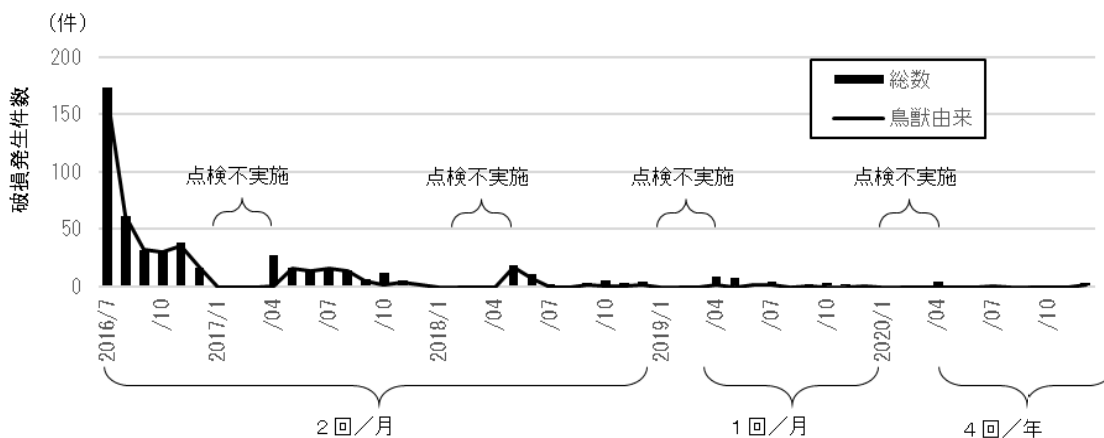


図-10 侵入防止柵の月別破損発生状況（5年間）

はさらに半数の年間4回とした。点検を実施した結果を図-10に示す。点検回数にかかわらず、破損件数は低位で維持しており、侵入防止柵の機能が維持されていることが確認できた。

以上のことから、侵入防止柵の管理方法として、設置当初は頻繁に踏査、点検を実施することで、侵入防止柵の機能を維持できることや、その後の管理労務が軽減されることが示唆された。

一方、雪害や台風等の気象害は、1度の発生で柵体の侵入防止機能を著しく低下させる。そのような状態で放置するとシカの侵入が容易になり、植栽木が被害を受ける可能性が非常に高くなるため、早急な対応が必要である。

2. 既設の侵入防止柵の破損発生状況

調査結果を表-2に示す。設置後の経過時間にかかわらず、全ての調査地で侵入防止柵の破損と柵内への侵入の痕跡が確認された。なお、柵延長100m当たりの破損箇所数では、経過年数による傾向は確認できなかった。

表-2 既存侵入防止柵における破損等発生状況

No.	経過年数	延長(m)	柵内への侵入	植栽木の被害	植栽木の枯死	破損等の発生数	破損箇所/100m
1		1,200	○	○	○	44	3.67
2	3年	1,057	○	×	×	17	1.61
3		586	○	○	×	8	1.36
4	2年	317	○	×	×	19	5.99
5		1,080	○	○	×	34	3.15
6	1年未満	235	○	○	○	2	0.85

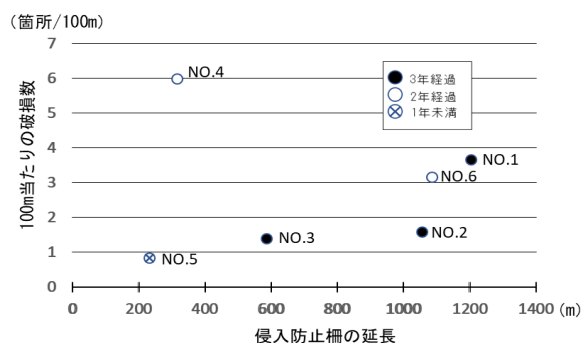


図-11 侵入防止柵の総延長と100m当たりの破損数の相関

柵延長による破損数への影響では、柵延長が長くなるほど100m当たりの破損数が増える傾向は見られたが(図-11)、柵延長が2番目に短い調査地(No.4)で100m当たりの破損数が最も多くなった。また、設置期間別に比較したところ、各期間で統一した傾向がみられなかった。このことから破損の発生を侵入防止柵の設置期間や規模のみで判断することは困難であると考えられた。

本調査で確認された柵の破損事例を図-12~21に、破損種類別の内訳を図-22に示す。



図-12 鳥獣によるネットの破れ



図-13 下り時のネットの切断



図-14 ネットの継ぎ方不良



図-18 土砂崩壊・土砂移動



図-15 ネットの下垂・高さ不足



図-19 設置方法不良（水路）



図-16 鳥獣の絡まり



図-20 倒木落枝



図-17 アンカー抜け・打ち込み不足



図-21 降雪による倒伏

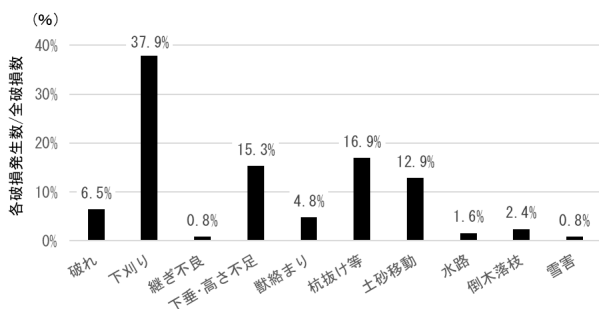


図-22 発生した破損の種類と種類別の発生割合

破損は 124 件発生したが、最も多く確認された破損は、下刈りの際に発生したネットの切断であった（図-13）。このほか、ネットを重ねず端部同士を継ぎ目としているため、結束部が緩んで大きな穴が生じた例（図-14）や、柵の設置経路をまたぐ水路を十分に塞いでいない例（図-19）など、人為的な破損や設置時の瑕疵による不具合（以下、人為的な破損等という。）も多く確認された。

これらの要因を、①風雪による倒木落枝や大雨による土砂崩壊等の気象災害由来の破損、②鳥獣の絡まりや食い破り等鳥獣由来の破損、③下刈り等の作業時に生じた破れや柵体を設置する際の瑕疵など人為的な破損等にそれぞれ区分したところ（図-23、図-24）、人為的な破損等が全体の約4分の3と最も多かった。

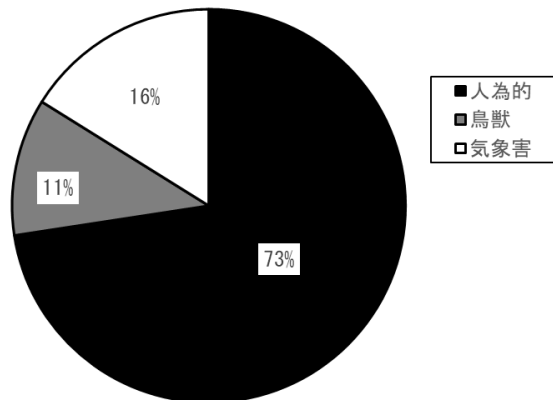


図-23 侵入防止柵に生じた破損の要因別割合

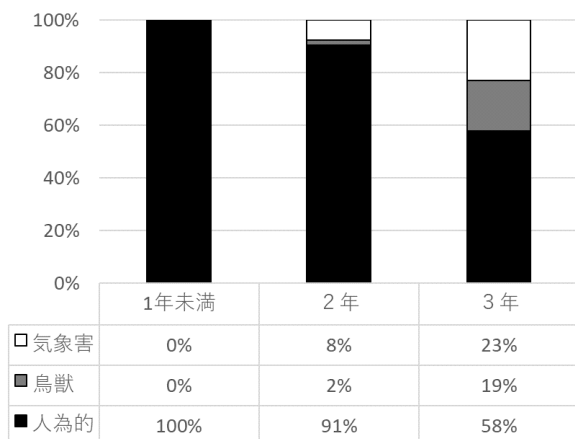


図-24 設置期間毎に生じた破損の要因別割合

また、設置後の経過年数ごとの破損等の要因を比較したところ、設置後の経過時間が長くなるのにもなって人為的な破損等以外の原因の割合が増加した。この原因として、鳥獣による接触の機会が増えたためと推測された。一方、下刈りによる切断が起因で生じたネットの穴の一部には、鳥獣が通過した形跡が確認された（図-25）。より大きい個体が通過した場合、元の破損がさらに拡大され、鳥獣由来の破損として誤認される可能性があると考えられる。鳥獣由来の破損には、鳥獣の絡まりやネットの噛み切り、イノシシによる突き破り等、鳥獣のみが起因の破損もあるが、人為的な破損等が起因となった事例も含まれていると予想されることから、人為的な破損や設置時の瑕疵は、侵入防止柵の機能維持に大きく影響していると推察された。



図-25 下刈り由来の穴を鳥獣が掘けた穴

IV おわりに

林内に設置された侵入防止柵において、定期的な点検を実施したところ、開始当初は多くの破損が発生したが、点検を継続することで破損件数は大幅に減少した。点検による破損の軽減効果は、点検を中断した降雪期を経ても持続すると考えられた。また、同一箇所における継続的な破損の発生がなくなった後は、点検間隔を延長しても、破損件数の増加はみられなかった。

侵入防止柵の機能を維持するために定期的に点検することは労務的に困難であると考えられるが、設置初期に集中的に点検を実施することで、造林木の保護や将来的な点検労力、経費の削減が見込めると推察された。点検の適切な期間や頻度は、シカの生息密度、保護対象地におけるシカの利用状況によって異なると推量される。造林地は、地表付近の光環境が良くなり、植物が繁茂することでシカにとっての餌環境が充実する上に人との遭遇も少ないため、魅力的な餌場となる。しかし、侵入防止柵の設置とその後の管理により利用できない期間が長く続くことで、餌場としての魅力が急速に低下するものと考えられる。なお、雪や台風等の気象害が発生した場合、

シカが侵入可能な破損が生じている可能性があるため、早急な点検と、復旧が肝要である。

また、シカの生息密度の高い地域に設置された侵入防止柵の破損の発生状況を調査したところ、設置後の経過期間にかかわらず、すべての侵入防止柵で破損が確認された。確認された破損等は、人為的な行為に起因するものが大きな割合を占めた。施工者や管理体制がそれぞれ異なるため、現場によってこれらの発生件数は大きく異なるが、人為的な行為が侵入防止機能に大きく関与する可能性については、多くの現場で考慮すべきことであると推考する。ヒューマンエラーは回避可能であるため、造林木を保護するためにも適切な作業の励行を強く提案する。

引用文献

- 岡山県鳥獣害対策室（2022）鳥獣による農林水産被害状況等. <https://www.pref.okayama.jp/page/494594.html>
- 三枝道生（2019）シカによる森林被害の対策に関する研究. 岡山県森研報34：25-42.
- 三枝道生・井上真吾（2019）防鹿柵の効果的な維持管理方法の検討. 水利科学368：111-123.

自然災害による影響を受けにくいシカ侵入防止柵の検討

三枝 道生

Study of deer fences that are less susceptible to natural disaster

Michio SAEGUSA

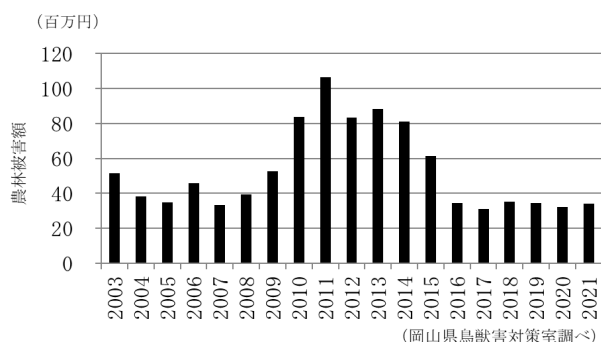
要 旨

三枝道生：自然災害による影響を受けにくいシカ侵入防止柵の検討 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報38：37～42（2023）自然災害による影響を受けにくい侵入防止柵の形状を検討するため、ロープ形状の侵入防止柵を試作し性能評価を行った。侵入防止機能の検証では、地表に対して水平に配置したロープに間隔保持材を設置して、ロープ間の幅を20cmで維持することにより、シカの柵内への侵入を抑止できた。また、降水時の流下物が柵体に与える影響の検証では、枝葉や土砂など柵体の崩壊の原因となる堆積はほとんど見られず、柵体の形状は維持された。

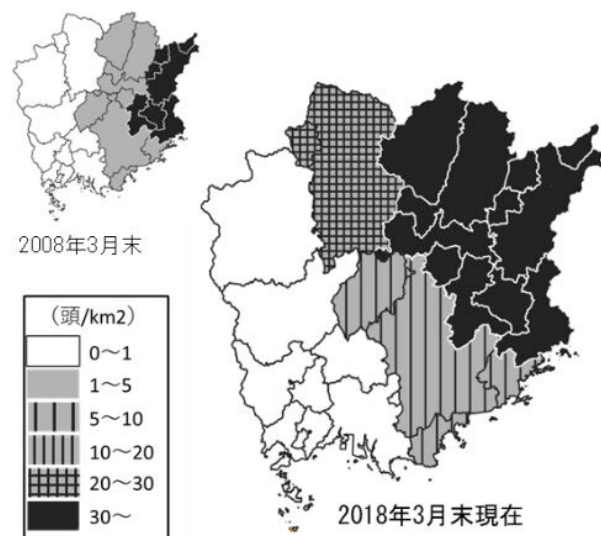
キーワード：ロープ柵、シカ、侵入防止柵、水害

I はじめに

2021年度の岡山県における、シカによる農林業被害額は約3千4百万円（岡山県鳥獣害対策室 2022）で、近年では減少傾向にあるものの（図－1）、シカの生息地域は拡大しており（図－2）、それに伴いシカによる被害が大きい地域も広がっている。



図－1 岡山県におけるシカによる農林業被害額の推移



図－2 シカの分布状況とその変化（2019年度推定値）

一方、被害防止対策の実施に対しては、多くの地域で消極的である。その理由として、侵入防止柵を設置した後の維持管理作業が困難であることや、積雪や土砂流出、倒木落枝などの自然災害による損壊に対する懸念が挙げられている（三枝ら 2019）。実際に、林内に設置された侵入防止柵では、積雪による支柱の折損、台風等による落枝や土砂の流出による柵体の崩壊など（図－3,4）が発生する事例も少なくない。

このような自然災害を起因とする破損の多くは、斜面上側から移動してきた雪や枝葉などの流下物、土砂が柵体に堆積し、荷重に耐えきれなくなった支柱が、折損、倒伏することによって発生している。そこで、自然災害による侵入防止柵の破損リスクを回避、軽減できる柵の仕様を検討した。



図－3 土砂の流出による柵体の崩壊

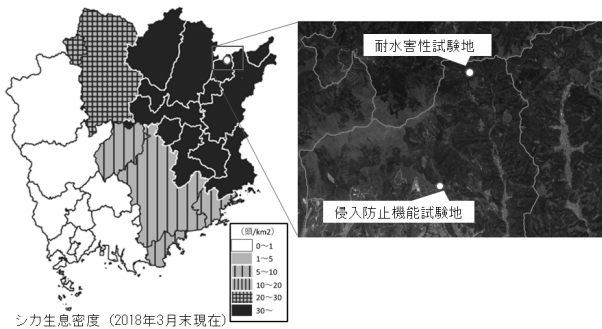


図-4 降雪による支柱の折損

II 方法

1. 柵体形状の決定及び侵入防止機能の検証

調査地は、勝田郡奈義町高円地内の伐採跡地で（図-5）、伐採後植栽を行った後、シカによる食害により植栽木が消失したカヤ及びササ類が優占する草地である。



シカ生息密度 (2018年3月末現在)

図-5 調査地位置図

2016年10月～2017年11月に、試行柵を設置し、センサーカメラ（BTC-8A, BROWING社製）でシカの動向を確認しながら、柵体の仕様を決定した（以下、試行中の柵を試行柵、仕様決定後の柵をロープ柵という）。試行柵及びロープ柵の仕様と設置期間を表-1に、各柵の形状を図-6～9に示す。

表-1 試行柵及びロープ柵の仕様と設置期間

名称	設置日	終了日	ロープ 素材	柵高	間隔保持材		備考
					素材	間隔	
試行柵1	2016/10/06	2016/10/31	高強度繊維	100	PPネット	2.5m	
試行柵2	2016/10/31	2017/04/14	"	"	"	1.0m	保持材の間隔変更
試行柵3	2017/04/14	2017/11/27	"	140, 150	"	"	柵高変更
試行柵4	2017/11/27	2018/10/06	ワイヤー	120	高強度素材入り ヒコルゲブ*	"	ロープ変更
ロープ柵	2018/11/09	2020/04/04	ワイヤー	180	高強度繊維ロープ	1.0m	

本柵の主要部材であるロープは、それぞれ地表と水平方向に設置した。各柵におけるロープ間隔は、試行柵1～



図-6 試行柵1～2（2は間隔保持材の間隔を変更）



図-7 試行柵3



図-8 試行柵4



図-9 ロープ柵

3では、20cm間隔、試行柵4では、高さ60cmまでを15cm間隔、60cm以上を20cm間隔、ロープ柵では、高さ60cmまでを網目径20cmの亀甲金網、90cmまでを15cm、90cm以上を20cm間隔とした。また、ロープは単体では容易に押し広げることができるため、ロープ間隔を保持するために間隔保持材を地表に対して垂直に設置し、それぞれ

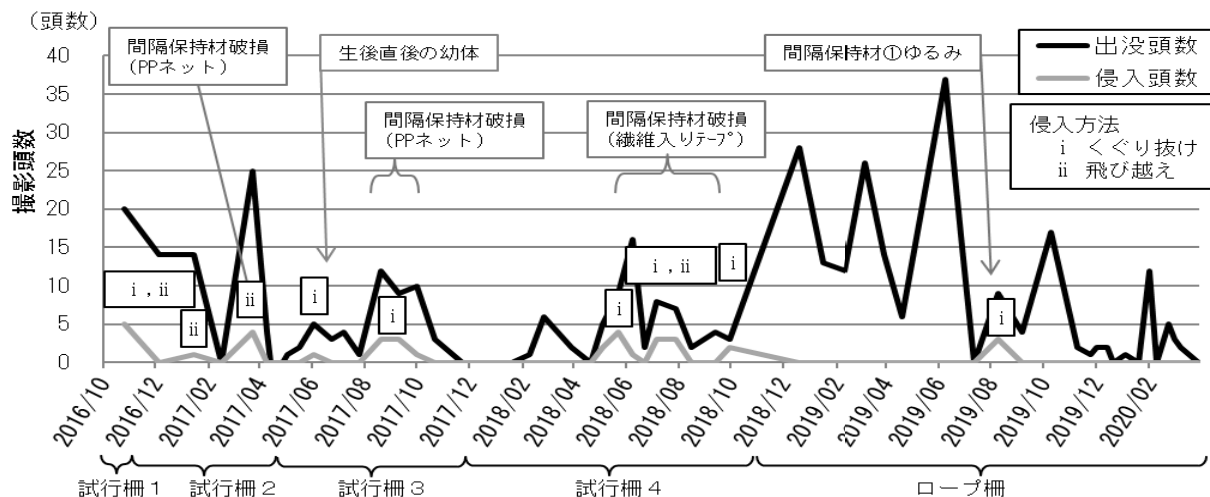


図-12 シカの出没及び柵内への侵入

ロープを固定した。ロープは緩みや下垂が発生しない程度にターンバックルで張力を調整した。なお、効果的に性能を確認するために、誘引剤として、誘鹿材（商品名：ユクル、日鉄神鋼建材株式会社製）を使用した。

柵体形状の決定後、2018年11月～2020年3月にロープ柵の侵入防止機能を検証した。調査方法は、センサーカメラによるシカの動向及び目視による破損等の観察とした。柵内に、柵体から約1m離して誘鹿剤を設置して、シカの動向を観察した。

2. 耐水害性機能の検証

調査地は、勝田郡奈義町馬桑地内の造林地で（前掲図



図-10 耐水害性機能調査地



図-11 耐水害性機能調査用ロープ柵

—5), 侵入防止柵を設置されているが、設置個所の一部に水域を有する谷部があり、降雨により発生した落枝等の流下物や土砂により、同箇所の柵体が崩壊したため、同箇所調査を実施した（図-10）。柵体はロープ柵の形状を基本として、柵高を170cm、ワイヤー間隔はすべて20cmとし、ワイヤーの最下部を地表面とした。間隔保持材は1m間隔に設置し、地面にアンカーで固定した（図-11）。調査方法は、センサーカメラによるシカ及び流下物の動向の録画並びに目視による破損等の観察とした。

III 結果と考察

1. 柵体形状の決定及び侵入防止機能の検証

表-2及び図-12に試行柵及びロープ柵に対するシカの動向を示す。まず、試行柵1では、設置後間もなく柵内への侵入が確認された。侵入経路はロープ間のくぐり抜け及び柵体上部からの飛び越えであり、同形状での侵入抑止は困難であった（図-13, 14）。次に、間隔保持材を1m間隔とした試行柵2では、ロープ間からのくぐり抜けが抑止できた。一方、柵体上部からの飛び越えによる侵入が確認された。さらに、柵高を180cmとした試行柵3では、ほぼすべての個体の侵入を抑止することができたが、一部、間隔保持材が破損した期間に同箇所からのくぐり抜けによる侵入が確認された事例と、生後間も

表-2 各柵におけるシカの動向

	観察日数	柵体に対するシカの行動	
		接近(頭)	侵入(頭)
試行柵1	25	20	5
試行柵2	156	57	5
試行柵3	227	50	8
試行柵4	312	65	15
ロープ柵	443	211	3



図-13 飛び越え（試行柵1）



図-14 くぐり抜け（試行柵1）



図-15 間隔保持材破損（試行柵3）



図-16 幼体くぐり抜け（試行柵3）

ない幼体がロープ間をくぐり抜けた事例が確認された（図-15, 16）。幼体のケースでは、同一個体とみられる仔ジカが、2週間後に侵入を試みた際に、ロープ間を抜けることができなくなっていたため、極めて稀な事例と考えられた。このことから、ロープ間隔を20cmに保つことで、生後間もない幼体を除いて、シカの柵内への侵入を抑止することが可能であると推測された。

ロープ素材に着目すると、ロープ素材に高強度繊維を使用した試行柵1～3において、間隔保持材が機能している場合では柵内への侵入を抑止することができた。また、大型の特定の個体以外は、柵高が120cmと低い場合でも、柵体上部からの飛び越えによる侵入を試みる個体はなかった。その一方で、シカがロープ間からは強引にくぐり抜けを試みる事例が頻繁に確認された。くぐり抜けを試みる高さは、膝を地面に着かずに頭を差し込める3段目（高さ40～60cm）若しくは4段目（同60～80cm）がほとんどであった。一般にシカは移動する際には若干頭部を下げて歩くが、くぐり抜けが可能な空間がある場合、上部からの飛び越えの避ける可能性があるかと推測された。

試行柵1～3で使用した高強度繊維は、通常の繊維ロープと比較すると高い耐久性を有するが、繊維の特性上、常時張力をかけ続けると徐々に伸長し、侵入抑止効果を維持できなくなる。そこで、試行柵4では、ロープ素材をワイヤーに変更した。仕様変更後は柵内への侵入はみられなかった（図-17）が、間隔保持材が破損した期間には、柵内への侵入が繰り返し確認された。その後、間隔保持材を修繕した後は、侵入を抑止できたことから、間隔保持材の重要性が示唆された。



図-17 侵入失敗（試行柵4）

以上、試行柵1～4の結果から、ロープ柵のロープ素材はワイヤー、間隔保持材は高強度繊維ロープとした。間隔保持材をより強度の高いワイヤーとしなかった理由は、直行するロープがともに金属素材である場合、滑脱させず、長期間結束することは困難であることに加えて、柵体の垂下を防ぐため、極力軽量化を図る必要があった

ためである。ロープ柵による検証を行った約1年半の間に、柵内への侵入が確認されたのは、1度に3頭が侵入した1回のみで、その原因は、ワイヤーと間隔保持材の結束不良によるものであった。そこで、ロープ柵の設置にあたり、2パターンのワイヤーと間隔保持材の結束方法を検討した(図-18)。



パターン①：1本をワイヤーに、1本を間隔保持材に通し結合
 パターン②：2本の結束バンドをたすき掛け状に固定。

図-18 ロープ柵における間隔保持材の固定方法の試行

このうち、シカに侵入された箇所はパターン①であり、点検の結果、他の結束箇所でも緩みが確認された。パターン①では、ワイヤーと間隔保持材をそれぞれ結束バンドで固定し、それを結合させているが、長期間屋外で使用する中で、経時的な劣化等により緩みが発生したと考えられる。一方、パターン②では、ワイヤーと間隔保持材を2本の結束バンドを交差させて固定している。2本の結束バンドが互い押さえつける形になっており、間隔保持材の被覆材に若干の変形がみられるほど強く固定されている。全ての結束箇所をパターン②に変更したところ、以降に侵入は確認されなかった。

以上のことから、ロープ柵はシカに対する侵入抑止能力を有すると考えられた。



図-19 耐水害性機能調査用ロープ柵(設置時)



図-20 ロープ柵設置時の河床部

2. 耐水害性機能の検証

設置時(2019年7月)と調査終了時(2021年8月)におけるロープ柵の全体及び河床部分の状況を図-19～22に示す。

センサーカメラによる観察では、シカの来訪や、川上からの流下物の移動を確認することはできなかった。一方、柵体の川下側の川岸が浸食を受けており、調査期間中に相当量の流水があったと考えられるが、柵体の崩壊や損傷は今回の調査では確認できなかった。

柵体周辺でみられた流下物について、枝葉等の小さな流下物は地面に接している最下部のワイヤーに若干の堆積が確認されたが、倒木等の大きな流下物はなく、柵体への影響はみられなかった。また、土砂の流出に伴う河床の浸食により、間隔保持材を固定しているアンカーの消失を懸念していたが、最下部のワイヤーに堆積した流下物によって土砂の流出が抑制され、河床が保護されている様子が確認された。

以上のことから、根株や倒木等、大きな流下物が発生した場合や、点検を伴わない長期間の使用により流下物が大量に堆積した場合は、柵体に深刻な影響が懸念されるが、ロープ間を通過できる規模の流下物であれば、柵体を維持することができ、本柵の水流を伴う谷部における使用は可能であると考えられた。



図-21 耐水害性機能調査用ロープ柵(調査終了時)



図-22 調査終了時のロープ柵河床部

IV おわりに

林内に設置された侵入防止柵は、シカ等の侵入を抑止する機能を有することはもちろん、気象災害に対する耐久性も求められる。従来のネットを用いた侵入防止柵は

高い侵入抑止機能を有するものの、落石や土砂流出、積雪等の透過も妨げるため気象災害に対する耐久性が高いとはいえない。今回、ロープ状の侵入防止柵を作成、検証したところ、侵入抑止効果を確保するとともに水域を有する谷部での使用においても良好な結果が得られた。さらに、急傾斜地における積雪に対する耐久性についても検証したが、設置期間中に1 m程度までの積雪しか観測できなかったことから、効果の判定は保留している。

課題点として、金属製の部材が多く含まれるため、運搬性、施工性及びコスト面に課題が残った。実用化にむけてはそれらの課題の改良が必要であるが、気象災害が発生しやすい箇所は限定されるため、そのような箇所を特定しての使用は有効であると考えられる。

また、本柵は支柱とワイヤーで構成されているため、圧迫感は比較的少ない。そのため、部材の色彩を変更することで、例えば、公園や景勝地など景観に考慮する必要がある箇所への利用が可能であると思われる。

V 謝辞

本研究の実施にあたり、日鉄建材株式会社様に多大なるご協力とご助言をいただいた。この場を借りて、感謝の意を表す。

引用文献

岡山県鳥獣害対策室（2022）鳥獣による農林水産被害状況等. <https://www.pref.okayama.jp/page/494594>.

html

三枝道生・井上真吾（2019）防鹿柵の効果的な維持管理方法の検討. 水利科学368 : 111-123

不嗜好性植物を利用したシカ被害軽減の試み

三枝 道生

Trial to reduce damage to planted trees by sika deer using unpalatable plants

Michio SAEGUSA

要 旨

三枝道生：不嗜好性植物を利用したシカ被害軽減の試み 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報38：43～50（2023）資材等を設置した後に、管理を必要としない獣害対策を目的として、植栽木とシカ不嗜好性植物を混植した場合のシカによる食害軽減効果を調査した。その結果、シカが頻繁に利用する箇所では、混植による食害抑制効果は確認できず、不嗜好性植物が高密度に繁茂した状況を模した疑似繁茂帯を設置しても侵入を防ぐことはできなかった。一方、シカの来訪頻度が低い箇所では、食害を抑止することはできなかったものの、被害は比較的軽度であった。

キーワード：不嗜好性植物、疑似繁茂帯、ミツマタ、シカ

I はじめに

2021年度の岡山県における、シカによる農林業被害額は約3千4百万円（岡山県鳥獣害対策室 2022）で、近年では減少傾向にあるものの（図-1）、シカの生息地域は拡大しており（図-2）、それに伴いシカによる被害が顕著な地域も広がっている。

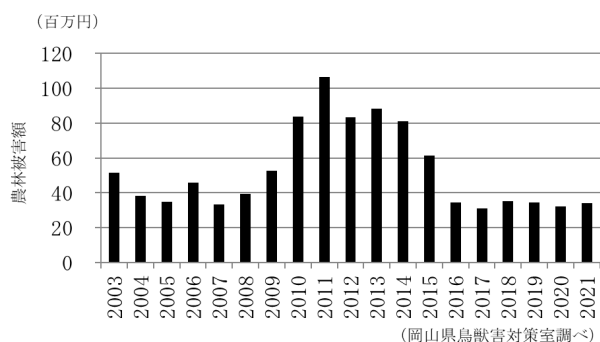


図-1 岡山県におけるシカによる農林業被害額の推移

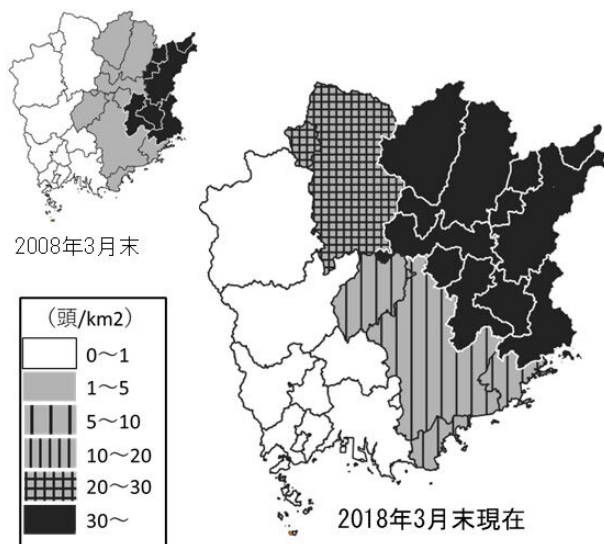


図-2 シカの分布状況とその変化（2019年度推定値）

ところが、被害防止対策の実施に対して消極的な地域も多く、その理由として、獣害対策は植栽費以外の余分なコストが必要であることや、設置後の維持が困難であることなどが挙げられており（三枝ら 2019）、設置後の管理が不要な獣害対策に対する要望が高まっている。

一方、林内に自生する植物には、シカの嗜好性の低いものもあり（橋本ら 2014、坂口ら 2012）、そのような植物はシカの生息密度の高い地域でも繁茂しているケースがある。そこで、シカの不嗜好性植物の造林地内への混植により、採食地としての価値を低下させることで、シカによる植栽木への食害を軽減させることが可能か検討した。

II 方法

調査は、植林を行ったが、シカによる食害を受けたことがある勝田郡西栗倉村影石地内の植栽跡地（以下、影石調査地という。）及び真庭市三世七原地内の造林地（以下、三世七原調査地という。）で実施した。

影石調査地は、ススキを優占種とする草地である（図-3）。センサーカメラ（SG-011：HGC社製）による予備調査では、シカの来訪及び採食が頻繁に確認されたため、調査地とその周辺地域は、日常的にシカが餌場として利用していると考えられた。

三世七原調査地は、調査地はササ類、コナラ、リョウブ、ムラサキシキブ、コバノミツバツツジ等自生種が散在する伐採跡地である（図-4）。調査の前年には、所有者がヒノキを植栽したものの、シカ及びノウサギによる食害を受け、全面的に捕植を実施した。センサーカメラによる予備調査では、シカの来訪頻度は高くないものの、

年間を通じて確認され、特に秋～積雪期前に高くなる傾向がみられた。

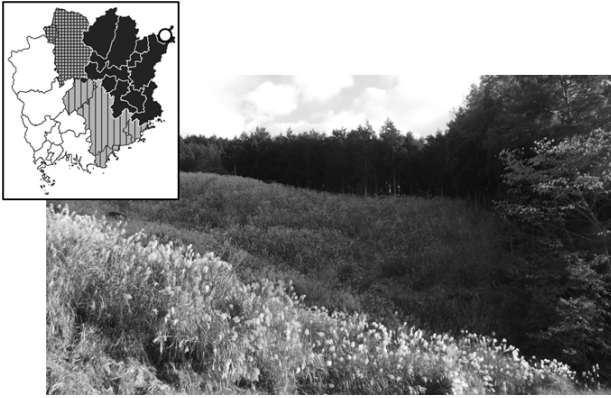


図-3 影石調査地

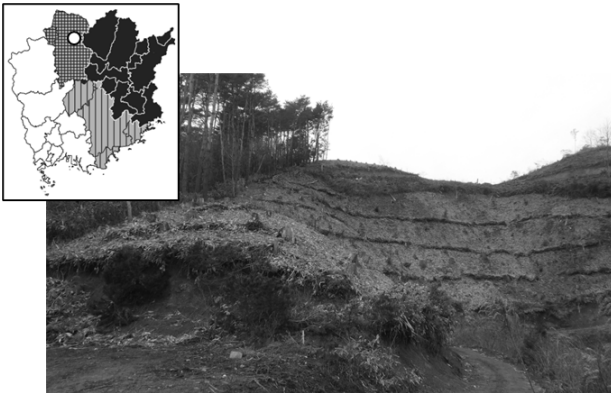


図-4 三世七原調査地

1. 不嗜好性植物による食害抑制試験

(1) 樹種による食害抑制効果の検討

影石調査地において、シカの嗜好性の低いとされるミツマタ、アセビ及びシキミを使用して樹種の違いによる食害抑制効果を検討した。

2019年3月に調査地を設置した。調査区の配置を図-5に、植栽方法を図-6に示す。

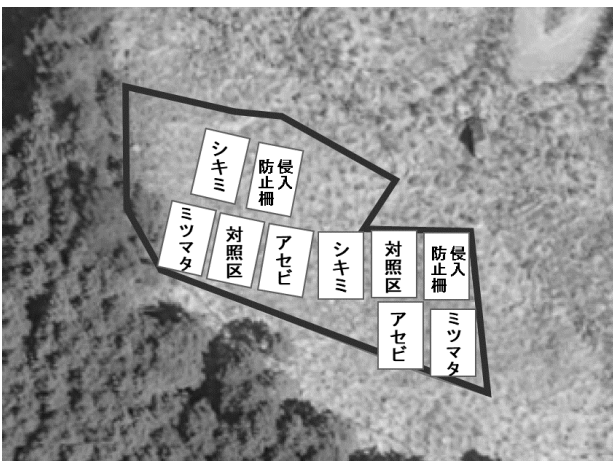


図-5 調査区の配置 (影石調査地)

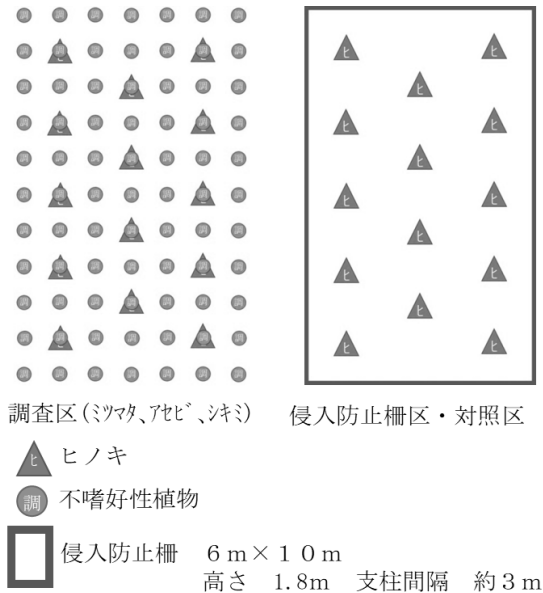


図-6 植栽方法 (影石調査地)

植栽方法は、不嗜好性植物と調査対象木であるヒノキの混植とした。6×10mの調査区内に不嗜好性植物は1m間隔で、ヒノキは2m間隔で植栽した。対照区にはヒノキのみを、比較対象として侵入防止柵で囲んだ調査区を配置した。調査項目は、シカによるヒノキの食害の有無とした。約1ヶ月毎に期間内に新たに発生した採食痕の有無を確認し、次回の調査時に重複しないようにマーカーで印を付けた。また、全ての葉が採食された場合(以下、全枝食害という。)はその旨を記録した。

調査は3年間実施し、各年度における調査期間は、2019年4月18日～2020年2月25日、2020年4月10日～11月24日及び2021年4月23日～12月6日とした。

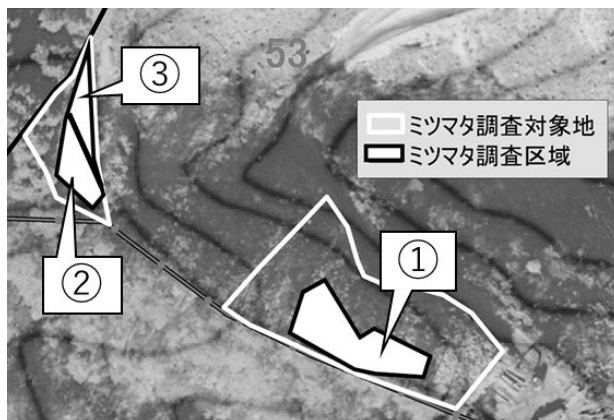
なお、当初は2019年度にヒノキを植栽し、経年的なヒノキの残存率を調査する予定であったが、1年間の調査期間中に全ての個体が食害を受け、次年度の継続調査が不可能だったため、侵入防止柵区以外でヒノキを再度植栽した。

(2) 不嗜好性植物の配置方法による食害抑制効果の検討

三世七原調査地で、不嗜好性植物と植栽木の混植方法の違いによる食害抑制効果を検討した。不嗜好性植物はミツマタを使用した。

2020年3月に調査地を設置した。調査地の配置を図-7に、植栽方法を図-8に示す。調査区及び設置方法を示す。植栽方法は、ヒノキを千鳥状に2m間隔(3, 300本/ha)で植栽し、ヒノキの周辺にミツマタを植栽した。ミツマタの植栽方法は、①ヒノキの周辺に隣接させて5本植栽する方法(以下、周辺植栽という)、②区画全体にミツマタを1m間隔で植栽する方法(以下、区画植栽という)、及び③周辺植栽と区画植栽の両方を実施する方法の3種類とし、①を周辺植栽区、②を区画植栽区、③

を混合区とした。なお、すべての区画を隣接して設置することができなかったため、①を斜面中腹部に、②及び③を尾根部に設置した。



区画	面積 (㎡)	ヒノキ本数	ミツマタ	
			区画植栽	周辺植栽
①	196.08	35	×	○
②	64.93	19	○	×
③	66.98	19	○	○

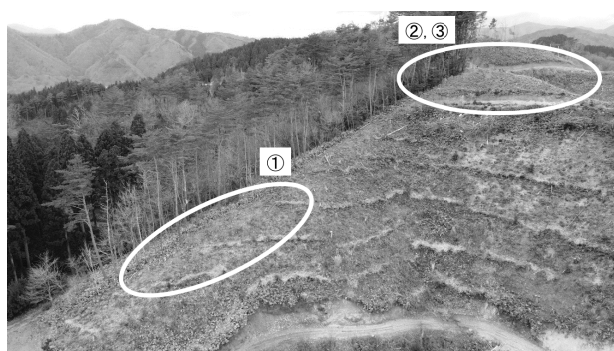


図-7 調査区の配置 (三世七原調査地)

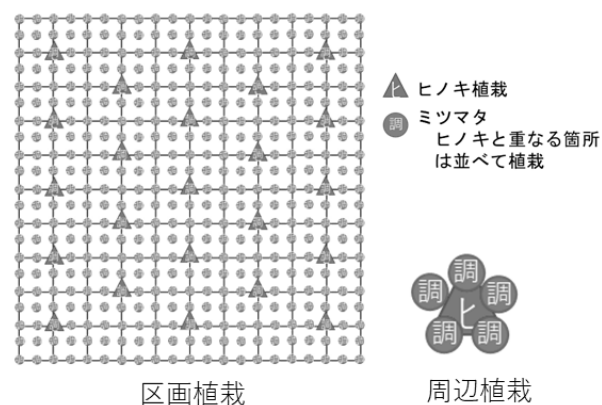


図-8 植栽方法 (三世七原調査地)

調査項目は、シカによるヒノキへの食害の有無とした。約1ヶ月毎に期間内に新たに発生した採食痕の有無を確認し、次回の調査時に重複しないようにマーカーで印を付けた。また、全枝食害が発生した場合はその旨を記録した。

調査は2年間実施し、各年度における調査期間は、2020

年4月10日～11月24日と2021年4月23日～12月6日とした。

2. 下刈りによる食害への影響調査

影石調査地はススキを優占種とする草地であるため、下刈りを実施しないと周囲を見渡せない状態になる。植栽木周囲の見通しがきかないほど周辺植生が繁茂した場合における、シカの採食行動への影響を調査した。

2019年7月8日に、調査地の半数で下刈りを実施した(図-9)。また、2020年度は2020年7月21日に調査地全体で下刈りを実施、2021年度は下刈りを実施せず、隣接地で下刈りによる選択肢のない状態におけるシカの採食行動への影響を調査した。

調査項目は、不嗜好性植物による食害抑制試験と同様とした。

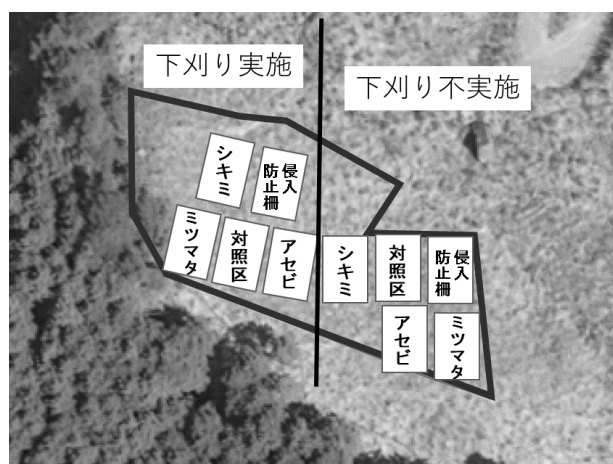


図-9 下刈り実施区画 (2019年度)

3 獣害忌避剤による食害への影響調査

造林地において忌避剤を散布することは、急傾斜地を伴う場合、広範囲を実施することは多くの労力を必要とする。一方、植栽前に散布することは容易に実施することができるため、事前に獣害忌避剤を散布した苗を植栽した時のシカによる採食行動への影響を調査した。

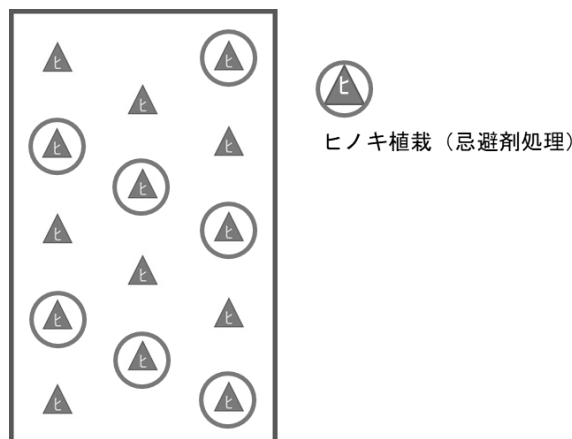


図-10 獣害忌避剤処理木の配置

調査は、岡山県森林研究所敷地内で、植栽予定のヒノキコンテナ苗の半数に、獣害忌避剤（ランカスター水和剤10倍希釈液）を散布し、2020年4月10日に影石調査地へ植栽した（図-10）。また、4カ月経過後の8月24日に再度散布した。

調査項目は、不嗜好性植物による食害抑制試験と同様とした。

4 疑似繁茂帯による食害抑制試験

周辺植栽が高密度で繁茂することによる、シカの行動抑制及び植栽木への食害抑制の可能性について検討するため、疑似繁茂帯を設置し調査した。

影石調査地では、植栽地全体において、周辺の植生が十分に繁殖した場合を想定して、2021年4月のヒノキ植栽前に、対照区の一つに疑似繁茂帯を設置した（図-11）。疑似繁茂帯は、野菜栽培等で使用されるファイバーポール（商品名：ダンポール）を使用し、当該対照区に、周辺の1mの幅で、10cm間隔で千鳥状に設置した。設置高さは150cmとし、同調査区を疑似繁茂区とした。

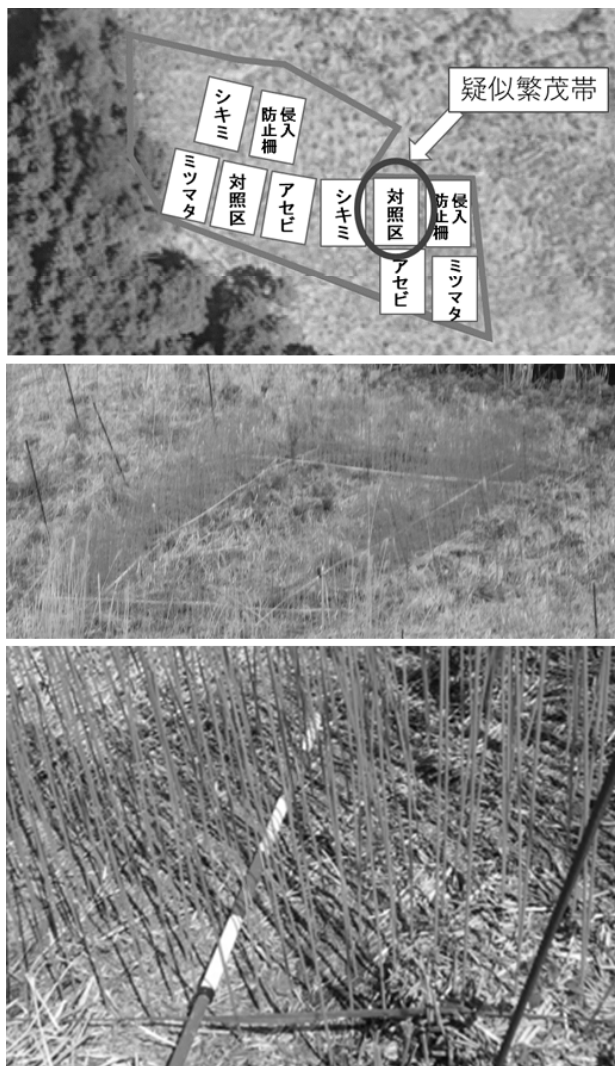


図-11 疑似繁茂帯（影石調査地）

三世七原調査地では、保護対象を単木として周辺植栽区及び区画植栽区に疑似繁茂帯を設置した（図-12）。疑似繁茂帯はファイバーポールを使用した。設置範囲はヒノキを中心として半径50cmの円形とし、10cm間隔で設置した。周辺植栽区8基、区画植栽区に6基設置し、それぞれ隣接しないように配置した。

調査項目は、不嗜好性植物による食害抑制試験と同様とした。

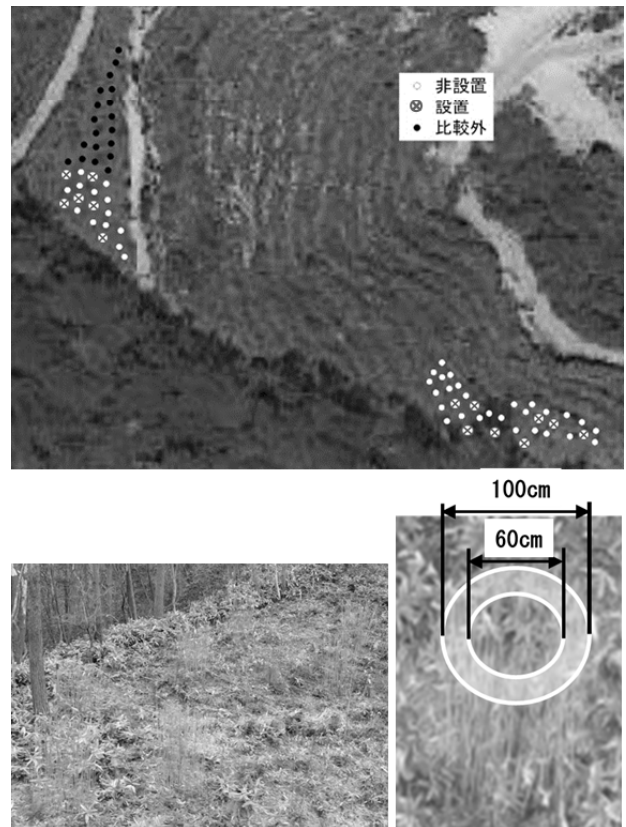


図-12 疑似繁茂帯（三世七原調査地）

III 結果と考察

1. 不嗜好性植物による食害抑制試験

(1) 樹種による食害抑制効果の検討

表-1に各年度の最終調査結果を示す（2019年度は他年度との比較のため、11月末時と最終時）。侵入防止柵区では調査期間中に食害を受けたヒノキはなかった。侵入防止柵区以外では、2019年度及び2020年度にはすべてのヒノキで、2021年度は疑似繁茂帯以外の区画のほぼすべてのヒノキ（アセビ区及びシキミ区で28本中27本）が食害を受けた。

また、不嗜好性区（ミツマタ、アセビ、シキミ）及び対照区の各区画では、2019年度及び2020年度の11月末時点において、7割以上のヒノキで全枝食害が確認された。2021年度は4～7割程度と他の年度と比較して低値を示しているが、同年度は下刈りを実施していないため、このことが影響しているものと推測される。下刈りによる食害への影響については後述する。

表－1 各年度終了における食害率及び全枝食害率 (単位：%)

年度	2019		2020		2021			
開始日	2019. 4. 18		2020. 4. 10		2021. 4. 23			
最終日	2019. 11. 21	2020. 2. 25	2020. 11. 24	2021. 12. 6				
	食害率	全枝食害率	食害率	全枝食害率	食害率	全枝食害率		
ミツマタ	96.4	89.3	100.0	100.0	100.0	75.0	100.0	66.7
アセビ	100.0	79.6	100.0	100.0	100.0	92.3	96.4	39.3
シキミ	100.0	75.0	100.0	100.0	100.0	85.7	96.4	50.0
侵入防止柵	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
対照区	100.0	92.9	100.0	100.0	100.0	96.3	100.0	71.4
疑似繁茂区	—	—	—	—	—	—	71.4	50.0

※引き抜きによる枯損は食害及び全枝植栽に含める。
 ※2019及び2020は下刈りを1回実施、R3は下刈りを省略した。

なお、2月下旬まで調査を実施した2019年では、調査終了時に全てのヒノキで全枝食害が確認されたことから2020年度及び2021年度についても調査終了後に被害が続いたと考えられる。

このことから、日常的にシカが餌場としていると思われる林内では、不嗜好性植物の混植による食害抑制は困難であると考えられた。

(2) 不嗜好性植物の配置方法による食害抑制効果の検討

表－2に各年度の最終結果を示す。2020年度は区画植栽区及び混合区に、2021年度は全区画で食害が確認された。

表－2 各年度時における食害率および全枝食害率

(三世七原調査地)

年度	2020		2021			
開始日	2020. 4. 10		2021. 4. 23			
最終日	2020. 11. 24		2021. 12. 6			
	疑似繁茂帯	本数	食害率	全枝食害率	食害率	全枝食害率
周辺植栽区	なし	27	0.0	0.0	74.1	0.0
	あり	8	—	—	0.0	0.0
	全体	35	0.0	0.0	57.1	0.0
区画内植栽区	なし	13	84.2	0.0	92.3	0.0
	あり	6	—	—	83.3	0.0
	全体	19	84.2	0.0	89.5	0.0
混合区	—	19	68.4	0.0	83.3	0.0

いずれの食害も軽微であり、全枝食害は調査期間を通して確認されなかった。2020年度では、斜面中腹部に設置した周辺植栽区で食害が確認できなかったことから、調査区の設置位置が影響している可能性が考えられたため、斜面中腹部及び尾根部におけるシカの出没頻度を調査した。出没状況の推定にはREM法 (Rowcliffe *et al.* 2008) で算出される生息密度を利用した。

$$D = (g * y / t) * \pi / v * r * (2 + \theta)$$

D = 生息密度

g = シカの群れサイズ (月別に算出)

y = 撮影枚数

(連続で撮影された場合は1頭とした。ただし、撮影間隔が15分以上空いた場合は別個体とした。)

t = 累積カメラ台数

(撮影日数×台数：月別に算出)

$\pi = 3.14$

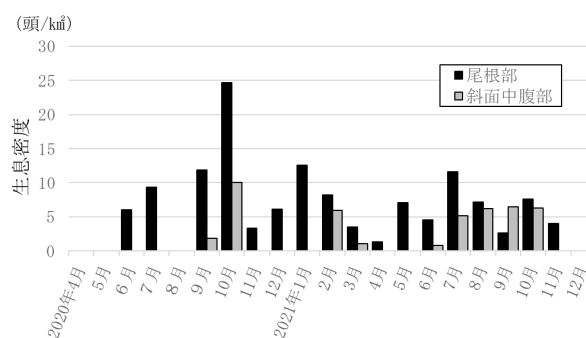
v = 移動速度

r = カメラの感知距離

$\theta =$ カメラの探知角度

vは調査地で事前に撮影した画像をもとに算出し、2km/日とした。r及び θ はセンサーカメラの仕様書からそれぞれ0.02, 1.9199とした。

図－13にセンサーカメラの画像から推測した月別のシカ出没状況を示す。



図－13 センサーカメラ撮影によるシカの出没状況

設置位置別の調査では、尾根部では月によって頻度の多少はあるが、一年を通してシカの出没が確認できた。一方、斜面中腹部では2020年は9月及び10月を除いてシカは確認されなかった。2021年では出没頻度が増加したものの、全体的に尾根部より少なく、同地域では、シカは主に尾根部を利用していると考えられた。

また、斜面中腹部に設置した周辺植栽区では、2020年度は食害が確認できず、2021年度も他の区画と比較して被害が少なかったが、原因として、調査期間中のシカの来訪数が他区画と比較して少なかったことが影響していると考えられる。

図-14に2020年度における区画別の被害頻度を、図-15にヒノキの個体別被害回数を示す。

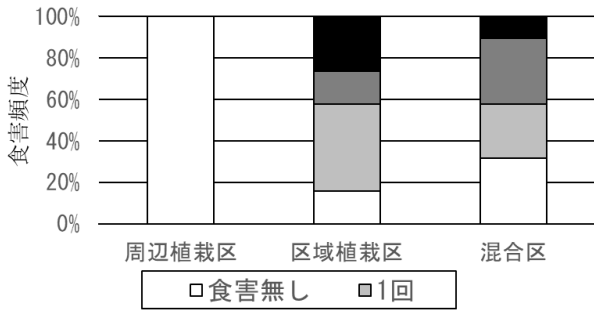


図-14 区画別の被害頻度 (2020年度)

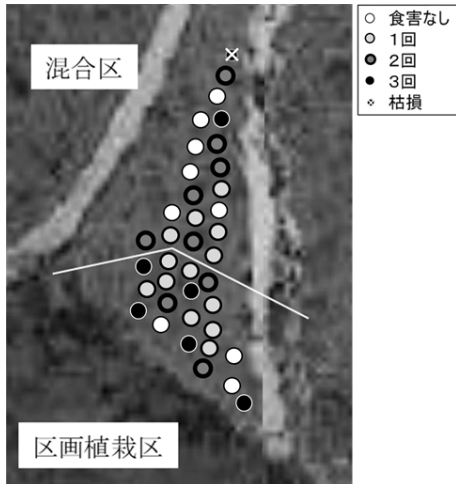


図-15 個体別被害回数 (2020年度)

2020年度は7回の調査を実施したが、最も被害を受けた個体で3回であった。周辺植栽区では被害は確認されなかった。区画植栽区及び混合区ではそれぞれ84.2%、68.4%が被害を受けており、複数回被害を受けたヒノキは両区とも42.1%だった。被害を受けていない個体は調査区の周辺部分に偏っており、複数回被害を受けている個体の位置も両区に偏りがみられないことから、混植方法の違いではなく、シカの移動経路によるものと考えられた。

2021年度では、被害が各区画とも全体的に分散して発生したが(図-16)、全枝被害はみられなかった。

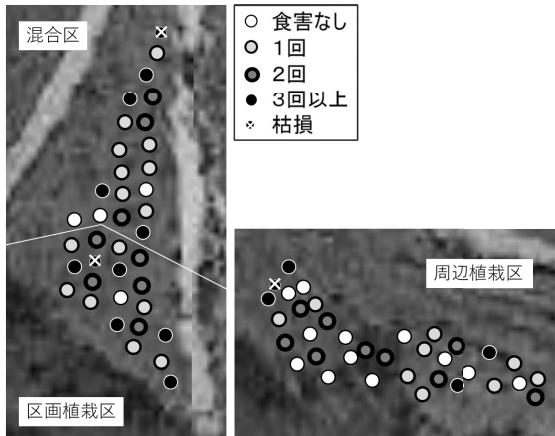


図-16 個体別被害回数 (2021年度)

当該調査地では、下刈りを実施しなかったため、調査地内の植生は豊富であった。一方、ヒノキ周辺の植生の成長が比較的緩慢であったため、ヒノキは頂芽が常に露出している状態であったが、周辺植生にシカによる採食痕が確認された。このため、シカによる採食状況についての調査は実施していないため明確ではないものの、シカの採食対象がヒノキに集中せず、周辺植生にも分散されていたと考えられた。

2. 下刈りによる被害への影響調査

2019年に、下刈りの有無による被害の発生状況を調査した結果を、図-17, 18に示す。

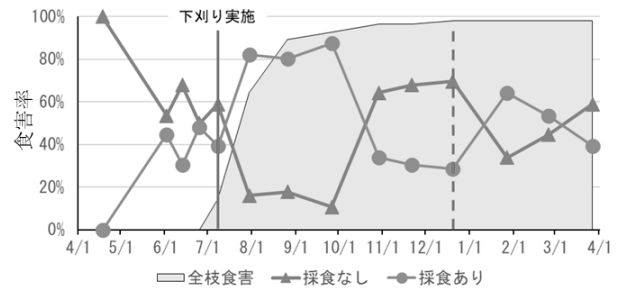


図-17 下刈り実施(7月)区画における被害発生状況

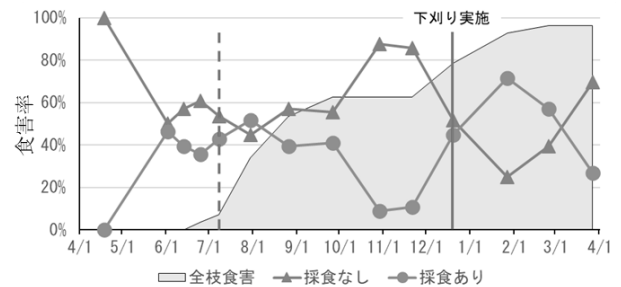


図-18 下刈り不実施区画における被害発生状況

下刈り実施区画では、被害の発生数と全枝被害された個体数がそれぞれ増加しており、同区画におけるシカの採食行動が活発になったと考えられた。一方、下刈り不実施区画では、1ヶ月間に被害を受けたヒノキの割合には、顕著な増減はみられなかったが、全枝被害が確認されたヒノキは増加した。シカが移動できる経路が制限されたため、その経路上にあるヒノキが集中的に被害を受けたのではないかと考えられた。なお、7月に下刈りしなかった区画で、ススキの地上部が枯損した12月に整理伐を行ったところ、該当区画において全枝被害の割合が急増しており、整理伐を実施したことにより区画の全域にシカの行動範囲が拡大したと考えられた。

次に、2020年度及び2021年度における被害の発生状況を、図-19, 20に示す。2020年度は、2019年度と同様に下刈りを実施した直後に採食行動が活発化した。下刈りを実施しなかった2021年度は顕著な変動はみられなかった。このことから、下刈りにより、植栽木に対する採

食行動が活発化する可能性がある」と推測された。一方、下刈りの省略は、シカの行動をある程度限定できる可能性はあるものの、全枝食害が確認されるヒノキは常に増加していることから、植栽木の保護に十分なシカに対する行動抑制効果は期待できないと考えられた。

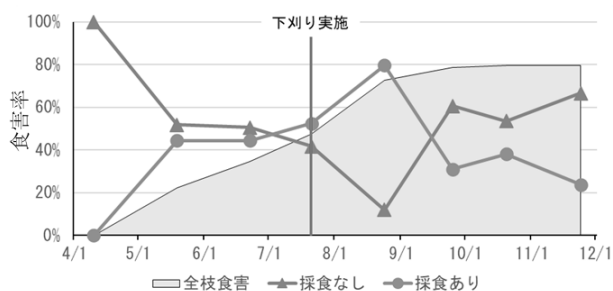


図-19 下刈りによる採食行動への影響 (2020年度)

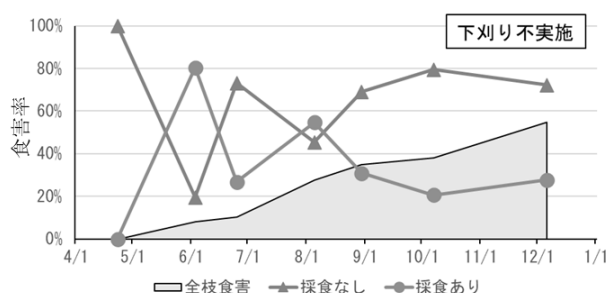


図-20 下刈りによる採食行動への影響 (2021年度)

3 獣害忌避剤による食害への影響調査

2020年度に、獣害忌避剤散布の有無による食害の発生状況を調査した結果を図-21, 22に示す。

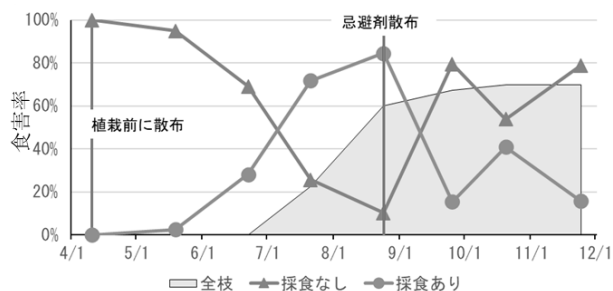


図-21 獣害忌避剤による採食行動への影響 (忌避剤散布あり)

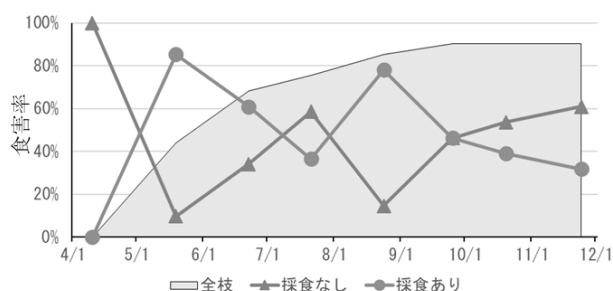


図-22 獣害忌避剤による採食行動への影響 (忌避剤散布なし)

植栽前に獣害忌避剤を散布した後に、処理木と非処理木の均等に植栽し、シカの採食状況を調査したところ、植栽後1ヶ月目の調査では、非処理木の約85%で食害が確認されたのに対して、処理木の食害は2本(40本中:5%)であった。その後、食害は徐々に増加し、3ヶ月後の調査では約70%程度のヒノキで食害が確認された。

4ヶ月目の調査時に、再度獣害忌避剤を散布したところ、次の調査では食害は減少したが、非処理木においても食害の減少が確認されたため、再散布による効果を検証することができなかった。今回の調査では、獣害忌避剤により、植栽木を獣害から保護できることが確認できた。一方で、1度の処理では長期的な保護は困難であると考えられたため、定期的な管理が可能な地域での活用が期待される。

4 疑似繁茂帯による食害抑制試験

影石調査地における、食害の発生状況を図-23, 24に示す。

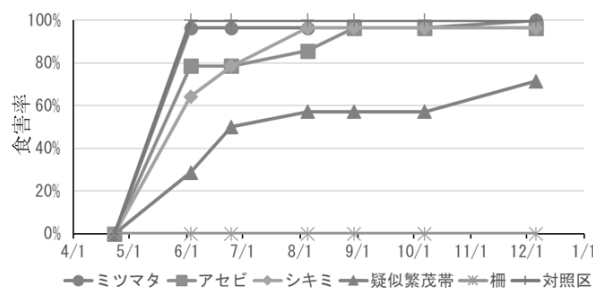


図-23 各区画における食害率の推移 (影石調査地)

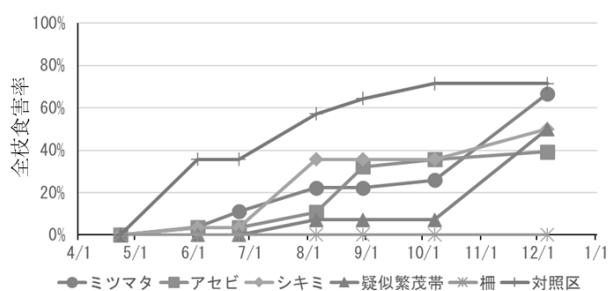


図-24 各区画における全枝食害率の推移 (影石調査地)

対照区及び各不嗜好性植物区画と比較し、食害の発生率は低かったが、少数ながら各調査回で食害が確認された。また、調査地内の草本類が少なくなった12月の調査では、食害、全枝食害率ともに増加し、特に全枝食害率は、各不嗜好性食物区画と同程度の被害率となった。このことから、シカの食用に適さない植物や物質が高密度で配置されていても、通り抜けが可能であれば、シカの行動を抑止することは困難であると考えられた。

三世七原調査地における、食害の発生状況を調査した結果を図-25に示す。

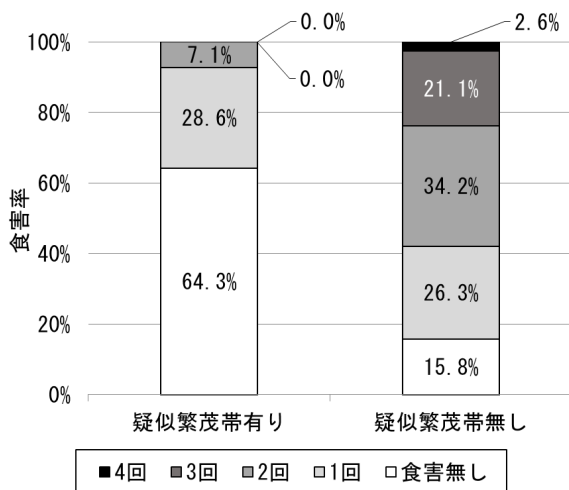


図-25 疑似繁茂帯の有無による食害発生状況 (三世七原調査地)

食害を受けなかったヒノキの割合は、疑似繁茂帯有り区で64.3%、疑似繁茂帯無し区で15.8%であった。また、複数回食害を受けた割合はそれぞれ7.1%、57.9%であり、疑似繁茂帯を設置することによって食害を受けにくく、また、食害を受ける頻度も少なかった。本試験におけるシカによるヒノキに対する食害の程度は軽微であり、かつ当調査地には採食対象物が豊富にあることから、シカは、行動の支障になるような障害物は回避するのではないかと考えられた。また、今回設置した疑似繁茂帯は単木を対象としていたため、より回避しやすかったと考えられた。

IV おわりに

シカの不嗜好性植物を用いた植栽木の被害軽減の取り組みは、これまでも検討されているが、必ずしも良好な結果が得られていない(亀井 2002, 千村ら 2013)。

そこで本研究では、3種類の不嗜好性植物による混植に加え、ミツマタでは調査地内に50cm間隔という高密度に植栽したが、シカの往来を抑制することができなかった。また、疑似繁茂帯により、さらに高密度に障害物を再現したが、シカが餌場として頻繁に利用する箇所では、疑似繁茂帯を通過することが確認された。

一方、周辺植生が豊富な箇所では、植栽木の周辺にのみ疑似繁茂帯を設置した場合でも食害が軽減できた。また、下掲りの省略をすることで植栽木の保護には十分ではないものの食害の軽減が確認できた。

このことから、シカの採食行動は、不嗜好性植物の有無よりも、シカによる従来からの利用状況や、周辺植生の豊富さが大きく影響を受けていると考えられた。

一方、今回の調査で、侵入防止柵は、区画内への侵入を完全に阻止した。また、獣害忌避剤は効果が有期限であり、その期間中も若干の採食がみられたものの、一定の

忌避効果は確認できた。いずれも設置、施業及び管理を伴うため、施工場所や目的により選択をする必要であるが、植栽木の保全を第一義とした場合、有効な手段であると考えられる。既存の獣害対策は経済的にも労務的にも重い負担を強いることが多いため、今後も低コストや省力化の検討が必要である。また、同時に獣害対策を実施してでも推進したいと思える林業経営の模索が進むことを期待する。

引用文献

Rowcliffe, JM., J.Field, ST.Turvey and C.Carbone (2008) Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology* 45:1228-1236.

三枝道生・井上真吾 (2019) 防鹿柵の効果的な維持管理方法の検討. *水利科学*368 : 111-123.

橋本佳延・藤木大介 (2014) 日本における二ホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト. *人と自然*25 : 133-160.

岡山県鳥獣害対策室 (2022) 鳥獣による農林水産被害状況等. <https://www.pref.okayama.jp/page/494594.html>

坂口翔太・藤木大介・井上みずき・山崎理正・福島慶太郎・高柳敦 (2012) 日本海側冷温帯性針広混交林における二ホンジカの植物嗜好性. *森林研究*78 : 71-80.

亀井行雄 (2012) 被害地の早期生産手法の開発. *東京都林業試験場年報* : 71-80.

千村知博・安藤正規 (2013) シカの不嗜好植物との混植によるヒノキ苗の食害軽減効果の検証. 中部森林技術交流発表会要旨集 (web掲載) <https://www.rinya.maff.go.jp/chubu/gijyutu/siryousitu/pdf/25-11.pdf>

研究報告第38号
編集・発行 岡山県農林水産総合センター森林研究所
郵便番号 709-4335
所在地 岡山県勝田郡勝央町植月中 1001
電話番号 (0868) 38-3151(代)
F A X (0868) 38-3152
ホームページ <https://www.pref.okayama.jp/soshiki/209/>

B U L L E T I N

N o . 38

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 2023

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