

岐阜県森林研究所

研 究 報 告

第 42 号

**Bulletin of the Gifu Prefectural
Research Institute for Forests**

岐阜県森林研究所

岐阜県美濃市

2013年3月

目 次

論 文

- ナラ枯れ被害木の短木処理によるカシノナガキクイムシの駆除効果…………… 1
大橋 章博
佐藤 公美

資 料

- おとり木トラップによるカシノナガキクイムシの防除効果…………… 9
大橋 章博
- 26年生カツラ人工林の成長過程……………13
大洞 智宏
渡邊 仁志
横井 秀一
- ヒノキ2年生コンテナ苗の植栽功程と初期生存率……………19
渡邊 仁志
臼田 寿生
茂木 靖和
- ヒノキコンテナ苗の育成における施肥条件の違いが……………25
苗伸長量に及ぼす影響
茂木 靖和
渡邊 仁志
上辻 久敏
古川 敦洋
中嶋 守
- オカラを添加したエリンギ菌床栽培における酵素処理の影響……………31
上辻 久敏
水谷 和人

論文

ナラ枯れ被害木の短木処理によるカシノナガキクイムシの駆除効果

大橋章博・佐藤公美*

Control effect of ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae) short logs treatment of the damaged oak

Akihiro OHASHI and Kumi SATO

ナラ枯れ被害木を30cm, 50cm, 100cmの長さで玉切りした丸太を, 舗装路上で自然乾燥し, 丸太含水率の変化および丸太から脱出するカシノナガキクイムシ成虫数を調査し, その防除効果について検討した。その結果, 丸太の含水率は30cmで44.8%, 50cmで51.9%, 100cmで57.6%に低下した。丸太からの脱出数は100cmで213.7頭/m³, 50cmで131.4頭/m³, 30cmで26.3頭/m³と短くなるに従い少なくなった。また, 含水率が57%以下の丸太からは成虫の脱出はみられなかったことから, 短く玉切りして材の含水率を57%以下に下げることによってカシノナガキクイムシの繁殖を抑えることができると考えられた。

キーワード: ナラ枯れ, カシノナガキクイムシ, 短木処理, 防除

I はじめに

カシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus* 以下, カシナガ) が伝播するラファエレア菌 (*Raffaelea quercivora* 以下, ナラ菌) によって発生するブナ科樹木萎凋病 (以下, ナラ枯れ) は, 岐阜県では1998年に揖斐郡揖斐川町 (旧坂内村) で初めて確認された。その後, 被害は拡大し, 県南部では全域に拡大した (大橋, 2008)。ナラ枯れの被害対策として, 被害の先端地域では薬剤防除等により未発生地への被害の拡大を防ぐことが重要である。一方, 被害が既に蔓延している地域では, 周囲からカシナガが飛来し被害を起こすため, 精力的に防除を行っても期待するような防除効果が得られないことが多い。このため, このような地域では, 被害木の持ち出しが可能であれば, 地域内で有効利用して被害を軽減させることが望ましい。持ち出しができない場所では, できるだけ薬剤や労力のかからない低コストな防除法を実施する必要がある。

最も簡易な防除法としては, 被害木を短く玉切りすることが考えられる。カシナガは菌食性であることから, 材の含水率 (乾燥基準) が55%を下回ると生育できない (小林ら, 2003)。このため, 短く玉切りして材の乾燥を速めることで, カシナガの生育を抑えることが期待できる。山形県では被害木を利用する際のガイド

ラインを作成しており, その中で, 被害木を伐倒し被害材の処理を行わずに現地に残置する場合は, 短木処理 (50cm以下の長さに玉切り) し, 地伏せすること, と定めている (山形県, 2011)。短木処理による効果については, 生息環境を悪化させることでカシナガの羽化を阻害し, 生育密度を低下させることができるとしている。また, 在原ら (2009) は, 被害木を長さ別に玉切りして林内に放置し, 短く玉切るほどカシナガの死亡率は高くなると報告している。この中で, 丸太を放置して1ヶ月後および6ヶ月後の含水率に差がみられなかったことから, 生育環境の悪化が何によってもたらされたかについては今後の課題としている。しかし, この試験では丸太を設置してから1ヶ月間の初期含水率の変化を調査していない。

そこで, 本研究では, 被害木丸太の初期含水率の変化や乾燥場所に注目し, 短木処理がカシナガの脱出数へ及ぼす影響について検討した。

II 試験方法

1. 供試丸太

(1) 秋伐採

岐阜県関市小屋名にある百年公園内で発生したナラ枯れ枯死木から多量のフラスの堆積がみられるコナラ

*前: 岐阜県森林研究所, 現在: 岐阜県工業技術研究所

を試験木として10本選木した（表-1）。このうち5本を2011年9月15日、27日に伐採した。元口から2m毎に玉切りし、各試験木から3本ずつ丸太を採取し、岐阜県森林文化アカデミー演習林（岐阜県美濃市）に持ち帰った。各丸太は、図-1に示すように30cm、50cm、100cmの長さに玉切りして供試丸太とし、ロードセル（エー・アンド・ディ社製LC-1205-K100）を用いて質量を測定した。このとき、供試丸太の元口径、末口径、

丸太長も測定した。

また、2mの長さに玉切りを行う際、各丸太の両端から厚さ約5cmの円板を採取し（図-1）、ポリ袋に密封して持ち帰った。円板の乾燥前質量を天びん（ザルトリウス社製CPA42025）で測定後、103℃で質量一定（全乾状態）になるまで乾燥させ、乾燥後の質量を測定した。なお、本文中で示す含水率はすべて乾燥重量を基準とした。この丸太両端の含水率を平均し、各丸太の試験開始時の含水率とした。また、この含水率から各供試丸太の全乾質量を算出した。

なお、一般にコナラの生材含水率は辺材と心材で大きな差がなく（矢沢、1960）、丸太の乾燥過程においても大きな差がないことから（本田ら、1981）、本試験では含水率を測定する際に心材と辺材に区別しなかった。

(2) 冬伐採

残りの試験木5本を2011年12月8日に伐採した（表-1）。秋伐採の場合と同様の手順で供試丸太を作成するとともに、試験開始時の質量、含水率および全乾質量を求めた。

表-1 供試丸太の概要

	伐採時期	設置場所	元口径	末口径
			(cm)	(cm)
A	秋	日向	32.1	20.9
B	秋	日向	32.0	22.5
C	秋	日陰	20.6	14.6
D	秋	日陰	28.4	24.1
E	秋	日陰	26.9	21.1
F	冬	日陰	42.2	31.8
G	冬	日陰	32.6	25.6
H	冬	日向	36.3	23.0
I	冬	日向	39.5	19.9
J	冬	日向	36.1	19.8

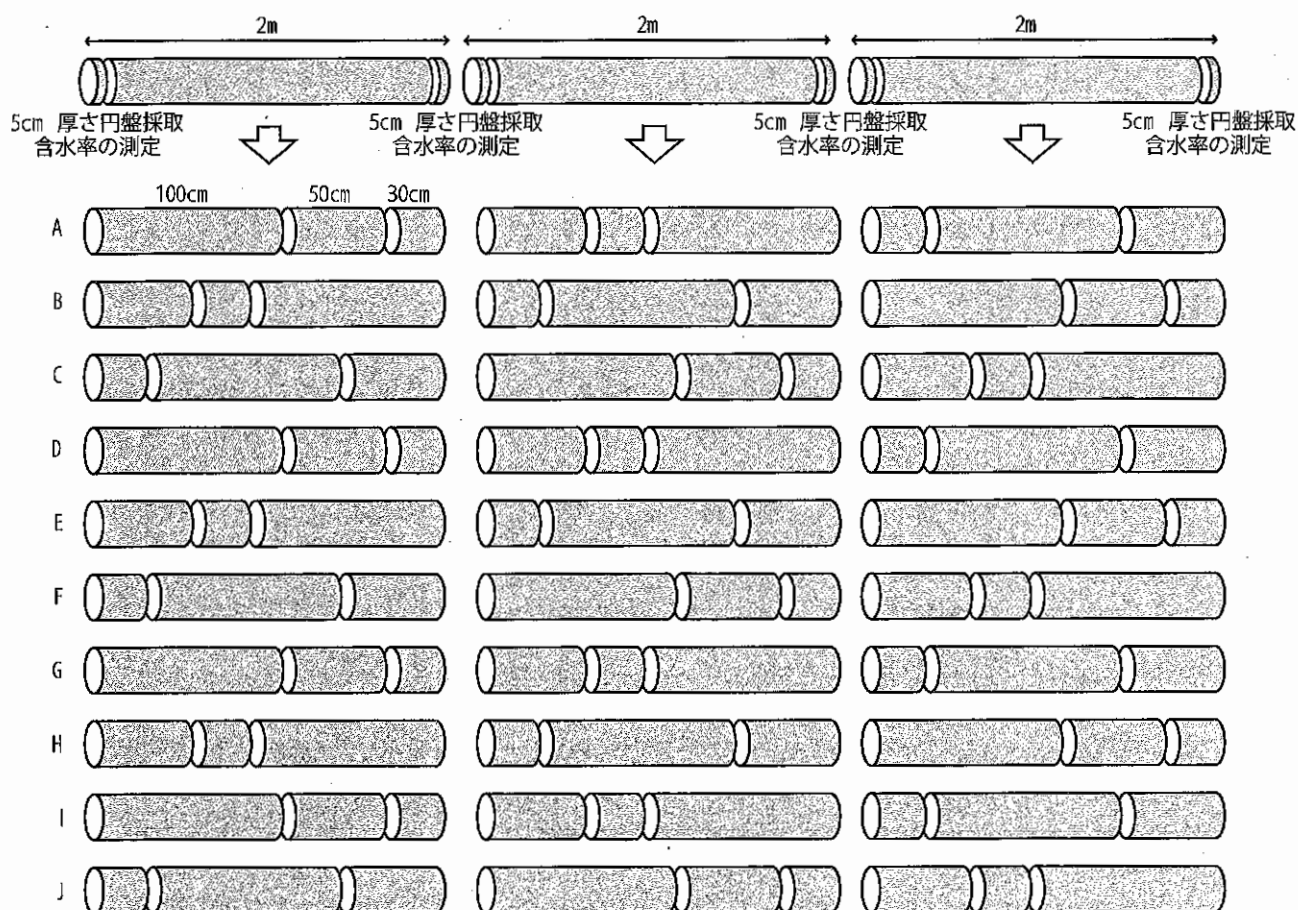


図-1 供試丸太作成の手順

2. 設置方法

供試丸太は、以下の方法で、2012年6月5日までの間、アスファルト舗装された林道脇で自然乾燥させた。秋伐採の試験木については2本分、冬伐採については3本分の供試丸太を日当たりの良い谷側のり肩（以下、日向）に、残りを日陰の山側のり尻（以下、日陰）に平積みした（図-2、3）。どちらも、樹皮がアスファルトに直接接するようにした。日向と日陰に温湿度計（LASCAR社製EL-USB-2）を地上から1.3mの高さに吊り下げ、記録間隔を30分として気温と相対湿度の測定を行った。

3. 含水率の測定

定期的に供試丸太の質量を1本ずつロードセル（エー・アンド・ディ社製LC-1205-K100）で測定した。当初求めた全乾質量と測定質量より丸太の含水率を算定した。なお、質量測定は降雨の直後を避けて行った。

4. カシナガ脱出数

2012年6月8日に供試丸太1本ずつに羽化トラップを設置し、9月4日まで丸太から脱出するカシナガ成虫を

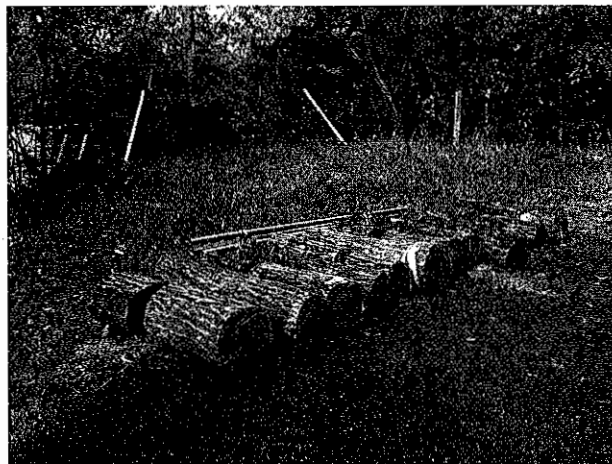


図-2 供試丸太の設置状況（日向）

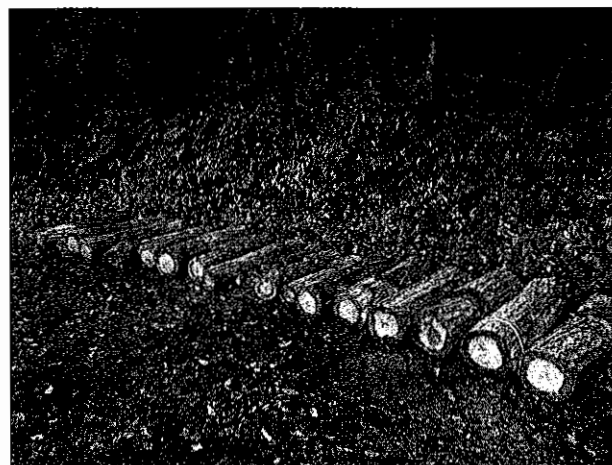


図-3 供試丸太の設置状況（日陰）

捕獲した。2012年9月28日に供試丸太の樹皮を剥皮し、カシナガの穿入孔数を計数した。供試丸太の末口、元口の円周を上底、下底とし、丸太長を高さとする台形の面積を樹幹表面積と仮定して、穿入密度を推定した。

5. 解析方法

丸太の含水率に影響した要因を解析するため、統計パッケージR2.15.2（R Development Core Team 2012）を用いて一般化線形混合モデル（GLMM）により解析した。モデル構築に当たり各説明変数を標準化し、ステップワイズ法によりAIC（赤池情報量基準）が最小となるようモデル選択を行った。解析にあたり、乾燥終了時の丸太の含水率を応答変数とし、説明変数には供試丸太の採取高、直径、長さ、伐採時期、設置場所、初期含水率を用いた。また、変量効果は樹木個体差とし、応答変数はガンマ分布に従うと仮定した。

同様の手法により、供試丸太からのカシナガ脱出数に影響した要因についてもGLMMにより解析した。応答変数を丸太からのカシナガ脱出数とし、説明変数には供試丸太の採取高、直径、長さ、材積、初期含水率、終了時含水率、穿入孔数、伐採時期、設置場所を用いた。また、樹木個体差を変量効果とし、応答変数はポアソン分布に従うと仮定した。なお、解析にあたり、初期重量、終了時重量、乾燥重量は材積と相関が高く、多重共線性の問題から説明変数から除いた。

Ⅲ 結果

1. 丸太含水率

供試丸太の当初の含水率を図-4に示す。含水率は、秋伐採に比べ冬伐採で低くなる傾向にあり、高さ別には上部になるほど低くなる傾向にあった。

伐採時期、丸太の長さ、乾燥場所別に含水率の推移を示したのが図-5、6である。秋伐採では乾燥開始から5週間は含水率が緩やかに低下したが、それ以降、変化はなくなった（図-5）。そのときの含水率は51～71%

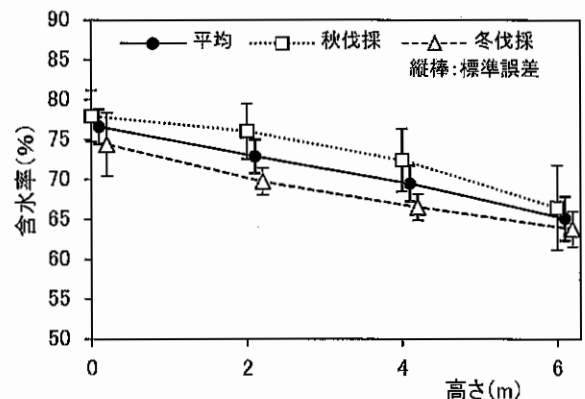


図-4 高さ別の初期含水率

であった。2月7日以降、含水率は再び低下し、6月7日には34～60%まで下がった。一方、冬伐採では乾燥開始から2月17日までの期間はほとんど含水率に変化は認められなかった（図-6）。それ以降、含水率は低下し、秋伐採と同様の経過を示した。

設置場所別にみると、秋伐採、冬伐採ともに、日向の含水率は日陰に比べ常に低い値を示した。

また、丸太の長さ別にみると、伐採時期、設置場所にかかわらず、含水率は30cmが最も低く、次いで50cm、

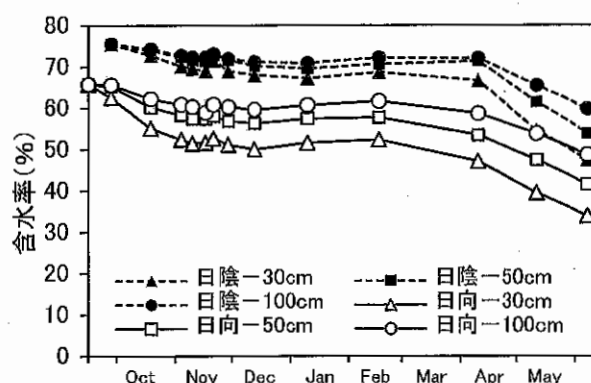


図-5 乾燥場所、丸太の長さの違いによる乾燥経過の比較（秋伐採）

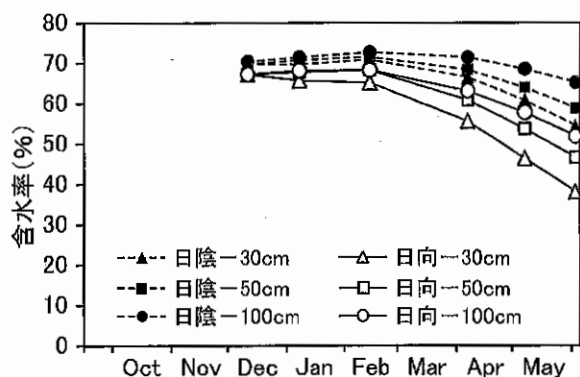


図-6 乾燥場所、丸太の長さの違いによる乾燥経過の比較（冬伐採）

100cmの順であった。

日平均とした気温と湿度の変化を図-7に示す。日平均気温は、4月以降では日陰に比べ日向でやや高い傾向にあったが、有意な差はみられなかった（乾燥期間の平均で日向 $9.7 \pm 6.6^\circ\text{C}$ 、日陰 $9.3 \pm 6.3^\circ\text{C}$: t -test, $p=0.503$: $\pm$ は標準偏差）。湿度は全期間を通して日陰でやや高く、有意な差が認められた（日向 $79.4 \pm 10.0\%$ 、日陰 $83.9 \pm 9.1\%$: t -test, $p<0.001$ ）。

丸太含水率の低下が認められた2012年4月10日～6月7日の期間に限って比較すると、平均気温は日向が $17.0 \pm 2.7^\circ\text{C}$ であったのに対し日陰が $16.0 \pm 2.4^\circ\text{C}$ と、日向で高かった（ $p<0.05$, t -test）。また、平均湿度は日向が $75.4 \pm 9.5\%$ であったのに対し日陰が $82.3 \pm 8.3\%$ と、日陰で高かった（ $p<0.001$, t -test）。

丸太の含水率に影響した要因についてGLMMにより解析した結果、直径、長さ、伐採時期、設置場所、初期含水率の5つの変数を組み込んだモデルが最もあてはまりがよかった（表-2）。丸太の含水率は、直径、長さや初期含水率が大きいほど高くなること、日向に置くと負の影響を及ぼすことが示された。また、伐採時期は冬伐採で含水率が高かった。

2. 丸太からの脱出虫数

供試丸太の中央部における地上高（以下、丸太採取高）

表-2 最終含水率推定モデルの解析結果

	推定値	標準誤差	t値	p値
(切片)	1.98924	0.04138	48.076	$< 2e-16$ ***
直径	-0.1725	0.04475	-3.854	0.000233 ***
長さ	-0.274	0.05085	-5.388	6.99E-07 ***
伐採時期(冬)	-0.1284	0.05044	-2.545	0.012862 *
設置場所(日向)	0.20665	0.06989	2.957	0.004084 **
初期含水率	-0.3118	0.04331	-7.199	2.93E-10 ***

AIC=-294.78

*** $p<0.001$, ** $p<0.01$, * $p<0.05$

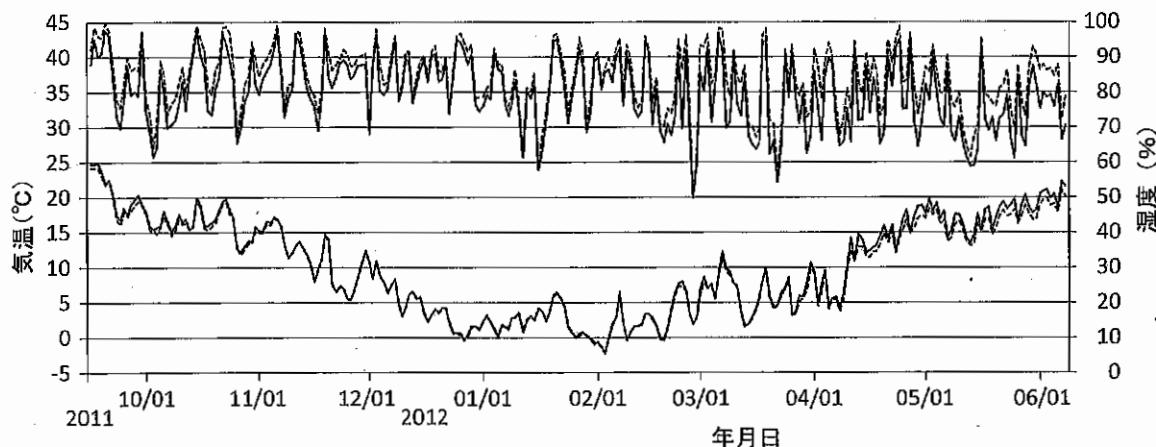


図-7 乾燥期間中の日平均気温と日平均湿度

上段は湿度、下段は気温を示す。実線は日向、点線は日陰を示す。

と穿入密度との関係を図-8に示す。穿入密度は丸太採取高との間に有意な相関関係は認められなかった。

丸太の長さ、設置場所、伐採時期とカシナガ脱出数との関係を示したのが図-9～11である。カシナガ脱出数を丸太の長さで比較すると(図-9)、100cmでは213.7頭/m³であったのに対し、50cmでは131.4頭/m³、30cmでは26.3頭/m³と短くなるに従い少なくなったが、有意な差はみられなかった(Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$)。設置場所で比較すると(図-10)、脱出数は日向が106.1頭/m³であったのに対し、日陰では139.9頭/m³と日陰でやや多かったが、有意な差は認められなかった(U test, $p > 0.05$)。伐採時期で比較すると(図-11)、秋伐採で117.5頭/m³、冬伐採で128.2頭/m³と差は見られなかった(U test, $p > 0.05$)。

丸太からのカシナガ脱出数に影響した要因についてGLMMにより解析した結果、丸太の採取高、直径、長さ、初期含水率、終了時含水率、穿入孔数、伐採時期の7つの変数を組み込んだモデルが最もあてはまりがよかった(表-3)。材積と設置場所は採択されなかった。脱出数は丸太の直径や長さが大きくなるほど増加すること、穿入孔数が多いほど増加することが示された。また、最終含水率は高いほど脱出数は増加し、逆に初期含水率が高いと脱出数が減少することが示された。

Ⅳ 考 察

今回の試験で長さ100cmの丸太から脱出したカシナガが213.7頭/m³であったのに対し、長さ30cmの丸太からは26.3頭/m³であったことから、単純に比較すると短く玉切りすることで約88%のカシナガを駆除できたことになる。

玉切りによって駆除効果が得られた原因を明らかにするため、GLMMによりカシナガ脱出数を推定するモデルを構築した。その結果、7つの変数が採択された(表-3)が、この中で人為的に操作することができるものは伐採時期と丸太の長さで最終含水率である。伐採時期と丸太の長さは含水率を推定するモデルでも採択された変数であることから(表-2)、カシナガを駆除す

表-3 脱出数推定モデルの解析結果

	推定値	標準誤差	z値	p値
(切片)	0.94116	1.67498	0.562	0.5742
丸太採取高	0.40423	0.06193	6.527	6.70E-11 ***
丸太直径	1.414	0.07627	18.54	< 2e-16 ***
丸太の長さ	1.63376	0.11063	14.768	< 2e-16 ***
伐採時期(冬)	-4.72724	2.41937	-1.954	0.0507
初期含水率	-1.37193	0.16679	-8.226	< 2e-16 ***
最終含水率	2.44998	0.16083	15.233	< 2e-16 ***
穿入孔数	0.8471	0.04758	17.802	< 2e-16 ***

AIC=901.8

*** $p < 0.001$

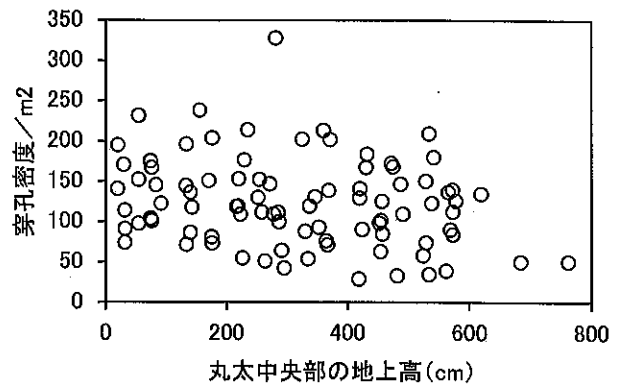


図-8 丸太採取高と穿孔密度との関係

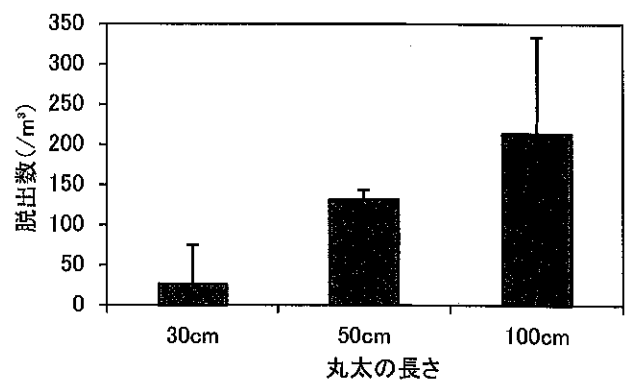


図-9 丸太の長さと脱出数の関係
(図中の縦棒は標準誤差)

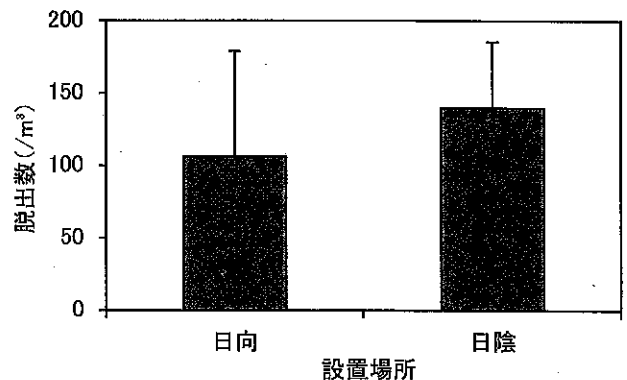


図-10 設置場所と脱出数の関係
(図中の縦棒は標準誤差)

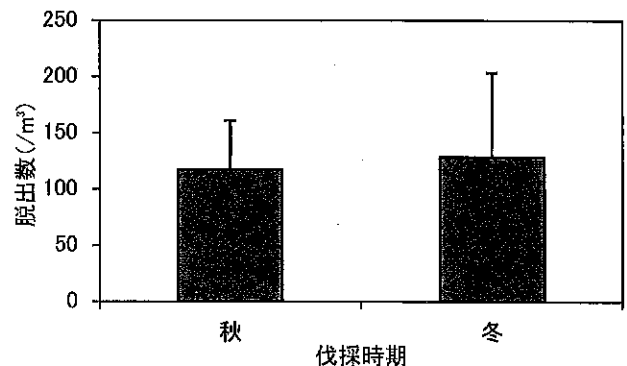


図-11 伐採時期と脱出数の関係
(図中の縦棒は標準誤差)

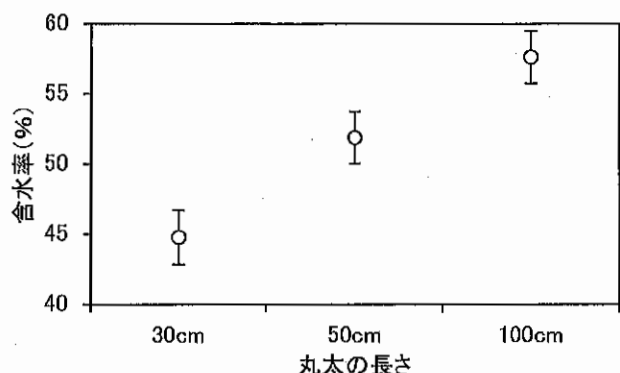


図-12 丸太の長さと含水率の関係
(図中の縦棒は標準誤差)

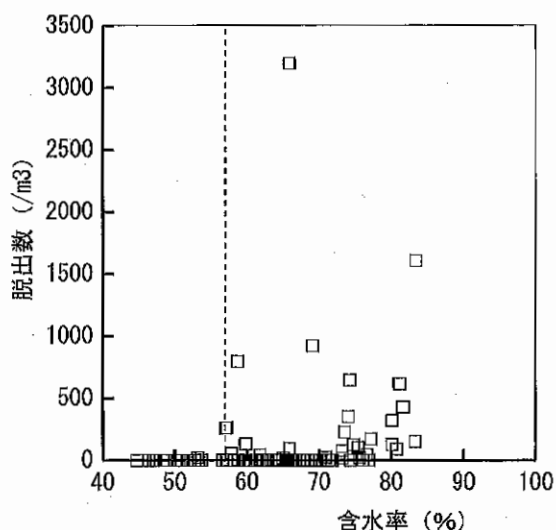


図-13 4月10日における丸太含水率と脱出数の関係

るためには含水率を下げる事が重要であると考えられる。

このうち、丸太の長さと終了時含水率の関係をみると(図-12)、丸太が短いほど含水率が低くなった。終了時含水率を計測した6月7日時点ではカシナガ幼虫はすでに生育を終了し蛹化していると考えられるので、幼虫の成育期である4月10日における供試丸太の含水率とその丸太からの脱出数との関係をみると(図-13)、カシナガの脱出が見られた丸太は含水率が57%以上のものに限られていた。これは小林ら(2003)が含水率55%未満になると共生菌が生育できなくなり、カシナガの繁殖に失敗するという報告とほぼ一致した。

試験当初、乾燥初期の含水率の低下がカシナガの生育環境の悪化に影響していると考えていた。しかし、今回の結果では、丸太を短く玉切りしても乾燥初期に含水率の低下はほとんどみられず、カシナガの餌菌の生育に影響を及ぼす55%まで含水率を下げるには長い時間がかかった(図-6, 7)。林内で材の乾燥がすすまないことについては、岩田ら(1981)によるスギ玉切

り丸太を林内乾燥した報告、佐々木・多田野(2005)によるスギ・ヒノキ・アカマツの丸太を林内乾燥した報告、宮田ら(2006)によるヒノキの林地残材を林道端で乾燥した報告でも確認されている。また、在原ら(2009)はミズナラ枯死木を30cm~50cmの長さに玉切りし、林内乾燥を行ったが、6ヶ月後の含水率に差がなかったと報告している。一方で、コナラを対象とした本研究では、6~9ヶ月後に丸太の含水率は長さ30cmで26%、50cmで19%、100cmで13%低下した(図-5, 6)。樹種は異なるが、佐々木・多田野(2005)によるスギ・ヒノキ・アカマツの丸太を舗装土場で乾燥した試験では2~8ヶ月後に含水率が30~110%低下したこと、宮田ら(2006)によるヒノキ林地残材を舗装土場で乾燥した試験では90日間で含水率が44%低下したことが報告されている。これらのことから、在原ら(2009)と結果が異なったのは、樹種による差ではなく、舗装路上で乾燥を行ったため含水率を下げる事ができたと考えられる。

また、佐野ら(2012)はヒノキやアラカシの丸太を分割することで、乾燥時期、乾燥場所に関わらず乾燥開始から2~3週間で急激に含水率が低下すると報告していることから、舗装路上で乾燥できない場合や乾燥する期間(玉切りしてからカシナガ発生期までの期間)が短い場合には、玉切りだけでは駆除効果は期待できず、材を分割して含水率を下げる必要があると考えられる。

小林・野崎(2003)はミズナラにおいて地際から樹幹上部までの丸太から脱出するカシナガ成虫数を調査し、10,300~50,800頭/m³であったと報告している。これに比べて今回の試験で対照とした長さ1mの丸太から脱出したカシナガは213.7頭/m³とはるかに少なかった。今回供試した丸太の穿入密度は0.57~1.67孔/100cm²で、小林・野崎(2003)の結果と同程度であり、穿入孔数が少なかった訳ではない。これらのことを考えると、被害木を1mの長さに玉切りするだけでもカシナガを駆除できる可能性がある。今後はこうした点について検証を進め、より省力的な防除法を開発する必要がある。

謝 辞

岐阜県百年公園事務所の若林知康所長はじめ職員の皆様には、試験の実施にあたり協力をいただいた。また、岐阜県森林研究所の古川邦明部長研究員兼森林環境部長、上辻久敏専門研究員、岡本卓也主任研究員、田中伸治主任研究員、伊藤昌明博士には丸太質量の測定など試験の実施に協力をいただいた。特に伊藤博士にはGLMMによる解析を行うにあたり多大な協力をいただいた。ここに記して各位に深謝する。

引用文献

- 在原登志男・松崎明・齋藤直彦・石井洋二（2009）ナラ類の集団枯損に関する防除技術の開発. 福島県林試研報41：47-116.
- 岩田隆昭・野原正人・大塚和典（1981）スギ，ヒノキ丸太の林内乾燥について. 岐阜県林セ研報9：49-59.
- 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・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.
- 宮田大輔・鈴木保志・後藤純一（2006）林道端と舗装土場における林地残材の自然乾燥. 日林誌88：245-253.
- 大橋章博（2008）岐阜県におけるナラ類枯損被害の分布と拡大. 岐阜県森林研研報37：23-28.
- R Development Core Team (2012) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. (<http://www.R-project.org/>). (2012年12月21日確認)
- 佐野哲也・井春夫・吉田貴紘・大原誠資（2012）乾燥時期が分割材の天然乾燥経過に与える影響. 日林誌94：142-148.
- 佐々木誠一・多田野修（2005）チップボイラーによる木材チップ燃料利用技術の開発（Ⅱ）—燃料用チップ材等の保管方法の違いによる含水率変化—, 116回日林学術講：396.
- 山形県農林水産部森林課・山形県森林研究研修センター（2011）山形県のナラ枯れ被害と防除. 59pp.

資 料

おとり木トラップによるカシノナガキクイムシの防除効果

大橋章博

キーワード：カシノナガキクイムシ, おとり木トラップ, 集合フェロモン

I はじめに

カシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus* 以下、カシナガ) が伝播するラファエレア菌 (*Raffaelea quercivora*) によって発生するブナ科樹木萎凋病は、岐阜県では1998年に揖斐郡揖斐川町坂内(旧坂内村)で初めて確認された。その後、被害は拡大し、県南部では全域に拡大した(大橋, 2008)。被害の終息を図るため、様々な防除技術が開発されてきた。しかし、これらの防除法はいずれも単木的なものであり、広域で実施するには労力的にも経済的にも負担が大きく、あまり実施されていないのが現状である。

こうした中、カシナガの集合フェロモンの化学構造が明らかにされ(Tokoro et al, 2007), 化学合成できるようになった。しかし、この合成フェロモンは野外において、カシナガの誘引効果が低く、トラップによる大量捕殺はできなかった(齊藤ら, 2006, 齊藤ら, 2007, 衣浦ら, 2008a)。そこで、樹幹注入と合成フェロモンを併用した「おとり木トラップ法」が考案された(衣浦ら, 2008b)。これは、カシナガの穿孔を受けても枯れないように予め樹幹注入した木に合成フェロモンを取り付けて、穿入させることで、カシナガの繁殖を阻止し、密度を下げる防除法である。しかし、

本技術を実用的なものとするには、林分環境や林内に設置するおとり木の配置や数がカシナガの誘引力に与える影響などについて明らかにするとともに、おとり木トラップによる枯損防止効果を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では、おとり木法の実用化を図るため、様々な林相でおとり木トラップ試験を行い、その防除効果について検討した。

なお、本研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業研究「ナラ類集団枯損の予測手法と環境低負荷型防除システムの開発(平成20~22年度)」として実施した。

II 試験方法

1. 試験地

試験は2008年~2010年にかけて、岐阜県内の広葉樹二次林16カ所で実施した。各試験地の概要を表1に示す。いずれの試験地も被害が確認されてから2~3年の被害初期林分である。なお、被害程度は、試験開始時において試験地およびその周辺で枯死木が1ha当たり1~5本みられる場合を微害、6~10本の場合を中害、それ以上の場合を激害に区分した。

表-1 試験地の概要

	試験地	主要構成樹種	被害程度
岐阜1	岐阜市古津	コナラ, アベマキ	中害
岐阜2	岐阜市古津	コナラ, アベマキ	中害
岐阜3	岐阜市古津	アベマキ	中害
岐阜4	岐阜市三田洞	コナラ, アベマキ	微害
各務原	各務原市鵜沼	コナラ	微害
関	関市小屋名	コナラ, アベマキ	微害
多治見1	多治見市三の倉	コナラ, アベマキ	微害
多治見2	多治見市三の倉	コナラ, アベマキ	微害
多治見3	多治見市三の倉	コナラ, アベマキ	中害
瑞浪	瑞浪市明世	コナラ	微害
御嵩1	御嵩町前沢	コナラ, アベマキ, フモトミズナラ	中害
御嵩2	御嵩町前沢	コナラ, アベマキ, フモトミズナラ	中害
郡上	郡上市高鷲町西洞	コナラ	微害
飛騨1	飛騨市宮川町森安	ミズナラ	微害
飛騨2	飛騨市宮川町森安	ミズナラ	微害
白川	白川村荻町	ミズナラ	微害

被害程度は、次のように区分した。

枯死本数が微害: 1~5本/ha, 中害: 6本~10本/ha, 激害: それ以上。

2. 試験方法

各試験地内に0.1ha程度の処理区を設定し、処理区内の胸高直径が10cm以上の全てのナラ類立木を処理木とし、ナラ枯れ用樹幹注入剤（ケルスケットまたはウッドキングSP）を所定量注入した。その後、処理木の中から胸高直径が大きい木を処理区内で一カ所に集中しないように4本または8本選び、おとり木とし、それ以外の処理木を非おとり木とした（表-2）。おとり木に対して、木からカイロモンを発生させるため、樹幹の地上高1.0mの位置にドリルで直径10mm、深さ30mmの穴を10cm間隔で環状に3列空けた。その後、カシナガの合成フェロモン剤（カシナガコールL：サンケイ化学㈱）を2個ずつ樹幹に吊り下げた。誘引効果を確認するため、カシナガの発生が終了した9月～10月にすべての処理木について、地際から地上高2mまでの範囲でフラスがみられるカシナガの穿入孔数を計数するとともに、枯死状況を記録した。

各試験地における処理木数および各処理のスケジュールを表-2にまとめた。また、各試験地について処理区内の処理木の位置関係をレーザーレンジファインダーで計測した。

3. おとり木設置林分の被害軽減効果

2009年および2010年に実施した試験地について、処理区を含む約100×100m範囲の枯死木数（A）と、対面する数百m離れた無処理林分の同等範囲における枯死本数（B）を目視により調査した。AをBで除した値を被害軽減比（A/B）とし、被害軽減効果について検討した。調査は各試験地におけるカシナガ穿入孔数調査と同じ日に行った。

4. 解析方法

処理木への穿入孔数に影響した要因を解析するため、

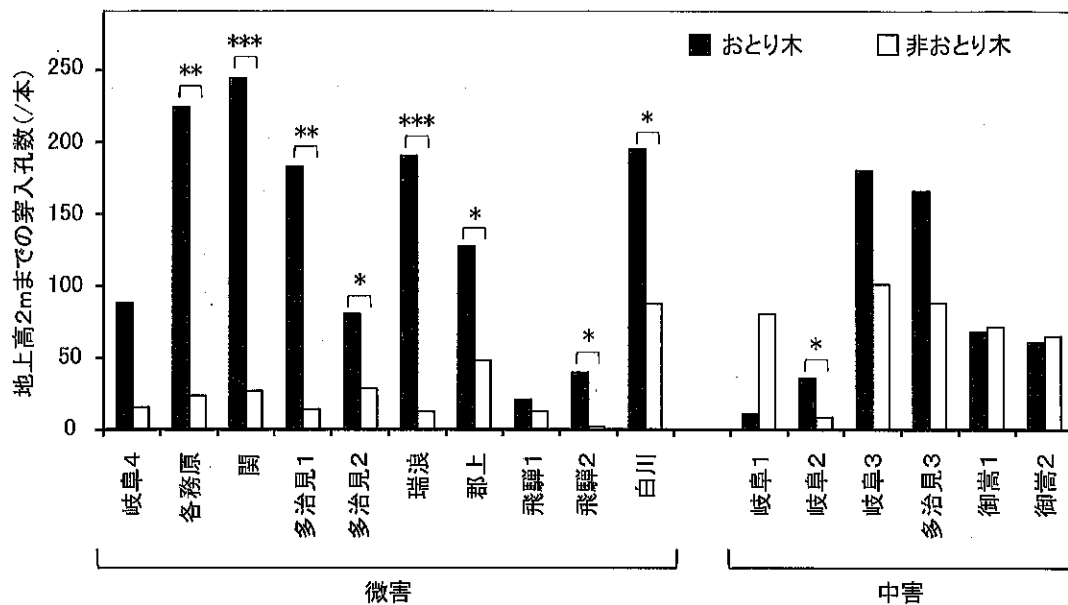
統計パッケージR2.15.2（R Development Core Team 2012）を用いて一般化線形混合モデル（GLMM）により解析した。モデル構築に当たり各説明変数を標準化し、ステップワイズ法によりAIC（赤池情報量基準）が最小となるようモデル選択を行った。解析にあたり、穿入孔数を応答変数とし、説明変数には処理木の胸高直径、おとり木との最短距離、樹種を用いた。また、変量効果は樹木個体差とし、応答変数はポアソン分布に従うと仮定した。

Ⅲ 結果と考察

おとり木および非おとり木へのカシナガ穿入孔数を図-1にまとめた。試験地によって穿入孔数に大きなばらつきが見られた。岐阜1、御嵩1、御嵩2を除いた13試験地でおとり木への穿入孔数は非おとり木への穿入孔数より多かった。特に、林分の被害程度が微害の試験地では岐阜4、飛騨1を除き、おとり木と非おとり木への穿入孔数に差がみられた（U検定）。齊藤ら（2009）の手法に従い、地上高2mまでのカシナガ穿入孔数をもとに処理区全体へのカシナガ誘引数を推定した（図-2）。その結果、処理区に6,424～109,713頭のカシナガを誘引することができた。今回の結果は、同様の方法で山形県や滋賀県で行われた試験結果（齊藤ら、2009、衣浦ら、2011）とおおむね同じであった。齊藤（2008）は微害地域において0.1haの林分にカシナガを2万頭誘引できれば、被害が顕在化しないとする数理モデルを提案している。今回の試験において、この数値をカシナガ誘引の目標としていたが、ほとんどの試験地でこれをクリアすることができた。しかし、被害軽減比は微害地で0.27、中害地で0.49であった（図-3）。中害地に比べ微害地で低く、効果が高いと考えられるものの、十分な防除効果があったとは言い難い。

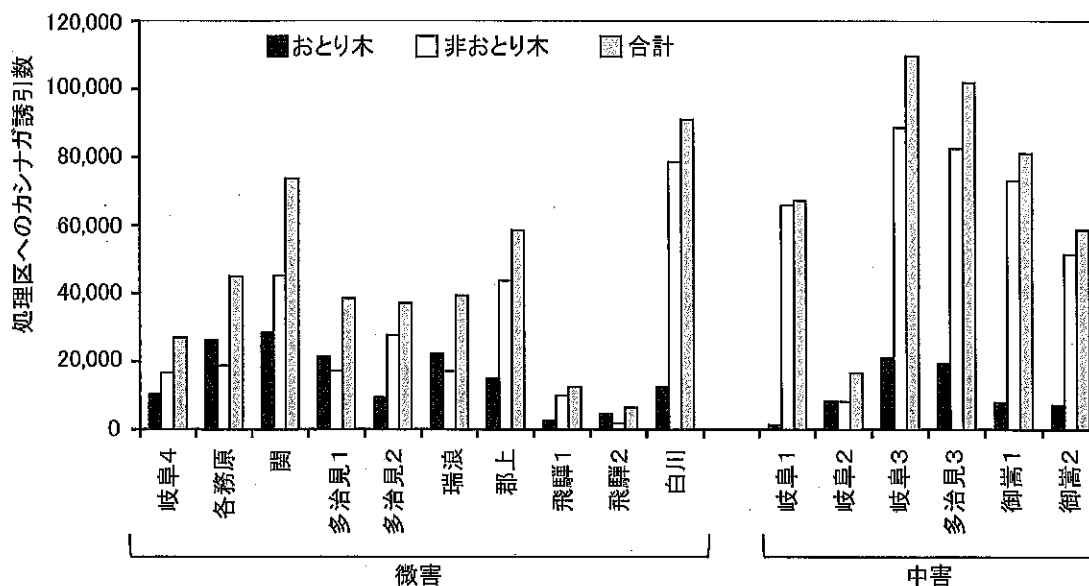
表-2 試験スケジュール

試験地	処理木数	おとり木数	胸高直径(cm)	使用薬剤	殺菌剤の注入	カイロモン発生操作	フェロモンの設置
岐阜1	32	4	24.0	ケルスケット	2008年 5月 1日	2008年 6月 3日	2008年 6月 5日
岐阜2	40	8	22.4	ケルスケット	2008年 5月15日	2008年 6月 3日	2008年 6月 5日
岐阜3	34	4	26.0	ウッドキングSP	2009年 6月 2日	2009年 6月 9日	2009年 6月 9日
岐阜4	40	4	24.0	ケルスケット	2008年 5月 9日	2008年 6月 3日	2008年 6月 5日
各務原	31	4	27.1	ケルスケット	2009年 5月 8日	2009年 5月21日	2009年 5月21日
関	61	4	25.5	ケルスケット	2008年 5月16日	2008年 6月 6日	2008年 6月 6日
多治見1	45	4	27.3	ケルスケット	2009年 4月23日	2009年 5月21日	2009年 5月21日
多治見2	37	4	29.1	ケルスケット	2009年 4月24日	2009年 5月21日	2009年 5月21日
多治見3	36	4	27.3	ケルスケット	2010年 5月25日	2010年 6月 7日	2010年 6月 7日
瑞浪	50	4	26.0	ケルスケット	2010年 6月 1日	2010年 6月 7日	2010年 6月 7日
御嵩1	39	4	29.1	ケルスケット	2010年 5月18日	2010年 6月 7日	2010年 6月 7日
御嵩2	31	4	29.1	ウッドキングSP	2010年 5月25日	2010年 6月 7日	2010年 6月 7日
郡上	35	4	26.3	ウッドキングSP	2010年 6月 3日	2010年 6月10日	2010年 6月10日
飛騨1	30	4	24.2	ケルスケット	2009年 6月 8日	2009年 6月11日	2009年 6月11日
飛騨2	30	4	22.0	ウッドキングSP	2009年 6月 8日	2009年 6月11日	2009年 6月11日
白川	49	4	32.9	ケルスケット	2009年 6月17日	2009年 6月26日	2009年 6月26日



図ー1 地上高2mまでのカシノナガキクイムシ穿入孔数

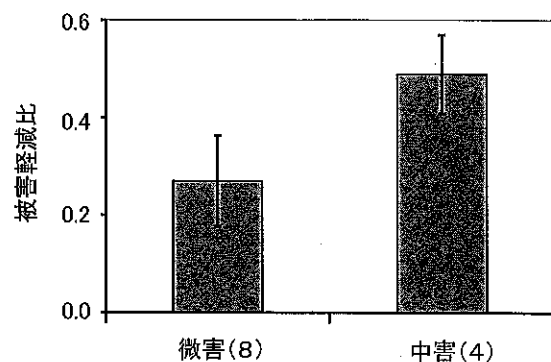
アスタリスクは、おとり木と非おとり木で穿入孔数に有意な差を示す (* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, U検定)



図ー2 処理区へ誘引されたカシノナガキクイムシ誘引数

齊藤ら(2009)が山形県で行った同様の試験では、被害軽減比は微害地で0.10、中害地で0.33と報告しており、これに比べて効果は低かった。一方で、カシナガの誘引数については山形県と本試験結果の間で大きな差はみられなかった。被害軽減効果に差が生じた原因としては、樹種の特性的の違いや周辺におけるカシナガ密度の違いなどが影響していると考えられるが、詳細は不明である。今後、おとり木トラップ法を普及させていくには、このような差が何によって生じたのか、明らかにしていく必要がある。

おとり木トラップ法を実施するにあたっては、どの個体をおとり木に選ぶかが、防除の正否に大きく関わ



図ー3 おとり木トラップによる被害軽減効果
カッコ内の数値はサンプル数、縦棒は標準誤差を示す。

表-3 穿入孔数推定モデルの解析結果

	推定値	標準誤差	z 値	p 値
(切片)	-0.3295	0.3067	-1.074	0.282709
直径	1.4691	0.1987	7.394	1.43E-13 ***
おとり木との最短距離	-0.7556	0.2266	-3.335	8.53E-04 ***
樹種				
コナラ	0	—	—	—
ミズナラ	0.4089	0.5334	0.767	4.43E-01
フモトミズナラ	4.9826	1.0116	4.926	8.41E-07 ***
アベマキ	-0.4973	0.4336	-1.147	0.251376
合成フェロモン	1.2148	0.6783	1.791	0.073302
AIC値: 2332				
*** p<0.001				

ってくる。そこで、穿入孔数に影響した要因について GLMMで解析したところ(表-3)、穿入孔数は胸高直径が大きくなるほど増加し、おとり木との最短距離は穿入孔数に負の影響を及ぼすことが示された。また、樹種間で比較すると、コナラに比べてフモトミズナラで有意に多く、アベマキで少なかった。このことより、おとり木を決める際には、胸高直径が大きい個体を選ぶこと、樹種を考慮して選ぶこと、林分内で偏りがないように選ぶことがカシナガを多数誘引するのに重要であると考えられた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、山形県森林研究研修センター 齊藤正一(森林環境部長, 独) 森林総合研究所 牧野俊一(博士, 所雅彦(博士, 独) 森林総合研究所関西支所 衣浦晴生(博士)には研究方法などで御指導、御助言をいただいた。試験の実施にあたり、岐阜市農林園芸課、各務原市農政課、多治見市市民文化課、御嵩町農林課、郡上市林務課、飛騨市農林課、白川村産業課、遠藤造林㈱、岐阜県百年公園事務所、三の倉市民の里の方々には様々な便宜を図っていただいた。また、現地調査にあたっては、岐阜県森林研究所の岡本卓也主任研究員、百年公園事務所の若林知康所長、中村基樹木医はじめ職員の皆様にご協力いただいた。ここに記して各位に深謝する。

引用文献

- 衣浦晴生・齊藤正一・猪野正明・濱口京子(2008a) ケルキボロールによるカシノナガキクイムシ誘引試験. 119回日林学術講: Pe09.
- 衣浦晴生・齊藤正一・岡田充弘・小林正秀・阿部豊・所雅彦・中島忠一(2008b) おとり木トラップによるカシノナガキクイムシの捕殺技術を開発. 森林総研平成20年度版研究成果選集: 24-25.

- 衣浦晴生・齊藤正一・所雅彦・岡田充弘(2011) 滋賀県湖西地域におけるおとり木トラップ法によるナラ枯損防除の試み. 122回日林学術講: Pa2-99.
- 大橋章博(2008) 岐阜県におけるナラ類枯損被害の分布と拡大. 岐阜県森林研報37: 23-28.
- 齊藤正一・小林正秀・中島忠一・衣浦晴生・布川耕市(2006) 合成フェロモンによるカシノナガキクイムシ大量捕獲法の検討. 117回日林学術講: B08.
- 齊藤正一・衣浦晴生・猪野正明・中島忠一(2007) 純度の異なる合成フェロモンによるカシノナガキクイムシの捕獲試験. 118回日林学術講: P2h24.
- 齊藤正一(2008) ナラ枯れ被害で分かってきた事, これからする事. 東北森林誌13: 16-20.
- 齊藤正一・中村人史・衣浦晴生・所雅彦・岡田充弘(2009) ケルキボロールを装着したナラ類立木トラップによるカシノナガキクイムシの大量誘殺. 120回日林学術講: Pb2-05.
- 齊藤正一・衣浦晴生・岡田充弘・所雅彦(2010) 東北地方におけるナラ類おとり木トラップによるカシノナガキクイムシの誘殺効果. 121回日林学術講: Pc1-42.
- Tokoro,M., Kobayashi,M., Saito,S., Kinuura,H., Nakashima,T., Kagaya,E., Kashiwagi,T., Tebayashi,S., Kim,C., & Mori,K. (2007) Novel aggregation pheromone, (1S,4R) -p-menth-2-en-1-ol, of the ambrosia beetle, *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypoidae). Bull. FFPRI 6: 49-57.

資 料

26年生カツラ人工林の成長過程*

大洞 智宏・渡邊 仁志・横井 秀一**

キーワード：カツラ，人工林，成長，保育

I はじめに

岐阜県内における広葉樹林面積は，民有林面積の約43%を占めるが，広葉樹資源としては質・量ともにかつてと比較して貧弱である（横井，2000）。この充実のためには，短期的には，現存する二次林のうち将来有望な林分を用材林として育てるのが早道（横井，2000）であるが，長期的には，特定の樹種を効率よく生産するための，人工造林や保育の技術が必要不可欠である。しかし，広葉樹は，伐採後の更新を天然更新に依存してきたため（ここで言う“天然更新”とは更新補助作業などを行う天然更新施業ではなく，伐採後放置され再生された状態を指す場合がほとんどである），人工造林や保育作業について十分な検討がなされていない。

岐阜県では，広葉樹に関する造林試験を実施し（岐阜県林政部，1985），調査を継続しているが，その施業方法を確立したとは言い難い。調査を継続している広葉樹のうち，カツラ（*Cercidiphyllum japonicum*）は，カツラ科の落葉高木で，その大きさは樹高30m，直径2mに達する。材は優良な散孔材であり加工が容易で，建築材，器具材，家具材，楽器材，彫刻材などに広く利用されている（橋詰ら，1993）。このように，カツラは材としての利用価値は高いが，天然分布する個体数は多くない（崎尾，2000）。そこで，本研究では，カツラ人工林の施業方法確立の一助とするため，造成されたカツラ林を調査し，成林状況を確認し，施業履歴と成長過程との関連を解析した。

II 調査地と調査方法

調査は，岐阜県高山市荘川町（旧大野郡荘川村）六厩の荘川広葉樹総合実験林内に1985年に造成されたカツラ人工林で行った。調査地は，標高約1,000mの南西向き山腹平衡斜面に位置し（図-1），土壌型はB_u(d)，最深積雪は144cmである（岐阜県林政部，1985）。六

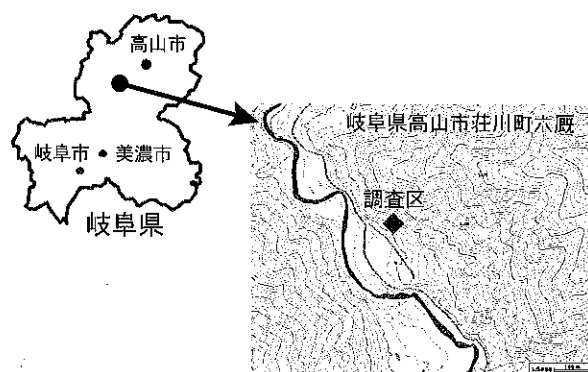


図-1 調査地位置図

厩地域気象観測所（南東へ約6km，標高1,015m）における観測によると，気象の平年値（1981～2010年）は，平均降水量2,439mm，平均気温7.2℃であった（気象庁，2013）。

カツラの植栽密度は4,000本/haで，植栽後5年間下刈り，雪起こしを行い，1987年には枯死木・不良木の改植を行った。改植には，1985年の植栽時に使われなかった苗木を苗畑で養生したものを使用した。

植栽時に0.01haの方形区を設置し，1985年から1999年まで1～3年おきに樹高，直径（1990年までは根元直径，その後は胸高直径），枝下高（1999年のみ），被害状況を記録した。被害状況は活着不良，野鼠剥皮，誤伐，雪害，部分枯死，不明（枯死原因不明），被害なしに分類した。なお，被害の有無にかかわらず生存している個体を成長解析の対象とした。2011年6月にはこの方形区を含むように0.04haの調査区を設置し（図-2），カツラ全個体とそれ以外の樹高1.5m以上の立木について，樹種，樹高，胸高直径，樹冠幅，枝下高を調査した。樹冠幅は斜面上下方向と斜面左右方向の2方向を測定した。この2方向を短径と長径とする楕円形の面積を樹冠投影面積とした。樹高から枝下高を減じた値を樹冠長とした。

測定結果を基に，カツラ各個体の胸高断面面積を算出し，

*本報告の一部は第123回日本森林学会大会において発表した

**岐阜県立森林文化アカデミー

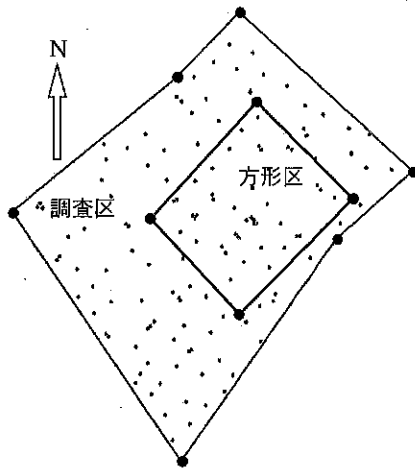


図-2 立木配置図

胸高断面積の平均に相当する個体 (No101), 胸高断面積+標準偏差に相当する個体 (No11), 胸高断面積+(標準偏差×2)に相当する個体 (No136) の計3本を調査地内で伐採し、地上高0mから1mごとに円板を採取し樹幹解析を行った。

Ⅲ 結果

1. 生育過程

植栽時に設定された0.01haの方形区内のカツラのうち25%の個体が植栽の翌年までに活着不良によって枯損した (図-3)。また、1987年には雪害、獣害などにより調査対象木の83%に被害が発生した (図-3)。このため1987年に調査対象木の42%を改植した。1988年以降は下刈り時の誤伐があるものの雪害や獣害による被害は少なかった (図-3)。

1987年の雪害による先折れ、先枯れの影響で、植栽後初期の樹高成長に若干の停滞がみられた (図-4)。改植後には樹高成長の停滞は観察されなかった (図-4)。枝下高は1999年から2011年の間に5.0m上昇した。同期間の樹高成長量は5.1mであり、枝下高上昇量と樹高成長量はほぼ同じであった (図-4)。初期の直径 (根元直径) 成長には停滞はみられなかった (図-5)。

改植による成長への影響を確認するため、改植木と当初植栽木の樹高の差を検定した (Mann-Whitney U 検定)。改植直後には改植木と当初植栽木の樹高に有意な差はみられなかった ($p>0.05$)。1993年と1996年で有意な差がみられた ($p<0.05$) が、それ以降は有意な差はみられなかった (図-6)。

樹幹解析木の樹高成長を図-7、直径成長を図-8に示す。樹高は順位の入れ替わりはあるものの3個体の成長過程には大きな違いはなかった (図-7)。直径に関しては、No136の個体で植栽後5~10年の間で成長量が大きくなっていた (図-8)。No101の個体では植栽

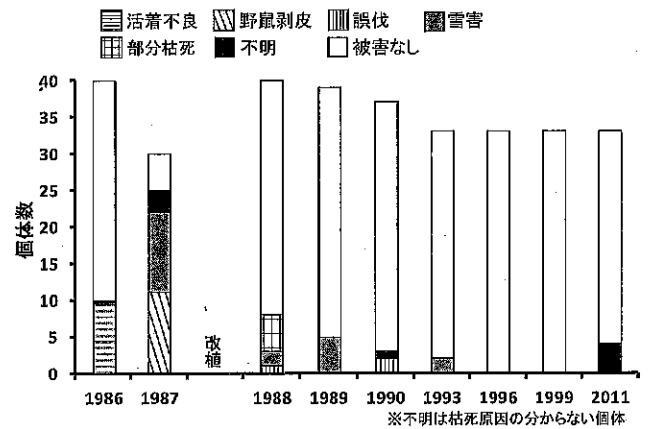


図-3 調査木の被害形態

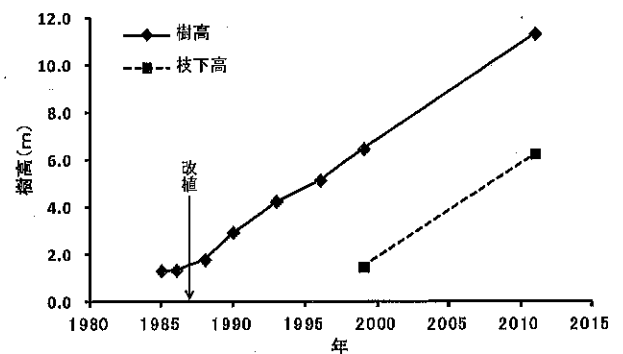


図-4 平均樹高・枝下高の推移

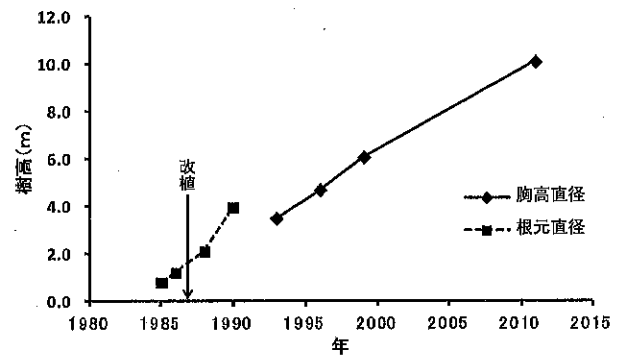


図-5 平均直径の推移

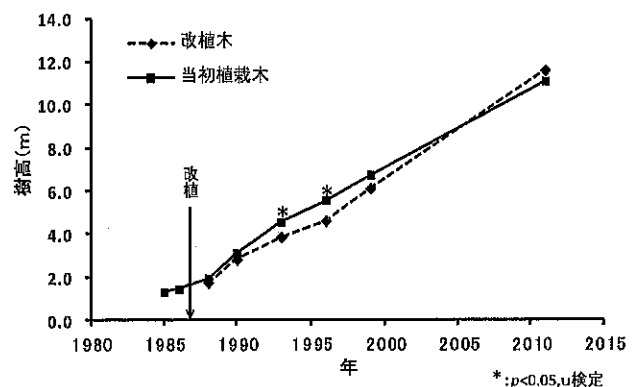


図-6 当初植栽木と改植木の平均樹高の推移

後7年目から成長量が減少し、15年目以降にはさらに成長が悪くなっていた（図-8）。

2. 2011年の状況

2011年設定の調査区内のカツラの幹密度は3,550本/ha、平均樹高は10.5m、平均枝下高は5.6mであった。カツラ以外の測定木の幹密度は2,425本/haであった。

カツラは幹数の85%が6～8mの樹高階から12～14mの樹高階にほぼ均等に分布していた（図-9）。カツラ以外の広葉樹の樹高階分布のモードは2～4mの樹高階にあった（図-9）。

カツラは6～8cmの直径階で最も多く（図-10）、平均胸高直径は9.3cmであった。カツラ以外の広葉樹の直径階分布のモードは0～2cmの直径階であった（図-10）。

カツラの樹冠の大きさと胸高直径の関係を図-11、図-12に示した。樹冠長および樹冠投影面積と胸高直径との相関は有意（ $p<0.01$ ）で、樹冠が大きいほど胸高直径が大きくなる関係がみられた。

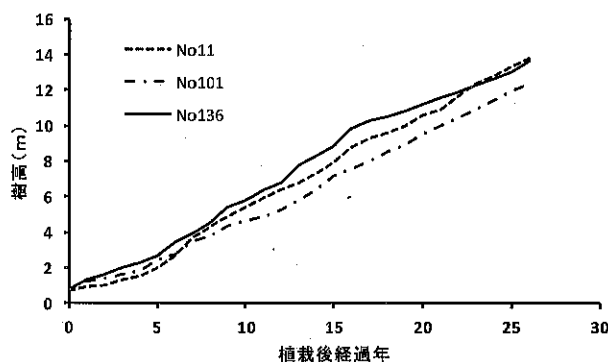


図-7 樹高成長過程

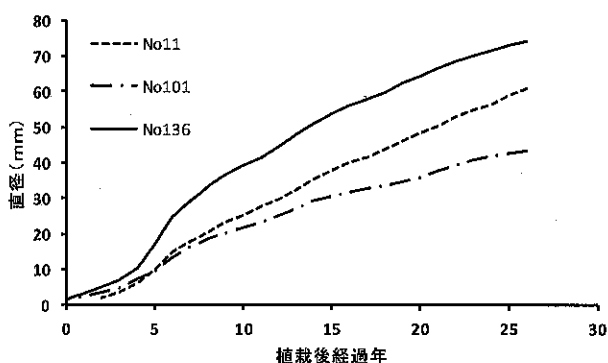


図-8 直径成長過程（地上高1.0m）

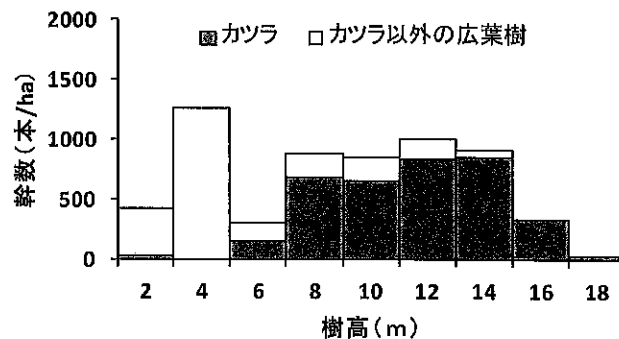


図-9 樹高階分布

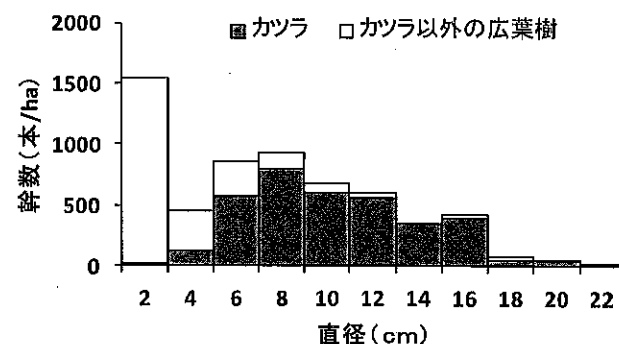


図-10 直径階分布

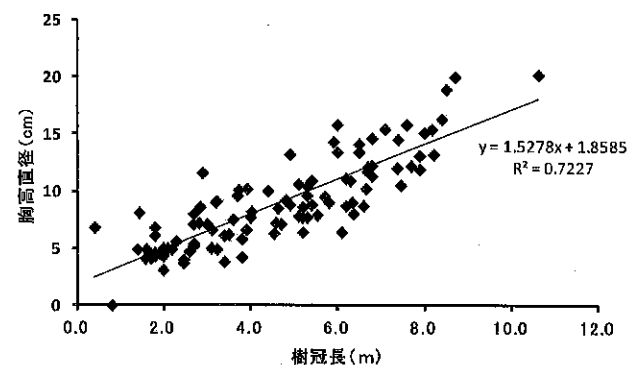


図-11 カツラ樹冠長と胸高直径の関係

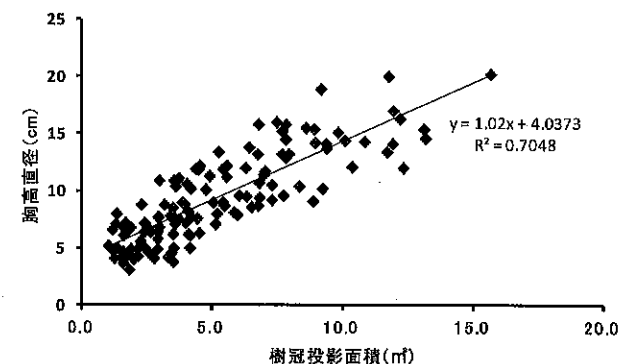


図-12 カツラ樹冠投影面積と胸高直径の関係

3. 天然更新木

調査区内に出現したカツラ以外の測定対象木は16種でそのうち13種が高木性の広葉樹であった（表-1）。このうち、ミズメ、ミズキにはカツラの平均樹高（10.5m）を上回る個体がみられた。また、ホオノキにはカツラの平均樹高に近い個体がみられた（図-13）。

胸高断面積合計割合はカツラが89%，カツラ以外の測定対象木が11%であった（図-14）。

表-1 天然更新木の概要

樹種	幹数 (本)	樹高(m)	
		最大	最小
ミズメ*	19	12.2	3.1
キブシ	15	3.1	1.7
ホオノキ*	14	9.8	2.3
シナノキ*	9	2.9	2.2
ミズキ*	6	13.8	2.9
ハルニレ*	6	8.1	1.8
サワシバ*	6	3.3	2.3
ハイヌガヤ	5	1.9	1.5
イタヤカエデ*	4	2.7	2.0
エゴノキ*	4	2.3	2.0
サワフタギ	2	2.2	1.8
ハリギリ*	2	2.1	2.0
ヤマモミジ*	2	2.1	1.9
アオハダ*	1	3.1	
ノリウツギ	1	2.6	
アズキナシ*	1	1.4	

*:高木性種

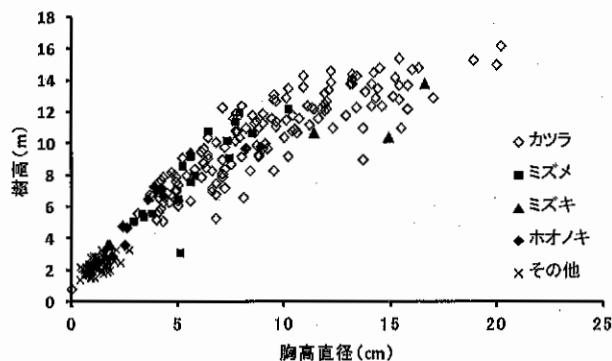


図-13 カツラ及び侵入広葉樹のサイズ分布

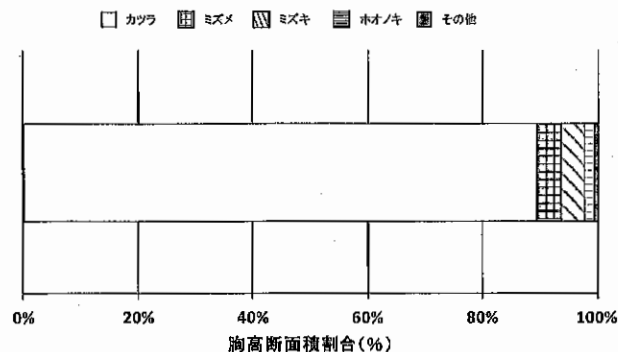


図-13 カツラ及び侵入広葉樹のサイズ分布

IV 考察

1. カツラの成長速度からみた初期保育の必要性

方形区内のカツラの26年生時の平均樹高は11.3mであった（図-4）。他のカツラ人工林の調査事例によると平均樹高は、12年生9.3m（小山，2007），15年生10.4m（松浦，2007），21年生4.6m（糸屋，1998），23年生16m（深澤，1999），29年生17.1m（國崎ら，2007），33年生11.1m（葉袋ら，1987）であった。これらの事例と比較すると本調査林分のカツラの樹高成長は速いとは言えない。カツラは、水湿に富む肥沃な深層土を好み、谷ぞいまたはこれに接する斜面などに生える（橋詰ら，1993）とされている。また、糸屋（1998），葉袋ら（1987）は土壌の水分条件が成長に影響を与えるため、乾燥ぎみの立地では成長が悪くなることを報告している。本調査林分の、土層厚は確認していないが、山腹平衡斜面に位置していることから、カツラに最適な立地と比較すると水分条件が劣っており、このことが樹高成長の速さに影響したと考えられる。

本調査林分は、樹高成長過程から、カツラの最適立地ではないと考えられるが、胸高断面積合計に占めるカツラの割合（図-14）、林分の相観から、カツラが優占しカツラ人工林が成立していると言って良い。これは、初期に雪害や獣害の発生が多かったものの、適切に保育作業が行われていたためと思われる。

一方、天然更新した樹種に高木性種が多いことや、植栽後5年間下刈りを実施したにも関わらず、天然更新した広葉樹にカツラの平均樹高を上回る大きさの個体があることから、下刈りなどの保育作業を省いた省力的な保育では、天然更新した広葉樹の個体数が増加すると同時にサイズの大きな個体の割合も増加すると予想される。また、隣接林分で行われたケヤキ人工林、クリ人工林の下刈り省略が成林に及ぼす影響の調査（横井，2001；横井ら，2004）では、成長速度の速かったクリでは下刈りを省略しても成林したが、成長速度の遅かったケヤキでは、下刈りを実施しても他樹種と混交状態になった。横井（2001）によれば、混交状態になったケヤキ人工林であっても下刈りを実施した調査区では、省略した調査区に比べケヤキの優占度は高くなっており、下刈りは植栽木による成林のための必要条件であるとしている。ケヤキの樹高は16年生時に各調査区の最大値で6.3～8.3m（横井，2001）で、クリの樹高は17年生時に各調査区の平均値で8.6～10.9m（横井ら，2004）であることから、カツラ（14年生、平均樹高6.5m）の成長はその中間であると考えられる。本調査地では、天然更新木の状況やカツラの成長速度、隣接林分との比較から、下刈りを省略した場合、現在

のようなカツラ人工林が成林しなかった可能性が示唆された。

2. カツラの肥大成長過程からみた間伐の必要性

No101の個体（胸高断面積の平均に相当する個体）で植栽後15年目（2000年）頃から直径成長量が減少していることから、植栽後15年目頃にはカツラ個体間での競争が強くなっていたと考えられる。また、1999年から2011年の間の樹高成長量と枝下高上昇量がほぼ同じであった。これらのことから、1999年前後で樹冠が閉鎖し樹高成長とともに枝の枯れ上がりが進んだと考えられる。単純に大径材の生産を目指すのであれば、植栽後15～20年の時点で間伐を実施し、樹冠の競合を緩和し残存木の樹冠を拡大させる必要があったと考える。しかし、広葉樹は通常、枝下の部分を材として利用するため、収穫目標とする材長が確保できる高さに枝が枯れ上がるまで立木密度を高く保ち、その後の間伐を実施することが提唱（谷本，1990；藤森ら，1994）されている。このことから、例えば2.1m材を2玉収穫することを想定するのであれば、平均枝下高が5m程度になったとみられる2007年（22年生）以降の間伐が望ましいと考えられる。

謝 辞

旧荘川村と高山市には、長期間にわたり調査の実施に関して多大な協力をいただいた。また、これまで、試験地の設定、管理に携わった旧岐阜県寒冷地林業試験場職員及び2011年の調査にご協力いただいた森林研究所の皆様に深く感謝の意を表する。

引用文献

藤森隆郎・河原輝彦（1994）広葉樹林施業。全国林業改良普及協会

- 深沢光（1999）岩手県における有用広葉樹人工植栽試験。雪と造林11：4-7
- 岐阜県林政部（2011）平成22年度 岐阜県森林・林業統計書。
- 岐阜県林政部（1985）荘川広葉樹総合試験林報告第1報。岐阜県林政部
- 橋詰隼人・中田銀佐久・新里孝和・染郷正孝・滝川貞夫・内村悦三（1993）図説実用樹木学。朝倉書店
- 糸屋吉彦（1998）有用広葉樹林造成のための植栽試験。森林総研東北支所たより437:1-4
- 気象庁（2013）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：2013年1月8日）
- 小山泰弘（2007）カラマツ林の樹下に植栽したカツラの成長。中森研55：27-28
- 國崎貴嗣・柴田真理・甲田朋子・渡部尚子（2007）岩手県内に造成された落葉広葉樹8種の人工同齢単純林における林分生長特性。森林計画誌41：101-110
- 松浦崇遠（2007）森林吸収源計測・活用体制整備強化事業－カツラ人工林のバイオマス調査－。富山県林技セ業務報:14
- 葉袋次郎・石戸忠五郎・土方康次（1987）浅川実験林内のカツラ人工林の生長。日林関東支論39：81-82
- 崎尾均（2000）カツラ科。（木に咲く花 離弁花1。茂木ら。山と溪谷社），460-465
- 谷本丈夫（1990）広葉樹施業の生態学。創文
- 横井秀一（2000）用材生産に向けた広葉樹二次林の間伐。山林1392:37-44
- 横井秀一（2001）ケヤキ造林地における下刈りの省略が林分構造に及ぼす影響。岐阜県森林研研報30：1-7
- 横井秀一・井川原弘一・渡邊仁志（2004）クリ造林地における下刈りの省略が成林に及ぼす影響。中森研52：13-16

資 料

ヒノキ2年生コンテナ苗の植栽工期と初期生存率*

渡邊仁志・臼田寿生・茂木靖和

キーワード：ヒノキ、植栽工期、地形条件、生存率、コンテナ苗、省力化

I はじめに

人工林管理にかかる費用のうち初期保育が占める割合は非常に高く、植栽後10年間の保育費用は総費用の6割を占める(林野庁, 2011)。木材価格の低迷により林業の経営収支が悪化する中、再造林やその後の管理のための多額の経費が森林所有者への負担となり、再造林放棄地(塚, 2003)が増加する一因となっている。森林所有者の負担を減らし、確実な再造林を進めるうえで、植栽、下刈りなどを省力化し、初期保育費用を低コスト化することが求められている。

従来から造林に用いられてきた裸苗(普通苗)に代わり、近年、マルチキャビティコンテナを用いて育苗したコンテナ苗(遠藤・山田, 2009)への関心が高まっている。この育苗方法は、形状を工夫したキャビティ(育成孔)の栽培容器と灌水・施肥など集約的な管理により、高品質の山出し苗を作出するものである。メリットとして植栽適期の拡大、植栽効率の高さ、活着率の高さ、初期成長の良さなどがいわれている(遠藤, 2007; 今富, 2011; 岩井ら, 2012)ことから、コンテナ苗の導入は初期保育コスト削減のための選択肢になりうる可能性がある。

コンテナ苗の導入による植栽工期に関する調査は、スギ(*Cryptomeria japonica* (L.fil.) D.Don)の事例(林野庁, 2009; 今富, 2011; 宮本ら, 2011; 岩井ら, 2012; 福田ら, 2012)、カラマツ(*Larix kaempferi* (Lamb.) Carrière)の事例(林野庁, 2009; 福田ら, 2012; 横山・佐々木, 2012)のほか、北海道におけるアカエゾマツ(*Picea glehnii* (Fr.Schm.) Masters)、トドマツ(*Abies sachalinensis* (Fr.Schm.) Masters)などの事例(林野庁, 2009; 横山・佐々木, 2012)があるが、ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.)に関する事例(林野庁, 2009)は少なく、また、植栽の作業効率に影響を及ぼすと考えられるさまざまな外的環境要因、たとえば植栽場所の地形や立地条件にまで言及して考察した事例はほとんどない。しかし、

下刈り作業では作業効率に作業場所の斜面傾斜が影響する(岡本ら, 1988; 近藤ら, 2001; 近藤ら, 2004)ことが知られており、同様な環境で作業を行う植栽においても、環境要因によって作業効率が左右されることが予想される。

本研究では、ヒノキ・コンテナ苗と通常造林で用いられているヒノキ・普通苗の苗木形状、および急傾斜地に設定した新植地における植栽工期や植栽後の初期生存率を比較した。これをもとに、急傾斜地、薄い土壌に植栽されることが多いヒノキにおけるコンテナ苗による省力造林の可能性を検討した。

II 方法

1. 調査地

岐阜県郡上市八幡町小那比にある郡上市有林に調査地を設置した。調査地は標高約450m、平均傾斜35~40°の西向き平衡斜面の上~中部に位置しており、母材はチャート、土壌型は適潤性褐色森林土(偏乾亜型)である。現地調査の結果、土壌の平均A層厚は5cm以下で、土砂受け箱(塚本, 2010)による移動土砂測定の結果、調査地では表土流亡が発生していた(渡邊・田中, 未発表)。八幡地域気象観測所(東へ約11km、標高250m)における調査年(2011年)の平均気温は12.5℃、年降水量は2842mm、植栽直後(5~8月)の降水量は1533mmで、平年値(それぞれ12.5℃, 2628mm, 1243mm)と大きくは異ならなかった(気象庁, 2012)。

調査地を含む林分では、2011年2~3月に約50年生ヒノキが皆伐され、2011年4月に先行地拵えが行われていた。緩い凹地形を挟んで斜面の左右に調査地を二分し、コンテナ苗植栽区(0.22ha)と普通苗植栽区(0.15ha)を設けた(図-1)。植栽は2011年4月に、岐阜県立森林文化アカデミーの実習の中で行った。

2. 苗木の育成および苗木形状の評価

苗木は、岐阜県白鳥林木育種事業地(岐阜県郡上市

*本研究の一部は、第124回日本森林学会大会で発表した。

表-1 植栽苗木の育苗条件

種類	育苗期間	育苗方法		元 肥		追 肥	
		1年目	2年目	肥料成分 (N-P-K-Mg)	施用量	肥料成分 (N-P-K-Mg)	施用量
コンテナ苗	2年	苗畑	コンテナ	6-40-6-15 [*]	50 g/10L ¹⁾	10-10-10-1 ^{****}	1.5g/個体
普通苗	2年	苗畑	苗畑	14-14-14-0 ^{**}	60 g/m ²	-	-
				0-18-2-1 ^{***}	40 g/m ²		

¹⁾コンテナ育苗・植栽マニュアル(遠藤・山田, 2009)における標準施肥量, ^{*} マグアンプK中粒(ハイポネックスジャパン製), ^{**} グリーンランドオール14号(住商アグリビジネス製), ^{***} くろがねりん肥18号(三菱商事アグリサービス製), ^{****} IB化成S1号(ジェイカムアグリ製)

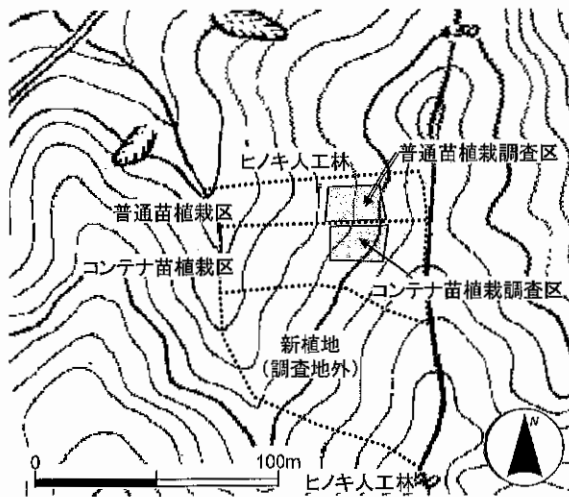


図-1 植栽区の位置および植栽区内における調査区の配置

白鳥町; 以下, 県育種事業地) で生産された県内産精英樹種子を用いたヒノキ2年生苗2種類(普通苗1種類, コンテナ苗1種類)である(表-1)。このうち普通苗は, 岐阜県山林種苗協同組合(以下, 県種苗組合)の組合員の苗畑(岐阜県加茂郡富加町)において育苗された。コンテナ苗は, 普通苗と同様に県種苗組合員が育苗した1年生苗を, ヒノキ, マツの標準培地(遠藤・山田, 2009)を充填した300cc(育成孔の上部の径56mm, 下部の径43mm, 有効深140mm)×24孔のマルチキャビティコンテナ(JFA-300; 林野庁, 2009)に移植し, 県育種事業地のガラス室の架台上で標準的な施肥管理(遠藤・山田, 2009)のもと1年間育苗したものである。

苗木の形状を把握するため, 育苗期間終了後の2011年4月に, 植栽に用いたのと同ロットの苗木(各12本ずつ)について, 苗高, 地際0cmの根元直径(直径), 地際から根の先端までの長さ(根長)を計測した。次に, 地上部(幹, 枝, 葉), 根に分別し, 各々の乾燥重量(80℃, 48時間)を秤量した。

3. 植栽功程調査

植栽功程の調査は, 2011年4月26日に両植栽区の中

央に設定した植栽調査区(それぞれ0.03ha)で行った(図-1)。当日の天気は曇り, 作業中の気温は8~10℃であった(八幡地域気象観測所のデータ; 気象庁, 2012)。作業は岐阜県立森林文化アカデミー・エンジニア科2年の学生(10代)が行い, 各植栽調査区を各1名が担当した。植栽は1.8m間隔の方形植え(約3000本/ha)で設計し, 植栽器具は普通苗が唐鍬, コンテナ苗が汎用の植え付け器(螺旋状の刃によりコンテナ苗の根鉢と同径の植え穴を掘ることができる器具)とした。植栽に際し, 普通苗の植栽では, 植栽位置の周りを整地し鍬を入れて植え穴を掘り, 根を広げて植え穴に入れ根が外に出ないように土をかけてから苗木の周囲を軽く踏みつけること, コンテナ苗では, 整地し根鉢以上の深さの垂直な植え穴を掘り, 根鉢が外に出ないように植え, 周囲を軽く踏みつけることを指示した。

植栽調査区における植栽作業をビデオ撮影し, ①移動(次の植栽予定位置までの移動と検尺による植栽位置の確認), ②整地(植栽位置周辺の整理), ③植え穴掘り, ④植え付け(植え付け, 土寄せ)を1サイクルとして, 各作業に要した時間を計測した。また, 偶発的な作業として器具準備(器具の土落とし)の時間をあわせて計測した。植栽調査区までの苗木の運搬, コンテナ苗のコンテナからの抜き取り, 植栽時の苗木の袋入れ, 作業中の打ち合わせおよび休憩に要する時間は除いた。1日の労働時間を6時間として1日あたりの植栽本数(本/人・日)を算出した。

実際の植栽本数は, コンテナ苗植栽調査区が86本/調査区(2800本/ha), 普通苗植栽調査区が105本/調査区(3200本/ha)となった。植栽後には, 獣類による食害を防ぐため, 新植地の周囲に高さ1.8mのシカ柵と1.0mのウサギ柵を併用して設置した。

4. 毎木調査, 土壌調査および解析

植栽から1成長期経過後の2011年12月12日に, 各植栽調査区において毎木調査を行い, 生存個体を計数し初期生存率を計算した。さらに, 両植栽調査区の中央に深さ30cmの土壌断面を掘り, 定法(農林省林業試験

表-2 植栽区における土壌条件

層位	層厚 (cm)	石礫	土性	構造	堅密度	水湿状態
A	3	小半角礫 1%	壤土	粒状	軟	乾
B	30+	小半角礫 3%	埴質壤土	塊状	堅	潤

表-3 苗木の重量および大きさ

種類	苗木の重量			苗木の大きさ		
	地上部 (g)	根 (g)	合計 (g)	苗高 (cm)	直径 (mm)	根長 (cm)
コンテナ苗	5.71 ^a	1.39 ^a	7.10 ^a	32.0 ^a	5.2 ^a	12.9 ^a
普通苗	5.32 ^a	1.74 ^a	7.06 ^a	30.2 ^a	4.8 ^a	10.8 ^b

数値は平均値、異なる添え字は、苗の種類による有意差 (Mann-WhitneyのU検定, $p=0.009$) を示す。

場, 1955; 森林土壌研究会, 1993) に基づいて土壌調査を実施した。

苗木の形状と各部位の重量、および苗木の種類による植栽工期の比較は、Mann-WhitneyのU検定により検定した。また、植栽作業のうち器具準備作業の発生率、および苗木の種類ごとの初期生存率の比較は、 χ^2 検定を用いて検定した。以上の統計処理には、統計パッケージR2.152 (R Core Team, 2012) を使用した。

Ⅲ 結 果

1. 植栽区における土壌条件

植栽調査区の土壌条件を表-2に示す。A層、B層とも石礫は少なかった。土性はA層が壤土でB層が埴質壤土であった。また、両層の土壌構造、堅密度、水湿状態には違いがみられた。

2. 苗木の形状

植栽時の苗木形状を表-3に示す。コンテナ苗と普通苗を比較すると、根長はコンテナ苗の方が長く、その差は有意であった (表-3, Mann-WhitneyのU検定, $p=0.009$)。また、コンテナ苗はいずれの個体も根鉢 (根+培土) を形成していた。苗高および直径には有意な差はみられなかった (表-3, Mann-WhitneyのU検定, それぞれ $p=0.563$, $p=0.172$)。また、苗の地上部重量、根重量、合計重量にも有意差はなかった (表-3, Mann-WhitneyのU検定, それぞれ $p=0.932$, $p=0.160$, $p=0.887$)。

3. 植栽工期の比較

苗木1本あたりの平均植栽時間はコンテナ苗で76.8秒/本、普通苗で67.2秒/本で、両者には有意な差がみられた (図-2, Mann-WhitneyのU検定, $p=0.001$)。1日あたりの植栽本数はそれぞれ281本/人・日、321本

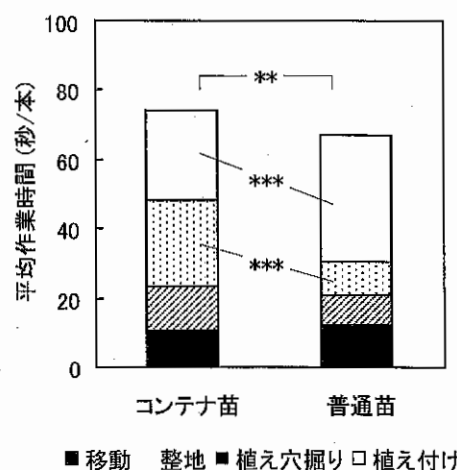


図-2 苗木の種類による植栽工期の比較

アスタリスクは、苗の種類による植栽時間または各作業時間の有意差 (Mann-WhitneyのU検定, **: $p=0.001$, ***: $p<0.001$) を示す。

表-4 苗木の種類による初期生存率の比較

種類	植栽本数 (本)	枯死本数 (本)	生存本数 (本)	生存率 (%)
コンテナ苗	86	16	70	81.4 ^a
普通苗	105	4	101	96.2 ^b

異なる添え字は、苗の種類による有意差 (χ^2 検定, $p=0.001$) を示す。

/人・日であった。個別の作業に要した平均時間を比較すると、植え穴掘りにかかる時間はコンテナ苗 (25.3秒/本) の方が普通苗 (9.6秒/本) よりも長く、植え付け時間は普通苗 (36.8秒/本) の方がコンテナ苗 (25.7秒/本) よりも長かった (図-2)。また、それらに要する時間には有意差がみられた (Mann-WhitneyのU検定, いずれも $p<0.001$)。移動、整地にかかる時間には、苗木の種類による有意差はなかった (図-2, Mann-WhitneyのU検定, それぞれ $p=0.119$, $p=0.071$)。

器具準備作業は、コンテナ苗で13回（発生率15.1%）、普通苗で1回（同1.0%）発生し、平均作業時間は、それぞれ18.1秒、10.0秒であった。器具準備作業はコンテナ苗の方で多く発生し、その発生率には有意な差がみられた（ χ^2 検定、 $p<0.001$ ）。

4. 苗木の初期生存率

植栽1成長期後の生存率には苗木の種類によって有意な差がみられ、コンテナ苗の初期生存率の方が低かった（表-4、 χ^2 検定、 $p=0.001$ ）。動物（種類不明）による食害がコンテナ苗で2本、普通苗で3本発生したが、それらの個体は枯死しなかった。現地観察の結果、枯死個体の枯死原因や枯死時期は特定できなかったが、それらの個体の苗高は植栽時と1成長期後でほとんど違いがなかった。

Ⅳ 考 察

コンテナ苗の長所に植栽効率が高いこと（遠藤，2007；今富，2011；岩井ら，2012）が挙げられている。今富（2011）は、スギ・コンテナ苗の鋤による植栽作業時間が、緩傾斜地、中傾斜地、急傾斜地（具体的な傾斜角度は記載されていない）ともに普通苗のそれに比べて約半分に短縮できた事例を報告している。また、岩井ら（2012）も、専用の植え付け器（プランティングチューブ）を用いることによって、スギ・コンテナ苗の植栽効率が普通苗に比べて2.7～3.7倍に向上したとしている。

一方、本研究では、コンテナ苗の植栽に要する時間は普通苗のそれよりも長かった（図-2）。これは、普通苗と比べると、コンテナ苗の植え付けにかかる時間は短縮できたものの、植え穴掘りにかかる時間が長かったためである（図-2）。本研究で使用したコンテナ苗は、重量（植物体のみの乾燥重量で根鉢に含まれる培土の重量を除く）や地上部サイズにおいて普通苗のそれらと変わらなかったが、根長が長いこと（表-3）や根鉢を形成していることから、裸苗である普通苗に比べて地下部分の体積が大きかった。本植栽区のような急傾斜地（最大傾斜40°）では、唐鋤により土を崩すことによって、普通苗を植栽するための植え穴が容易に掘削できる（福田ら，2012）のに対し、コンテナ苗の植栽では、根鉢を完全に土中に埋めるために、植え穴を深く掘る必要があったと考えられる。一方、普通苗は植え付けにかかる時間が長かった（図-2）。唐鋤は土を大きく崩すため、それらを苗木の根元に戻す土寄せ作業に時間がかかったものと推測される。

本植栽区は土壌のA層厚が薄い（表-2）ため、10.8

～12.9cmある根（または根鉢，表-3）を土中に埋め込むための植え穴はB層に達していた。B層の土性は埴質壤土でA層に比べて粘性が高いことと、塊状構造で、堅く、湿っていた（表-2）ことから、植え穴が掘削しづらいうえに、器具に土が付着しやすかったと推察される。コンテナ苗の植栽で器具準備（器具の土落とし）作業の発生率が高かったのは、器具がコンテナ苗用の専用の植え付け器でなかったことに加え、形状が唐鋤と比べて複雑であったためと考えられる。

緩傾斜地（平均傾斜4°、10°）ではコンテナ苗の植栽効率が向上した一方、急傾斜地（平均傾斜39°）ではそれが低下した事例は、岩手県におけるカラマツ・コンテナ苗の植栽試験（福田ら，2012）でも報告されている。日尾・鈴木（2003）は、平均傾斜20～25°の林地においてヒノキ・2年生ポット苗と3年生普通苗の植栽時間が変わらなかったこと示し、その理由として両者の形状に大きな違いがないことを挙げた。また、コンテナ苗専用の植え付け器を使った実証試験では、苗木形状の違いや器具への土の付着により、コンテナ苗の植栽効率が低下する（宮本ら，2011）ことが報告されている。コンテナ苗と専用の植え付け器を使った植栽によって、林地条件のよい場所では、労働強度が低く作業効率が高まるものの、急傾斜地、地表被覆物の多いところ、礫がちな土壌、堅密土壌では使い勝手が悪いこと、逆に唐鋤は立地を選ばず、条件不利地でも作業可能で、急傾斜地ほど労働強度が低くなるという指摘（遠藤・山田，2009）がある。

本研究の結果やこれらの報告は、苗木形状や植栽場所の地形、立地条件が植栽効率に影響を与えることを示している。つまり、植栽器具を選択したり、その形状を工夫する検証の必要性は残されているものの、林地の条件によっては、コンテナ苗の導入が植栽効率を向上させる場合ばかりではないことが示唆された。

コンテナ苗導入のもうひとつの利点として、培土付きで植栽することによる活着率の高さがある（遠藤，2007；岩井ら，2012）。既往研究によれば、コンテナ苗の活着率（生存率）は、植栽後2年のスギにおいて100%（対照の普通苗85.7%）、緩傾斜地（平均傾斜4°）に植栽した植栽当年のカラマツにおいて100%（普通苗98.6%）であった（岩井ら，2011；福田ら，2012）。

しかし、本研究において、植栽当年のヒノキ・コンテナ苗の生存率は、普通苗と比較して低かった（表-4）。植栽年の気象条件や植栽直後の降水量（気象庁，2012）は平年値とかけ離れたものではなく、苗木の活着にとって過酷な気象状況であったとは考えにくい。また、動物による食害個体は枯死に至っておらず、枯死個体はほとんど成長しないまま枯死していることから、枯

死の原因は、活着不良によるものである可能性が高い。前述の福田ら（2012）は、急傾斜地（平均傾斜39°）に植栽した植栽当年のカラマツ・コンテナ苗の活着率が90.6%（普通苗96.9%）であった事例も報告しており、調査地によって活着率が異なった原因を植栽時期や植え方に求めている。本研究では、コンテナ苗の植栽方法を事前に指導したが、それでも植え込みの程度が十分でなかった可能性がある。また、植栽区では表土流出が発生している（渡邊・田中、未発表）ため、植栽後、二次的に根鉢が露出した可能性も考えられる。さらに、植え付けの際、コンテナ苗と植え穴の間にできた隙間が、土壌の性質（表-2）や植栽方法のために埋まりにくかったことが推測できる。植栽作業員の植え方の違いに起因することも考えられるが、コンテナ苗の植え枯れが発生しないように植栽するためには、コンテナ苗をさらに確実に植えることが必要になる。より深い植え穴を掘削し、より丁寧に植え付けることによって、コンテナ苗植栽の作業効率はさらに低下することが予想される。

また、コンテナ苗は培土がついているために重く、根鉢がかさばるため、普通苗と比べると運搬効率が低下する（福田ら、2012）ことが報告されている。コンテナ苗を導入し、かつ植栽作業を省力化するためには、植栽時期を選ばないという長所を利用して伐採、地寄せ、植栽の一貫作業を行う（今富、2011）など、運搬に関するデメリットも解消する必要がある。

以上のことから、地形や土壌条件によっては、普通苗と比較してコンテナ苗の植栽効率が高くない場合があることが明らかとなった。本研究で対象にしたヒノキは、スギに比べて相対的に急傾斜地、薄い土壌に植栽されることが多い樹種であることから、スギなどにおける従来の報告と異なり、コンテナ苗の導入が植栽作業の省力化につながらないことがあるといえる。

今後は、個人差や作業に対する慣れが作業工程に影響しないよう、植栽作業に慣れた作業員1名がすべての植栽調査区を担当した場合の植栽工程を比較調査する必要がある。コンテナ苗を用いた低コスト造林技術を開発するためには、さまざまな地形、立地条件の植栽場所で調査を行い、どのような条件の下でコンテナ苗の利用が植栽作業の省力化につながるのかを明確にする必要がある。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、岐阜県郡上市には調査地を提供していただいた。現地調査にあたっては、岐阜県郡上市林務課、岐阜県郡上農林事務所、岐阜県森

林整備課、岐阜県森林整備課（美濃市駐在、当時）ならびに岐阜県森林研究所の職員の方々に力添えをいただいた。苗木の育成にあたっては、岐阜県林政課（当時）、および岐阜県白鳥林木育種事業地の職員の方々に協力いただいた。また、植栽は岐阜県立森林文化アカデミーの実習の中で行い、工程調査にあたっては同アカデミー教員の皆様のご理解を得て、同アカデミー・エンジニア科2年生に植栽作業をしていただいた。ここに記して各位に厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 遠藤利明（2007）コンテナ苗の技術について。山林1478：60-68
- 遠藤利明・山田健（2009）JFA-150コンテナ苗育苗・植栽マニュアル。〈低コスト新育苗・造林技術開発事業報告書（平成20年度）〉。林野庁、林野庁。74-90
- 福田達胤・松尾亨・渡辺貞幸・木戸口佐織（2012）民国連携によるコンテナ苗の実証試験と普及。平成23年度森林・林業技術交流発表集（東北森林管理局）：113-117
- 日尾卓司・鈴木善郎（2003）ヒノキ2年生ポット苗の造林後の成長推移。静岡県林技セ研報31：1-6
- 今富裕樹（2011）スギ再造林の低コスト化を目指した技術開発、伐採・地寄せ・植栽の一貫作業による低コスト化。現代林業542：52-55
- 岩井有加・大塚和美・長谷川尚史（2012）スギコンテナ苗の形態的特徴と植栽後の成長。現代林業561：40-44
- 気象庁（2012）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：2012年12月12日）
- 近藤耕次・吉田智佳史・岡勝・今富裕樹・鹿島潤・奥田史郎（2001）下刈作業におよぼす諸要因の分析。日林関東支論53：191-192
- 近藤耕次・吉田智佳史・岡勝・鹿島潤・今富裕樹・井上源基（2004）下刈作業の作業能率に影響をおよぼす要因について。日林関東支論55：299-300
- 宮本和美・山形克明・山田建・山田浩雄（2011）高性能林業機械とコンテナ苗を活用した低コスト育林に向けた実証試験。九森研64：150-152
- 農林省林業試験場（1955）国有林林野土壌調査方法書。林野共済会
- 岡本憲和・渡辺政俊・中井勇・古野東洲（1988）上賀茂試験地における樹木植栽地の下刈り作業工程に関する検討。京大農演集報18：53-64

- R Core Team (2012) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. URL <http://www.R-project.org/>
- 林野庁 (2009) 低コスト新育苗・造林技術開発事業報告書 (平成20年度). 林野庁
- 林野庁 (2011) 森林・林業白書 (平成23年度). 全国林業改良普及協会
- 森林土壌研究会 (1993) 森林土壌の調べ方とその性質 (改訂版). 林野弘済会
- 堺正紘 (2003) 再造林放棄と森林資源管理問題. (森林資源管理の社会化. 堺正紘編, 九州大学出版会). 18-25
- 塚本次郎 (2010) 移動土砂の簡易測定法. (改定版森林立地調査法. 森林立地調査法編集委員会編, 博友社). 195-196
- 横山誠二・佐々木尚三 (2012) コンテナ苗木栽試験, 北海道でのコンテナ苗成長状況の考察 (オンライン). <http://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/square/kakutidayori/2012/pdf/kontenanae.pdf> (参照: 2012年12月12日)

資 料

ヒノキコンテナ苗の育成における施肥条件の違いが 苗伸長量に及ぼす影響

茂木靖和・渡邊仁志・上辻久敏・古川敦洋*・中嶋守**

キーワード：ヒノキ，コンテナ苗，施肥，苗伸長量

I はじめに

近年，低コスト造林を目的としてマルチキャビティコンテナで育成したコンテナ苗（以下，コンテナ苗とする）の利用が検討されている（遠藤，2007）。この苗は，植栽効率，活着，初期成長において優れているが，苗畑で育成した従来の苗（以下，従来苗とする）より単価が高いといわれている（岩井ら，2012；中村，2012）。したがって，コンテナ苗の実用化には，苗生産と植栽および初期保育のトータルコストが従来苗を用いた場合より低いことが求められる。これらのうち植栽および初期保育については，スギを中心に植栽工期や苗の成長と下刈り省略などに関する実態調査が行われ（岩井ら，2012；中村，2012），コスト削減の検討が進められている（今富，2011；中村，2012）が，苗生産についてはこれらに関する報告が少ない。

これまで，苗畑における従来苗の生産では，形質の向上や生産の効率化のために，施肥条件の検討が行われた（塘，1962；千木，1989）。また，コンテナ苗と同様に培地付きで植栽するポット苗の試験では，培地に畑土を用いた2年生ヒノキ苗で実施した時に，無施肥のポット苗や従来苗より施肥したポット苗の方が育苗時に加え，植栽1年後の伸長成長が大きかったことが報告されており（山本，1999），培地付きの苗では，苗伸長に対する施肥の影響が従来苗より長期間に及ぶと考えられる。しかも，コンテナ苗では，肥料の成分をほとんど含まないココナツハスクやピートモスなどの有機質資材を基材に用いる（遠藤・山田，2009）ことから，苗畑などでの生産以上に施肥が重要になると思われる。しかし，コンテナ苗の育苗マニュアル（遠藤・山田，2009；以下，マニュアルとする）では標準的な施肥方法の記述はあるものの，規格苗の生産に影響する施肥条件と苗伸長との関係についてはふれられていない。

また，これまでにコンテナ苗の施肥条件を詳細に検討した報告事例はみあたらない。

そこで，本報告では，コンテナ苗のコスト削減や育苗技術向上に繋がる知見を得るための基礎資料を蓄積する目的で，施肥条件が異なる培地のコンテナに1年生ヒノキ実生苗を移植する試験を実施して，施肥条件がヒノキコンテナ苗の伸長量に及ぼす影響を検討した。

II 試験方法

1. 供試材料（移植に用いた苗）

供試材料は，岐阜県白鳥林木育種事業地（岐阜県郡上市白鳥町中津屋）の採種園で採取された岐阜県産ヒノキ精英樹の種子を，岐阜県山林種苗協同組合に所属する組合員が苗畑（岐阜県加茂郡富加町）で1年間育苗した苗長10～15cm程度の実生苗である。苗畑では，元肥としてN14-P14-K14（グリーンランドオール14号，住商アグリビジネス㈱製）60g/m²とP18-K2-Mg1（くろがねりん肥18号，三菱商事アグリサービス㈱製）40g/m²が施用された。

2. 移植と育成管理

2012年5月14日に実生苗をマルチキャビティコンテナ（24孔/コンテナ，300cc/孔，孔サイズ：上径56mm・下径43mm・有効深140mm）の各孔に1本移植した。一つのコンテナには，同一条件の培地を約9L充填した。移植後のコンテナは，白鳥林木育種事業地内のミスト室の架台上に設置し，通常の灌水（培土の表面が乾き始めた時期にミストで約19分間散水）により管理した。

3. 培地と施肥条件

培地は，ココナツハスク（トップココピートオールド，㈱トップ製）7L，籾殻3L，燐炭0.3Lに，肥料（元肥）

*岐阜県森林整備課，**岐阜県白鳥林木育種事業地
本試験の一部は第1回森林遺伝育種学会大会で発表した。

を加え、これらを混合したもので、この時の培地の量は約10Lである。肥料を除くこれらの配合比はマニュアル（遠藤・山田，2009）に示されたヒノキ、マツに適する標準培地（Tsukuba02）に相当する。元肥には溶出日数や成分の異なる粒径2.4～4.2mmの緩効性肥料を用い、異なる条件ごとに試験区を設定した。また、各試験の対照区として無施肥区を設け、その標記を①区とした（表-1）。各試験区とも1コンテナ（苗数24）で実施し、反復を設けなかった。

表-1 施肥量試験の肥料条件と移植直後の苗長

試験区	成分など	溶出日数 (日)	元肥量 (g/10L)	苗長の 平均値 (cm)
①	無施肥	—	—	11.8
700②25	N16-P5-K10	700	25	11.1
700②50			50	11.1
700②100			100	11.9
700②200			200	11.8
100②50		100	50	11.6

100②50区では、追肥として元肥と同一肥料1.5g/孔を培地表面に散布した。

(1) 施肥量試験

マニュアルでは、標準的な施肥として、元肥に肥効3ヶ月程度の緩効性肥料を培地10L当たり50g程度混入し、その効果がなくなる2～4ヶ月後から週に一度程度の液肥を与えるか少量の緩効性肥料を培地表面に散布する（遠藤・山田，2009）となっている。また、伊藤（1984）は3年生ヒノキ実生苗の植栽時に硝酸安加里を樹脂被覆した溶出期間が700日のコーティング肥料を施用して、2年間の苗の成長と葉の成分濃度から肥効が3年持続する可能性を示唆している。本試験では、追肥の省略と植栽後の苗の成長を考慮して、マニュアルに示された標準施肥に近い条件と、溶出日数の長い肥料を施肥量を変えて元肥のみ施用する条件を実施した。前者には、元肥として溶出日数100日のN16-P5-K10（ハイコントロール650，ジェイカムアグリ㈱製，以下②肥料とする）を50g/10L培地に混入し、約3ヶ月後の8月17日に追肥として元肥と同一の肥料を1.5g/孔（1孔当たりの培地量300ccに含まれる元肥の量に相当）培地表面に散布する条件を用い、この試験区の標記を100②50区とした（表-1）。後者には、追肥を行わずに元肥として溶出日数700日の②肥料を25，50，100，200g/10L培地に混入する条件を用い、これらの試験区の標記を700②25～700②200区とした（表-1）。

(2) 成分試験

マニュアルでは、肥料の三大要素については各5～20%程度含むものを用いる（遠藤・山田，2009）となっているが、その割合が苗の成長に及ぼす影響にはふ

れられていない。また、伊藤（1986）は、ヒノキ幼苗を用いたポット試験で、肥料の三大要素のうち一要素を欠く、または中量要素のカルシウムとマグネシウムを追加することによって、苗の成長が異なることを報告しており、培地中の肥料成分がコンテナ苗の育苗にも影響を及ぼすと考えられる。そこで、本試験では、元肥として溶出日数が100日で成分の異なる4種類の肥料を25g/10L培地に混入し、8月17日に追肥として元肥と同一の肥料を0.75g/孔（1孔当たりの培地量300ccに含まれる元肥の量に相当）培地表面に散布する条件を実施した。成分の異なる4種類の肥料には、施肥量試験に用いた②肥料（N16-P5-K10），N10-P18-K15+微量元素（ハイコントロール085，ジェイカムアグリ㈱製，以下③肥料とする），N10-P10-K10-Ca10（ハイコントロールオール10，ジェイカムアグリ㈱製，以下④肥料とする），N12-P12-K12-Mg1（IB複合S222，ジェイカムアグリ㈱製，以下⑤肥料とする）を用い、これらの試験区の標記を100②25区～100⑤25区とした（表-2）。

表-2 成分試験の肥料条件と移植直後の苗長

試験区	成分など	溶出日数 (日)	元肥量 (g/10L)	苗長の 平均値 (cm)
①	無施肥	—	—	11.8 ^a
100②25	N16-P5-K10	100	25	10.8 ^b
100③25	N10-P18-K15+微量元素			11.2 ^{ab}
100④25	N10-P10-K10-Ca10			10.6 ^b
100⑤25	N12-P12-K12-Mg1			10.4 ^b

異なるアルファベットは、Tukey検定の5%水準で有意であることを示す。
①区を除き、追肥として元肥と同一肥料0.75g/孔を培地表面に散布した。

4. 評価

2012年5月14日，6月14日，7月13日，8月16日，9月13日，10月11日，11月12日，12月11日に供試苗の生死を調査し，生存個体については苗長を測定した。苗長には樹幹長を採用した。12月11日の生存個体数と供試数（24）から生存率を算出した。生存率については，対照区（①区）と各試験区との間で2群の母比率の差の検定を行った。

12月11日の生存個体については，各測定日とその前月の測定日における苗長の差を算出し，各月の苗伸長量とした。また，5月14日と12月11日の苗長の差を算出し，全期間の苗伸長量とした。各月と全期間の苗伸長量について，それぞれKruskal Wallisの検定を行い，有意差がみられた場合にはその後Steel-Dwass検定により試験区間の多重比較を行った。

移植直後の苗長には，一元配置の分散分析の結果，施肥量試験では試験区間に有意差があった（ $p<0.05$ ）が，その後の多重比較において5%水準で有意差のある

試験区の組み合わせがなく（表-1）、成分試験では試験区間に有意差があり（ $p < 0.001$ ）、その後の多重比較において対照区の①区と100②25区、100④25区、100⑤25区との間に5%水準で有意差があった（表-2）。このため、成分試験の苗伸長量については、①区を除く100②25～100⑤25区の結果を解析した。

5. 山行苗の規格に対する評価

施肥条件と山行苗生産との関係を把握するため、2年生ヒノキ苗の苗長の規格下限に採用されている35cm（山本，1999）と今回の供試苗に苗長10～15cmのものが多かったことを基に、評価A：規格達成（苗伸長量25cm以上）、評価B：供試苗の苗長と苗伸長量の組み合わせにより規格達成の可能性有り（苗伸長量20～25cm）評価C：規格未達成（苗伸長量20cm未満）とする評価基準（表-3）を作成した。各苗の全期間の苗伸長量を表-3に当てはめて山行苗の規格に対する評価を判定し、試験区ごとに集計した。

表-3 山行苗の規格に対する評価

評価	苗伸長量 (cm)	内容
A	25～	規格達成
B	20～25	供試苗の苗長と苗伸長量の組み合わせにより規格達成の可能性有り
C	～20	規格未達成

Ⅲ 結 果

1. 苗生存率

苗の生存率は、対照区の①区が92%で、施肥量試験の各試験区が96～100%、成分試験の各試験区が88～100%で、①区と各試験区との間に有意差がなく（ $p > 0.05$ 、表-4）、施肥による苗の枯死がなかったといえる。

表-4 各試験区の苗生存率

a. 施肥量試験		b. 成分試験	
試験区	生存率 (%)	試験区	生存率 (%)
①	92	①	92
700②25	96	100②25	96
700②50	100	100③25	88
700②100	100	100④25	92
700②200	100	100⑤25	100
100②50	100		

両試験とも①区と各試験区との間に有意差がなかった。
（ $p > 0.05$ 、2群の母比率の差の検定）

2. 苗伸長量

(1) 施肥量試験

各試験区の苗伸長量の平均値は、6月が1.0～1.7cm、7月が0.4～4.1cm、8月が0.0～7.5cm、9月が0.3～7.9cm、10月が0.1～6.4cm、11月が0.0～2.3cm、12月が0.0～0.4cmであった（表-5、図-1）。各月の苗伸長量には、試験区間に1%水準で有意差があった。各試験区における苗伸長量は、無施肥の①区では8月まで低下し、それ以降0に近い値となったのに対し、施肥を行った試験区では700②25区と700②50区が10月まで、700②100区と700②200区および100②50区が9月まで上昇し、その翌月から低下して12月に0に近い値となった（表-5、図-1）。

表-5 施肥量試験における各月と全期間の苗伸長量

試験区	苗伸長量の平均値 (cm)							
	6月 (31)	7月 (60)	8月 (94)	9月 (122)	10月 (150)	11月 (182)	12月 (211)	全期 間
①	1.1 ^{ab}	0.4 ^a	0.0 ^a	0.3 ^a	0.1 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	1.9 ^a
700②25	1.1 ^{ab}	1.7 ^b	2.3 ^b	2.7 ^b	2.7 ^b	0.6 ^b	0.0 ^a	11.0 ^b
700②50	1.0 ^a	1.7 ^b	3.3 ^{bc}	3.6 ^b	4.0 ^b	1.3 ^{bc}	0.0 ^a	15.0 ^b
700②100	1.6 ^c	2.7 ^c	5.2 ^c	7.8 ^c	5.6 ^c	1.7 ^{cd}	0.1 ^{ab}	24.8 ^c
700②200	1.7 ^c	4.1 ^d	7.5 ^d	7.9 ^c	6.4 ^c	2.3 ^d	0.3 ^{bc}	30.1 ^c
100②50	1.4 ^{bc}	2.8 ^c	5.7 ^c	7.8 ^c	5.6 ^c	2.0 ^{cd}	0.4 ^c	25.8 ^c

異なるアルファベットは、Steel-Dwass検定の5%水準で有意であることを示す。
各月の下に示した()内の数字は、移植後の経過日数である。

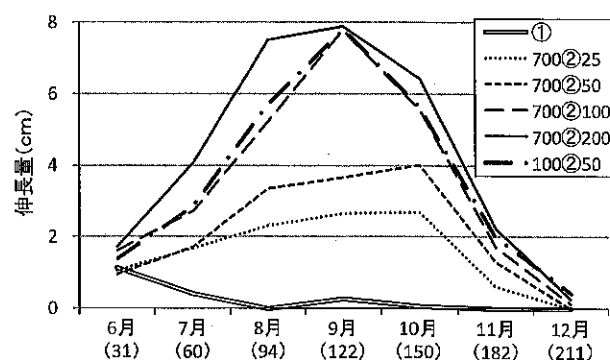


図-1 施肥量試験における各月の苗伸長量の推移

各月の下に示した()内の数字は、移植後の経過日数である。

移植直後の6月と苗伸長量が0に近かった12月を除く7～11月の各月の①区と700②25区～700②200区における苗伸長量の平均値は、施肥量が多い試験区ほど大きかった（表-5、図-1）。この時の苗伸長量の試験区間の多重比較では、①区とそれ以外の試験区との間、700②25区と700②100区および700②200区との間、700②50区と700②200区との間に5%水準で有意差があった（表-5）。その他に7、9、10月の700②50区と700②100区との間、7、8月の700②100区と700②

200区との間には5%水準で有意差があり、各月の700②25区と700②50区との間には有意差がなかった ($p > 0.05$, 表-5)。

標準施肥に近い条件として実施した100②50区の苗伸長量の平均値の推移は、700②100区とほぼ重なった (図-1)。7~11月の各月の苗伸長量における100②50区とその他の試験区との多重比較では、700②100区と有意差がなく ($p > 0.05$)、その他の試験区とは700②100区と同じ結果であった (表-5)。

全期間の苗伸長量の平均値は、①区と700②25~700②200区の間では施肥量が多い試験区ほど大きく、100②50区の値は700②100区に近い値であった (表-5)。全期間の苗伸長量には試験区間に1%水準で有意差があり、試験区間の多重比較では①区とそれ以外の試験区との間、700②25区および700②50区と700②100区および700②200区ならびに100②50区との間に5%水準で有意差があった (表-5)。

(2) 成分試験

各試験区の苗伸長量の平均値は、6月が0.9~1.3cm、7月が1.7~2.8cm、8月が2.5~4.1cm、9月が3.2~5.4cm、10月が3.6~6.0cm、11月が1.0~1.8cm、12月が0.1~0.2cmであった (表-6、図-2)。12月を除く各月の苗伸長量には、試験区間に5%水準で有意差があった。各試験区における苗伸長量は、すべての試験区で10月まで上昇し、その翌月から低下して12月に0に近い値となった (表-6、図-2)。

表-6 成分試験における各月と全期間の苗伸長量

試験区	苗伸長量の平均値 (cm)							全期間
	6月 (31)	7月 (60)	8月 (94)	9月 (122)	10月 (150)	11月 (182)	12月 (211)	
100②25	0.9 ^a	2.4 ^{ab}	4.1 ^a	5.4 ^a	6.0 ^a	1.8 ^a	0.2 ^a	20.9 ^a
100③25	1.0 ^{ab}	2.8 ^b	2.9 ^{ab}	3.5 ^b	4.0 ^b	1.7 ^a	0.1 ^a	16.0 ^{ab}
100④25	1.0 ^{ab}	1.7 ^a	2.6 ^b	3.2 ^b	3.6 ^b	1.0 ^b	0.2 ^a	13.3 ^b
100⑤25	1.3 ^b	1.8 ^a	2.5 ^b	4.4 ^{ab}	4.8 ^{ab}	1.3 ^{ab}	0.2 ^a	16.3 ^b

異なるアルファベットは、Steel-Dwass検定の5%水準で有意であることを示す。各月の下に示した()内の数字は、移植後の経過日数である。

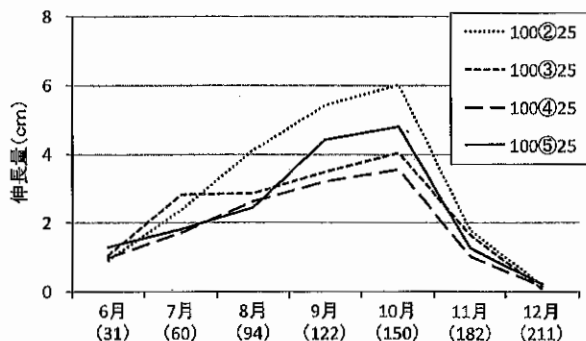


図-2 成分試験における各月の苗伸長量の推移
各月の下に示した()内の数字は、移植後の経過日数である。

移植直後の6月と苗伸長がほぼ停止した12月を除く7~11月の各月の苗伸長量の平均値は、7月以外は100②25区が最も大きかった (表-6、図-2)。この時の100②25区とその他の試験区との多重比較では、100③25区との間で9および10月に、100④25区との間で8~11月に、100⑤25区との間で8月に5%水準で有意差があった (表-6)。

全期間の苗伸長量の平均値は、100②25区が最も大きく、100④25区が最も小さかった (表-6)。全期間の苗伸長量には試験区間に1%水準で有意差があり、試験区間の多重比較では100②25区と100④25区および100⑤25区との間に5%水準で有意差があった (表-6)。

3. 山行苗の規格に対する評価

山行苗の規格に対する評価は、700②200区が達成率75%、これに可能性有りのBを加えると92%で最も高かった。次いで、700②100区と100②50区が達成率60%前後、Bを加えて80%前後であった。その他の試験区では達成率20%に満たなく、①区と700②25区では評価Bの苗もなかった (図-3)。

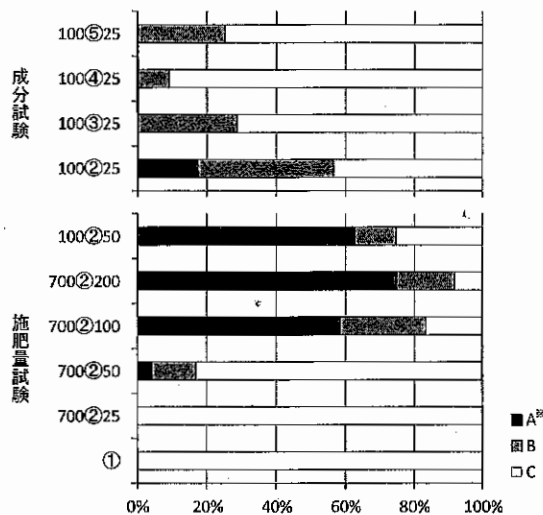


図-3 山行苗の規格に対する評価

*評価 A: 規格達成, B: 規格達成の可能性有, C: 規格未達成

Ⅲ 考察

施肥量試験において、溶出日数700日の②肥料の元肥量が多くなるにしたがって、各月および全期間の苗伸長量の平均値が大きいたが多かった (表-5)。しかし、今回の試験で②肥料の元肥量が最も多かった700②200区と次に多かった700②100区との間における全期間の苗伸長量に差がなかった (表-5) ことから、②肥料の元肥量を100g/10Lより多くしても苗伸長量の増大に及ぼす影響は限定的と推測される。

標準施肥に近い条件として実施した700②100区の各

月の苗伸長量の平均値は、100②50区のそれと同様の経過を示した(図-1)。また、全期間の苗伸長量の平均値と山行苗の規格に対する評価は、同程度であった(表-5, 図-3)。追肥は、溶出日数100日の②肥料50g/10Lを元肥に施用した100②50区では実施され、溶出日数700日の②肥料100g/10Lを元肥に施用した700②100区では実施されなかった(表-1)。このことから、苗伸長の面からは、溶出日数の長い肥料を元肥とし、施肥量を多くすることにより、追肥を省略できることが示された。また、コンテナへ移植した翌春に苗を植栽する場合、700②100区の苗は培地中の元肥が溶出日数の700日に達していないことから肥効の持続が予想される。これに対し、100②50区の苗は元肥に加え追肥も溶出日数の100日を大きく経過していることから肥効の低下が予想される。溶出日数の長い肥料を元肥とすることは、育苗終了後も培地からの肥効が持続し、植栽後の苗伸長量の持続にはたらくと考えられる。

成分試験では、各月および全期間の苗伸長量は100②25区で大きいことが多かった(表-6)。②肥料の成分は、この試験における他の肥料の成分と比較して窒素の割合が高かった(表-2)。また、施肥量試験では、溶出日数が異なるが同一成分の肥料の元肥量を多くすることによって苗伸長量が大きくなる傾向にあった(表-5, 図-1)。これらのことは、今回のコンテナ苗の育成条件では、窒素の施用量が多い条件で苗伸長量が大きかったことを示している。この一方で、肥料条件が成分試験と同一で、培地の基材をココナツハスクなどから鹿沼土に変更したヒノキさし木苗の移植によるコンテナでの育苗試験では、全期間の苗伸長量が③肥料を用いた試験区で最も大きく、②肥料を用いた試験区で最も小さくなり、今回の成分試験の結果と異なった(茂木ら、印刷中)。これは、培地の基材によって苗に対する肥効が異なることを示しており、苗伸長量を大きくするには、培地条件と組み合わせた施肥条件の検討が必要であることを示唆している。

今回の試験では、施肥量、溶出日数、成分の異なる施肥条件でヒノキコンテナ苗を育苗し、これらのデータを蓄積するとともに、施肥条件が苗伸長量に及ぼす影響を検討した。その結果、施肥量を多くすると苗伸長量が大きくなるが上限が存在すること、溶出日数の短い肥料より長い肥料を元肥に用いる方が苗伸長量の増大に有利であること、苗伸長には施肥条件だけでなく培地条件と組み合わせた検討が必要であることが推察された。今後は、これらの検証を行っていくことにより、コンテナ苗の育苗技術向上が図れると考えられる。また、従来苗では施肥条件などによって苗の形

質や生理状態が変わり、植栽後の苗の活着や病虫害・気象害の発生および成長経過などへの影響が指摘されている(塘, 1965)ことから、コンテナ苗においても育苗時の施肥条件が植栽後の苗に及ぼす影響を明らかにしておく必要がある。

謝 辞

本試験の実施にあたり、岐阜県白鳥林木育種事業地の職員の皆様には、コンテナ苗の育成作業にご協力をいただいた。岐阜県森林研究所の岡本卓主任研究員には、調査に協力していただいた。ここに記して、謝意を表する。

引用文献

- 遠藤利明(2007) コンテナ苗の技術について. 山林1478: 60-68
- 遠藤利明・山田健(2009) JFA-150コンテナ育苗・植栽マニュアル(平成20年度低コスト新育苗・造林技術開発事業報告書. 林野庁). 74-90
- 今富裕樹(2011) スギ再造林の低コスト化を目指した技術開発-伐採・地拵え・植栽の一貫作業による低コスト化-. 現代林業542: 52-55
- 伊藤守夫(1984) コーティング肥料の施用試験-スギ・ヒノキの植栽から2年間の生長-. 日林中支講32: 241-242
- 伊藤守夫(1986) 森林肥培の体系化に関する研究. 静岡県林試研報15: 1-117
- 岩井有加・大塚和美・長谷川尚史(2012) スギコンテナ苗の形態的特徴と植栽後の成長. 現代林業561: 40-44
- 茂木靖和・渡邊仁志・上辻久敏(2013) 育苗条件がヒノキさし木苗の伸長量に及ぼす影響. 中森研61: 印刷中
- 中村松三(2012) 再造林コストの削減を図るには. 森林技術839: 30-33
- 千木容(1989) スギ幼苗に対する緩効性肥料の効果について-播種床への施用効果-. 石川県林試研報19: 1-4
- 塘隆男(1962) わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究. 林試研報137: 1-158
- 塘隆男(1965) 苗畑施肥の基礎知識・よい苗木の性質と施肥. (造林ハンドブック. 坂口勝美・伊藤清三監). 217-236
- 山本徳子(1999) ヒノキ2年生ポット苗の育成と造林1年目の成績. 静岡県林技セ研報27: 5-8

資 料

オカラを添加したエリンギ菌床栽培における酵素処理の影響

上辻久敏・水谷和人

キーワード：菌床栽培，酵素処理，エリンギ，オカラ，子実体発生

I はじめに

近年、食用キノコ生産の大部分は菌床で栽培されている。菌床の培地資材となる穀物や施設の温調にかかる燃料などの価格が上昇しておりキノコを生産する経費が増大している。しかし、キノコの販売価格は低迷しており、キノコの発生量を増大させ、収益性の向上につながる技術開発が求められている。キノコの発生量を増大させるには、培地組成や培養条件の改良、種菌の変更などが考えられる。その中でも、生産工程に大きな変更を伴わずにキノコの生産量を増やすことができれば新たな投資が少なく、低コストで技術の導入が図れると考えられる。

エリンギ (*Pleurotus eryngii*) は、様々な樹種のオガコで栽培が可能で、広葉樹オガコよりも針葉樹が基材に適しているとされている (木村, 1999)。このため菌床の基材には、安価な針葉樹が既に利用されており、基材の低コスト化は難しいと考えられる。水谷ら (2011) は、子実体発生量を増大させる栄養材について研究し、栄養材として培地にオカラを添加することでエリンギ子実体の発生量が増加することを報告している。

高畠ら (2008) は、マイタケの廃菌床をヤマブシタケ菌床栽培の培地基材に用いると子実体の収量が増加することを報告しており、その中で菌床を混合する際の酵素反応と考えられる培地のグルカン含量の高まりを子実体増収の原因として注目している。また、高畠ら (2010) は、培地にアミラーゼ等の多糖分解酵素の処理を行うことでナメコの子実体の収量が10~20%増加することについても報告している。培地の酵素処理は、培地資材の攪拌工程に添加する比較的簡易な処理として、栽培工程に大きな変更を伴わないことから導入しやすい技術であり、ヤマブシタケやナメコに限らず、培地の酵素処理が他の菌床栽培されているキノコでも子実体の発生量を増加させる効果が期待できる。

そこで、本研究では、栄養材として有望なオカラの培地への添加と培地の酵素処理による増収効果について、主要な栽培食用キノコのエリンギで栽培試験を行った。

II 材料と方法

1. エリンギ栽培試験

(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-EG079号) を用いた。

(2) 供試培地

基本培地 (以下フスマ・コメヌカ培地とする) の組成は、スギオガ粉にフスマ (四天王：日清製粉株式会社) とコメヌカを容積比で8:1:1とした。試験は、フスマ・コメヌカ培地の栄養体を乾燥オカラ (藤キラス) で50% (容積比) 置換した (以下オカラ・フスマ・コメヌカ培地とする) 培地を用いて試験した。いずれの培地もpH調整を行わず、含水率を約65%に調整しポリプロピレン製800mlボトルに526±1g充填した。その後、121℃で105分間殺菌した。

(3) 多糖分解酵素処理

多糖分解酵素としてアミラーゼを供試した。アミラーゼは産業用酵素である酵素A (耐熱性アミラーゼ) と酵素B (中温性アミラーゼ) を使用した。培地への添加量は、容積800mlのボトルあたり酵素原液1mlとなる割合で、培地含水率の調整時に水と混合して添加し攪拌を行った。酵素を添加してからオートクレーブ開始までの時間は、2時間程度を要した。酵素反応の有無による培地成分への影響を調査するため、酵素Aまたは酵素Bをオートクレーブにて110℃で5分間、加熱することで熱変性させ失活させた。失活させた酵素を通常の酵素と同様に培地へ添加した処理を熱変性酵素の処理とした。

(4) 栽培方法

供試培地に種菌を約8g接種して温度21℃、湿度60%で培養した。培養期間は35日および40日間とし、培養期間別にオカラの添加と酵素処理の効果を比較した。培養終了後、菌掻きを行い、温度16℃、湿度90%、照

度約20~80lux下へ移動して、原基形成まではピンを倒立させて管理し、その後ピンを反転させて子実体形成を誘導した。調査項目は菌糸蔓延日数（接種後、培地全体に菌糸が蔓延するまでの日数）、発生所要日数（発生操作後、子実体を採取するまでに要した日数）、子実体発生重量、発生本数（傘計2cm以上）である。供試数は6本とした。

2. 培地含有グルコース量の測定

(1) 完成培地のグルコース量

栽培試験に用いた培地の成分が酵素処理により変化しているのかを調べるために、オートクレープ後の完成した培地から水により抽出されるグルコースの量を測定した。水抽出については、培地試料1gを遠沈管に秤量し、蒸留水5mlを加え室温にて15分間攪拌した後、3500 r.p.m.で15分間遠心分離を行い、上清を濾過し、濾液を蒸留水で5mlに定容し水抽出液とした。各培地の水抽出について供試数は3とした。本試験におけるグルコースの定量はすべて酵素法（試薬：グルコースCIIテストワコー）により測定した。試薬の代わりに蒸留水を用い試薬の吸光度を除外し、標準物質としてグルコース（特級）を用いて検量した。

(2) 培地調整時におけるデンプン添加と培地のグルコース量

培地に残存する活性を有する酵素の存在を調べるために、酵素の基質であるデンプンを調整中の培地に添加して、残存する酵素が生産するグルコース量を測定した。グルコースの測定は、クエン酸緩衝液でpH 5.5に調整した1%可溶性デンプン5mlに酵素Aで処理したオートクレープ前のフスマ・コメヌカ培地とオカラ・フスマ・コメヌカ培地をそれぞれ1g添加して、50℃で1時間反応した後に、3500 r.p.m.で15分間遠心分離を行い、上清を濾過し、濾液を蒸留水で5mlに定容し溶液中のグルコース量を測定した。可溶性デンプンを添加していないクエン酸緩衝液（pH 5.5）で調整した溶液5mlをもちいた条件をデンプン無添加条件とした。各培地の供試数は3とした。

(3) 酵素分解におけるグルコース生産量へのフスマとオカラ混合の影響

酵素Aによるフスマの分解へのオカラ混合の影響を調べるために200mgフスマと200mgオカラをそれぞれ単独または混合したものを遠沈管に秤量し、4mlの蒸留水を遠沈管へ添加して懸濁後に10倍希釈した酵素Aを1ml添加して、攪拌しながら50℃で15分間酵素反応した。反応後に、3500 r.p.m.で15分間遠心分離し、

上清を濾過して蒸留水で5mlに定容し、溶液中のグルコース量を測定した。各酵素による分解の供試数は3とした。

Ⅲ 結果

1. エリンギ子実体発生

フスマ・コメヌカ培地とオカラ・フスマ・コメヌカ培地ともに酵素処理の有無に関わらず、どの試験区においても菌糸の蔓延は良好であった。また、発生した子実体の形状に関して、子実体の奇形などは観察されなかった。エリンギ子実体発生について図-1に示した。基本となるフスマ・コメヌカ培地では、35日と40日培養ともに酵素処理による子実体発生量への影響は認められなかった。一方、オカラ・フスマ・コメヌカ培地において、35日培養では、酵素A処理区のみで無処理区より15%子実体発生量が増加した。40日培養では酵素Aと酵素B処理区ともに無処理区より25または36%子実体の発生量が増加した（U検定、有意水準5%）。子実体の発生本数について無処理区と有意差は認められず、35日培養で、子実体発生量への影響が認められなかった酵素B処理区では、子実体発生所要日数が長くなり無処理区との間に有意差があった（図-2）（U検定、有意水準5%）。

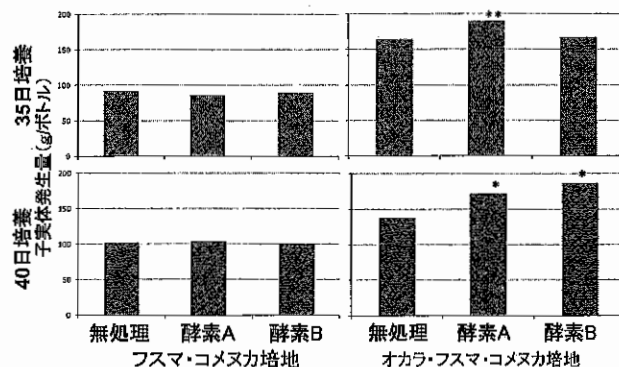


図-1 エリンギ栽培試験の各処理区における子実体発生量

無処理との比較において有意水準 **：1%，*：5%

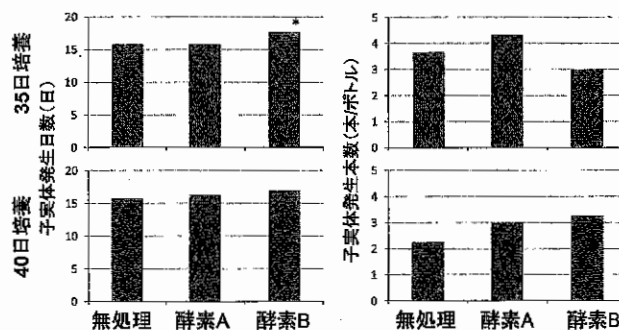


図-2 オカラ・フスマ・コメヌカ培地における子実体発生所要日数と発生本数

無処理との比較において有意水準 *：5%

2. 培地中のグルコースの定量

(1) 完成培地のグルコース量

酵素処理による最終産物のグルコースを、低分子化の1つの指標として測定した結果、水抽出によりフスマ・コメヌカ培地とオカラ・フスマ・コメヌカ培地でともに無処理区よりも酵素処理区で、培地中に生産されたグルコース量が多かった(図-3)(U検定, 有意水準5%)。酵素を熱変性させ不活性化させた場合にはグルコース量の増加が認められず(図-3)(U検定, 有意水準5%), 酵素が培地に作用することができ、酵素反応で培地中の多糖が低分子化していることが分かった。

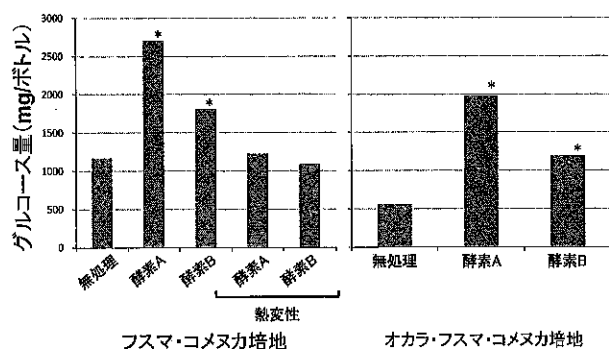


図-3 エリンギ栽培試験の各処理区における培地中のグルコース量

無処理との比較において有意水準 * : 5%

(2) 培地調整時におけるデンプン添加と培地のグルコース量

酵素Aを添加したオートクレーブ前のフスマ・コメヌカ培地とオカラ・フスマ・コメヌカ培地中に活性をもつ酵素が存在するのかを調査するために同量の可溶性デンプンを両培地へ添加した。その結果、可溶性デンプンを添加した両培地からグルコースの生産が認められた(図-4)(U検定, 有意水準5%)。また、可溶性デンプンを添加しない条件ではフスマ・コメヌカ培地とオカラ・フスマ・コメヌカ培地から新たなグルコ

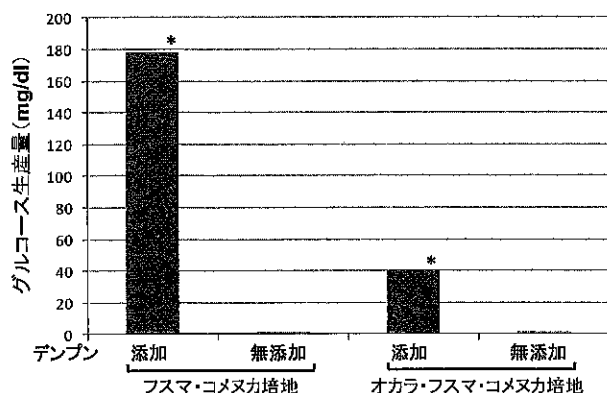


図-4 酵素A処理したフスマ・コメヌカ培地およびオカラ・フスマ・コメヌカ各培地におけるデンプン添加後のグルコースの生産量

デンプン無添加との比較において有意水準 * : 5%

ースは生産されなかった。このことから、本試験において添加した酵素は、処理後にも活性を有する状態で存在しており、酵素処理に添加した酵素量を減らせる可能性があることが分かった。

(3) 酵素分解におけるグルコース生産量へのフスマとオカラ混合の影響

フスマとオカラをそれぞれ単独で酵素Aを用いて処理するとオカラよりもフスマから生産されるグルコース量が多かった。フスマと同重量のオカラからはフスマの酵素分解時の約10%のグルコースしか生産されなかった。また、同量のフスマとオカラを混合するとフスマを単独で酵素処理した時の63.8%に生産されるグルコース量が減少した(図-5)(クラスカルウォリスとSteel-Dwass検定による多重比較, 有意水準5%)。この結果から、フスマとオカラの混合は、グルコースへの酵素分解を阻害することが分かった。

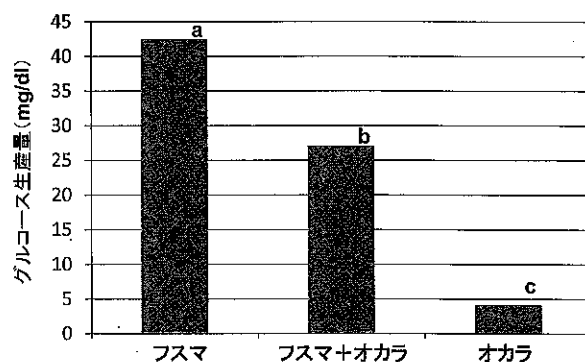


図-5 酵素A処理によるグルコース生産量へのフスマとオカラ混合の影響

異なるアルファベットは、Steel-Dwass検定の5%水準で有意であることを示す。

IV 考察

本試験の結果から、オカラは、エリンギ栽培に有効な材料であるとともに菌床の酵素処理による子実体発生を増収効果を得られる栄養材として適すると考えられた。オカラ・フスマ・コメヌカ培地の酵素A処理区で、35日培養と40日培養ともに子実体の増収効果を得ることができた(図-1)。酵素B処理区についても40日培養では子実体の増収効果が得られた(図-1)。酵素処理区における酵素は、培地に酵素を添加してから、殺菌工程の殺菌温度に向けて温度が上昇している工程途中まで反応可能である。酵素Bよりも高温性である酵素Aがより高い温度まで基質と反応することが可能であったと考えられるが、子実体発生量の増加と酵素の温度耐性との関係は明らかではなかった。

予備試験で、グルコースの直接的な添加では、エリンギの子実体の発生量は増加しなかったことからグル

コース量の分析だけでは、オカラ・フスマ・コメヌカ培地で、エリンギ子実体の増収効果を得ることができた原因を説明できなかった。しかし、酵素反応に培地組成が影響したと考えられる点があった。

酵素処理後の培地に可溶性デンプンを同量添加した分解試験からオカラ・フスマ・コメヌカ培地からはフスマ・コメヌカ培地より少ない量のグルコースしか生産されなかった（図-4）。また、単独のオカラをフスマに混合すると酵素分解におけるグルコース量が減少し（図-5）、オカラが添加された培地においても酵素によるグルコースまでの分解が阻害される状態にある可能性が考えられた。

高島ら（2010）はナメコ栽培において酵素で処理した後、低分子グルカン量が増加していることを報告している。グルコースはグルカンが酵素で分解されて生産されることから、本試験においても子実体の増収効果が認められたオカラを添加した培地条件において、酵素反応が妨げられることで、酵素処理後、グルコースまで分解されなかった中間産物が増加している可能性があると考えられる（図-5）。

水谷ら（2012）のオカラの置換割合の試験では、オカラの置換割合が100%のオカラ単独の培地組成では、子実体の発生量が減少した。オカラ単独の条件ではなく、複数の栄養材が共存する条件で、エリンギの増収効果が高かった。本試験においてもオカラやフスマなどが共存する培地条件に酵素を添加することで子実体発生量が高まる条件が存在した。これは、子実体発生量を高めるために酵素処理を行うにしても、培地との組合せが重要であることを示唆していると考えられる。

V まとめ

2種類の栄養材組成の培地に対して、酵素処理を行ったが、フスマ・コメヌカ培地では、子実体発生量の増加が認められず、オカラ・フスマ・コメヌカ培地で酵素処理による子実体増収効果が認められた。

栽培所要日数に関して、酵素処理区では、無処理の対照区と比較して、同程度かまたはわずかに長くなる傾向を示した。発生所要日数が長くなった処理区で、子実体発生量の増加が認められなかった。

子実体の発生量に関して、酵素処理することにより子実体重量が15~36%増加した。オカラ・フスマ・コメヌカ培地で酵素処理による子実体発生量が増加したメカニズムは明らかになっていないが、処理に用いた酵素の反応性に培地組成が影響することが推察された。培地基材の組合せだけでなく生体触媒である酵素の前処理条件を組み合わせることで、エリンギ子実体のさらなる増収を目指すことができる可能性が示された。

引用文献

- 木村榮一（1999）培地調整. 図説基礎からのエリンギ栽培. 261pp, 農村文化社, 東京. 66-99.
- 水谷和人・久田善純・上辻久敏（2012）エリンギおよびシイタケ菌床栽培における乾燥オカラと消石灰の添加効果. 岐阜県森林研研報41: 13-16.
- 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.
- 高島幸司・五十嵐圭日子・鯨島正浩（2008）ヤマブシタケ菌床栽培における廃菌床のリサイクル利用. 木材学会誌54（6）: 327-332.
- 高島幸司・五十嵐圭日子・鯨島正浩（2010）ナメコ栽培における菌床培地酵素処理の影響. 日本木材学会大会研究発表要旨集60th: O18-0930.

平成25年3月25日

岐阜県森林研究所研究報告 第42号

発行所 岐 阜 県 森 林 研 究 所

岐阜県美濃市曾代1128-1

TEL (0575) 33-2585

印刷所 ㈱ も と す い ん さ つ

TEL (058) 328-4529



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。)