

岐阜県森林研究所

研 究 報 告

第 47 号

Bulletin of the Gifu Prefectural  
Research Institute for Forests

Vol. 47

岐阜県森林研究所

Gifu Prefectural Research Institute for Forests

岐阜県美濃市

Mino, Gifu

2018 年 3 月

March 2018

## —— 論 文 ——

- 1 携帯式高周波水分計の測定時に使用する品質管理のための設定密度と検量線換算／  
富田守泰，土肥基生

## —— 短 報 ——

- 15 カシノナガキクイムシの穿入孔の分布および密度が繁殖成功率へ及ぼす影響／  
大橋章博
- 21 ナラ枯れ被害木(コナラ・ミズナラ)を菌床材料とした際の食用キノコの菌糸伸長に及ぼす影響／  
上辻久敏

## —— 技術資料 ——

- 27 壮齢ヒノキ人工林における列状間伐後 2 年間の表土移動量の変化／  
岡本卓也，渡邊仁志

## —— 論文抄録 ——

- 33 間伐後のヒノキ人工林においてニホンジカの採食が中型土壤動物群集に与える影響  
(英文 Journal of Forest Research) ／  
片桐奈々，肘井直樹
- 34 ヒノキにおける実生裸苗と緩効性肥料を用いて育成した実生コンテナ苗の  
初期成長(日本森林学会誌) ／  
渡邊仁志，茂木靖和，三村晴彦，千村知博
- 35 六角柱型ツリーシェルターの耐雪性(日本緑化工学会誌) ／  
岡本卓也，渡邊仁志
- 36 多雪地域のスギ林内に導入した落葉広葉樹の初期成長とそれらが  
受けた諸被害(日本緑化工学会誌) ／  
渡邊仁志，岡本卓也
- 37 ヒノキ実生コンテナ苗の改良による低コスト再造林技術の開発(森林科学) ／  
渡邊仁志

## 清流の国ぎふ憲章

～ 豊かな森と清き水 世界に誇れる 我が清流の国 ～

「清流の国ぎふ」に生きる私たちは、

- 知** 清流がもたらした自然、歴史、伝統、文化、技を知り学びます
- 創** ふるさとの宝ものを磨き活かし、新たな創造と発信に努めます
- 伝** 清流の恵みを新たな世代へと守り伝えます

平成26年1月31日 「清流の国ぎふ」づくり推進県民会議

論文

携帯式高周波水分計の測定時に使用する  
品質管理のための設定密度と検量線換算<sup>1</sup>

富田 守泰・土肥 基生

Setting density value and conversion using the calibration curve for quality control in the board moisture content measurement by the ratio-frequency type

Moriyasu Tomita, Motoo Dohi

携帯式高周波水分計による含水率測定値（以下、計値）は、全乾比重（以下、密度）に依存する問題があり、樹種や樹種群に応じて計器に密度を設定することで対応している。しかし測定する材料それぞれの密度のばらつきには対応できず、全乾法による値との差を生む一因になっている。一方で計値が密度に依存し、それが全乾法による値との差であることから、本研究では予め測定した密度の下限値を機器の設定密度として設定して測定する方法を品質管理に利用すべく検討した。ヒノキ、スギの板材を使用し水分計2種について検討した結果、下限密度材の計値が基準値内に収まれば大半（下限密度以上）の測定材が全乾法で基準値以下になることが確認された。そこで、密度の10%下限値で設定して測定した計値を、全乾法含水率と計値の回帰係数を利用して換算した値は、X軸を全乾法含水率とした関係図において下限ラインがY=Xの線上に位置した。これは信頼度80%の下限信頼幅ラインに該当し、この方法は基準値を読み替えるという現行の手法によることなく、判定できる計測法として期待できる。

**キーワード**：スギ、ヒノキ、板材、密度の下限値、携帯式高周波水分計、品質管理

I はじめに

日本農林規格（以下、JAS）において、針葉樹製材の含水率は品目別（造作用製材、構造用製材、下地用製材）、仕上げ別（未仕上げD、仕上げSD）に15、18、20、25%の各値が基準値に設定されている（農林水産省、2013）。これらの格付けの手法としてサンプル試験片を用いた全乾法により可否を判定するとしている。その一方で乾燥材品質管理のために水分計の利用を推奨している（（社）全国木材検査・研究協会（以下、全木検）、2011）。これを受けて（財）日本住宅・木材技術センター（以下、住木センター）は、携帯型（高周波とそれ以外）と設置型に分けて計器の認証を実施している（住木センター、2015）。JASでは、認証された水分計であって

もその値をそのまま用いるのではなく、いくつかの留意点を示している（全木検、2011）。それを列記すると、①密度、温度による計器の補正を適切にする ②携帯水分計では厚い材の誤差に注意する ③含水率傾斜に対する補正を行う ④全乾重量法との誤差を常に補正する等である。

しかし、板などの造作用材における最も重要なポイントは、②、③に該当する構造用材での含水率傾斜に必要な補正よりも①の密度による測定誤差の対応と推測される。認証された水分計ではないが、電気抵抗式水分計は現在でも密度による誤差の小さい計器として広葉樹業界では活用されている。しかし電気抵抗式水分計は比較的高価で、針葉樹製材業では既に構造材の水分計として高周波式水分計が普及していることもあ

表-1 水分計に関する基準一覧

制度・基準	高周波式水分計	高周波式水分計以外
住木センター 針葉樹材の含水率計認定基準	計値の平均で全乾法との差が±2%以内（含水率傾斜を想定し、一定以上の差が生じることを認める）	個々の値が全乾法含水率±0.12 × 全乾法含水率(13/15以上)
JAS製品の乾燥管理（認定のための水分計チェック）	10体の試験体を用い、全乾法含水率より低い場合、差の分、基準値含水率を減じる	

(財)日本住宅・木材技術センター(2013)針葉樹製材に用いる含水率計(携帯型(高周波押し当て式))の性能基準  
(財)日本住宅・木材技術センター(2013)針葉樹製材に用いる含水率計(携帯型(高周波押し当て式以外))の性能基準  
(社)全国木材検査・研究協会(2013)人工乾燥処理製材の認定申請に当たっての含水率管理基準の決定及び品質管理資料の作成について(平成25年)

<sup>1</sup>本研究の一部は、第66回日本木材学会で発表した。

り、現時点では高周波式水分計による板材測定の適切な利用法が求められる。

現行制度下での水分計に関連する基準を表-1に示す。住木センターの携帯型高周波水分計の認定基準では測定し得る深度を中心に規定するとともに、個々の計値の誤差ではなく、平均値の差を±2%以内としている（住木センター、2013）。

JASの格付は製品の全乾法による値が基準値以下であるとされている。日常の品質管理に水分計の使用を認めているが、一般的に設定密度を平均的な密度とした場合であっても、測定材の密度が設定密度より低ければ、計値は全乾法含水率より低い含水率を示すため、本来は不合格とすべき材を合格させる可能性がある。このような密度に関する誤差等があっても安全側に導くため、JAS製品の乾燥管理で、乾燥JAS工場の認定時には、任意に選択した10個体の試験材から最大誤差を把握し、全乾法含水率に対し計値が低い場合は、含水率基準を差の分低く読み替えるとしている（全木検、2013）。このように水分計の測定方法には手を加えず、運用段階で対応している。しかしながら、認定時に限定された10個体のサンプルによって基準値を読み替えることで、その差が過大であれば、以後の乾燥業務で過乾燥などの影響を及ぼすことになる。中小工場などでは担当者レベルで読替えそのものを失念したり、形骸化することも危惧される。

国内の水分計メーカーは、設定密度の問題を考慮して補正をする機能を備えているものもあるが、その方法も複数あり、適正な（説明根拠のある）補正でなければJASの認定は得られないとされており（全木検、2011）、実際は使用されていないのが現状である。そこで、筆者らはA社製携帯型高周波水分計を用いてヒノキ板材測定時において、密度下限値設定と補正（以後、検量線による換算とする）による利用方法を提案した（富田、2016）；（富田・土肥、2018）。今回はスギを含め、換算式の係数を事前に設定できる水分計（B社製）を加えた。現状機器の現場に相応した最適な利用方法を樹種や機種に拡大し、検証を加えて実用化への方策を見つけ出すことを目的とした。

## II 材料と試験方法

### 1. 材料と全乾法含水率算出

2012年に天然乾燥試験を実施したヒノキとスギの平角材の一部（120mm×160～270mm、材長1.5m）を用い、長尺面の両端から任意に30mm厚さの板目板材を製材した（本県では構造用材の側板を用いた製材の人工乾燥が多いため芯材部60mmは除外した）。各板の両端30cm以上内側から全乾法試験片を採取し、含水率の平均値を中央部の試験材気乾含水率とし、中央部の試験材重量から試験材全乾重量を算出して、各測定重

量から全乾法含水率を求めた（図-1）。

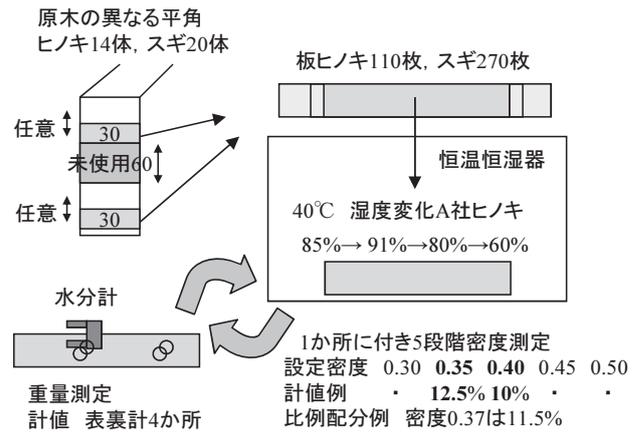


図-1 材料と試験方法

### 2. 全乾密度の算出

水分計メーカーが水分計に設定する推奨密度は、農林省林業試験場木材部編（1975）に準じて樹種毎の平均気乾密度を決定し、1式（信田ら、1990）により算出した値（株式会社ケット科学研究所、2016）；（マイクロメジャー株式会社、2015）を用いている。そこで、本報告では両端の全乾法試片の平均含水率をuとし、中央部の重量と体積から算出した気乾密度をruとして、密度（r0）を同じ1式により板材個々に算出した。

$$r0 = \frac{100 \cdot ru}{100 + u(1 - 0.84 \cdot ru)} \quad \text{1式}$$

r0：密度 (g/cm<sup>3</sup>), u 含水率 (%), ru: 気乾密度 (g/cm<sup>3</sup>)

### 3. 湿度調整と含水率

試験材は恒温恒湿器で温度40°C一定とし、樹種毎、計器毎に含水率が均等に分布するよう順に相対湿度を変えて各条件で4日間湿度調整した（表-2）。

表-2 設定湿度と対応する平衡含水率

目的	水分計	樹種	条件	恒温恒湿器内(40°C)				
				湿度変化順→				
密度補正係数算出	A社製	ヒノキ	湿度	85	91	80	60	
			平衡含水率	11	17	20	15	10
		スギ	湿度	80	91	80	60	
			平衡含水率	11	15	20	15	10
	B社製	ヒノキ	湿度	80	85	75		
			平衡含水率	11	15	17	13	
スギ		湿度	75	83	87	80		
		平衡含水率	11	13	16	18	15	
検証* B社製	ヒノキ	湿度	80	85	75			
		平衡含水率	15	15	17	13		
	スギ	湿度	80	85	75			
		平衡含水率	15	15	17	13		

\*考察に使用する

#### 4. 高周波水分計による測定

当初と湿度調整時ごとに重量測定および両面同位置で各2か所、計4か所を水分計で測定した。用いた水分計は数値で密度を設定できる住木センター認定機種A社製およびB社製である。測定深さは30mm、温度補正は自動として設定した。測定時の設定密度は、A社製はヒノキ、スギの樹種密度として同社の推奨するそれぞれ0.37、0.34 g/cm<sup>3</sup>（株式会社ケット科学研究所、2016）を設定した（表-3）。なおA社製はヒノキ、スギで明示された設定ダイヤルがあるが、同社独自の検量線を使用していることからその影響を考慮して使用しなかった。

B社製はヒノキ、スギの樹種密度として同社の推奨密度であるそれぞれ0.42、0.35 g/cm<sup>3</sup>（マイクロメジャー株式会社、2015）を設定した（表-3）。加えて、後述（図-4、5）の密度を勘案し0.40 g/cm<sup>3</sup>を中心として±0.10の範囲で0.05刻みに設定した状態で同一箇所を5回測定した（以下、5段階密度とする）。各板の密度に応じた計値や後述する下限密度の計値については、5段階密度の内前後2つの段階の密度と対応する計値から比例配分により求めた（図-1右下例）。

表-3 設定値に関わる密度と分布 各社設定値

		(g/cm <sup>3</sup> )	
		ヒノキ	スギ
個体数(枚)		110	270
全乾密度	平均	<b>0.44</b>	<b>0.37</b>
(g/cm <sup>3</sup> )	標準偏差	0.037	0.028
	10%下限値	0.39	0.33
設定値	A社	<b>0.37</b>	<b>0.34</b>
(g/cm <sup>3</sup> )	B社	<b>0.42(0.38~0.45)</b>	<b>0.35(0.33~0.37)</b>

#### 5. 抵抗式水分計による測定

4. と同時期、同位置で各2か所、計4か所で抵抗式水分計による測定を実施した。なお測定対象樹種の設定はヒノキ、スギ設定とした。

#### 6. 流通材による検証方法

考察4で用いた流通材での検証方法を以下に示した。使用した木材は1. 材料と同寸法の30mm厚ヒノキ・スギの板目板各20枚とし、湿度調整はB社製ヒノキと同じとした（表-2）。用いた水分計は換算を自動化できるB社製とし、表-4にまとめた密度設定値および換算値を使用して測定した。換算については事前に係数を水分計に設定し、換算後の数値を直接求めた。

### Ⅲ. 結 果

#### 1. 試験材の密度分布と設定値

試験材から全乾法により算出した密度を表-3に示す。

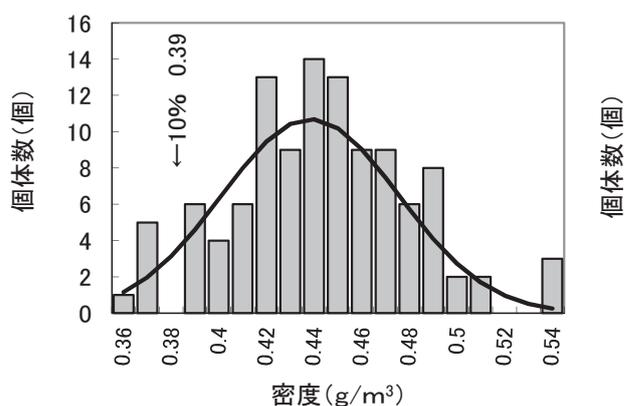


図-2 ヒノキ密度分布と下限値

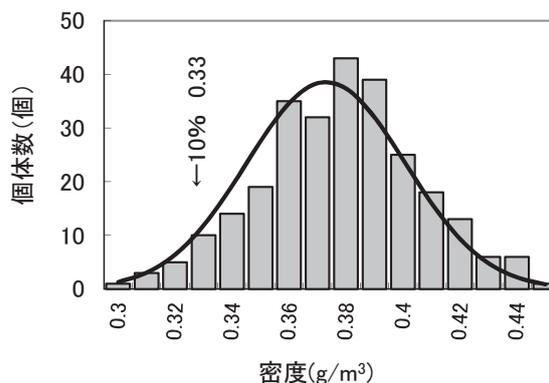


図-3 スギ密度分布と下限値

平均値でヒノキ0.44g/cm<sup>3</sup>、スギ0.37g/cm<sup>3</sup>となり、各社推奨の設定値に比べヒノキで0.02～0.07g/cm<sup>3</sup>、スギで0.02～0.03g/cm<sup>3</sup>高い値になった。A社の設定値の前提になる農林省林業試験場木材部編（1975）のヒノキの気乾密度は木曾ヒノキなどの試料であったとされ、0.37g/cm<sup>3</sup>と低く算出されている。なお図-2,3に度数分布と後に利用する10%下限値を示した。

#### 2. 密度と計値、全乾法含水率の関係

A社の高周波式水分計を用いて、ヒノキを測定した結果、密度に対する計値との関係を図-4に示す。温度40℃で湿度変化に伴う吸湿状態を平衡含水率で示すと調湿前の11%から開始し、A社製でヒノキ測定は、順に加湿側上昇としてU17%、U20%、減湿側：減少としてD15%、D10%を凡例に明示した。その他A社製スギ測定、B社製ヒノキ、スギとも別の時期に実施し、湿度条件、測定回数が異なるため、平衡含水率としてA社製ヒノキの凡例に則して明示した。

本試験では密度が既知なので、密度に応じた計値を求めた。具体的には0.05刻みの設定密度とその計値から比例配分により求めた。図-6にその結果を示す。設定密度を一定とした図-4と比較し計値は一定の値あるいは負の相関関係を示す傾向が確認された。

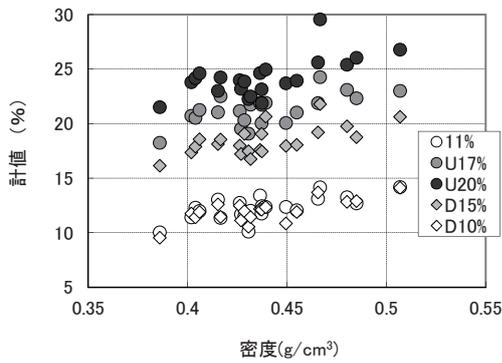


図-4 ヒノキの密度に対する各平衡含水率環境下毎の計値 (A社)

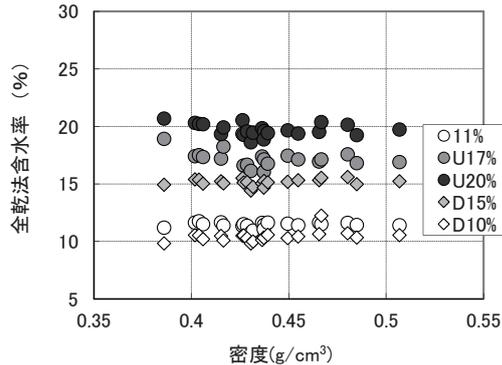


図-5 ヒノキの密度に対する各平衡含水率環境下毎の全乾法含水率 (A社)

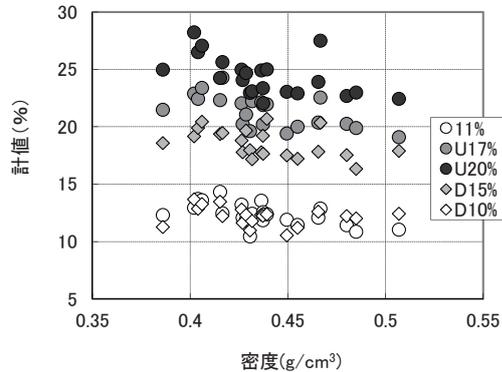


図-6 ヒノキの密度に対する各平衡含水率環境下毎の材毎密度設定計値 (A社)

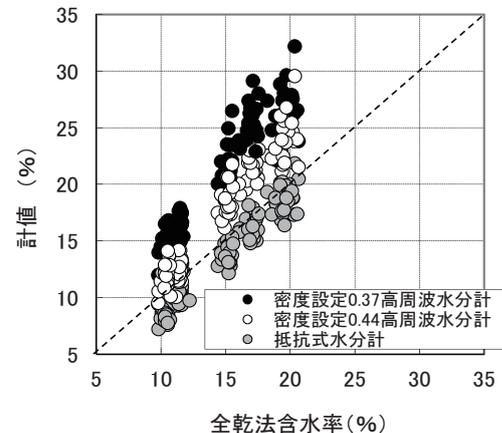


図-7 ヒノキの全乾法含水率に対する各計値 (A社)

次にA社製の高周波式水分計と同社の電気抵抗式水分計による計値を全乾法含水率との関係で図-7に示す。A社はヒノキの密度を数値では0.37g/cm<sup>3</sup>としているため、この0.37 g/cm<sup>3</sup>と今回の試験結果による県内ヒノキの密度の平均値0.44 g/cm<sup>3</sup>を用いて比較した。今回の密度0.44 g/cm<sup>3</sup>として設定した計値は0.37 g/cm<sup>3</sup>設定よりも全乾法含水率に近かった。同時に測定した抵抗式水分計による値はほぼ全乾法と同値傾向であった。同様にA社の水分計を用いてスギを測定した結果を図-8～11に示す。密度と計値の間に相関関係が認められ(図-8),その関係はヒノキより明らかなで、材毎に密度を設定した時の計値は密度に関わらず一定の傾向にあった(図-10)。A社はスギの密度を0.34 g/cm<sup>3</sup>に設定しているため、計値は全乾法による含水率と比較して高い含水率を示した(図-11)。今回の試験で得られた密度0.37 g/cm<sup>3</sup>に設定して測定するとわずかに全乾法含水率に近くなった(図-11)。

同様に、同じ材を用いてB社製の水分計を使って測定した結果を図-12～19に示した。ヒノキ、スギともA社とほぼ類似の傾向を示していた(図-12～14,図-16～18)。スギではB社の設定密度0.35 g/cm<sup>3</sup>に対し、今回の試験で得られた密度0.37 g/cm<sup>3</sup>と設定した計値は全乾法含水率により近い結果をもたらした、抵抗式水分計レベルとなった(図-19)。

試験材は各板とも各測定段階で一定温湿度を保ったので、ほぼ一定の平衡含水率範囲に留まっている。全乾法含水率との関係では、図-5により調湿で密度に関係なく一様に調整されていることが確認できる一方で、図-4により計値は密度との正の相関関係が確認される。

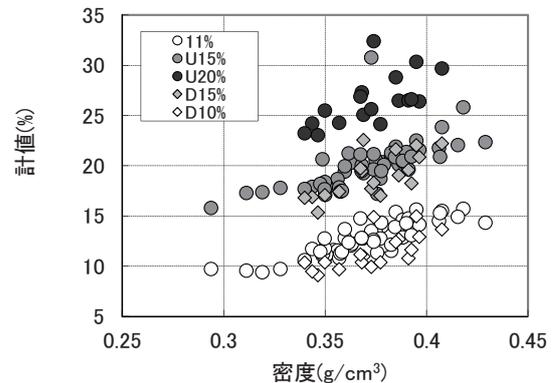


図-8 スギの密度に対する各平衡含水率環境下での計値 (A社)

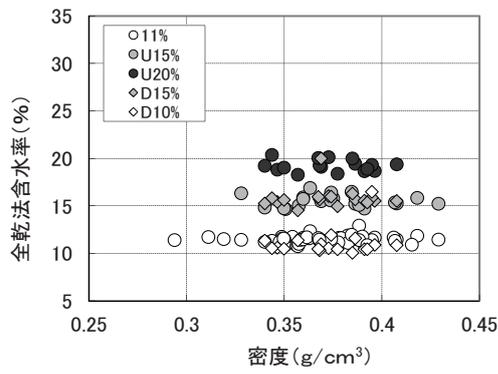


図-9 スギの密度に対する各平衡含水率環境下での全乾法含水率 (A社)

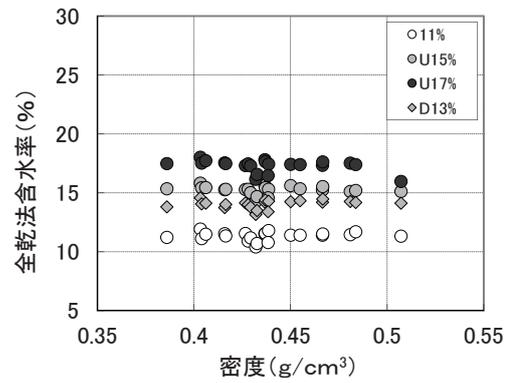


図-13 ヒノキの密度に対する各平衡含水率環境下毎の全乾法含水率 (B社)

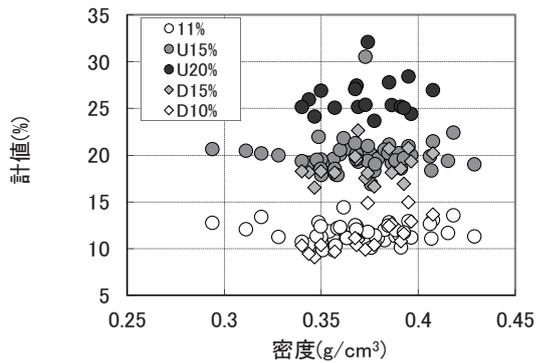


図-10 スギの密度に対する各平衡含水率環境下で材毎に密度を設定した時の計値 (A社)

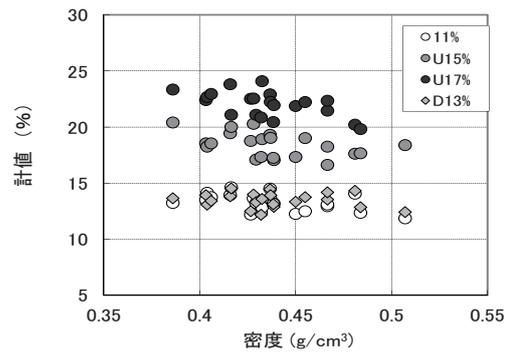


図-14 ヒノキの密度に対する各平衡含水率環境下で材毎に密度を設定した時の計値 (B社)

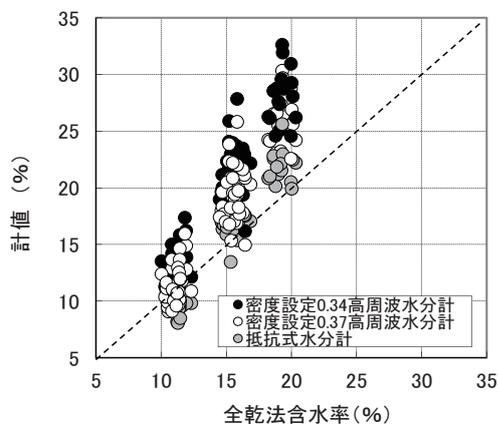


図-11 スギの全乾法値に対する各計値 (A社)

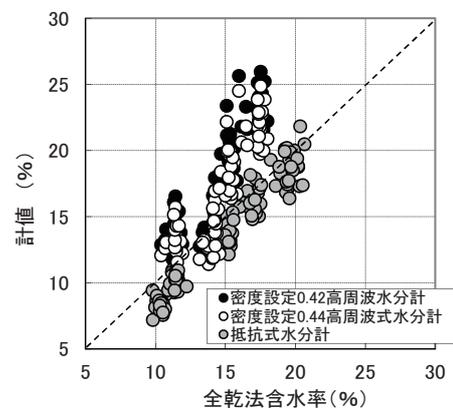


図-15 ヒノキの全乾法値に対する各計値 (B社)

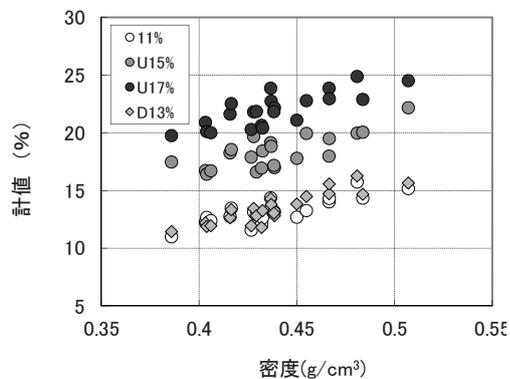


図-12 ヒノキの密度に対する各平衡含水率環境下の計値 (B社)

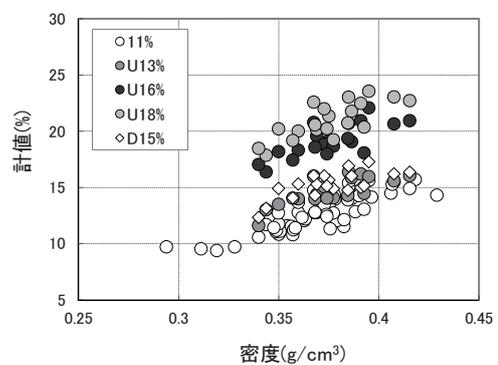


図-16 スギの密度に対する各平衡含水率環境下での計値 (B社)

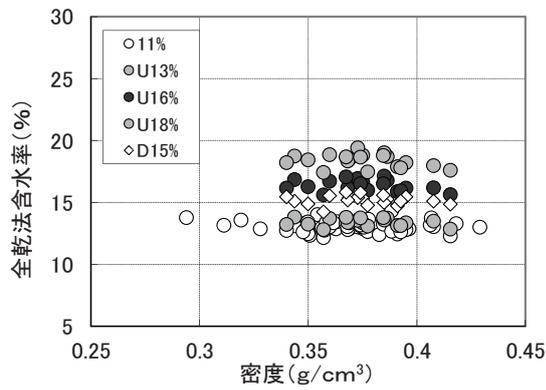


図-17 スギの密度に対する各平衡含水率下での全乾法含水率 (B社)

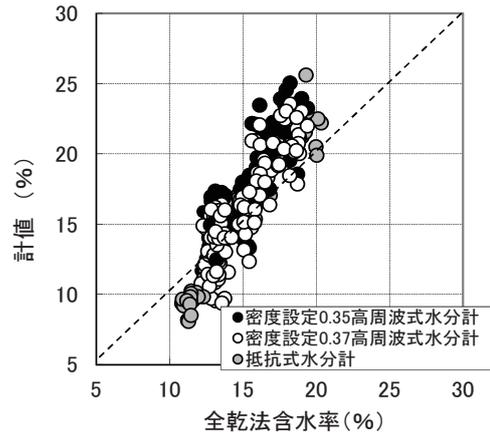


図-19 スギの全乾法値に対する各計値 (B社)

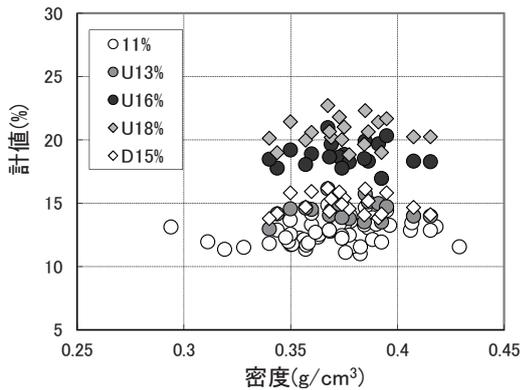


図-18 スギの密度に対する各平衡含水率環境下で材毎に密度設定した時の計値 (B社)

#### IV. 考 察

本来は全乾法で求めた値を含水率とすべきであるが、品質管理として利用する目的で、JASでは水分計による計値を、誤差を含んだ集団からの全乾法推定値として運用している。ここでは乾燥材生産現場の実情を踏まえた上で運用の改善を図るための水分計密度設定法について検討した。

#### 1. 水分計設定密度の平均値から下限値への変更

図-4, 8, 12, 16から密度と計値の関係が明らかになった。これらの関係を図-20左図に模式的に示した。計値は密度と正の相関関係があり、全乾法含水率に応じて高い傾向になった。全乾法含水率が同じであれば密度の高い材ほど計値は高くなった。必要とするのは全乾法含水率と計値の関係であり、X軸を全乾法含水率としてY軸を同一の計値とした図を右に併記した。左図の密度と計値の関係は右図の全乾法含水率との関係においても密度が計値に反映していることを示している。そこで全乾法含水率と計値の関係における密度の分布を含水率算出式の原理から論理的に明示することを考えた。

全乾法含水率である乾量基準による計算式に対して、高周波式で表示される計値を電場の範囲(体積1cm³)あたりの水分量(g)の比と定義した場合、2式の関係が成り立つ。

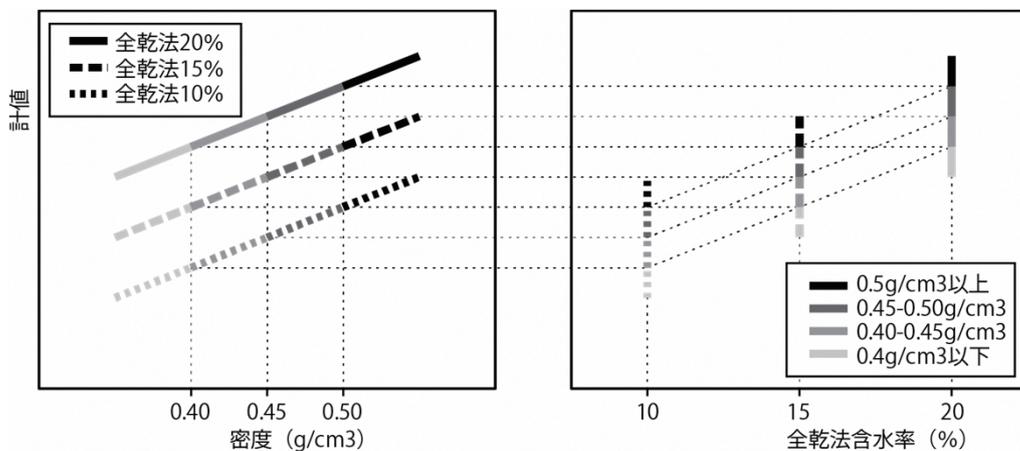


図-20 密度と計値の関係が示す全乾法含水率と計値の密度分布関係(模式図)

$$\frac{u'}{u} = \frac{\frac{W}{1\text{cm}^3} \times 100}{\frac{W}{W0} \times 100} = \frac{W0}{1\text{cm}^3} = r0 \quad \text{2式}$$

r0: 密度 (g/cm<sup>3</sup>)    u: 乾量基準含水率 (%)  
 u': 計値 (%)    W: 水分量 (g)    W0: 全乾重量 (g)

そこでA社製測定によるヒノキ材の結果を踏まえて、まず平均密度に設定して求めた計値を後述2.の換算の手順に準じて換算した後、換算値の全乾法含水率に対する比を求め、図-21に密度とその比の関係を示した。図-20 模式図との関係を確認したうえで、X、Yの分布をグラフ上・右面に示した。両者は弱い相関関係を生じ、さらには両者の変動係数 (CV) の差はほとんど無い。そこで2式の原理的な意味を踏まえた上で、計値の全乾法含水率に対する比の分布 (右頻度分布) を密度分布 (上頻度分布) とみなすことの効果を考えて。

図-22に全乾法含水率と計値の関係図を示す。図-21のY軸 (計値 / 全乾法含水率) を図-22の図上で示すと図-21のY軸スケールは原点を起点とした放射状のスケールとして表される。図-21右のY軸 (計値 / 全乾法含水率) 頻度分布の変量スケールは、図-22の放射状線に対して直交軸のスケールとなる。そこで上記により、計値の全乾法含水率に対する比の分布 (右頻度分布) を密度分布 (上頻度分布) とみなすと、図-22の放射軸スケールの直交軸を密度とみなすことになる。ただしこの密度スケールは右下が低密度で、通常の頻度を反転した図になっている。

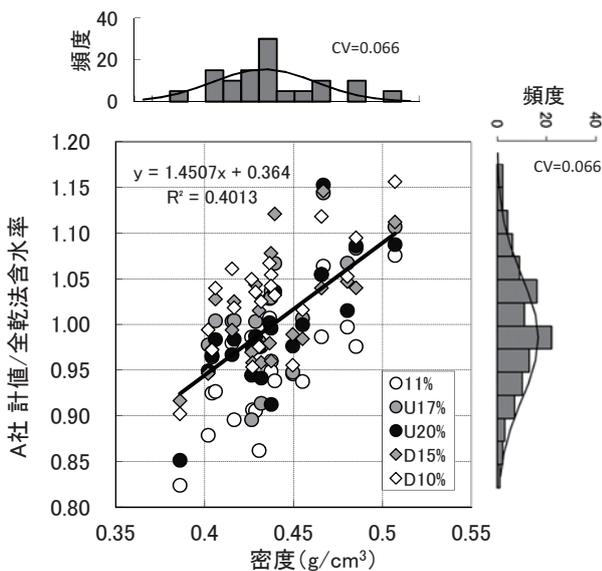


図-21 ヒノキの密度に対する計値 / 全乾法含水率の関係

この図上で密度下限値を設定密度とし、かつ密度下限材が基準値水分計値であれば、下限密度以上の基準値水分計値以下材は全乾法では基準値含水率以下材 (網掛け部分) になることを示している。読替で基準値含水率を変更するのではなく、下限密度を設定密度とすることで表示された値で基準値含水率と比較することができる。

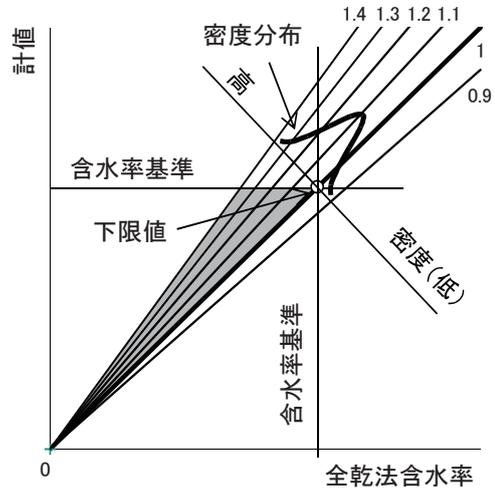


図-22 全乾法含水率と計値、密度分布

## 2. 密度以外因子による差への検量線対応と換算の手順

計値が全乾法の値と異なる原因は密度以外にも存在する。そこで両者間に検量線を設け、以下に計値を換算する手順を示す。まず、A社製測定によるヒノキ材の結果から全乾法含水率と計値の関係を図-23に示した。A社製の水分計ではヒノキの密度設定値を0.37としているため高い含水率を示す。実際の値である平均値密度設定0.44 g/cm<sup>3</sup>とすれば全乾法含水率に近くなる。さらに全乾法含水率と0.44 g/cm<sup>3</sup>の計値の関係を検量線として計値から全乾法値へ換算した値を追記した (図-23)。

換算式の算出根拠は、検量線の回帰式3式を変換し4式とした。4式の従属変数yは計値で求めてこれを換算するので独立変数xに変更し、独立変数xは求める変数であるから従属変数yとして5式になる。

$$y = a'x + b' \quad (a', b' \text{ 検量線の回帰係数}) \quad \text{3式}$$

$$x = \frac{y - b'}{a'} \quad \text{4式}$$

$$y = ax + b \quad (a=1/a', b=-b'/a', ab: \text{換算係数}) \quad \text{5式}$$

次に全乾法含水率と測定材毎に密度を設定して測定した計値の関係を図-24に示す。同じく計値から全乾法値へ換算した値を追記した。測定材毎に密度を設定した場合とでは決定係数はあまり変わらない。下限密度設定での計値と換算による結果を試算して図-25、26に示した。

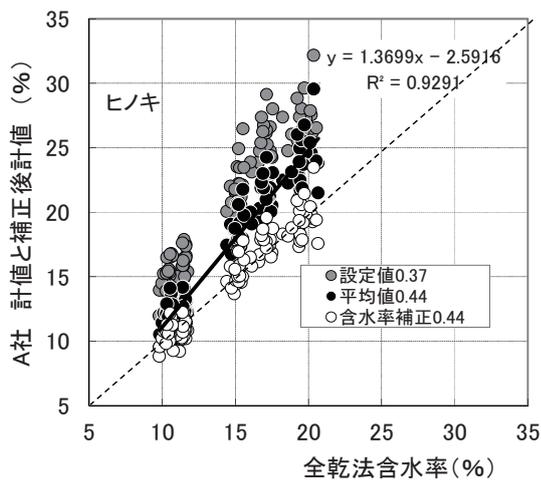


図-23 ヒノキの全乾法値に対する設定密度別計値分布換算後計値

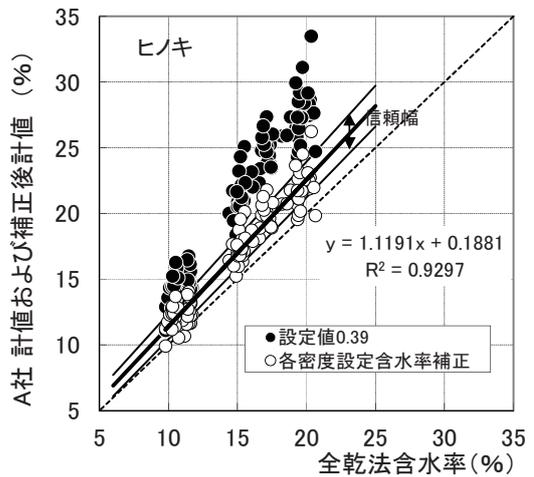


図-26 同、密度下限値 0.39 設定による計値および各板密度設定による含水率換算後計値

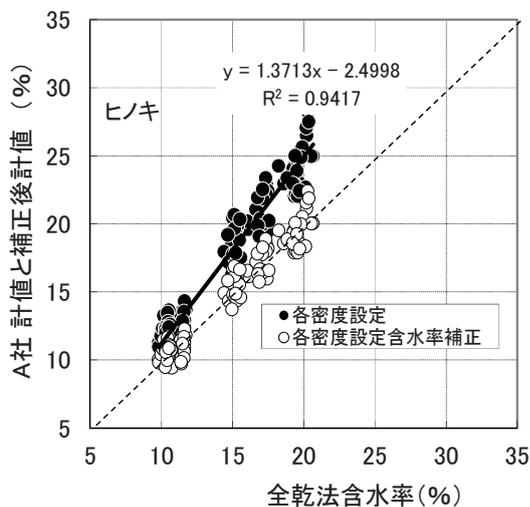


図-24 同、各板密度設定による計値分布と換算後計値

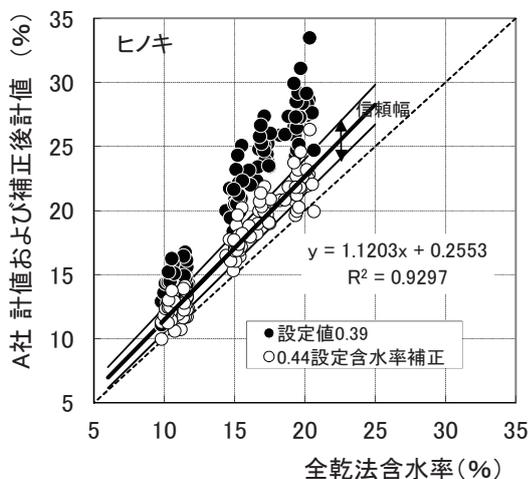


図-25 同、密度下限値 0.39 設定による計値および 0.44 設定密度による換算後計値

図-25 では密度分布下限 10% の  $0.39\text{g}/\text{cm}^3$  を設定密度とした計値と、図-23 の検量線から算出された換算式 (5 式) により換算した後の値を表示した。図-26 は同じく密度分布下限 10% の  $0.39\text{g}/\text{cm}^3$  を設定密度とした計値と、図-24 の検量線から算出された換算式により換算した後の値を表示した。密度を個々に設定して測定して換算値を求めても換算後の回帰係数に大差はなく、換算後の信頼度 80% の下限信頼幅ラインには影響はなく、密度を個別に設定してもしなくても同ラインが  $Y=X$  線に近接することが確認できた。

図 27 ~ 31 にスギの事例を同じ配置で示した。ヒノキと同様に A 社スギの密度設定値を  $0.34\text{g}/\text{cm}^3$  に対し平均密度  $0.37\text{g}/\text{cm}^3$ 、密度分布下限 10% の  $0.33\text{g}/\text{cm}^3$  を設定密度とした。いずれもヒノキと同傾向にあり、信頼度 80% の下限信頼幅ラインが  $Y=X$  線に近接したことから下限密度を設定密度として利用する手法が有効であることを検証するものとなった。

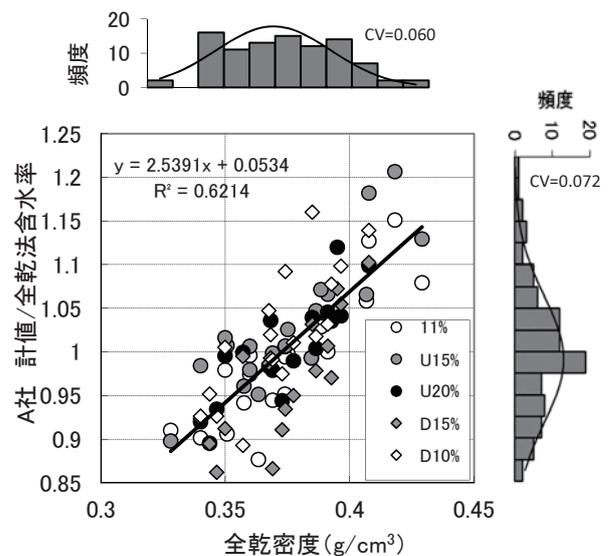


図-27 スギの密度に対する計値 / 全乾法含水率の関係後計値

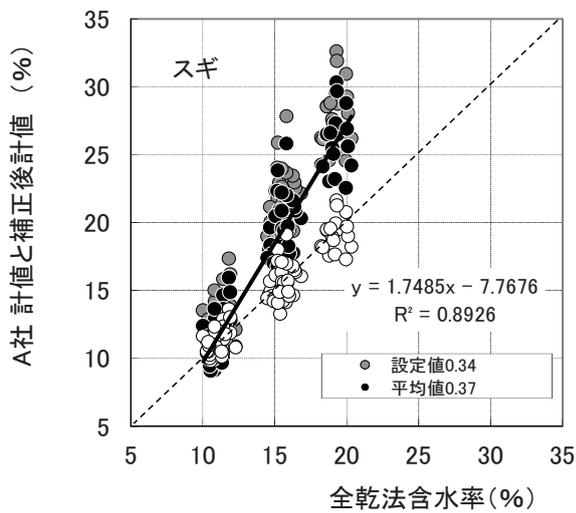


図-28 スギの全乾法値に対する設定密度別計値分布と含水率換算後計値

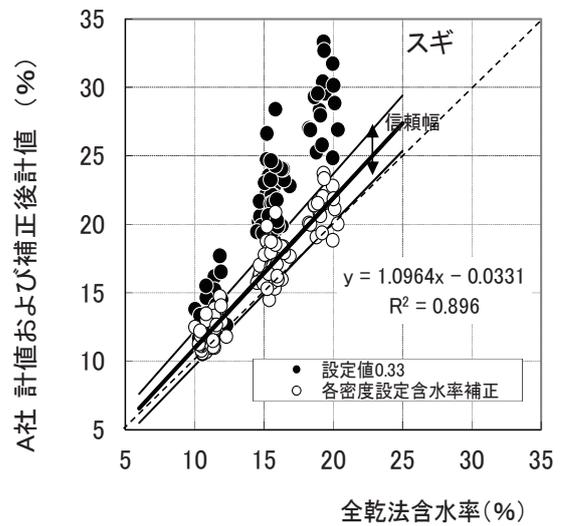


図-31 同、密度下限値0.33設定による計値および各板密度設定による含水率換算後計値

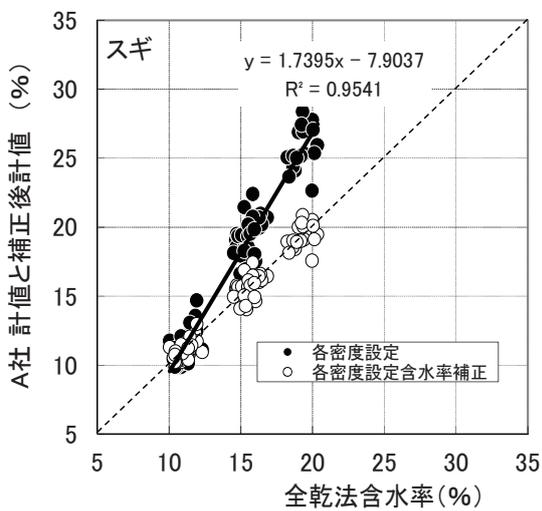


図-29 同、各板密度設定による計値分布と含水率換算後計値

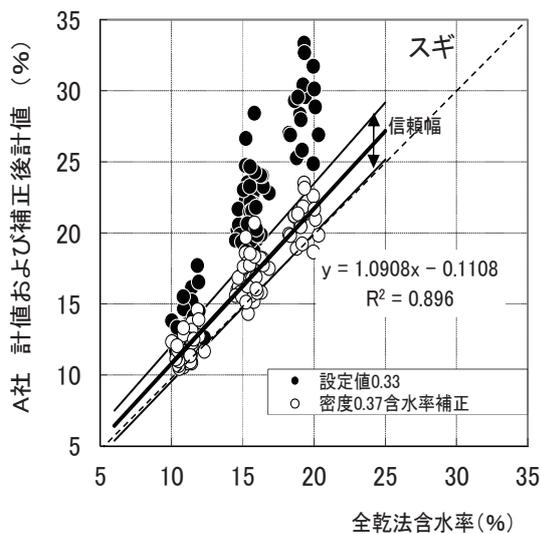


図-30 同、密度下限値0.33設定による計値および0.37設定密度による換算後計値

### 3. 複数機器対応への一般化

図-31までのA社製の各測定値と同様に、B社製についても同じ材を用いた結果を同じ順で図-32～41に掲載した。A社製よりは決定係数が低く、信頼幅も広い。その結果スギは信頼幅下限値がY=X線よりも低い。これは密度の分布が計値の分布に完全に連動していないことを示すもので、密度以外の誤差が生じている結果と推定される。

全般的にはA社製と同様の傾向を示し、デジタル押し当て式の密度設定可能な2機種で応用できる可能性が広がった。県内ヒノキ・スギ板材を全乾法推定表示として品質管理に水分計を使用する場合、密度設定と換算係数設定について表-4にまとめた。今後、県産材の平均値とばらつきを考慮した材料をさらに追加して個体数を増やし、確実な数値としたい。

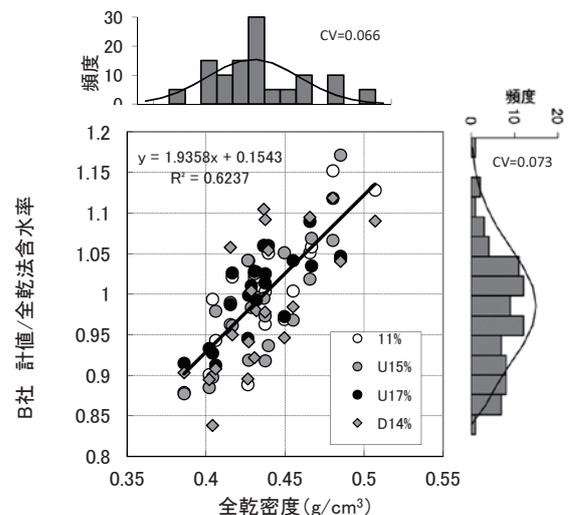


図-32 ヒノキの密度に対する計値/全乾法含水率の関係

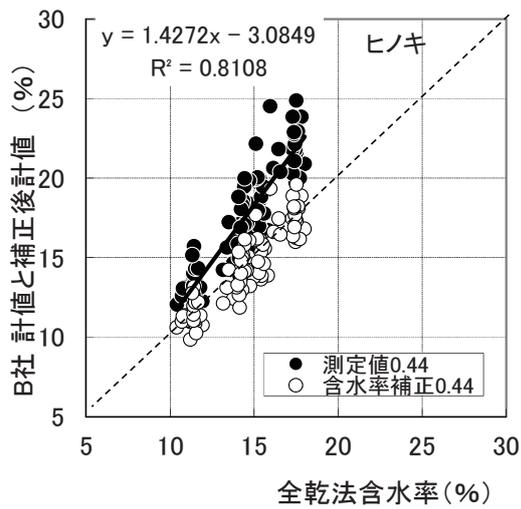


図-33 ヒノキの全乾法値に対する平均密度設定計値分布と換算後計値

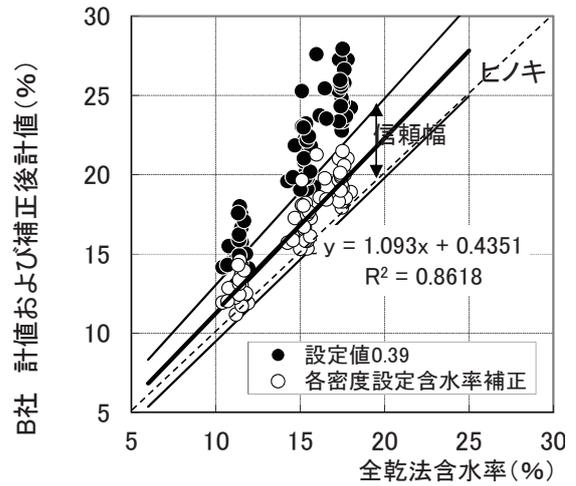


図-36 同、密度下限値 0.39 設定による計値および各板密度設定による換算後計値

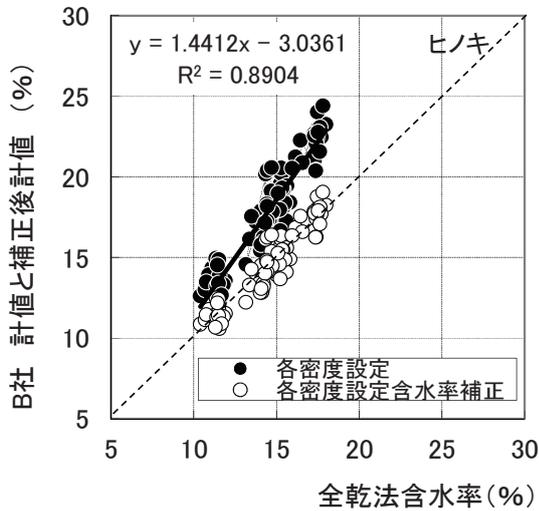


図-34 同、各板密度設定による計値分布と含水率換算後計値

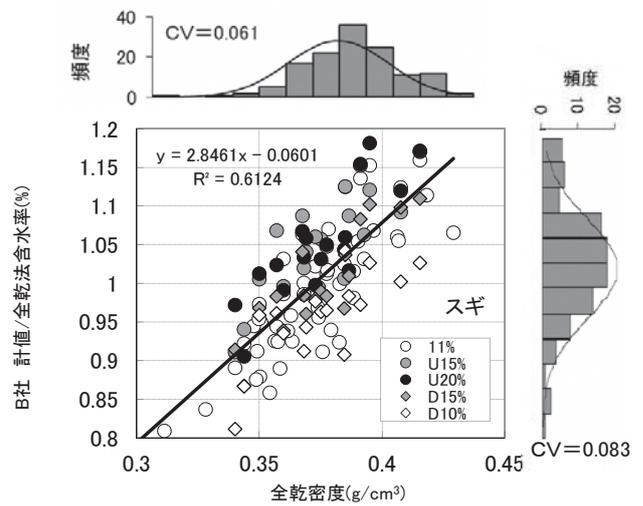


図-37 スギの密度に対する計値 / 全乾法含水率の関係

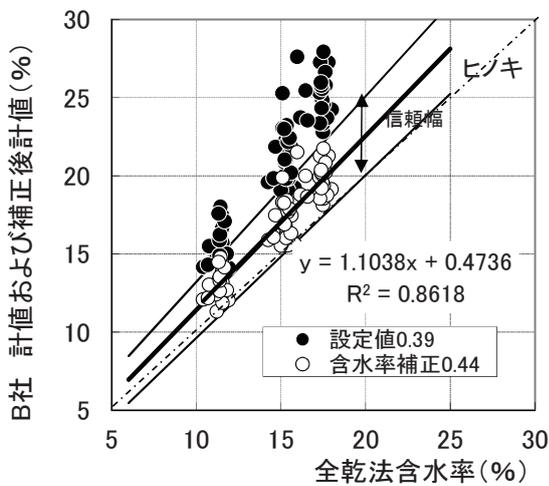


図-35 同、密度下限値 0.39 設定による計値および 0.44 設定による換算後計値

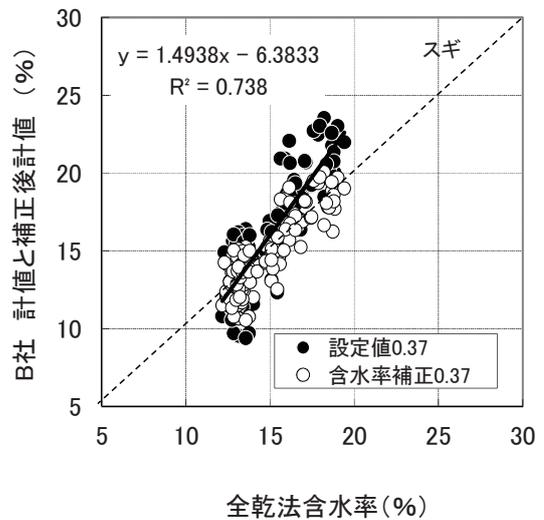


図-38 スギの全乾法値に対する平均設定密度計値分布と換算後計値

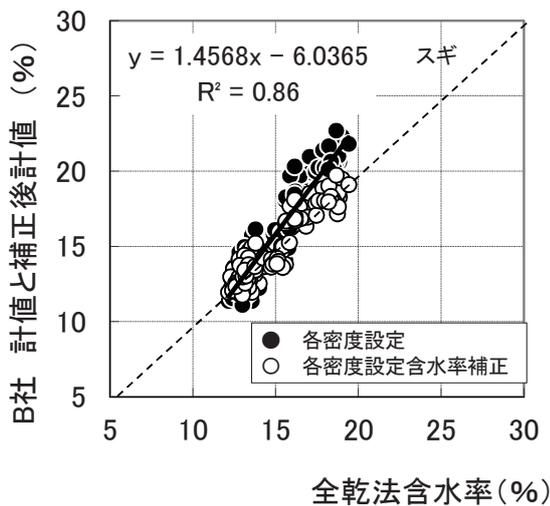


図-39 同、各板設定密度による計値分布と換算後計値

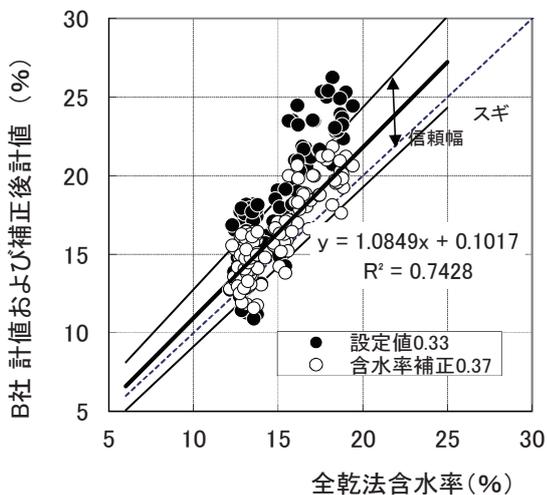


図-40 同、密度下限値設定による計値および0.37設定密度による換算後計値

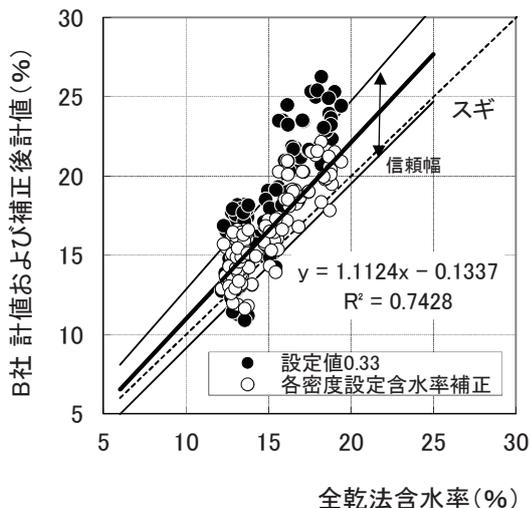


図-41 同、密度下限値0.33設定による計値および各板密度設定による換算後計値

表-4 算出された各計器の設定密度と換算係数 (10%-20%内)

	A社製	B社製	現行推奨値	
ヒノキ	設定密度	0.39	0.39	0.37または0.42
	換算傾斜a	0.73	0.69	設定すると認
	切片b	1.82	2.11	定適用外
スギ	設定密度	0.33	0.33	0.34
	換算傾斜a	0.57	0.69	設定すると認
	切片b	4.54	4.14	定適用外

全乾法含水率に対する各板密度設定の検量線 $y=ax+b$ 'の時換算式を $y=ax+b$ とすれば $a=1/a'$ ,  $b=-b'/a'$

表-5 ヒノキ, スギ対象, 検証材の密度と分布 B社設定値

	ヒノキ		スギ	
	検証	対象	検証	対象
個体数(枚)	20	110	20	270
設定密度	平均	<b>0.42</b> ← <b>0.44</b>	<b>0.37</b> ← <b>0.37</b>	
標準偏差	0.021	0.037	0.033	0.028
10%下限値	<b>0.39</b> ←	<b>0.39</b>	<b>0.32</b> ←	<b>0.33</b>
(g/cm <sup>3</sup> ) B社設定値	<b>0.42(0.38~0.45)</b>		<b>0.35(0.33~0.37)</b>	

#### 4. 流通材による検証

既測の対象材に対して、検証用材の密度を表-5に示す。スギは密度分布がほぼ同じなのに対し、ヒノキは平均値が低い一方で、下限値は同値となっている。対象材は多くの原木からサンプルを得たのでそのばらつきが大きいことが起因していると推測される。

B社製については検量線による換算ができるよう工夫されており、換算を含めて自動化が可能になっている。そこでB社製について表-4の換算係数の検証を実施した。図-42, 43に密度設定を下限値とした全乾法含水率に対する計値と表-4の換算係数による換算後計値を示す。ヒノキでは換算後の信頼下限値が $Y=X$ 線より低くなった。スギは15%付近で計値が低く、信頼下限値が $Y=X$ 線より低い計値を示した。密度下限値が対象データとほぼ同値であっても表-4の換算係数は適合しなかった。そこで、図44, 45で測定材毎の密度を設定して測定し全乾法含水率との換算係数を検証材で求め直した。密度設定を下限とした結果に再度その換算係数で換算し直して、図-46, 47に示した。ヒノキでは換算後の信頼下限が $Y=X$ に近くなり、スギは変化がなかった。ヒノキでは、表-4の換算係数の根拠である図-34の検量線が図-44のそれと大きく異なった。その原因は検証材に高密度材が少なかったためと推察される。スギの場合は図-39の検量線が図-45のそれと近かったため変化がなかったと考えられた。

今回の検証結果から、運用にあたっては、当面は下限値設定のみで行い、より精度の高い換算には、換算後の不一致はサンプルのばらつきとして換算係数を蓄積する必要があるだろう。

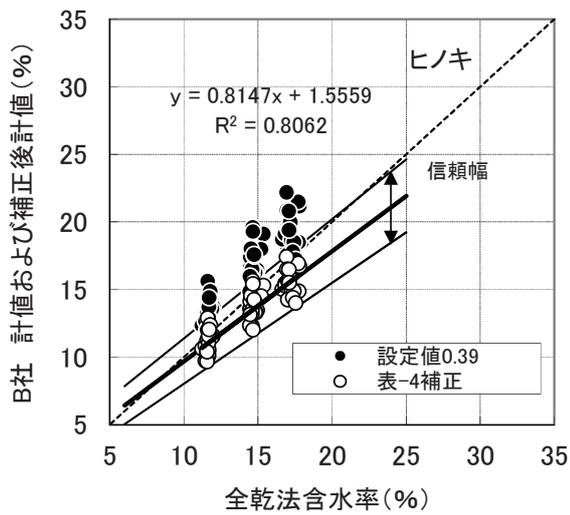


図-42 全乾法値に対する密度下限値 0.39 設定の計値および表-4 補正係数による換算後計値

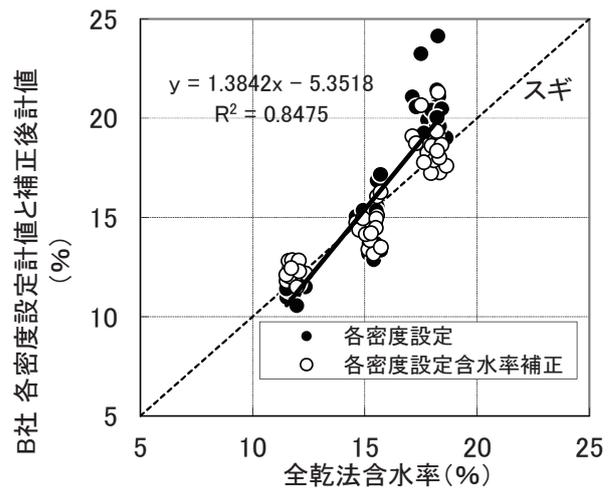


図-45 スギ全乾法値に対する各材密度設定計値と換算後計値

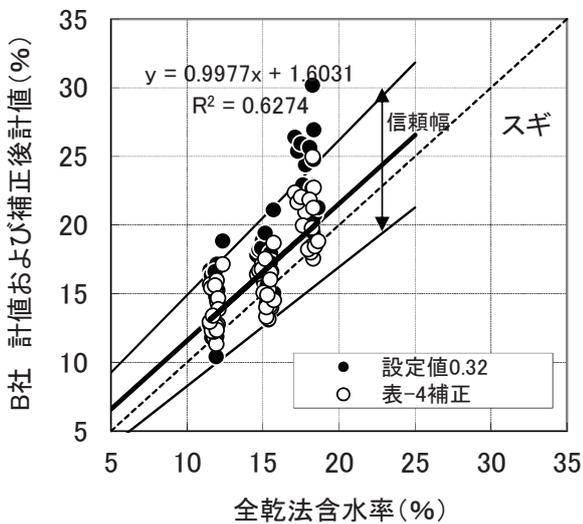


図-43 全乾法値に対する密度下限値 0.32 設定の計値および表-4 補正係数による換算後計値

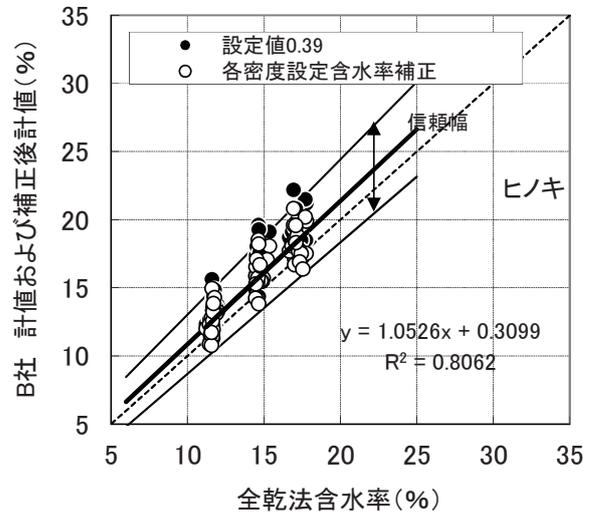


図-46 全乾法値に対する密度下限値 0.39 設定の計値および各板密度設定による換算後計値

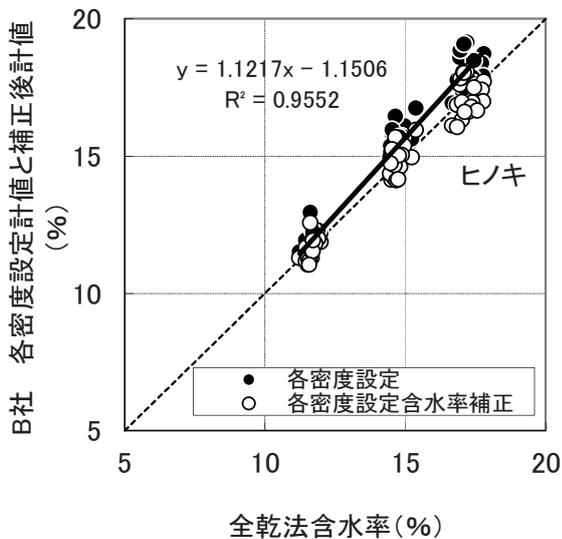


図-44 ヒノキ全乾法値に対する各材密度設定計値と換算後計値

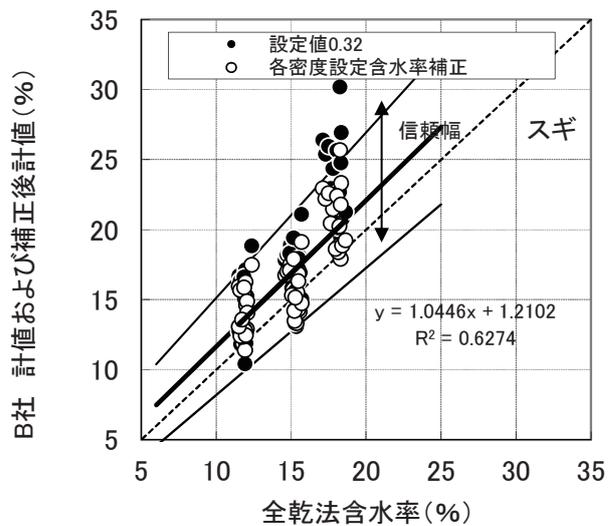


図-47 全乾法値に対する密度下限値 0.32 設定の計値および各板密度設定

## V. まとめ

下限密度を設定密度とし、かつ下限密度材が基準値水分計値であれば基準値以下の水分計値材は全乾法においても下限密度以上の大半が基準値含水率以下材になる。読替えて基準値含水率を変更するのではなく、下限密度を設定密度とすることで、表示された計値で基準値含水率と比較し得る。密度の10%下限値で設定し求めた計値を、全乾法含水率と平均密度での計値、同じく全乾法含水率と測定材毎の密度に応じた設定密度による計値との関係から求めた検量線の換算式の係数により換算すると、両者とも信頼度80%の下限信頼幅ラインと全乾法含水率との関係がほぼ $Y=X$ の関係にあり、全乾法含水率に近づいた。

全乾法含水率と測定材毎の密度に応じた設定密度による計値との関係は、全乾法含水率と従来の密度設定での計値の関係に比べ決定係数が大きく、密度の影響がない換算式の係数になり得る。ただ従来の平均密度設定による場合と換算係数に大きな差はなく、換算後の信頼度80%の下限信頼幅ラインにも影響はないと思われた。今後各地域で換算値を取得することになれば、平均密度による方法でも大差ないと推測される。

携帯型水分計の開発は価格優先になる懸念がある。水分計の機能が改善しないのは現行の運用の問題点を直視し、改善するための計器の機能向上とそのメリットを現場で生かし得る制度の仕組みの課題ともいえる。個々の密度を測定しないままではいつまで経っても機器の精度を求めることはできない。本研究では個々に密度を測定し設定することで高い精度が得られた。まずは、機器の認定には密度をあらかじめ測定した部材を用いて密度因子を除外した設定で計値を測定し、全乾法含水率との決定係数で一定精度を確保すること。次に、樹種群設定など数値で密度設定のできない機器や換算のできない機器は現行の安全側への読み替えを厳密化する一方で、換算の自動化により直読みで判断できる機器は、その機能を活用して使いやすさをアピールするなどの戦略的方向性が求められる。機器の認定側と運用側の連携とともに関係者の議論を期待する。

そのために必要な密度や換算式の係数は、地域レベルで、主要樹種(品種)、材種の密度分布を把握することから始めるべきであろう。密度に関してはスパン表など作成された都道府県も多く、その時の資料から気乾密度と全乾法含水率を測定しておれば、構造材の密度から順に入手できる可能性がある。本テーマも、今後は構造材を用いた事例を追加する必要がある。

今後制度面から問題を解決していく必要はあるが、当面は既存制度以外の分野として、密度を下限値とした密度設定のみ岐阜県内針葉樹板材規格として応用した(ぎふ性能表示材認証センター, 2016)。試験結果では、計値が全乾法に比べ高いことから安全側の数値と

して運用していくことになる。

## 謝 辞

本研究は岐阜県性能表示材制度(内装材)に向けて基本的方向性を決めるべく、ぎふ性能表示材認証センターから委託を受けて実施したものである。岐阜県林政部県産材流通課および岐阜県森林組合連合会、岐阜県木材協同組合連合会の関係者はじめ、制度に関わった関係諸氏に厚くお礼申し上げる。さらに木材水分計を寄贈していただいたマイクロメジャー株式会社に厚くお礼申し上げる。

## 引用文献

- ぎふ性能表示材認証センター(2016) ぎふ性能表示材推進制度実施要領 ぎふ性能表示材品質・性能表示規格に関する規定 別紙2 ぎふ表示材認証検査基準(製品検査・現地調査・現地検査および自主検査の実施について)(平成28年)
- 株式会社ケット科学研究所(2016) 木材水分計 HM-520 取扱説明書 Rev.0801 比重表 Rev.1004
- マイクロメジャー株式会社(2015) 木材用ハンディ水分計 HS-100 取扱説明書
- (財)日本住宅・木材技術センター(2017) 認定含水率計 <http://www.howtec.or.jp/publics/index/128/> (参照:2017年12月22日)
- (財)日本住宅・木材技術センター(2013) 針葉樹製材に用いる含水率計(携帯型(高周波押し当て式))の性能基準 HW005-2013. <http://www.howtec.or.jp/publics/index/128/> (参照:2017年12月22日)
- 農林省林業試験場木材部編(1975) 世界の有用木材300種-性質とその用途-. 日本木材加工技術協会
- 農林水産省(2013) 製材の日本農林規格 平成25年6月12日農林水産省告示第1920号
- 信田聡・中寫厚・奈良直哉(1990) 製材含水率の容積重による推定. 木材学会誌 36(12):1019-1026
- 富田守泰(2016) 携帯式高周波含水率計の設定密度に関する提案 日本木材学会大会研究発表要旨集 2016年:87
- 富田守泰・土肥基生(2018) 携帯式高周波含水率計の板材測定における品質管理のための設定密度 木材工業 Vol.73(2):52-57
- (社)全国木材検査・研究協会(2011) 乾燥処理 新しい製材の日本農林規格並びに改正の要点及び解説(平成23年):178
- (社)全国木材検査・研究協会(2013) 人工乾燥処理製材の認定申請に当たっての含水率管理基準の決定及び品質管理資料の作成について(平成25年)



## 短 報

# カシナガキクイムシの穿入孔の分布および密度が繁殖成功率へ及ぼす影響

大橋 章博

Effects of distribution pattern and density of attack by the oak borer , *Platypus quercivorus* on reproduction success of the beetles

Akihiro Ohashi

岐阜県と静岡県から採取したコナラ被害丸太各 1 本について、丸太の表面にみられる穿入孔すべてに羽化トラップを設置し、カシナガキクイムシの羽化脱出数を調査するとともに、穿入孔の分布様式を調査した。岐阜の丸太には 237 個の穿入孔がみられ、このうち 95 個の穿入孔から成虫が脱出した。丸太全体の脱出成虫数は 640 頭であった。静岡の丸太には 401 個の穿入孔がみられ、このうち 139 個の穿入孔から成虫が脱出した。丸太全体の脱出成虫数は 2,777 頭であった。丸太間で穿入孔や繁殖に成功した穿入孔の空間分布に大きな差は認められなかった。穿入密度と繁殖成功率との関係は、岐阜の丸太では穿入孔密度の増大とともに繁殖成功率は低下したが、静岡の丸太では変化しなかった。また、繁殖に成功した穿入孔密度と繁殖成功率の関係は、岐阜の丸太では繁殖に成功した穿入孔数が増加しても繁殖成功率は変化しなかったが、静岡の丸太では繁殖に成功した穿入孔数の増大とともに繁殖成功率は低下した。このような違いが生じた原因として、穿入孔の密度や分布様式だけでなく、含水率などの餌資源としての質の差が繁殖成功率に大きく影響したのではないかと考えられた。

**キーワード** : カシナガキクイムシ, 繁殖成功率, 穿入孔密度, 分布様式

## I はじめに

カシナガキクイムシ *Platypus quercivorus* (以下、カシナガ) はブナ科樹木萎凋病の病原である *Raffaelea* 菌を伝播する。カシナガは寄主木へ集中的な穿入をし、寄主木に *Raffaelea* 菌を持ち込み、枯死させることで、繁殖成功率を高めていると考えられている。カシナガの寄主への穿入孔の分布様式に関する研究は多数みられ、穿入孔は樹幹下部に集中し (松本, 1955 ; 山崎, 1978; Hiji *et al.*, 1991), 地上高が高くなるにしたがって穿入孔数が少なくなる (佐藤, 2003; 小林・野崎, 2003 ; 大橋・岡本, 2011), 穿入孔の位置に方位性はなく、穿入孔密度は寄主木の直径と正相関すること (Hiji *et al.*, 1991 ; 布川・吉田, 1995 ; 伊藤・大橋, 2014) などが明らかになっている。また、カシナガの繁殖成功率に関しては、穿入孔密度が低いほど穿入孔当たりの脱出虫数が多くなること (小林・野崎, 2003) や坑道当たりの繁殖成功率には大きなばらつきがあり、坑道からの脱出数が 0 の坑道が多くを占める一方で、300 以上脱出する坑道も見られること (山崎, 2012) が明らかになっている。しかし、穿入孔の分布様式と繁殖成功率を関係づけて検討した研究例は少ない (曾根ら, 2000 ; 加藤ら, 2001)。カシナガの坑道当たりの繁殖成功率に大きなばらつきが生じる要因として種内競争の

影響が指摘されているが (曾根ら, 2000), 十分には解明されていない。

この要因を明らかにすることは、今後、新たな防除技術を開発する際や、防除の効率化を進める上で非常に重要な情報となる。また、現在、樹幹注入剤は薬剤の少量化が進んでおり、薬剤処理の効率化を進めるためには重要である。

そこで、穿入部位や穿孔密度といった穿入孔の分布様式が繁殖成功率に及ぼす影響について検討した。

## II 材料および方法

### 1. 供試材料

岐阜県中津川市苗木および静岡県浜松市浜北区尾野で 2015 年夏にブナ科樹木萎凋病により枯死したコナラから採取した丸太, 各 1 本を供試丸太とした。2016 年 3 月に供試丸太を森林研究所構内 (岐阜県美濃市曾代) に搬入した。3 月中旬に丸太の両端をチェーンソーで切り落として約 1m の長さにし、乾燥を防ぐために両木口面にはシリコンシーラント (防かび剤無配合) を塗布した。

### 2. 方法

丸太の樹皮を曲面カンナとナタを使って剥皮し、丸太表面に認められたすべてのカシナガ穿入孔に番号を



図-1 カシノナガキクイムシの穿入孔に設置した羽化トラップ

振り、図-1に示すような羽化トラップ（小林ら，2004を改変）を設置した。トラップの設置は2016年4月20日までにいった。2016年4月21日から9月5日にかけて、数日間隔で、発生ピーク時には毎日、捕虫瓶を交換し、脱出してきた幼虫および成虫を計数した。

カシノナガ発生終了後、穿入孔の空間分布を解析するため、丸太表面に透明シートを重ねて穿入孔の番号と位置を写し取った。これを平面上に展開し、5×5cmの方形区毎に穿入数、脱出虫数を計数した。5×5cmの方形区を最小区画サイズとし、穿入孔数、1頭以上成虫が脱出した穿入孔（以下、成功穿入孔）の数（以下、成功穿入孔数）、脱出虫数について平均値（ $m$ ）と平均こみあい度（ $m^*$ ）を5×5cm、5×10cm、10×10cm、10×20cm、20×20cm、20×40cm、40×40cm、40×80cmの8通りの区画サイズについて計算した。

穿入孔などの分布様式の解析には区画サイズを順次変えた時の平均密度（ $m$ ）と種内および種間の平均こみあい度（ $m^*$ ）の関係（Iwao, 1972）および分布様式指数  $\rho$ （Iwao, 1972）を用いた。

なお、平均こみあい度  $m^*$  は次式により与えられる。

$$m^* = \sum X_i (X_{i-1}) / \sum X_i$$

ここで、 $X_i$  は  $i$  番目の区画内の穿入孔数、成功穿入孔数、脱出虫数をしめす。

$m^*$  と  $m$  とのあいだには直線関係があり、一般に  $m^* = \alpha + \beta m$  であらわされる。 $\alpha$  は  $m^*$  軸における切片、 $\beta$  は傾きである。

$\beta = 1$  のとき、ランダム分布

$0 \leq \beta < 1$  のとき、一様分布

$\beta > 1$  のとき、集中分布 となり、個体分布の様式の違いを解析することができる。

一方、分布様式指数  $\rho$  は次式により与えられる

$$\rho_i = (m^*_i - m^*_{i-1}) / (m_i - m_{i-1})$$

ここで、 $i = 1, 2, 3 \dots$  は区画サイズの順序を示す。最小の区画サイズ ( $i = 1$ ) に対しては、 $\rho_1 = m^*_1 / m_1$  となる。区画サイズに対する  $\rho$  値の変化の仕方によって、集団構造の有無、1集団の占有面積とその変異、集団内での個体の分布および集団自体の分布様式が明らかになる。

次に、穿入孔周辺の穿入孔密度と脱出虫数との関係について検討するため、成虫の脱出がみられた穿入孔について、その穿入孔の半径 50mm および 100mm の円内にみられる穿入孔数および成功穿入孔数を計数した。

### III 結果

#### 1. 成虫および幼虫の脱出

表-1に供試した丸太の概要および脱出虫数を示した。岐阜県中津川市から採取した丸太（以下、岐阜）には237個の穿入孔がみられ、このうち95個の穿入孔から成虫が脱出した。丸太全体の脱出成虫数は640頭、脱出幼虫数は137頭であった。静岡県浜松市から採取した丸太（以下、静岡）には、401個の穿入孔がみられ、

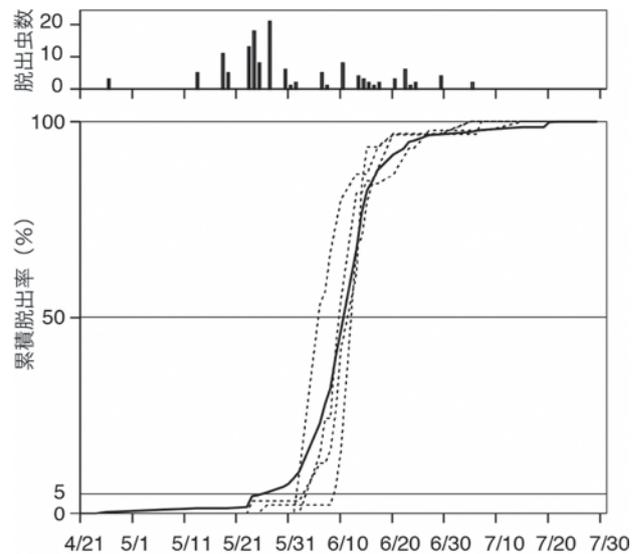


図-2 カシノナガキクイムシの脱出消長（岐阜）

上段は幼虫の脱出虫数、下段は成虫の累積脱出率の季節変化を示す。実線は脱出してきた全個体の脱出消長を、点線は脱出虫数が多かった穿入孔からの脱出消長を示す。

表-1 丸太の諸元

	中央直径 (cm)	長さ (cm)	穿入孔数	穿入孔密度 (個/100cm <sup>2</sup> )	脱出虫数		成虫が脱出した穿入孔数
					成虫	幼虫	
岐阜	44.3	105	237	1.62	640	137	95
静岡	39.1	98	401	3.33	2777	0	139

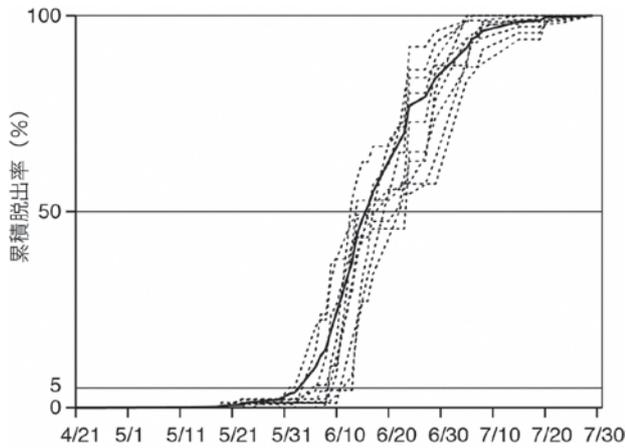


図-3 カシノナガキイムシの脱出消長 (静岡)  
 実線は脱出してきた全個体の脱出消長を、点線は脱出虫数が多かった穿入孔からの脱出消長を示す。

このうち 139 個の穿入孔から成虫が脱出した。丸太全体の脱出虫数は 2,777 頭であった。どちらの丸太も約 6 割の穿入孔は繁殖に失敗した。

図-2, 3 にカシナガの脱出消長を示した。岐阜からの初発日は 4 月 25 日、5% 脱出日は 5 月 26 日、50% 脱出日は 6 月 12 日であった。静岡からの初発日は 5 月 13 日、5% 脱出日は 6 月 6 日、50% 脱出日は 6 月 18 日であった。成虫の発生の始まりに多少のずれはあるが、脱出の経過は同様であった。それぞれの丸太について、脱出虫数が多かった上位 5% にあたる穿入孔からの脱出消長を点線で示した (図-2, 3)。岐阜、静岡ともに 5% 脱出日は脱出虫数が多かった坑道からの方が 1 週間程度遅れる傾向にあった。

穿入孔からの幼虫の脱出は 5 月に多く見られ、そのほとんどが終齢幼虫であった。しかし、6 月以降にも少数ながら脱出幼虫はみられ、最後に確認されたのは 7 月 5 日であった。また、6 月以降に脱出した幼虫の中には若齢幼虫も認められた。

## 2. 穿入孔, 成功穿入孔, 脱出虫の空間分布

図-4~9 に区画サイズを連続的に変化させたときの  $m^*$  -  $m$  関係および  $\rho$  と区画サイズの関係を示した。

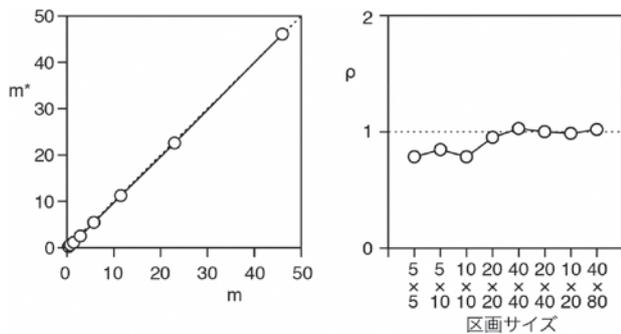


図-4 穿入孔の区画サイズと  $m^*$ - $m$  の関係 (岐阜)

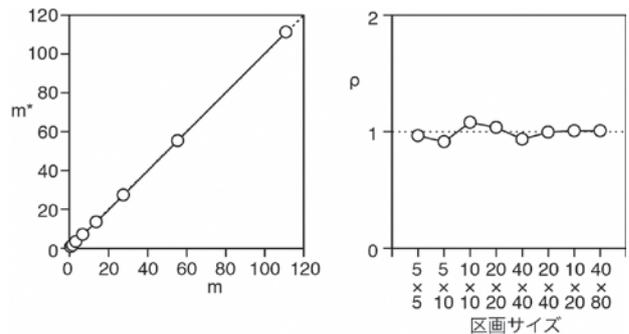


図-7 穿入孔の区画サイズ  $m^*$ - $m$  の関係 (静岡)

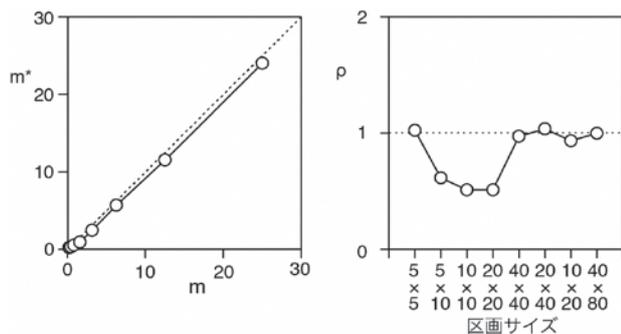


図-5 繁殖に成功した穿入孔の区画サイズ  $m^*$ - $m$  の関係 (岐阜)

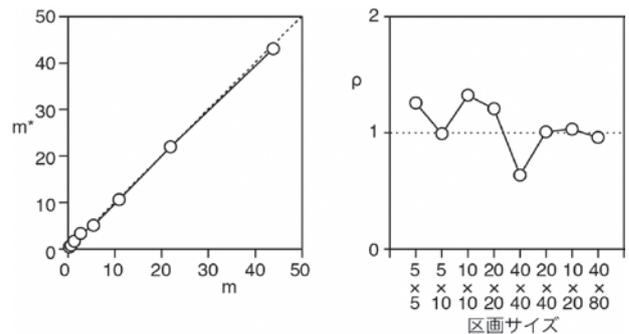


図-8 繁殖に成功した穿入孔の区画サイズと  $m^*$ - $m$  の関係 (静岡)

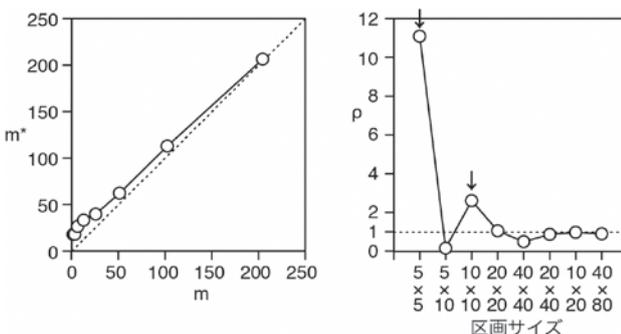


図-6 脱出虫の区画サイズと  $m^*$ - $m$  の関係 (岐阜)

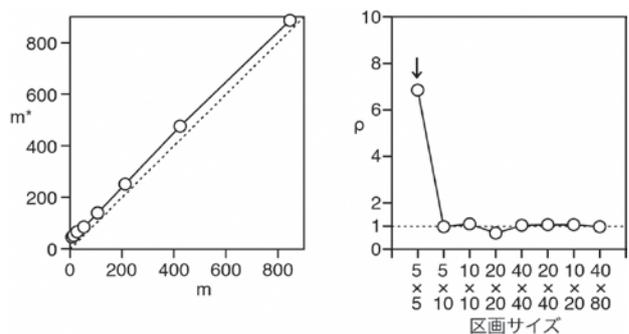


図-9 脱出虫数の区画サイズと  $m^*$ - $m$  の関係 (静岡)

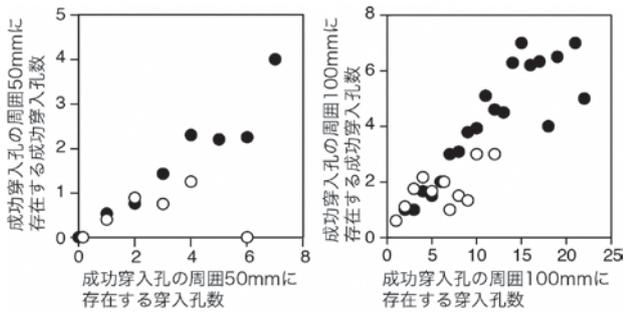


図-10 成功穿孔孔周辺の穿孔孔数と繁殖に成功した穿孔密度との関係  
●：静岡，○：岐阜

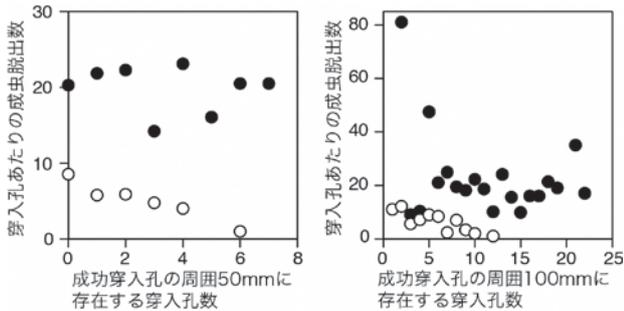


図-11 成功穿孔孔周辺の穿孔孔密度と繁殖成功度との関係  
●：静岡，○：岐阜

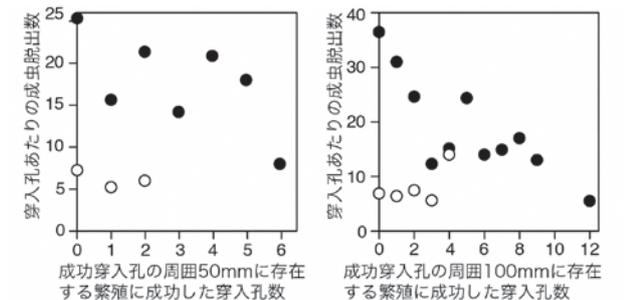


図-12 成功穿孔孔周辺の繁殖に成功した穿孔密度と繁殖成功度との関係  
●：静岡，○：岐阜

これらによると、穿孔孔および成功穿孔孔は岐阜、静岡ともにランダムに分布していた。これに対し、 $\rho$ と区画サイズの関係から岐阜、静岡の脱出虫数は様々な大きさの集団を形成した。脱出虫数は岐阜、静岡ともに $5 \times 5\text{cm}$ を占めるコンパクトな小集団を形成し、静岡ではその集団がランダムに分布していた。岐阜では小集団がさらに $10 \times 10\text{cm}$ の中集団を形成し、ランダムに分布していた。

繁殖に成功した穿孔孔について、穿孔孔周辺の穿孔孔密度と成功穿孔孔密度との関係を図-10に、穿孔孔周辺の穿孔孔密度および繁殖に成功した穿孔孔密度と繁殖成功度との関係を図-11～12に示した。穿孔孔密度と繁殖に成功した穿孔孔密度との関係をみると、周囲の穿孔孔密度が低い時は静岡と岐阜ともに同じように穿孔孔数の増加とともに繁殖に成功した穿孔孔密度も増大した(図-10)。穿孔孔密度が高くなると静岡では繁殖成功穿孔孔密度も高くなったが、岐阜では50mmスケールでは穿孔孔密度が6で成功穿孔孔数0と

減少した(図-10)。穿孔孔密度と繁殖成功度との関係では、岐阜では50mm、100mmスケールのどちらも穿孔孔密度の増大とともに繁殖成功度は低下したが、静岡では50mmスケールでは穿孔孔数が増加しても繁殖成功度は横ばいであったが、100mmスケールでは穿孔孔数が少ない時は密度の増大とともに低下したがその後はほぼ一定の傾向を示した(図-11)。繁殖に成功した穿孔孔密度と繁殖成功度の関係では、50mm、100mmスケールのどちらでも、岐阜では繁殖成功穿孔孔数が増加しても繁殖成功度は横ばいであったのに対し、静岡では繁殖成功穿孔孔密度の増大とともに繁殖成功度は低下した(図-12)。

#### IV 考察

今回、成虫が多数脱出した坑道からの発生は、丸太全体の発生消長に比べて遅れた。カシナガの幼虫の発育速度は温度に依存することから(大橋, 2014)、繁殖に成功した穿孔孔の穿孔時期は、イニシャルアタックからやや遅れたと考えられる。穿孔開始時期の遅れは、穿孔場所の制約や坑道を拡張させるための空間をめぐる種内競争や、幼虫の発育可能な時間が不足するため、繁殖成功にマイナスとなると考えられている(曾根ら, 2000)。しかし、穿孔時期の1週間程度の遅れはこうしたマイナス効果にはつながらず、むしろ最初に穿孔したカシナガにより寄主の防御力が低下したタイミングで穿孔したほうが、繁殖に成功するのではないかと推察された。

今回の調査では、新成虫の発生ピークを過ぎた6月中旬以降に一部の坑道から若齢幼虫の脱出が認められた。この理由として次の4つの場合が考えられる。1) 発育が遅れ、未だ若齢幼虫のままの個体がいる。2) 新成虫が坑道から脱出後、交尾した個体が親の坑道内に産卵した。3) 外部から交尾した雌が坑道に侵入し産卵した。4) 成虫が翌年も生存して産卵を続けた。Sone *et al.* (1998)は、鹿児島では5齢に生育していない個体は越冬できず、死亡するとしており、若齢での越冬は考えにくい。今回は、カシナガが脱出する前の4月25日に羽化トラップを設置しており、カシナガが外部から侵入することはできない。カシナガの交尾様式は坑道があって成立することから、坑道から脱出した新成虫同士が交尾できるとは考えにくい。また、小林(2006)はカシナガを丸太に穿孔、交尾させ、定期的に割材して調査した結果、交尾して10日後の坑道内に幼虫が確認され、16日後には終齢幼虫が確認できたと報告している。以上のことから、前年に穿孔した成虫が坑道内で越冬し、春以降に産卵したと考えられる。

今回試験に供試した丸太の穿孔孔密度は静岡が333孔/ $\text{m}^2$ 、岐阜が162孔/ $\text{m}^2$ と異なったが、穿孔孔の分布はともにランダム分布であった。マテバジイでは、カ

シナガの穿入孔密度が低い場合、穿入孔は一様分布を呈し、密度が高くなるにつれて集中分布となることが知られている(曾根ら, 2000)。この理由として、曾根ら(2000)は、密度が低い時は穿入孔は既存の穿入孔を避けたり、互いに排他的に作られるため、その分布は均一になるが、密度が高くなったときには、樹幹表面の凹部や皮目などの穿孔しやすい場所で、既存の穿入孔の近くに作られるため、集中的になると考察している。カシナガの穿入孔密度は、コナラの場合、8~628 孔/m<sup>2</sup>(Hijii *et al.*, 1991; 井上ら, 1998; Urano, 2000; 小林・上田, 2001)と条件により大きく異なる。曾根ら(2000)が解析に使用した丸太の穿入孔密度は20~230 孔/m<sup>2</sup>であったことから、それほど高い状態ではないと考えられる。したがって、穿入孔の分布様式の変化は、一様分布から集中分布と推移して終わるのではなく、さらに穿入密度が高くなれば、穿入孔が集中した場所を避けて穿孔することで再びランダム分布となり、さらに密度が高くなれば集中分布へと変化するように、ランダム分布と集中分布を繰り返すのではないかと考えられる。

脱出虫数の分布は5×5cmを占めるコンパクトな小集団を形成した(図-6, 9)。駆除方法として行われている立木型くん蒸処理は、樹幹を10cm間隔で千鳥格子状に注入孔を空け、くん蒸剤を注入している。このような注入孔の空け方は今回の結果からも合理的であると考えられる。一方で、予防手法として行われている殺菌剤の微量注入処理は、樹幹円周上をおおよそ15cm間隔で注入孔を空け、薬剤を注入している。ナラ類の樹幹内における水の移動は水平方向には拡がりにくいことから、薬剤の効きムラが生じる可能性が高い。このような危険を避けるためには薬剤の注入間隔を再検討することが望ましい。

穿入孔の分布様式と繁殖成功度の関係について検討したが、カシナガの坑道は材内部に延び辺材部を利用するため、樹幹表面の条件だけで繁殖成功度を説明することはやはり難しい。今回の結果では、穿入孔密度と繁殖成功度の関係は岐阜と静岡で異なった。このように、静岡と岐阜で傾向が異なったのは、穿入孔の密度や分布様式の違いより、穿孔した木(丸太)の餌資源としての質の差が大きく影響したと考えられる。すなわち、初期は岐阜と静岡で差はなく、カシナガの穿孔がおきるが、岐阜では餌資源の質が悪いために坑道の拡張ができない、新たな穿入もおきないのに対し、静岡は餌資源の質が良いため、新たな穿入が増えるとともに、坑道の拡張も進むので、繁殖成功度が高くなったのではないかと考えられる。このような餌資源の質の良し悪しを決める因子の一つに、含水率の違いが挙げられる。カシナガの共生菌の繁殖には55%以上の含水率が必要であり(小林ら, 2003)、含水率の低い部位では繁殖成功率が低いことがわかっている(小林ら,

2003)。ブナ科樹木萎凋病によるコナラ枯死木を伐採した直後に測定した材の含水率は52~74%と個体により大きく異なり、また同一丸太内でも測定する部位によって含水率が異なった(未発表)。このことから、静岡と岐阜で含水率に差があったことも考えられる。また、同一丸太内でも含水率に違いがあり、このことが繁殖成功の違いに影響したことも考えられる。今後は、穿入孔の分布様式と含水率の分布を関連付けして繁殖成功度への影響について検討していくことが必要であると考えられた。

## 引用文献

- Hijii, N. Kajimura, H. Urano, T. Kinuura, H. and Itami, H. (1991) The Mass Mortality of Oak Trees Induced by *Platypus quercivorus* (Murayama) and *Platypus calamus* Blandford –The Density and Spatial Distribution of Attack by the Beetles –. 日林誌 73 : 471-476
- 井上牧雄・西垣眞太郎・西村徳義(1998) コナラとミズナラの生立木、枯死木および丸太におけるカシノナガキクイムシとヨシブエナガキクイムシの穿入状況と成虫脱出状況. 森林応用研究 7 : 121-126
- 伊藤昌明・大橋章博(2014) 高標高地域で発生したナラ枯れ枯死木におけるカシノナガキクイムシ(*Platypus quercivorus* (Murayama)) の穿入孔密度. 岐阜県森林研報 43 : 13-22
- Iwao, S. (1972) Application of the m\* - m method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size. Res. Popul. Ecol. 14:97-128
- 加藤賢隆・江崎功二郎・井下田寛・鎌田直人(2001) カシノナガキクイムシのブナ科樹種4種における繁殖成功度の比較(予報). 中森研 49 : 81-84
- 小林正秀(2006) ブナ科樹木萎凋病を媒介するカシノナガキクイムシ. 樹の中の虫の不思議な生活(柴田叡弍・富樫一巳編著. 東海大学出版会.) 189-212
- 小林正秀・野崎愛(2003) ミズナラにおける地上高別のカシノナガキクイムシの穿入孔数と成虫脱出数. 森林応用研究 12 : 143-149
- 小林正秀・野崎愛・衣浦晴生(2004) 樹液がカシノナガキクイムシの繁殖に及ぼす影響. 森林応用研究 13 : 155-159
- 小林正秀・上田明良(2001) ナラ枯損発生直後の林分におけるカシノナガキクイムシの穿入と立木の被害状況(Ⅱ) -京都府和知町と京北町における調査結果-. 森林応用研究 10 : 79-84
- 小林正秀・上田明良・野崎愛(2003) カシノナガキクイムシの飛来・穿入・繁殖に及ぼす餌木の含水率の影響. 日林誌 85 : 100-107
- 松本孝介(1955) カシノナガキクイムシの発生と防除

- 状況. 森林防疫ニュース 4 : 10-11
- 布川耕市・吉田成章 (1995) コナラ樹幹でのカシノナガキクイムシの寄生分布. 46 回日林関東支論 : 101 - 102
- 大橋章博 (2014) カシノナガキクイムシの発育零点と有効積算温度の試算. 中森研 62 : 53-54
- 大橋章博・岡本卓也 (2011) フモトミズナラにおけるカシノナガキクイムシの穿入孔数と成虫脱出数. 中森研 59 : 231-232
- 佐藤嘉一 (2003) 桜島におけるカシノナガキクイムシ被害. 九州森林研究 56 : 95-100
- Sone, K., Mori, T., and Ide, M. (1998) Life history of the oak borer, *Platypus quercivorus* (Murayama) (Coleoptera : Platypodidae). Appl. Entomol. Zool. 33 : 67-75
- 曾根晃一・牛島豪・森 健・井手正道・馬田英隆 (1995) 林内におけるカシノナガキクイムシの被害発生状況と被害木の空間分布様式. 鹿大演報 23 : 11-22
- 曾根晃一・宇都一輝・福山周作・永野武志 (2000) カシノナガキクイムシの繁殖成功に与える坑道作成時期の影響. 応動昆 44 : 189-196
- Urano, T. (2000) Relationship between mass mortality of two oak species (*Quercus mongolica* Turcz. var. *grosseserrata* Rehd. et Wils. and *Q. serrata* Thunb.) and reproduction of *Platypus quercivorus* (Murayama) (Coleoptera:Platypodidae). J. For. Res. 5 : 187-193
- 山崎秀一 (1978) 新潟県朝日村に発生したナガキクイムシの被害. 森林防疫 27 : 28-30
- 山崎理正 (2012) 探索は闇雲じゃなく正確に. 微生物生態学への招待～森をめぐるミクロな世界～ (二井一禎・竹内祐子・山崎理正編, 京都大学学術出版会.) 265-278

短 報

## ナラ枯れ被害木 (コナラ・ミズナラ) を菌床材料とした際の 食用キノコの菌糸伸長に及ぼす影響

上 辻 久 敏

Utilization of *Quercus serrata* and *Quercus crispula* infected with a Japanese oak wilt for Edible mushroom hyphal growth

Hisatoshi Kamitsuji

12種の食用キノコについて、ナラ枯れ被害木の木粉を菌床材料に利用した場合のキノコ菌糸伸長に及ぼす影響を調査した。コナラではすべてのキノコで健全木よりもナラ枯れ被害木で菌糸伸長が遅かった。ナラ枯れ被害木が菌糸伸長に影響する原因を探索するため、県内で栽培される5種のキノコについて、被害木および健全木からの熱水抽出物を添加した寒天培地で菌糸伸長を調査した結果、ブナシメジとナメコでは、木粉での菌糸伸長と同様にナラ枯れ被害木で菌糸伸長が抑制された。ヒラタケとエリンギではコナラで健全木よりナラ枯れ被害木の菌糸伸長が遅かったが、対照との比較から健全木にある菌糸伸長の促進効果がナラ枯れ被害で消失していると考えられた。シイタケでは、木粉での結果と異なり菌糸伸長へのナラ枯れ被害の影響は検出されなかった。これらのことから木粉で認められたナラ枯れ被害木でキノコの菌糸伸長が遅い原因はキノコの種類により異なることが示された。

**キーワード** : ナラ枯れ被害木, 食用キノコ, 菌糸伸長, *Quercus serrata* (コナラ), *Quercus crispula* (ミズナラ)

### I はじめに

国内で栽培されている食用キノコの大部分が、菌床で栽培されている。菌床の基材となる木粉に関して、素材生産量の減少から入手に不安を抱えている地域も存在する(高島 1998)。特に広葉樹では、樹種別の調達や安定供給の面で針葉樹よりも不安定な要素を抱えている。キノコの種類によって基材が限定されるものがあり、ナメコやシイタケでは、栽培に適する木粉が広葉樹のみである。そのため菌床栽培のキノコにとっては、木粉の安定供給と木粉に代わる安価な資材が要望されており、研究機関では様々な検討(高島 1998, 水谷 2006)が行われている。

現在、ミズナラ (*Quercus crispula*) やコナラ (*Quercus serrata*) などのブナ科の広葉樹が枯れるブナ科樹木萎凋病(以下「ナラ枯れ」とする)と呼ばれる被害が発生している。広葉樹木粉の調達へ直接的な影響はまだ報告されていないが、今後、調達への影響が懸念される。ナラ枯れは、養菌性キクイムシであるカシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus*) が伝播する病原菌の

*Raffaelea quercivora* により道管の通水機能を失った樹木が萎凋枯死する現象である。この被害は、1980年代以降急速に拡大し(伊藤・山田 1998)、2007年までに岐阜県を含む23府県で被害が確認されている(小林・野崎 2009)。主に被害を受けるのはミズナラとコナラであり、コナラよりもミズナラの枯死率が高いことが報告されている(小林ら 2001)。

ナラ枯れ被害木をそのまま放置すると、樹木内部でカシノナガキクイムシが繁殖し、翌年に新たな成虫が飛翔しナラ枯れ被害の感染源となる。そこで、ナラ枯れにより枯れた年に被害木を積極的に活用し、材内で生育する幼虫を殺虫することが、被害拡大の抑制につながると考えられる。キノコの菌床栽培では、木を粉碎した木粉を栽培用の培地に用いるが、ナラ枯れ被害木を菌床材料の木粉へと粉碎することによりカシノナガキクイムシを殺虫することができる。しかし、被害木を使用することによるキノコの品質や収量への影響には不明な点がある。そこでキノコの栽培期間に影響する菌糸伸長速度に着目し、食用キノコの菌糸伸長に対するナラ枯れ被害の影響を明らかにすることを目的

に、培養試験を行った。

## II 方法

### 1. 供試菌

供試菌には市販種菌であるエリンギ（キノックス KX-EG109 号）、ブナシメジ（キノックス KX-BS022 号）、マンネンタケ（キノックス）、ナメコ（KX-N008 号）、マイタケ（キノックス）、ヒマラヤヒラタケ（キノックス）、ヒラタケ（キノックス KX-N008 号）、シイタケ（北研 600 号）、タモギタケ（キノックス）、ヤマブシタケ（キノックス）、アラゲキクラゲ（キノックス）およびウスヒラタケ（森林研究所保存株 PPU）を用いた。

### 2. 木粉を用いた培地での菌糸伸長試験

試験は、12 種のキノコを対象にコナラとミズナラの健全木と被害木の 4 条件の木粉を用いた培地で行った。木粉の作成にあたり、岐阜県内で 2008 年にナラ枯れにより枯死したミズナラとコナラの被害木と無被害のミズナラとコナラの健全木各 1 本計 4 本を 2009 年 1 月に伐木した。樹皮を除去した後、菌床用木粉製造機で粉碎してできた木粉を 4mm メッシュでふるいにかけ、室内にて乾燥した。木粉に 20 mM コハク酸緩衝液 (pH 4.5) を添加して含水率を 65% に調整し、試験管（直径 24mm × 長さ 200mm）に 25g 充填し、高さを一定にし 121°C で 60 分間加圧滅菌したものを使用した。その後、供試菌を 14 日間培養したポテトデキストロース寒天（PDA）培地を直径 1cm のコルクボーラーで打ち抜いたディスク（以下、単にディスクという）を接種源とし充填した培地の最上面の中心に 1 つ接種した。培養は、温度 21°C、相対湿度 60%、暗黒条件下で行った。菌糸伸長量は、培地最上面から菌糸が伸長している先端までの垂線の長さを試験管の側面から定規で測定した（菌糸伸長量という）。それぞれの供試数は 5 本とし 4 条件の培地のいずれかの菌糸が培地の約半分の高さまで到達した時点ですべての菌糸伸長量を測定した。

### 3. 熱水抽出物を添加した平板培地での菌糸伸長試験

試験は 12 種のキノコの中から県内で栽培されている 5 種の食用キノコ（ナメコ、ブナシメジ、ヒラタケ、エリンギ、シイタケ）を対象にコナラとミズナラの健全木と被害木の熱水抽出物を添加した平板培地と比較対照として熱水物無添加の平板培地の 5 条件の培地で行った。

熱水抽出は、菌糸伸長試験に用いた 4 種の木粉試料 20g を 100°C の蒸留水 400 ml により 30 分間抽出した。抽出後ろ過し、木粉を除去した抽出液を 400 ml に定容にし寒天(Difco)を 8g 添加して培地を直径 9cm のシャーレに分注し作成した。熱水抽出物を添加せず蒸留水に寒天を添加した栄養源を含まない培地を比較対照とした。121°C で 20 分間加圧滅菌し、滅菌シャーレ（直径 90mm × 高さ 15mm）20 枚に分注した。放冷した培地の中心に、供試菌ディスクを 1 つ接種した。すべての培養は、温度 21°C、相対湿度 60%、暗黒条件下で実施した。5 種の培地の中でいずれかの菌糸が接種位置からシャーレの約半分に到達した時点で、供試菌ディスクの端から菌糸の先端までの直線距離を、シャーレの裏面から定規で測定した。比較対照の培地における菌糸伸長量を 100 とした相対菌糸伸長率を用いて、各培地条件での菌糸伸長量を比較した。比較対照に対する相対伸長率が有意に上回る場合は菌糸伸長の促進、相対伸長率が有意に下回る場合は菌糸伸長の抑制があると判断した。

### 4. 熱水抽出フェノール類の定量分析

熱水抽出により抽出されたフェノール性物質の量がキノコの菌糸伸長に与える影響を検討するために、木粉試料から抽出されるフェノール性物質の量を測定した。各木粉試料 5 g を精秤し、水 100 ml を加え 300 ml のフラスコ内で 100°C にて 30 分間抽出した。抽出後、3500 r. p. m. で 15 分間遠心分離を行い、上清をろ過し、ろ液を水で 100 ml に定容し熱水抽出液とした。供試数は各木粉試料 3 とした。

フェノール類の定量はフォリン-デニス法 (Appel et al, 2001) を用いた。96 穴マイクロプレート上で、熱水抽出液 10  $\mu$ l とフォリン-デニス試薬 100  $\mu$ l を攪拌し、飽和炭酸ナトリウム水溶液 200  $\mu$ l を加えた。30 分間室温にて静置後、760 nm における吸光度をマイクロプレートリーダーで測定した。ブランクにはフォリン-デニス試薬の代わりに蒸留水を用い、標準物質としてクロロゲン酸を用いた。フェノール性物質の含有量は、木粉試料の乾燥重量に占める物質の割合で示した。

## III 結果と考察

### 1. 木粉を用いた培地での菌糸伸長試験

12 種の食用キノコの菌糸伸長に関し、コナラとミズナラのナラ枯れ被害木培地と健全木培地を比較すると有意な差が認められた (Steel-Dwass 検定,  $p < 0.05$ , 図 - 1)。コナラでは 12 種すべて、ミズナラでは 12 種中

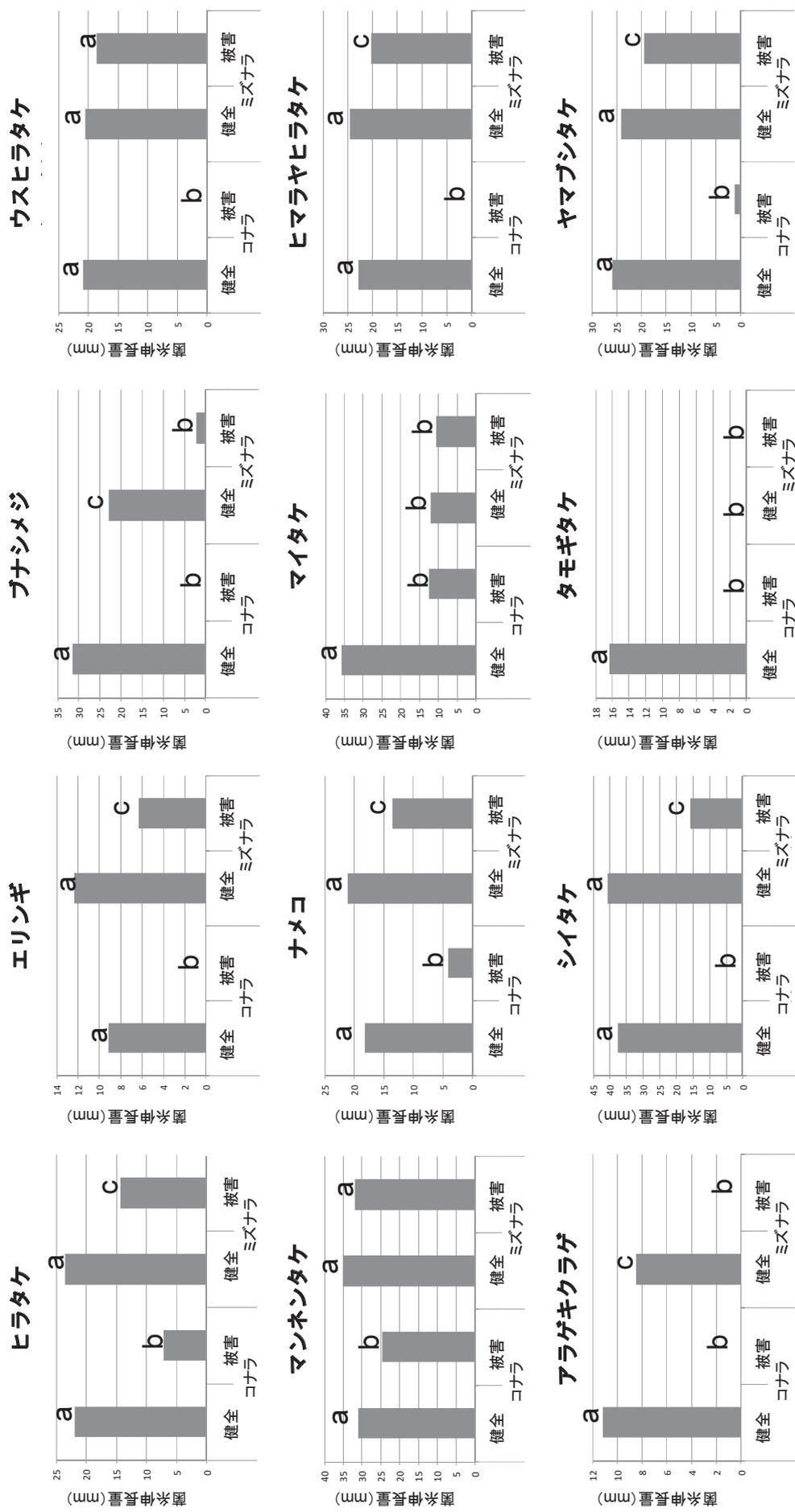


図-1. 菌糸伸長への影響  
 ※異なるアルファベット間に有意差あり, Steel-Dwass検定( $p < 0.05$ )  
 健全: ナラ枯れ無被害の健全木, 被害: ナラ枯れ被害枯死木

8種のキノコで健全木よりもナラ枯れ被害木で菌糸の伸長量が遅く、キノコの菌糸伸長にはナラ枯れ被害は負の影響を有していることが分かった。

ナラ枯れ被害木におけるキノコの菌糸伸長への樹種の影響について、樹種間で差がないキノコが4種（ブナシメジ、マイタケ、タモギタケおよびアラゲキクラゲ）で、残りのキノコ8種ではミズナラよりもコナラで菌糸伸長が低い結果であり（Steel-Dwass検定、 $p < 0.05$ 、

図-1）、ミズナラ被害木よりもコナラ被害木で菌糸伸長への影響が大きいと考えられる。

ナラ枯れ被害の有無以外にブナシメジ、マイタケ、タモギタケおよびアラゲキクラゲでは健全木の樹種間で菌糸伸長に有意にミズナラよりコナラの菌糸伸長が早かった（Steel-Dwass検定、 $p < 0.05$ 、図-1）。この4種のキノコに関しては、健全木では、ミズナラよりもコナラで菌糸伸長が早いナラ枯れ被害木となること

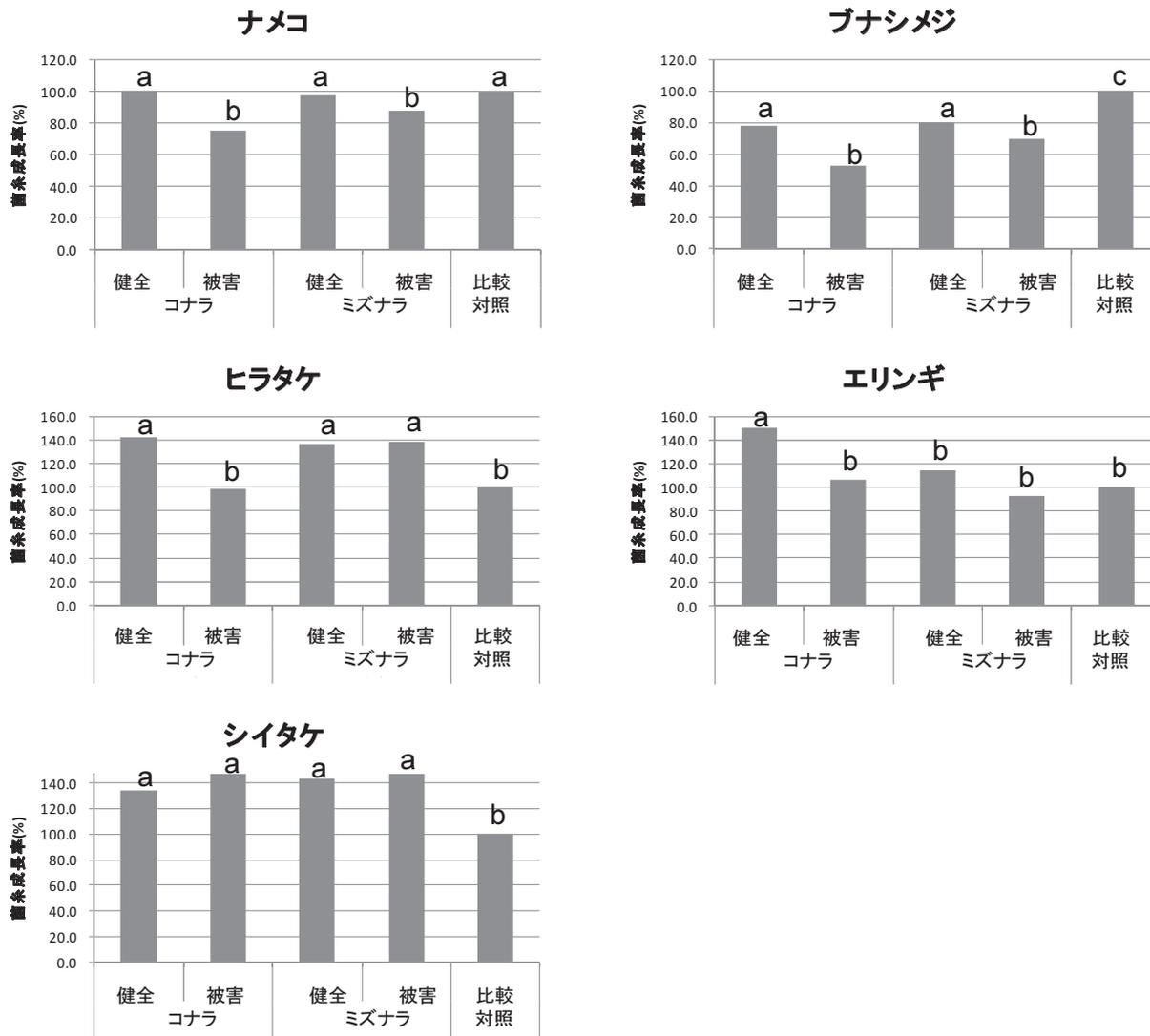


図-2. 熱水抽出物を添加した培地での菌糸伸長への影響  
 ※異なるアルファベット間に有意差あり, Steel-Dwass検定( $p < 0.05$ )  
 健全: ナラ枯れ無被害の健全木, 被害: ナラ枯れ被害枯死木  
 比較対照: 樹木の熱水抽出物無添加の培地

で菌糸伸長への樹種の影響よりも被害木による影響が大きいことから菌糸伸長差が消失したと考えられる。

## 2. 熱水抽出物を添加した平板培地での菌糸伸長試験

コナラとミズナラのナラ枯れ被害木と健全木の熱水抽出物を添加した培地で菌糸伸長を比較した結果、ナメコとブナシメジでは木粉での菌糸伸長試験（図-1）と同様にナラ枯れ被害木で健全木よりも菌糸の伸長が遅かった（Steel-Dwass 検定,  $p < 0.05$ , 図-2）。ナメコでは、健全木よりもナラ枯れ被害木で菌糸伸長が遅く、健全木の培地が熱水抽出物無添加の培地と差がないことから（Steel-Dwass 検定,  $p < 0.05$ , 図-2）、ナラ枯れ被害木では菌糸伸長が抑制されていると考えられる。ブナシメジでは、比較対照に対して健全木と被害木すべての熱水抽出物添加培地で菌糸伸長が抑制されておりナラ枯れ被害木が健全木よりも抑制の割合が高かった（Steel-Dwass 検定,  $p < 0.05$ , 図-2）。

ヒラタケとエリンギでは、コナラで健全木よりも被害木で菌糸伸長が遅く、ミズナラではナラ枯れ被害の有無で差は認められなかった。ヒラタケとエリンギともにコナラのナラ枯れ被害木と比較対照には差がなく（Steel-Dwass 検定,  $p < 0.05$ , 図-2）、健全木で菌糸伸長が促進されていることから（図-2）、コナラ・ミズナラ健全木の熱水抽出物にはヒラタケの菌糸伸長を促進する効果があり、コナラ被害木ではその促進効果が消失していることが分かった。また、エリンギでは、コナラ健全木の熱水抽出物に菌糸伸長を促進効果が認められた（Steel-Dwass 検定,  $p < 0.05$ , 図-2）。

シイタケでは、菌糸伸長にナラ枯れ被害の有無による差がなく（Steel-Dwass 検定,  $p < 0.05$ , 図-2）熱水抽出物を添加することで比較対照よりも菌糸伸長が促進されていることが分かった。また、木粉培地で認められたコナラのナラ枯れ被害木でシイタケの菌糸伸長が遅い現象（図-1）が熱水抽出物を添加した培地では認められず（図-2）、木粉でシイタケ菌糸伸長が遅くなる原因物質が熱水抽出物中には存在しないことを示唆している。

樹種間による菌糸伸長の差は、健全木ではエリンギのみで認められ、ナラ枯れ被害木ではヒラタケのみで認められた（Steel-Dwass 検定,  $p < 0.05$ , 図-2）。本試験では、菌糸の伸長に着目し、対照との菌糸伸長の比較から菌糸伸長の促進または菌糸伸長の抑制と簡易的な評価による解釈を試みたが、菌糸伸長が異なる原因の詳細は菌糸の生育を促進する物質や生育を阻害す

る物質等の菌糸伸長に対し正と負の効果を持つ因子の複雑なバランスの結果として菌糸伸長量が決定されている可能性が高く、また菌の種類によっても異なる複雑な現象であると考えている。

## 3. 熱水抽出フェノール性物質

コナラとミズナラの健全木とナラ枯れ被害木の木粉における熱水抽出フェノール性物質の分析を行い、樹種間での熱水で抽出されるフェノール性物質には差がなく、ナラ枯れ被害木では、健全木よりも熱水で抽出されるフェノール性物質が多いことが分かった（Steel-Dwass 検定,  $p < 0.05$ , 図-3）。フェノール性物質の増加がナラ枯れ被害で熱水抽出されやすい形に成分が変化したのかそれとも樹木に含まれるフェノール性物質の含有量がナラ枯れ被害で増加したかについては、本分析だけでは明らかにできなかった。ナラ枯れ被害木の辺材部には変色域が形成されており、この変色形成に由来するフェノール性成分の変化が熱水抽出されるフェノール性物質増加の原因と考えられる。

フェノール性物質はエリンギの発生に対し負の影響を及ぼす（木村 1999）とされているが、菌糸伸長の阻害がないミズナラのナラ枯れ被害木でもフェノール性物質が増加していることから菌糸の伸長について阻害は認められなかった。熱水に溶出するフェノール性物質の増加だけではナラ枯れ被害木でのエリンギの菌糸伸長抑制の原因を説明できない（図-2, 図-3）。フェノール性物質の総量だけでなくどのような構造のフェノール性物質が含まれているのか組成についても今後明らかにする必要がある。

木粉を用いた菌糸伸長試験でナラ枯れ被害木の利用で多くの食用キノコで菌糸伸長の遅れが認められたが（図-1）、ナメコ、ブナシメジではナラ枯れ被害木の熱水抽出物を添加した培地で菌糸伸長の遅れが認められた（図-1）。また、熱水抽出物中のフェノール性物質の含有量はナラ枯れ被害木で高くなった（図-3）ことから、菌糸伸長の抑制に熱水抽出フェノール性物質が関与した可能性が考えられた。また、シイタケでは熱水抽出物の添加で菌糸伸長の差は認められず、木粉での菌糸伸長に影響する因子が熱水抽出物以外に存在すると考えられた。

また、本試験に使用したコナラとミズナラ木粉に栄養材を容積比 10 : 2 の割合で混合した菌床で行った栽培試験（上辻・茂木 2010）では、ナラ枯れ被害の有無による菌糸蔓延日数に差はなかったことから、栄養材

を添加すると菌糸伸長への影響を検出できないことが考えられる。

### 引用文献

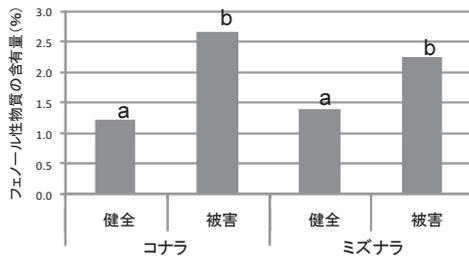


図-3. 熱水で抽出されるフェノール性物質量  
 ※異なるアルファベット間に有意差あり, Steel-Dwass検定( $p < 0.05$ )  
 健全:ナラ枯れ無被害の健全木, 被害:ナラ枯れ被害枯死木

Appel HM., Govenor HL., D'Ascenzo M., Siska E., Schultz JC(2001)Limitations Folin assays of foliar phenolics in ecological studies. J. Chem. Ecol. 27:761-778  
 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 : 170-175

上辻久敏 (2017) ミズナラのナラ枯れ被害木を使用したキノコ菌床栽培. 岐阜県森林研研報 46 : 17-20  
 上辻久敏・茂木靖和 (2010) ナラ枯れ被害木を利用した菌床栽培における子実体発生への影響. 岐阜県森林研研報 39 : 23-27  
 木村榮一 (1999) 培地調整. (図説基礎からのエリンギ栽培. 木村榮一著, 農村文化社.). 66-99  
 小林正秀・萩田実・春日隆史・牧野瀬照久・柴田繁 (2001) ナラ類集団枯損木のビニールシート被覆による防除. 日林誌 83 : 328-333  
 小林正秀・野崎愛 (2009) ナラ枯れ被害をどう防ぐのか-被害のメカニズムと防除法-, 17pp 京都府林業試験場 : 6.  
 水谷和人 (2006) 木製バット製造工程で生じる廃材を利用した食用キノコ栽培. 岐阜県森林研研報 35 : 5-8  
 高島幸司 (1998) オカラを利用したヒラタケ菌床栽培. 日本応用きのこ学会誌 6 : 167-170

## 技術資料

# 壮齢ヒノキ人工林における列状間伐後2年間の保残帯と伐採帯の表土移動量の違い

岡本 卓也・渡邊 仁志

Differences of surface soil movement between non - thinning zone and thinning zone  
two years after line thinning in an aged Japanese cypress stand

Takuya Okamoto and Hitoshi Watanabe

列状間伐を実施した壮齢ヒノキ人工林において、保残帯と伐採帯の表土移動量の違いを明らかにするために、間伐直後から2年間の保残帯と伐採帯の表土移動量、下層植生の植被率およびリター被覆率を調査した。伐採帯の表土移動レートは、保残帯よりも常に小さかった。両帯の表土移動レートは、時間の経過とともに減少する傾向がみられた。また植被率およびリター被覆率は、伐採帯だけでなく保残帯でも増加する傾向がみられたことから、地表面被覆の増加により表土移動が抑制されたと考えられた。他の間伐手法を行ったヒノキ林と比較すると、表土移動レートは保残帯では伐採直後に高かったが2年後には同程度の値に、伐採帯では伐採直後から同程度の値となった。これらのことから表土移動量は列状間伐によって、伐採帯だけでなく保残帯においても伐採後の早い時期に、他の間伐手法を実施した林分と同水準まで低減することが示唆された。

**キーワード** : 表土移動・ヒノキ・列状間伐・保残帯・伐採帯

## I はじめに

間伐が遅れて林冠が閉鎖した人工林では、下層植生が衰退し林床が裸地化することにより、土壌侵食の危険性が高まる(赤井 1977 ; Miura *et al.* 2003)。このような林分では、土砂流出や土壌浸透能の低下(野々田 2008)により地力が低下(赤井 1977)し、森林の土砂流出防備機能などを維持する点において大きな問題がある。これまでの調査事例から、土壌侵食量は $30^\circ$ 以上の急傾斜地で急増すること(荒木・阿部 2005)が知られている。特に、ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)林では、スギ(*Cryptomeria japonica*)林やアカマツ(*Pinus densiflora*)林、アカマツと広葉樹の混交林に比べて土壌侵食量が大きく(塚本 1989 ; Miura *et al.* 2002)、その原因はヒノキ林における地表面被覆(下層植生、リター)の少なさにある(三浦 2000)ことが指摘されている。ヒノキ林においては、ヒノキの落葉落枝だけで林床の被覆率を高く維持することは困難(三浦 2000)であり、従来の間伐方法より強度の間伐を行い林床の光環境と下層植生を良好に維持することが必要である(渡邊ら 2016)。

ヒノキ林における間伐が表土(細土、石礫、リターのことをいう)移動に及ぼす影響についてはこれまでに、定性間伐を行った林分(井川原ら 2004)、間伐強

度の異なる施業を実施した林分(中森ら 2012)や、将来木施業を行った林分(渡辺ら 2017)などの報告がある。しかし、列状間伐後のヒノキ林において、保残帯と伐採帯の表土移動量の変化について調査した例は少ない。

列状間伐は、林分内の一定の幅のすべての立木を伐採する帯(以下、「伐採帯」という)と、伐採を行わない帯(以下、「保残帯」という)を設定する間伐方法であり、伐採帯を広くすることにより林内の光環境を改善させることができるため、下層植生の発達が期待できる(村本ほか 2005)。一方、列状間伐の保残帯と伐採帯では林内環境が異なるため、表土移動に及ぼす影響が異なることが予想される。

そこで本研究では、林床の下層植生が衰退した壮齢ヒノキ人工林において、列状間伐後2年間の保残帯および伐採帯の表土移動量を測定したので、その結果を報告する。

## II. 方法

### 1. 調査地

岐阜県養老郡養老町地内の標高 550m、平均傾斜  $36^\circ$  の北西向き斜面に成立しているヒノキ人工林(2015年時 53年生)で調査を実施した(図-1)。調査地の北西

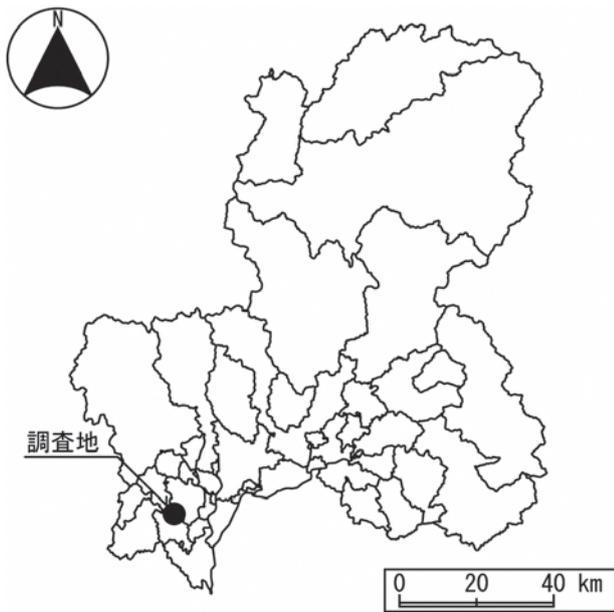


図-1. 調査位置図

約12kmにある関ヶ原気象観測所（標高130m）の平年値は年平均気温14.2℃、年降水量2,125mm、最深積雪深37cmであった（気象庁2017）。調査林分（間伐前）の平均胸高直径は21.9cm、平均樹高は16.0mであった。この調査地では2015年2月から3月にかけて、伐採列2列（本報告では斜面方向を列とする）、保残列5列の列状間伐が行われた。その結果、立木密度は1,617本 ha<sup>-1</sup>から950本 ha<sup>-1</sup>に減少し、間伐率は本数間伐率で41.2%、胸高断面積率で37.5%となった。

## 2. 調査方法

### (1) 表土移動調査

#### i. 調査区の設定および調査期間

2015年6月4日に、同一斜面の等高線方向に連続する2組の残存帯と伐採帯に各1箇所（計4箇所）の調査区を設置した（図-2）。まず、外部からの土砂の流入を防ぐために、各調査区の斜面下側を除く3面を高さ30cmの波板で囲った（図-3）。調査区毎に5個の土砂受け箱（塚本 1999）を、斜面上部に表土の移動の妨げとなる障害物（立木など）がない箇所に、等高線に沿って設置（合計20個）した（図-3）。土砂受け箱を設置した箇所の傾斜は、保残帯が31.5° ± 1.6（平均±標準偏差）、伐採帯が30.2° ± 2.3（同）であり、両帯に差はなかった（Mann-Whitney U検定,  $p > 0.05$ ）。

調査区設置時の表層土壌の攪乱による表土流出を考慮し、設置約1ヶ月後の2015年7月8日に土砂受け箱内の表土を除去してから、土砂受け箱の背面に0.4mmメッシュのサラネットの袋を取り付け、表土の捕捉を開始した。捕捉した表土は2015年7月8日から2017年8月1日までの2年間、積雪期間（2015年12月16日～2016年4月7日および2016年11月30日～2017

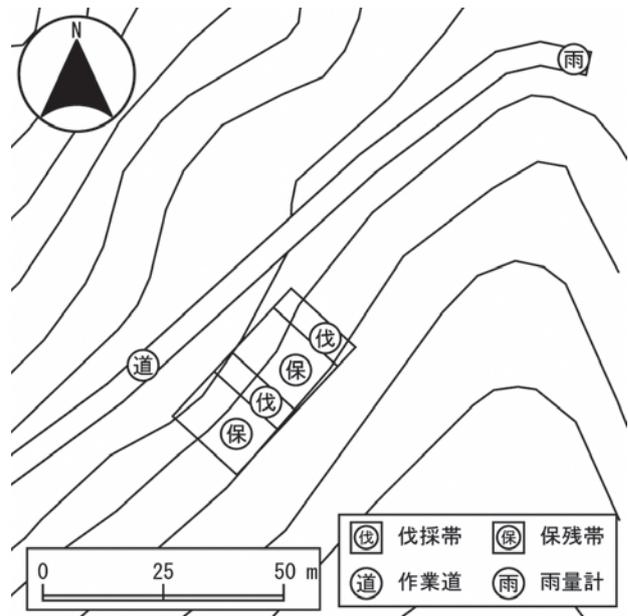


図-2. 調査地詳細図

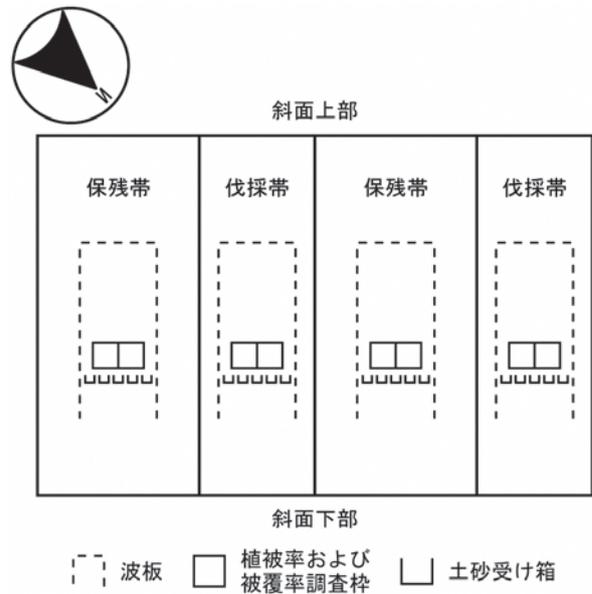


図-3. 調査区概要図

年2月1日)を除いた毎月初旬に回収した。

#### ii. 評価方法

回収した表土は風乾後、細土(≤2mm)、石礫(>2mm)およびリターに画分し、乾燥(80℃, 48時間)後に重量を測定した。表土の移動は、降水量の影響を少なくするために移動レート(Miura *et al.* 2002)により評価した。移動レート( $g\ m^{-1}\ mm^{-1}$ )は、斜面上で等高線に沿う幅1mの線を通じた細土、石礫およびリターの重量(移動量)を降水量(mm)で除した値であり、降水量1mmあたりの移動量( $g\ m^{-1}$ )を示す(Miura *et al.* 2002)。降水量は、調査地の北東100mにある裸地(図-2; 標高520m)に設置した、一転倒0.5mmの転倒マス式雨量計(池田計器製作所, RT-5)で計測した。

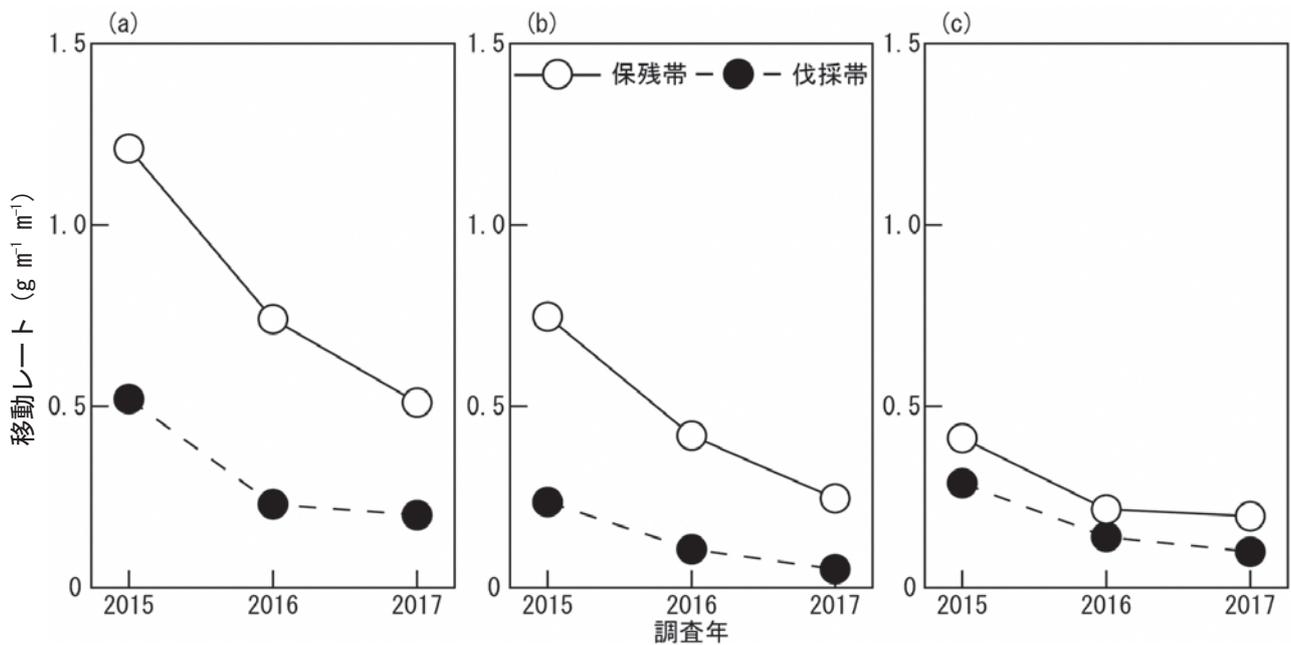


図-4. 年移動レート (a: 細土, b: 石礫, c: リター)  
 詳細なデータは付表に示す。

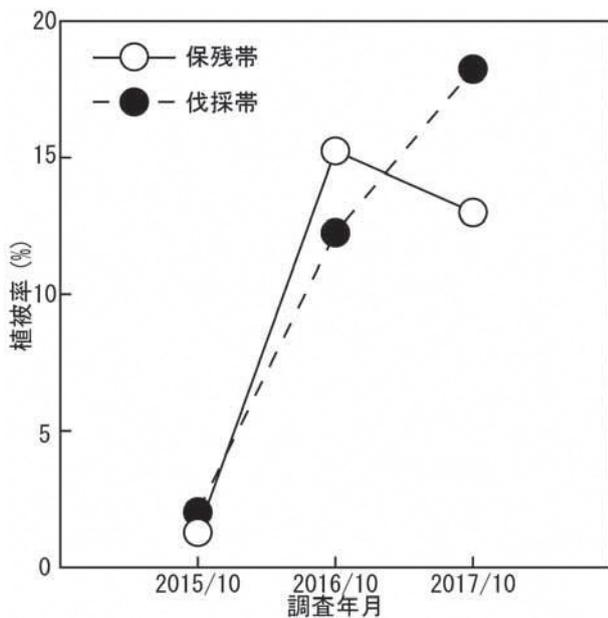


図-5. 下層植生の植被率の変化

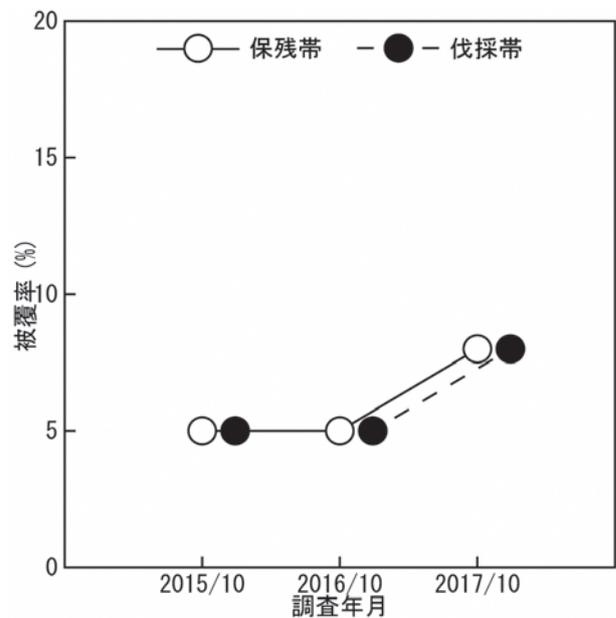


図-6. リター被覆率の変化  
 伐採帯, 保残帯の結果が同値であるため伐採帯の結果を右方にずらして図示した。

転倒マス式雨量計の測定値はデータロガー (Onset 社, Hobo Pendant Event Data Logger UA03-64) で記録し, データ回収後に集計し日降水量を算出した。

細土, 石礫およびリターの移動量を年ごとに集計し, 保残帯, 伐採帯ごとに算術平均し, 年移動レートを算出した。

## (2) 林床調査

調査区内の下層植生 (地上高 ≤ 2m) の植被率とリター

の被覆率を調査した。土砂受け箱直上部に 1m × 1m の調査枠を調査区あたり 2 箇所設定 (図-3) し, 下層植生またはリター占有率を目視により個別に計測した。調査は 2015 年, 2016 年および 2017 年の毎年 10 月に実施した。

## III. 結果

### (1) 表土移動調査

年細土移動レートは, 保残帯で 2015 年に 1.21 g m<sup>-1</sup>

mm<sup>-1</sup>, 2016年に0.74 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2017年に0.51 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>であり, 伐採帯で2015年に0.52 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2016年に0.23 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2017年に0.20 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>であった(図-4(a))。

年石礫移動レートは, 保残帯で2015年に0.75 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2016年に0.42 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2017年に0.25 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>であり, 伐採帯で2015年に0.24 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2016年に0.11 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2017年に0.05 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>であった(図-4(b))。

年リター移動レートは, 保残帯で2015年に0.41 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2016年に0.22 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2017年に0.20 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>であり, 伐採帯で2015年に0.29 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2016年に0.14 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2017年に0.10 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>であった(図-4(c))。

## (2) 林床調査

下層植生の植被率は, 保残帯では2015年に1%, 2016年に15%, 2017年に13%であり, 2016年から2017年にかけて微減したものの間伐直後の2015年より増加した(図-5)。伐採帯の植被率は, 2015年に2%, 2016年に12%, 2017年に18%であり, 間伐直後の2015年から年々増加した(図-5)。

リターの被覆率は保残帯, 伐採帯ともに同じ値を示し, 2015年および2016年に5%であったが, 2017年は8%に増加した(図-6)。

## IV. 考 察

本調査地における伐採帯の表土移動レートは, 保残帯より常に低かった(図-4)。Nanko *et al.* (2004)は, 壮齢ヒノキ林の林内雨の総雨滴衝撃エネルギーは, 裸地の2倍以上であると報告している。列状間伐後の伐採帯では伐採により林冠がなくなり裸地的環境になった一方, 保残帯には林冠が残されるため, 本調査地でも保残帯における雨滴衝撃エネルギーは伐採帯に比べ高かったと推定される。つまり, 雨滴衝撃エネルギーの違いが伐採帯と保残帯の表土移動レートの差に影響したと考えられた。

表土移動レートは保残帯, 伐採帯ともに, 時間の経過とともに減少する傾向にあった(図-4)。表土移動の抑止効果は, 下層植生やリターによる地表面の被覆が多いほど高い(平井ら 1992)。本調査地における植被率は間伐直後に比べ, 伐採帯だけでなく隣接する保残帯も増加した(図-5)こと, 2017年にリター被覆率が増加した(図-6)ことから, 下層植生やリターにより表土移動が抑制され, 表土移動レートが減少したと考えられた。

本調査地における年細土移動レート(図-4(a))は, 保残帯で0.51 ~ 1.21 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 伐採帯で0.20 ~ 0.52 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>であった。他の間伐手法を行ったヒ

ノキ林における細土移動レートは, 切り捨ての定性間伐(本数間伐率約30%)を行った直後の36年生林分で0.282 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>(井川原ら(2004)および, 井川原私信より算出), 将来木施業による伐採後2年から4年の林分で0.167 ~ 0.523 g m<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>(渡辺ら 2017)と報告されている。これらの他の間伐手法を行ったヒノキ林の値と比較すると, 伐採帯では伐採直後から同程度, 保残帯では伐採直後に高かったが2017年には同程度に低下した。

これらのことから, 列状間伐を行った場合の表土移動量は, 伐採帯だけでなく保残帯においても伐採後の早い時期に, 他の間伐手法を行ったヒノキ林と同水準まで低減することが示唆された。今後も表土移動量の変化, 下層植生の植被率およびリター被覆率の経年変化を調査していく必要がある。

## 引 用 文 献

- 赤井龍男(1977) ヒノキ林の地力減退問題とその考え方. 林業技術 419: 7-11
- 荒木 誠・阿部和時(2005) 間伐は森林の土壌を守るか? 森林科学 44: 26-31
- 平井敬三・岩川雄幸・吉田桂子・加藤正樹・酒井正治・井上輝一郎(1992) 複層林施業初期段階における表層土壌の移動. 日林関西支論 1: 91-94
- 井川原弘一・渡邊仁志・横井秀一(2004) ヒノキ人工林における間伐木の処理方法と土壌侵食量の関係. 中森研 52: 267-270
- 気象庁(2017) 気象統計情報, 過去の気象データ検索(オンライン), <http://www.jma.go.jp/>(参照:2017-11-6)
- 三浦 覚(2000) 表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価. 日林誌 82: 132-140
- Miura S, Hirai K, Yamada T(2002) Transport rates of surface materials on steep forested slopes induced by raindrop splash erosion. J For Res 7: 201-211
- Miura S, Yoshinaga S, Yamada T(2003) Protective effect of floor cover against soil erosion on steep slopes forested with *Chamaecyparis obtusa* (hinoki) and other species. J For Res 8: 27-35
- 村本康治・野上寛五郎・関木正博(2005) ヒノキ壮齢林の下層植生におよぼす列状間伐の影響—間伐5年後の種組成—. 九森研 58:59-62
- 中森由美子・瀧井忠人・三浦 覚(2012) 急傾斜ヒノキ人工林における伐採方法の違いによる細土, 土砂, リター移動量の変化. 日林誌 94: 120-126

- 野々田稔郎 (2008) 森林施策の現状と森林管理. (人工林荒廃と水・土砂流出の実態. 恩田裕一編, 岩波書店). 170-183
- Nanko K, Hotta N, Suzuki M (2004) Assessing raindrop impact energy at the forest floor in a mature Japanese cypress plantation using continuous raindrop-sizing instruments. *J For Res*9:157-164
- 塚本次郎 (1989) 林地斜面における表層物質の移動 (I) 細土の移動. *日林誌* 71: 469-480
- 塚本次郎 (1999) 移動土砂量の簡易測定法. (森林立地調査法. 森林立地調査法編集委員会編, 博友社). 195-196
- 渡邊 仁志・井川原 弘一・茂木 靖和・横井 秀一・平井 敬三 (2016) 植栽樹種の違いが同一斜面のヒノキ, スギ, アカマツ人工林の表土移動に及ぼす影響. *日林誌* 98. 193-198
- 渡辺 靖崇, 鈴木 保志, 酒井 寿夫 (2017) 将来木施業を施した人工林における表土移動量の変化—地表有機物量・植生被度と3年間の表土移動量観測の結果から—. *日林誌* 99:24-33

付表. 調査結果 (移動量および降水量)

年	月	回収日	期間 日数 (日)	移動量 (g m <sup>-1</sup> )						期間 降水量 (mm)
				保残帯			伐採帯			
				細土	石礫	リター	細土	石礫	リター	
2015	7	08/07	29	719.6	451.5	181.1	288.4	153.0	99.3	430.5
2015	8	09/01	24	613.5	389.0	192.0	303.2	135.3	151.2	350.5
2015	9	10/08	36	1267.6	630.7	347.4	528.8	186.3	243.1	1018.0
2015	10	11/10	32	58.8	69.5	90.1	26.8	17.1	70.8	118.5
2015	11	12/16	35	88.9	158.8	127.7	38.2	46.2	91.5	358.5
2015	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	小計		156	2748.5	1699.5	938.3	1185.4	538.0	656.0	2276.0

年	月	回収日	期間 日数 (日)	移動量 (g m <sup>-1</sup> )						期間 降水量 (mm)
				保残帯			伐採帯			
				細土	石礫	リター	細土	石礫	リター	
2016	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	2	04/08	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	3	04/20	11	53.7	32.5	11.2	36.2	12.8	6.3	370.0
2016	4	05/06	15	139.4	97.6	36.2	59.5	32.8	21.8	360.5
2016	5	06/01	25	168.3	189.0	49.1	59.6	40.3	25.9	255.5
2016	6	07/01	29	622.6	246.9	145.7	146.6	60.9	77.8	465.0
2016	7	07/29	27	600.9	291.0	120.5	155.3	63.1	72.3	392.5
2016	8	09/01	33	58.6	55.4	19.0	28.9	18.0	19.4	480.5
2016	9	10/02	30	689.4	322.6	247.7	263.3	93.4	172.8	583.0
2016	10	11/01	29	209.7	169.5	76.4	57.0	35.4	53.5	317.5
2016	11	12/01	29	23.7	41.1	39.5	4.4	8.9	33.3	229.0
2016	12	12/25	23	(23.2)	(32.2)	(27.1)	(7.3)	(7.6)	(27.4)	※1
2016	小計	※2	228	2566.3	1445.6	745.2	810.7	365.5	483.3	3453.5

※1) 2016年12月は機器不良により、降水量が計測できなかった。

※2) 2016年3月から同11月までの小計。

年	月	回収日	期間 日数 (日)	移動量 (g m <sup>-1</sup> )						期間 降水量 (mm)
				保残帯			伐採帯			
				細土	石礫	リター	細土	石礫	リター	
2017	1	02/02	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	2	03/01	26	31.2	28.1	34.0	11.1	5.9	22.5	290.5
2017	3	04/05	34	34.3	22.9	15.0	19.4	14.4	18.2	272.0
2017	4	05/12	36	23.2	71.6	84.5	69.1	32.1	40.9	435.5
2017	5	06/06	24	52.4	35.2	27.9	14.5	14.9	20.8	306.5
2017	6	07/06	29	834.7	298.5	239.4	211.1	36.0	99.5	784.5
2017	7	08/01	25	192.2	104.1	47.9	130.2	11.9	22.7	184.5
2017	小計		174	1168.0	560.4	448.8	455.4	115.2	224.6	2273.5
合計			558	6482.8	3705.5	2132.3	2451.4	1018.7	1363.8	8003.0

抄 録

## Effects of sika deer browsing on soil mesofauna in a thinned Japanese cypress plantation

Nana Katagiri, Naoki Hijii<sup>1</sup>

間伐後のヒノキ人工林においてニホンジカの採食が中型土壤動物群集に与える影響

片桐奈々・肘井直樹<sup>1</sup>

We examined the indirect effects of sika deer (*Cervus nippon*) overabundance on soil mesofauna in a thinned plantation. We compared the understory vegetation, environmental conditions at the forest floor, and soil mesofauna inside and outside of a fenced area established at a plantation of Japanese cypress in central Japan about 6 years after thinning. Deer browsing had reduced the volume of understory plants outside the fence; this tended to not cause a reduction in the litter mass and an increase in the soil bulk density, but caused an increase in the relative photosynthetic photon flux density reaching the forest floor. As a result, the relative humidity at the forest floor was lower outside the fence than inside. The abundances of detritivores and fungivores and predators in the soil mesofauna declined significantly in areas with deer. This could be due to desiccation in the litter layer inhabited by many detritivores and fungivores and predators that are sensitive to changes in moisture conditions. Thus, deer browsing had a negative effect on the soil mesofauna as well as on the aboveground fauna in the understory vegetation.

**keywords** : Sika deer, soil mesofauna, forest thinning, Japanese cypress plantation

本研究では、間伐から6年経過したヒノキ人工林において、ニホンジカ（以下、シカ）の採食が中型土壤動物群集に及ぼす影響について調査を行った。そのために、間伐直後に設置された防鹿柵の内外で、下層植生、林床の土壌特性や微気象環境、中型土壤動物群集を比較した。シカの採食は防鹿柵外の下層植生の量を減少させていた。林床に到達する相対光量子束密度が防鹿柵内よりも防鹿柵外で高い傾向にあり、シカによる下層植生の量の減少が要因と考えられた。林床における光環境の変化により、林床の相対湿度が防鹿柵外で低くなった。中型土壤動物のほとんどを占めていた腐食性および菌食性の小型節足動物と捕食性の小型節足動物は、防鹿柵外において個体数が減少していた。これはシカの採食が引き起した林床の乾燥によるものと推測された。シカは下層植生の採食をとおして、中型土壤動物群集へ間接的に負の影響を与えていることが明らかとなった。

抄 録

## ヒノキにおける実生裸苗と緩効性肥料を用いて育成した実生コンテナ苗の初期成長<sup>1</sup>

渡邊仁志・茂木靖和・三村晴彦<sup>2</sup>・千村知博<sup>2,3</sup>

### Initial Growth of Planted Bareroot and Containerized Seedlings of Japanese Cypress(*Chamaecyparis obtusa*) after Nursery Rearing with Slow-release Fertilizer

Hitoshi Watanabe, Yasukazu Moteki, Haruhiko Mimura<sup>2</sup> Tomohiro Chimura<sup>2,3</sup>

育苗時に施用した溶出期間の長い肥料（緩効性肥料）がヒノキ実生苗の初期成長に及ぼす影響を明らかにするため、植栽後2年間の成長と部位ごとの重量変化をコンテナ苗と裸苗とで比較した。コンテナ苗は緩効性肥料（溶出期間700日）を施用し、マルチキャビティコンテナで1年間育成した。植栽時のコンテナ苗は、裸苗より根元直径が小さく、樹高および比較苗高が大きかった。2年間の樹高および根元直径成長量や同期末サイズは、コンテナ苗の方が大きかった。比較苗高の低減はコンテナ苗で大きかった。苗木のT/R比は苗種間で差がなかったが、部位（葉、幹、枝、根）ごとの乾燥重量の増加はコンテナ苗の方が大きかった。樹高や根元直径の相対成長率は、植栽1年目にはコンテナ苗が優れていたが、植栽2年目にはその優位性が低下した。これらのことから、育苗時に施用した緩効性肥料の影響は時間経過とともに低減するものの、ヒノキ実生苗の植栽後の初期成長の促進に有効であることが示唆された。

**キーワード**：緩効性肥料，コンテナ苗，成長量，比較苗高，ヒノキ

We measured the growth and mass increment of 2-year-old containerized Japanese cypress(*Chamaecyparis obtusa*)seedlings for 2 years after planting and compared them with those of bare-root seedlings. We also clarified the influence of nursery application of slow-release fertilizer, which is eluted over long periods, on the initial growth of planted-out *C. obtusa* seedlings. We grew containerized seedlings for 1 year in multi-cavity containers with slow-release fertilizer with a 700-day elution period. At planting, the containerized seedlings were smaller in root collar diameter(hereafter, diameter)and taller, with a greater height-to-diameter ratio, than bare-root seedlings. Height and diameter 2 years after planting were bigger, and growth of both parameters during the first 2 years was higher, in the containerized seedlings. The height-to-diameter ratio of the containerized seedlings dropped rapidly in the first year. Increases in the leaf, stem, branch, and root mass were steeper in the containerized seedlings, but there was no difference in the toproot ratio between the two types of seedlings. The relative height and diameter growth rate of the containerized seedlings was superior in the first year, but this superiority became less clear in the second year. Slow-release fertilizer use in nurseries therefore improves the initial growth of *C. obtusa* seedlings, although its influence decreases with time.

**keywords** : containerized seedling, Japanese cypress(*Chamaecyparis obtusa*), height and diameter growth, height-to-diameter ratio, slow-release fertilizer

<sup>1</sup>日本森林学会誌 Journal of the Japanese Forest Society 99, 2017, 145-149

<sup>2</sup>林野庁中部森林管理局森林技術・支援センター

<sup>3</sup>現所属：林野庁中部森林管理局富山森林管理署立山森林事務所

抄 録

## 六角柱型ツリーシェルターの耐雪性

岡本卓也, 渡邊仁志

Snow-pressure resistance of a hexagonal-column-type tree shelter

Takuya Okamoto and Hitoshi Watanabe

近年, 多雪地域にもニホンジカの分布が拡大しており, これらの地域で食害の発生が報告されている。多雪地域において緑化をすすめるにあたり, シカの食害を防止することが必要である。シカの食害を防止する方法のひとつにツリーシェルターがある。本研究では, ツリーシェルターの耐雪性を明らかにすることを目的に, 多雪地域の平坦なスギ林における1積雪期の積雪深の推移と融雪後のツリーシェルターの破損状況を調査した。林内に資材高140cmの六角柱型ツリーシェルター20本を設置し, 2013/2014冬期の積雪状況を1時間ごとの自動撮影により把握した。調査地では積雪が少なくとも106日間あった。調査期間中の最深積雪深は110cmであった。融雪後の調査ではツリーシェルターに破損や倒伏は認められなかった。これらのことから, 最深積雪深がツリーシェルターの資材高を越えない地域で六角柱型ツリーシェルターを用いることにより, 年間を通してツリーシェルターを設置することが可能であると考えられた。

**キーワード** : ツリーシェルター, 多雪地, 自動撮影, 食害

Recently, the habitat of sika deer has expanded to include snowy regions, and browsing damage by these deer has been reported. To promote revegetation in these snowy regions it is necessary to prevent this damage. Use of tree shelters is one method of damage prevention. To clarify the snow-pressure resistance of tree shelters, we tracked the snow depth over 1 snow season in cedar forests located on a flat site in a snowy region, and after the snowmelt we investigated the rate of damage to the shelters. We installed 20 hexagonal-column-type tree shelters (height: 140 cm) at the site. We also followed snow depth by automatic photographs taken every hour during winter 2013/2014. The snow cover period lasted at least 106 days. The maximum snow depth during the investigation period was 110 cm. No damaged or collapsed hexagonal-column-type tree shelters were observed after the snowmelt. This suggested that hexagonal-column-type tree shelters are usable year-round if the maximum snow depth is less than the height of the tree shelter.

**keywords** : tree shelter, snowy region, automatic photography, browsing damage

抄 録

多雪地域のスギ林内に導入した落葉広葉樹の初期成長とそれらが受けた諸被害<sup>1</sup>

渡邊仁志・岡本卓也

Initial height growth and damages of three deciduous broad-leaved species planted in a Japanese cypress (*Cryptomeria japonica* (L.fil.) D.Don) plantation in snowy region

Hitoshi Watanabe, Takuya Okamoto

多雪地域の針葉樹人工林への広葉樹の導入を目的として、点状間伐等により強度に林冠疎開した後のスギ人工林に落葉広葉樹3種(ホオノキ, ミズナラ, ミズキ)を植栽し、林内の光条件, 更新阻害要因(食害, 雪圧害)の発生状況, および植栽後4年間の植栽木の樹高成長経過を調査した。植栽木は採食や雪圧を受け続けたために、食害や雪圧害の被害率, および枯死率は時間の経過とともに増加した。被害を受けた後, ミズナラやホオノキは萌芽や主幹の交代により回復したが, ミズキでは多くの個体が枯死した。被害木の生死には樹種ごとの萌芽特性の違いが影響していると示唆された。樹高成長量は、健全木であっても既往研究の事例と比べて小さかった。林冠疎開から5年後の相対光量子束密度(rPPFD)は10%以下で、林内の光条件は広葉樹の生育条件を継続的には満たしていないと推測された。広葉樹の植栽による針広混交林化には、光量を確保する上木管理とともに、更新阻害要因を回避する対策が必要である。

**キーワード** : 樹高成長, 光条件, 間伐, 更新阻害要因, 広葉樹, 多雪地域

---

<sup>1</sup> 日本緑化工学会誌 Journal of the Japanese society of revegetation technology 42, 2017, 529-532

抄 録

ヒノキ実生コンテナ苗の改良による低コスト再造林技術の開発<sup>1</sup>

渡邊仁志

---

<sup>1</sup>森林科学 80, 2017, 14-17

## 岐阜県森林研究所研究報告 執筆要領（抜粋）

1. 投稿は、岐阜県森林研究所の職員または旧職員（以下、職員という）に限る。ただし、編集委員会が認めたときはこの限りではない。筆頭者以外の著者にはその他の者を含むことができる。
2. 原稿内容は、職員が在職中に実施した研究の業績を扱ったものとする。職員は研究課題の終了時には、研究成果の学術的な公表に努める。
3. 原稿種別は、「論文」、「短報（旧資料）」、「技術資料」、「学術雑誌論文抄録」および「その他」とする。「論文」とは、学術的に新規性のある知見を、十分な議論を含めて公表するものとする。「短報」とは、予報的または速報的な内容を持ち、論文に準ずる調査結果・実験結果などを論文形式で取りまとめたものであり、単なるデータ集ではない。「技術資料」とは、「論文」、「短報」にはならないが、記録として公表することがふさわしい有益なデータを提示するものとする。「学術雑誌論文抄録」とは、研究報告が刊行される前年に他の学術雑誌に掲載された論文等の抄録とする。「その他」とは、印刷公表することがふさわしく、かつ、本執筆要領の適用が困難な論文（学位論文等）とする。
4. 原稿の採否は、査読審査を経て編集委員長と複数名の編集委員からなる編集委員会が決定する。査読者の数は「論文」および「短報」の場合は2名以上、「技術資料」の場合は1名以上とし、編集委員会が指定する。「学術雑誌論文抄録」と「その他」の場合は、体裁の確認のみ行う。

---

## 岐阜県森林研究所研究報告 第47号

平成30年3月28日 印刷

平成30年3月31日 発行

編集者 岐阜県森林研究所研究報告編集委員会

発行者 岐阜県森林研究所

発行所 岐阜県森林研究所

〒501-3714 岐阜県美濃市曾代1128-1

TEL 0575-33-2585 FAX 0575-33-2584

URL <http://www.forest.rd.pref.gifu.lg.jp/>

e-mail [info@forest.rd.pref.gifu.jp](mailto:info@forest.rd.pref.gifu.jp)

印刷所 株式会社 サン・ライン



この研究報告の本文は、古紙配合率70%再生紙を使用しています。  
(表紙は古紙配合率70%の再生紙です。)