

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秤（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。

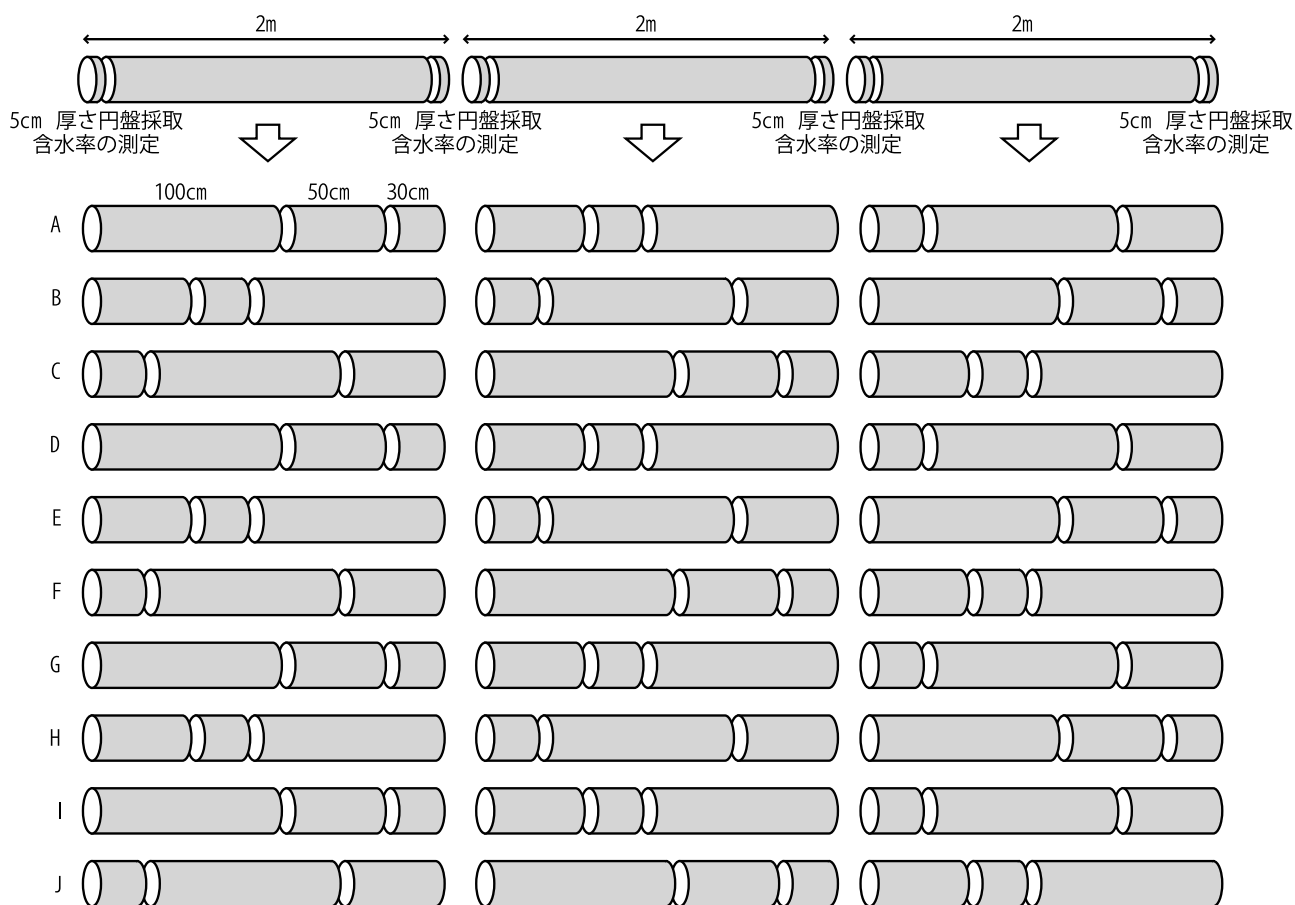
なお、一般にコナラの生材含水率は辺材と心材で大きな差がなく（矢沢，1960）、丸太の乾燥過程においても大きな差がないことから（本田ら，1981）、本試験では含水率を測定する際に心材と辺材に区別しなかった。

(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。

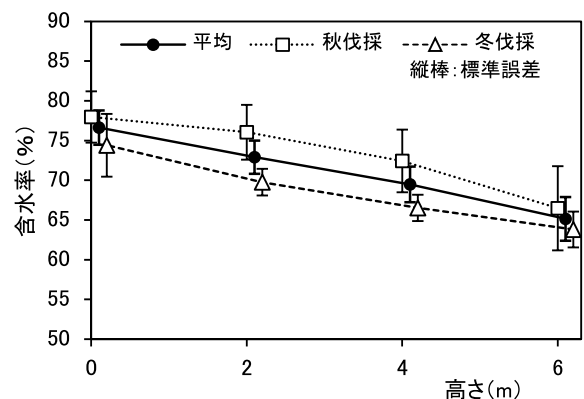
同様の手法により、供試丸太からのカシナガ脱出数に影響した要因についてもGLMMにより解析した。応答変数を丸太からのカシナガ脱出数とし、説明変数には供試丸太の採取高、直径、長さ、材積、初期含水率、終了時含水率、穿入孔数、伐採時期、設置場所を用いた。また、樹木個体差を変量効果とし、応答変数はポアソン分布に従うと仮定した。なお、解析にあたり、初期重量、終了時重量、乾燥重量は材積と相関が高く、多重共線性の問題から説明変数から除いた。

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%

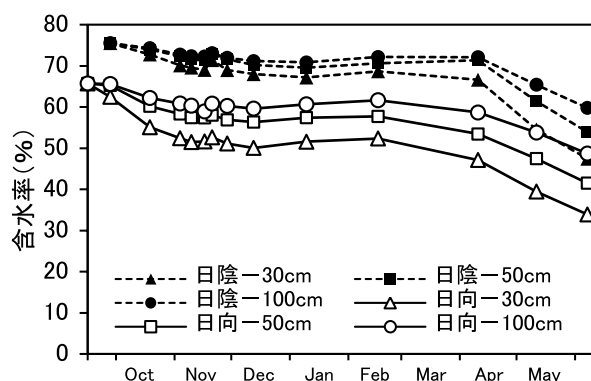


図－4 高さ別の初期含水率

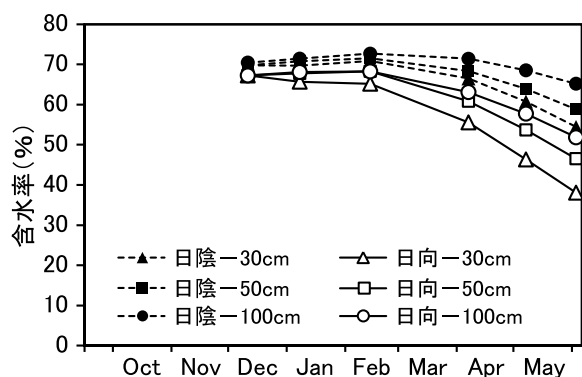
であった。2月7日以降、含水率は再び低下し、6月7日には34～60%まで下がった。一方、冬伐採では乾燥開始から2月17日までの期間はほとんど含水率に変化は認められなかった（図－6）。それ以降、含水率は低下し、秋伐採と同様の経過を示した。

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。

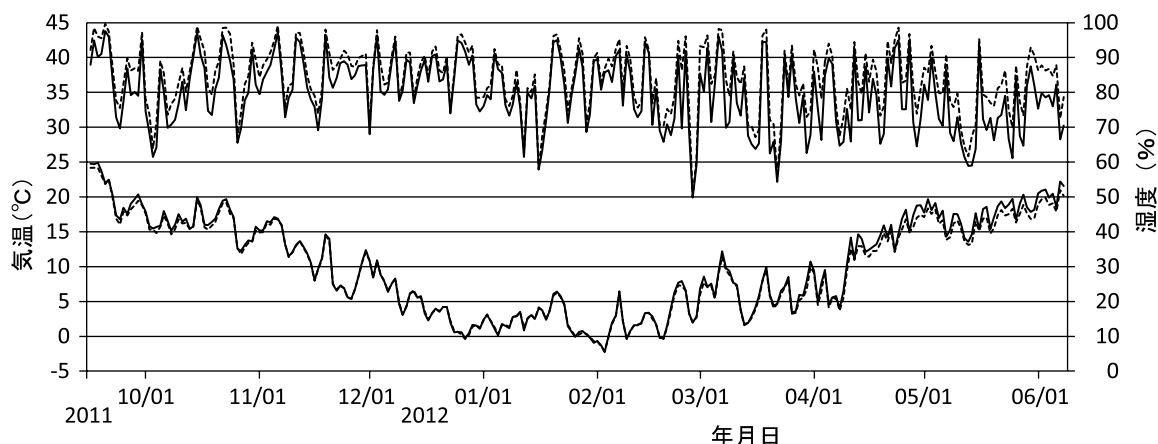
また、丸太の長さ別にみると、伐採時期、設置場所にかかわらず、含水率は30cmが最も低く、次いで50cm、



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）



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。

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, $p=0.503$ ：±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高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

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

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				

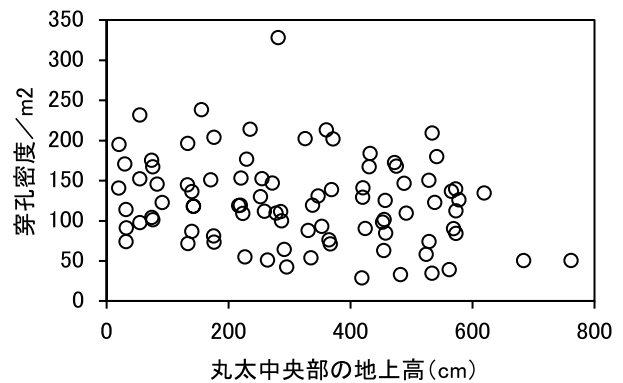


図-8 丸太採取高と穿孔密度との関係

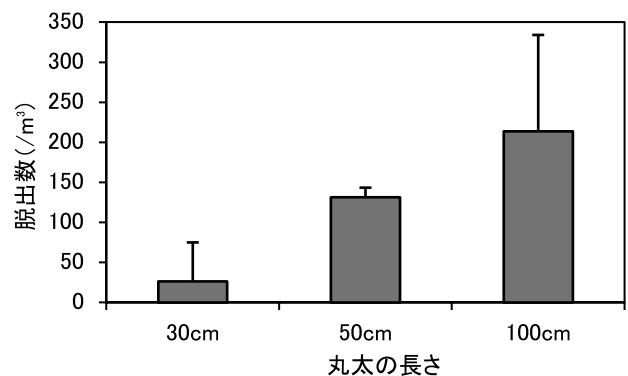


図-9 丸太の長さで脱出数の関係
(図中の縦棒は標準誤差)

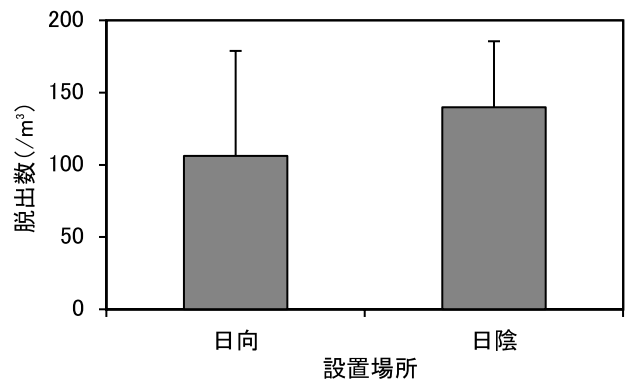


図-10 設置場所と脱出数の関係
(図中の縦棒は標準誤差)

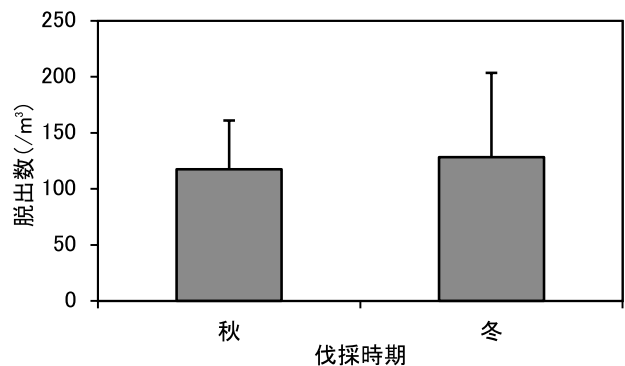


図-11 伐採時期と脱出数の関係
(図中の縦棒は標準誤差)

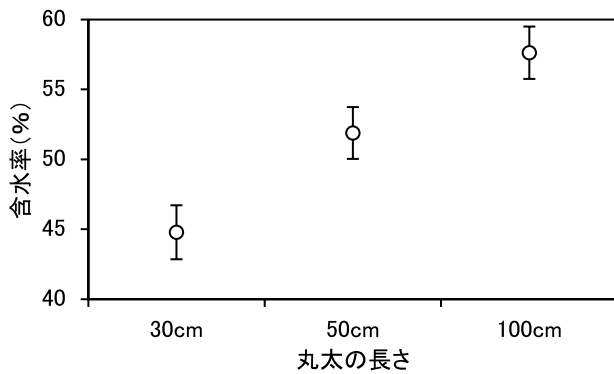


図-12 丸太の長さと含水率の関係
(図中の縦棒は標準誤差)

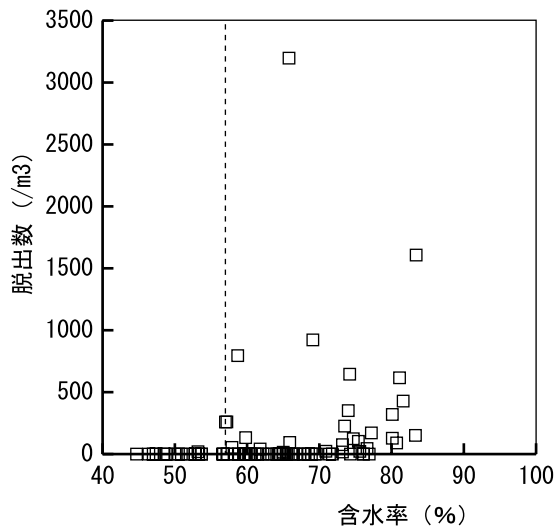


図-13 4月10日における丸太含水率と脱出数の関係

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%以上のものに限定されていた。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.