

森林防疫

FOREST PESTS

— 森の生物と被害 —

特集：ナラ枯れ研究最前線



目次

特集：ナラ枯れ研究最前線

特集に向けて

ナラ枯れ特集号「ナラ枯れ研究最前線」

〔所 雅彦〕・・・3

論文

ナラ枯れ被害発生ポテンシャルの広域空間分布

〔近藤洋史・加賀谷悦子〕・・・4

カシノナガキクイムシ誘引物質の探索

〔所 雅彦・岡田充弘・斉藤正一・大橋章博・衣浦晴生・猪野正明・吉濱 健〕・・・・・・・・・・・・・8

少量樹幹注入処理によるナラ枯れ枯損予防方法の開発

〔岡田充弘・斉藤正一・猪野正明・吉濱 健・所 雅彦〕・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15

ブナ科樹木萎凋病に対するスタジイでの殺菌剤注入技術とその他常緑樹への展開

〔衣浦晴生・所 雅彦・後藤秀章・栗生 剛〕・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21

大量集積型おとり丸太によるナラ枯れ防除法

〔斉藤正一・岡田充弘・箕口秀夫〕・・25

カシノナガキクイムシによるウバメガシの穿孔被害と被害軽減対策の開発

〔大谷栄徳・山下由美子・栗生 剛・衣浦晴生・長谷川絵里〕・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・32

最新ICTを活用したナラ枯れリアルタイム被害発生予測システムの開発

〔山中武彦・近藤洋史〕・・・36

都道府県だより：栃木県・鳥取県・・40

森林病虫獣害発生情報：平成26年9月・10月受理分・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43

林野庁だより：人事異動・・・43



A



B



C



D

〔表紙写真〕 広葉樹資源の有効利用を目指したナラ枯れの低コスト防除技術（本文25~31ページ参照）

写真A：ナラ枯れ被害地の遠景（山形県寒河江市大字幸生地内）。濃緑が萌える時期に、葉が褐色に萎れたナラ枯れ被害木が散在している。景観への影響が懸念される。

写真B：ナラ枯れ被害木。樹齢60年のミズナラが枯死した状況。

写真C：被覆付き大量集積型おとり丸太トラップ。コナラやミズナラの健全木から1~2mの丸太を採取し、被害地から近いスギ林内の林道沿線や土場に高さ1~2m、幅8~20m（実材積20~50㎡）の未被害木の丸太を6月上旬までに集積し、フェロモン剤を装着してカシノナガキクイムシ（以下カシナガ）を誘引する。被覆をすることで上部の丸太が乾燥しにくくなり、これらにもカシナガが多く穿入する。カシナガを誘引した丸太は10mm以下の厚さのチップにするか、焼却または殺虫剤によるくん蒸処理してカシナガを殺虫する。

写真D：おとり丸太に誘引されたカシナガのフラス。

（山形県森林研究研修センター 斉藤正一）

特集：ナラ枯れ研究最前線

特集に向けて

ナラ枯れ特集号「ナラ枯れ研究最前線」

所 雅彦¹

1980年ころから日本海側のミズナラを中心にいわゆる“ナラ枯れ”（ブナ科樹木萎凋病）の被害が報告され始めて以来、今日に至るまでその被害は著しく増加し、日本各地へ急速に拡散してきた。近年、被害が深刻であった主にミズナラにおける被害が、健全木の減少によりコナラ帯へ移行したため、激しい枯損は一時ほど見られなくなっている。しかし、未被害地域の多い関東や東北南部には多くのコナラの大木を抱える森林があり、被害の拡大が懸念されている。

ナラ枯れはスギ・ヒノキ等の主要人工林の生物被害に比べると、問題にならないと考える人もいるが、地域によっては広葉樹二次林の主要構成樹種であるナラ類の森林における役割は思った以上に重要で、昨今の自然災害の深刻さを考えると、森林の荒廃をのんきに放置していると深刻な被害を招くことになる。また、近年は落葉性のナラ類のみならず常緑樹であるシイ・カシ類に対するナラ枯れによる集団枯損も頻発している。新たな樹種を含めた被害の拡大から、きのこ原木や備長炭等の生産、世界遺産地域の景観に及ぼす影響、里山林や水源林の荒廃、都市部自然公園の大木の風倒等が懸念されている。

これまで多くの研究者や林業従事者が、ナラ枯れの枯死機構の解明と防除法の開発に努力を重ね、いろいろな方法が試され、現在も改良が加えられている。我々も多くの研究者、林業従事者と協力し、先端技術を活用した農林水産研究高度化事業、新たな

農林水産政策を推進する実用技術開発事業を通して、一貫してナラ枯れの仕組みの解明と防除法の開発に従事し、病原菌であるナラ菌の解明、そのベクターであるカシノナガキクイムシ（以後カシナガ）の集中穿孔を引き起こす集合フェロモンの解明、カシナガを誘引する合成フェロモン剤と誘引協力剤の開発を行ってきた。また、殺菌剤を用いた枯死予防法を開発し、殺菌剤と集合フェロモンを有効活用したおとり木トラップ法にまで発展させた。さらに、森林の植生と被害データから将来の被害を予測するハザードマップの作成等の研究を重ねてきた。

今回、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（課題番号24030、平成24～26年度）が終了する。このプロジェクトの成果として、さらなる将来の被害拡大に備えて、現行より格段に低コストで簡便確実な被害拡大防止技術の開発と、より迅速な被害予測システムの確立のため、落葉ナラ類における殺菌剤少量注入による枯死予防法とその常緑シイ・カシ類への展開、ナラ林の利用と更新まで見据えた大量集積型おとり丸太法、将来の被害を迅速に推定できるリアルタイム被害発生予測システムの開発等の成果が得られたので、ここにとりまとめる。

森林防疫の紙面をお借りして、我々のこれまでの研究とこれからの展望についてご紹介させていただく機会を得たことを心より感謝申し上げたい。

(2014.10.20 受領)

ナラ枯れ被害発生ポテンシャルの広域空間分布

近藤洋史¹・加賀谷悦子²

1. はじめに

ナラやカシ類の樹木を集団的に枯死させる現象であるブナ科樹木萎凋病（以下 ナラ枯れ）は、体長5mm程度の甲虫であるカシノナガキクイムシ（以下カシナガ、*Platypus quercivorus*）が、ナラやカシ類等の幹に侵入して、病原菌（*Raffaelea quercivora*、以下 ナラ菌）を樹体内に持ち込むことにより発生する（林野庁 2014）。ナラ菌を媒介するカシナガを含むせん孔虫類は、森林病虫害等防除法により、森林病虫害に指定されている。2012年度の被害量は約8万㎡であり、同年に被害が確認されているのは、本州と九州地方のうちの28府県となっている。ナラ・カシ類は、家具材や染料、キノコ原木、木炭の原料等に利用される。ナラ枯れによって、これらの原料となる木材資源の減少のみならず、観光資源も含めた景観の劣化や、放置された立ち枯れ木の危険性、上層木の消失など林分構造の急変や生態系への影響の懸念などが指摘されている（近藤ら 2011）。将来のナラ枯れ被害の動向を予測するには、その被害を受けるナラやカシ類がどのように分布しているのかを把握する必要がある。そこで、ナラ枯れを考慮した植生分布である、ナラ枯れ被害発生ポテンシャルマップの作成を行った。

2. 材料と方法

研究対象地は、これまで、ナラ枯れの発生が認められた青森県から山口県の本州地方と九州地方とした。さらに、本州地方と九州地方に隣接している四国地方も加えた。ナラ枯れ被害発生ポテンシャルデータベースを作成するために、環境省が整備・管理している自然環境情報基礎調査の第2回から第5回までの植生調査データを使用した。空間基盤情報として、数値地図25000の行政区界・海岸線を利用した。

データの処理区画の大きさは、第3次地域区画（基準地域メッシュ、約1×1km、以下3次メッシュ）とした。

最初に、ナラ枯れの樹種別感受性についてまとめた。既存の研究から、その感受性は、ミズナラ>コナラ（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）、ミズナラとコナラ>スダジイ>アラカシ>アカガシ（伊藤 2011）、ミズナラ>スダジイ>マテバシイ（高橋 2009）、ミズナラ>コナラ>ウバメガシ（Murata *et al.* 2005）という順位であった。これらの順位をナラ枯れ被害発生の起こりやすさ（被害発生順位）と考えた。ここで、ウバメガシと、スダジイやマテバシイとの被害発生順位の関係は不明であった。ウバメガシは、白炭の原木であり、社会的な重要性が高いと考えられる（紀伊民報 2012）ので、その順位をスダジイと同列とした。また、マテバシイ、アラカシ、アカガシについては、その順位をそれぞれ同列とした。すなわち、本研究におけるナラ枯れに対する樹種別の被害発生順位を、ミズナラ>コナラ>ウバメガシ・スダジイ>マテバシイ・アラカシ・アカガシとした。

続いて、この被害発生順位をもとに、植生調査データからナラ枯れ被害発生ポテンシャルデータベースを構築した。GISを用いて、植生調査データに3次メッシュを重ね合わせ、3次メッシュを単位とした植生調査データに加工した。3次メッシュを単位として、その3次メッシュの中にミズナラに関係した植生の区画が存在すれば、区画の面積にかかわらず、その3次メッシュは「ミズナラ」として表示した（図-1）。ミズナラに関係した区画が存在しない場合には、コナラに関係する区画の有無を判断した。コナラに関する区画が存在すれば、その3次メッシュは「コナラ」として示した。以下、同様の方

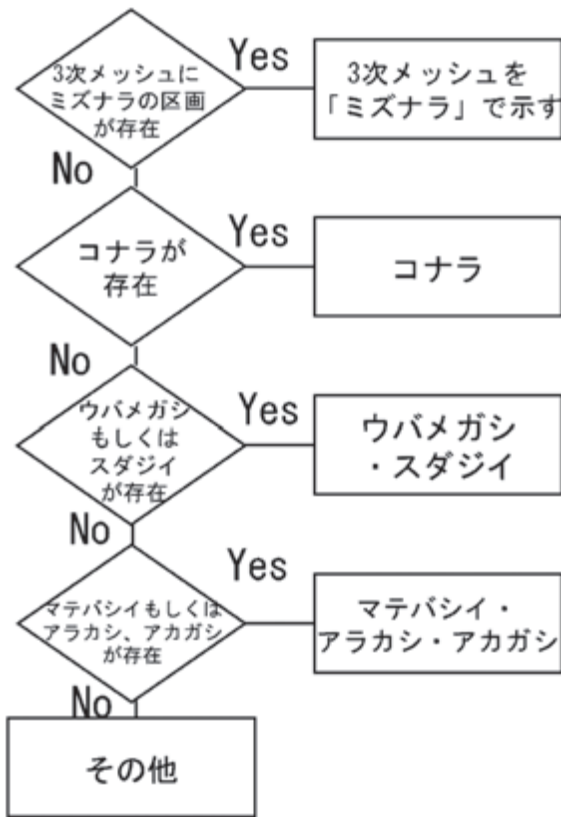


図-1 ナラ枯れ被害発生ポテンシャルデータベース作成のフローチャート

法で、3次メッシュ内のウバメガシ・スダジイ、マテバシイ・アラカシ・アカガシの存在を判断した。最後に、上述した樹種以外のものは、すべて「その他」とした。その他には、スギ・ヒノキ・カラマツなどの針葉樹林や市街地、草地、田畑などが含まれる。これらの解析・分布を示すソフトウェアとして ArcGIS Ver. 10 (ESRI社) を使用した。

3. 結果

ナラ枯れ被害発生ポテンシャルデータベースをもとに作成した、ナラ枯れ被害に対する感受性のある植生の分布、すなわちナラ枯れ被害発生の危険性がある植生分布を図-2に示した。ナラ枯れ被害発生の危険性が存在する植生は、青森県から鹿児島県まで広域に分布していた。特に、本州地方では、ミズナラとコナラが広範囲に分布していた。ミズナラは主に本州中央部に存在し、それに近接してコナラが

広がっていた。紀伊半島南部から四国地方や九州地方では、ウバメガシやスダジイが分布していた。四国地方や九州地方でも、その中央部の地域では、ミズナラやコナラが存在していた。

4. 考察

ナラ菌を媒介するカシナガを含むせん孔虫類は、森林病害虫等防除法により、森林病害虫等に指定されている (林野庁 2014)。しかし、「ナラ枯れで森林に枯損が発生しても何が問題なのか」といった指摘を受けることがある。ナラ枯れによって被害を受けるナラ・カシ類は、上述したように、家具材や染料、キノコ原木、木炭の原料等に利用されている。ナラ枯れによって、これらの原料となる木材資源の減少のみならず、観光資源も含めた景観の劣化や、上層木の消失など林分構造の急変や生態系への影響などが懸念される。さらに、近年では、ナラ枯れによる上層木の枯損後、更新してきた稚樹に対してシカによる食害が発生する危険性がある (中日新聞 2010)。ナラ枯れは、「第二の松枯れ」 (林野庁 2014) と指摘されているように、地域の森林に対して、大きな影響を及ぼすと考えられる。

ナラ枯れ被害発生の危険性のある樹種分布を図-2に示した。この図は、ナラ枯れに対する、潜在的な被害発生の可能性を示しており、ナラ枯れ被害発生ポテンシャルマップとみなすことができる。

ナラ枯れ被害量は、2010 (平成22) 年度に、325,000㎡と、近年で最も多かった。2012 (平成24) 年度には、83,000㎡となり、2010年度の約4分の1の水準まで減少している (林野庁2014)。しかし、図-2から、ナラ枯れ被害発生の危険性のある樹種は、青森県から鹿児島県まで、広範囲に分布している。そのため、被害が、再度、急激に増加する可能性は、十分に考えられる。

また、この図から、ナラ枯れ被害発生の危険性のある樹種は、奥山から里山・里地まで広がっていることが分かる。被害発生の潜在的可能性を考慮すると、今後もナラ枯れ被害に対するモニタリングを継続して実施する必要がある。

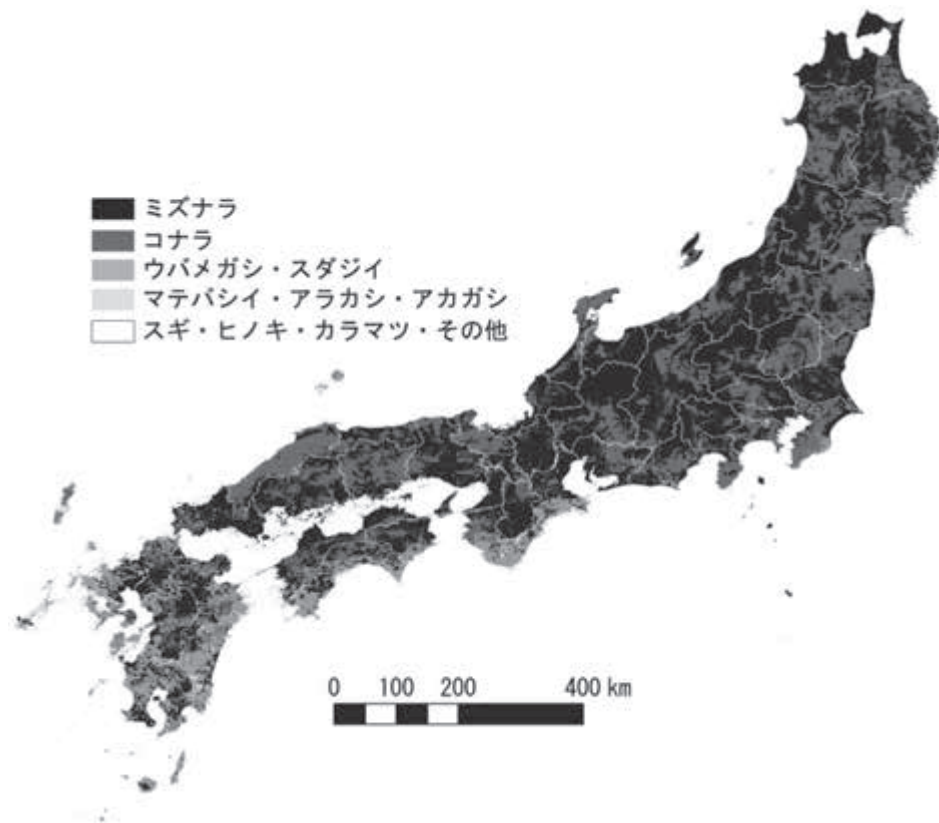


図-2 青森県から鹿児島県に至るナラ枯れ被害発生ポテンシャルマップ

本州・四国地方の太平洋沿岸から九州地方にかけて、ウバメガシ・スタジイの分布が広範囲に及んでいる。これらの地方では、常緑のシイ・カシ類にナラ枯れ被害が発生する危険性が高いと考えられる。

図-2で、「その他」の地域には、市街地も含まれている。市街地に存在する都市公園には、ナラ枯れ被害発生危険があるミズナラやコナラ、アラカシなどが植栽されている場合がある。また、ウバメガシを垣根に使用している場合もある。このような公園や庭木であっても、ナラ枯れ被害は発生し、その発生が、その地域における被害拡大の一因になることも考えられる。ナラ枯れ被害は初期被害地周辺に防除対策を行うことで、被害拡大の防止にたいへん効果がある（森林総合研究所 2011）。そのため、住民に対するナラ枯れ被害の啓蒙をはかり、公園や庭木においてもモニタリングを行う必要があると思われる。

広範囲に分布しているカシナガの遺伝子解析から、本種にも地域集団間の遺伝的分化が確認されている（Shoda-Kagaya *et al.* 2010）。遺伝的な分化が示されている集団間では、移動は頻繁でないと考えられ、被害の伝播経路が異なると考えられる。今後、この遺伝的構造をポテンシャルマップに重ねることで、被害発生予測にも発展させられると考えている。例えば図の中に伊豆諸島の被害ポテンシャルが示されており、実際、スタジイの枯損が発生したが、この被害に関わっている集団は本州のものと遺伝的に異なる特徴を持っていた。本事例では、もともと生息していた集団が大発生する環境が整ったことにより急増したと考えられ、人為や海流などの移動要素を防除戦略上考えなくてよいことが示されつつある。このように新規被害の発生が周囲の被害地からの拡散なのか、生息する個体群の変動なのかを考慮しつつ、ポテンシャルマップを活用してナラ枯れ被害の

動向が予測できるよう、今後研究を進めていきたい。

謝辞

本研究は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「広葉樹資源の有効利用を目指したナラ枯れの低コスト防除技術の開発（課題番号24030）」により実施した。

引用文献

- 中日新聞（2010）森が死んでゆく里山放棄で「ナラ枯れ」猛威（2010年7月31日掲載）
- 伊藤進一郎（2011）ナラ類萎凋病における樹種間の枯死機構と抵抗性機構の比較研究 <https://kaken.nii.ac.jp/pdf/2009/seika/jsps-1/14101/18380092seika.pdf> (2014年7月25日閲覧)
- 紀伊民報（2012）ナラ枯れ対策の勉強会－原木ウバメガシ被害で－<http://www.agara.co.jp/modules/dailynews/article.php?storyid=228333> (2014年8月26日閲覧)
- 近藤洋史・衣浦晴生・牧野俊一（2011）ナラ枯れの効果的防除を目指して－被害予測と面的防除法の開発－. 山林 1528 : 27 ~ 34
- Murata M, Yamada T, Ito S (2005) Changes in

water status in seedlings of six species in the Fagaceae after inoculation with *Raffaelea quercivora* Kubono et Shin-Ito. J For Res 10: 251 ~ 255

- 林野庁（2014）平成26年版森林・林業白書. 223pp
- 森林総合研究所（2011）ナラ枯れに立ち向かう－被害予測と新しい防除法－. 12pp
- Shoda-Kagaya E, Saito S, Okada M, Nunokawa K, Nozaki A, Tsuda Y (2010) Genetic structure of the oak wilt vector beetle *Platypus quercivorus*: inferences toward the process of damaged area expansion. BMC ecology 10: 21
- 高橋由紀子（2009）ブナ科樹木萎凋病菌*Raffaelea quercivora*の伝搬様式と樹体内動態. <http://gazo.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gakui/data/h20/124696/124696a.pdf> (2014年7月25日閲覧)
- 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. https://www.pref.yamagata.jp/ou/norinsuisan/140023/naragaretext/02naragarehigai_01P4-P8.pdf (2014年7月25日閲覧)
- (2014.9.17受付, 2014.10.3掲載決定)

カシノナガキクイムシ誘引物質の探索

所 雅彦¹・岡田充弘²・斉藤正一³・大橋章博⁴
衣浦晴生⁵・猪野正明⁶・吉濱 健⁷

I はじめに

ナラ類樹木が、病原菌 (*Raffaelea quercivora*, ナラ菌) を伝搬するカシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus*, 以下 カシナガ) の集中加害を受けて枯死する被害 (以下ナラ枯れ) が日本各地で拡がっている (伊藤ら 1998; Kubono and Ito 2002)。著者らはこれまでにカシナガの集合フェロモン成分 (ケルキボロール) を特定し (Kashiwagi *et al.* 2006; Tokoro *et al.* 2007), 合成フェロモン剤を開発した。合成フェロモン剤 (カシナガコール: サンケイ化学 (株) 製) はカシナガコール L (発生予察用と防除用: ケルキボロールラセミ体76%) 及び高純度のカシナガコール H (試験用: ケルキボロールラセミ体96%以上 販売中止) があり, これらを利用した防除の試みが行われてきた。その誘引力は単独では十分ではなかったが, ナラ類樹木からもカシナガの好む匂い物質 (カイロモン) が出ており (小林 2000; 上田ら 2001), 集合フェロモンと協力してより多くのカシナガを誘引することが判った (斉藤ら 2008)。さらに立木と合成フェロモンと殺菌剤を用いたおとり木トラップ法 (以下おとり木法) が考案された。おとり木法は, ナラ類立木にあらかじめ殺菌剤を樹幹注入しておき, これにカシナガを誘引するためのフェロモン剤を設置し, さらにカシナガを誘引するカイロモンを発生させるために幹にドリルで穴をあける。まずカシナガの主にオスが誘引され, 穿孔して天然の集合フェロモンを分泌発散し, さらに仲間のカシナガを誘引し集中加害を起こさせる。本方法は, カシナガが穿入しても, 病原菌であるナラ菌やカシナガの餌となる菌が, 殺菌剤の効果で繁殖できず, ナラ菌による枯損を防ぎ, かつカシナガの密度を減少させるものである (斉藤ら 2009;

Kinuura *et al.* 2009; 衣浦ら 2012; 所ら 2013)。このおとり木法のドリルで穴をあける処理は手間がかかり立木にも負担を与えるため, ドリル穿孔を行わずにカシナガの誘引効果を高める寄主揮発性成分 (カイロモン) が判れば大変有用である。そのため, 本研究ではナラ類樹木成分から有効成分を探索するとともに, 野外誘引試験でその候補化合物の誘引性能を検証し, 有効な候補化合物を用いた誘引協力資材の開発を目指した。

一方, カシナガには日本海型と太平洋型の2系統があることが報告されている (Hamaguchi and Goto 2010)。太平洋型カシナガに起因する被害は, 紀伊半島のウバメガシ (備長炭の原料), 八丈島のスダジイ (黄八丈の染料), 鹿児島県のマテバシイなどで問題となっており, その対策が急務である。太平洋型カシナガは日本海型カシナガ集合フェロモン (ケルキボロール) に誘引されないとの報告がなされている (衣浦ら 2011)。しかし, 太平洋型カシナガの防除においても誘引剤が必要となる。そのため, 太平洋型カシナガのケルキボロール産生の有無とそれに対する反応性を検討した。

II 方法

(1) 揮発性成分の分析

ナラ類樹木から揮発性成分を吸着剤で捕集し, ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS) で分析した。カシナガの穿孔を受け始めたミズナラおよびコナラの立木に, 環境測定用のフッ素樹脂フィルムを樹幹に一周以上巻き付け, フィルム内に吸着剤を設置した。さらにタイゴンチューブを介して小型ポンプで吸引して (100ml/min, 5~24時間), 揮発性成分を捕集した。吸着剤は回収し, 研究室において

ペンタン等溶媒で揮発性成分を抽出した。これらをGC-MSで分析した（アジレント社製6890GC直結5973NMSD, 所ら（2010a）参照）。これらの成分に関して電気生理学的手法を用いた, ガスクロマトグラフィー直結触角電位検出器（以下 GC-EAD: Tokoro *et al.* 2007）でカシナガ触角を用いて分析した。

分析に用いたカシナガは, 長野県栄村の被害地で, カシナガが穿入しているミズナラを伐倒後玉切りしたものを森林総合研究所の研究室に運搬し, 23~25℃相対湿度80%以上の恒温室で保持し, 羽化脱出した個体を供試した。GC-EAD分析では特にその昆虫に対して特異的生理活性を持つ成分を触角電図（以下EAG）で検出することができる。活性の確認できた成分はGC-MS分析等により同定し, それらの標準化合物を用いたGC-EAD分析から, そのEAG活性を確認した。GC-EAD分析にはSyntech社製IDAC232装置, GCにはHP5890（アジレント社製）, 分析カラムにはDB5とDBwax（30m, 内径0.32mm膜厚0.25 μ m）を用い, 以下の条件で行った; 昇温分析60℃ - (10℃ /min)- 260℃, 注入口温度250℃, 水素炎イオン化検出器（FID）温度260℃, EAD側出口温度260℃。

(2) 野外誘引試験

野外でのカシナガ捕獲試験には捕獲容器バケツ部にプロピレングリコールを入れたサンケイ式昆虫誘引器（透明）（サンケイ化学（株）製）を用い, 高さ約1m地点に設置した。

カシナガ集合フェロモンの誘引性を向上させる候補化合物（カシナガにとってのカイロモン）として活性が確認できた成分のうち, アニソール（純度99+%）, ベンズアルデヒド（純度98+%）, ユーカリプトール（純度化学級）メチルフェニルアセテート（純度98+%）と, 他のキクイムシで多く誘引活性が報告されているエタノール（純度99.5%）（Miller and Rabaglia 2009）を用いた。カイロモン候補化合物は, いずれも和光純薬社製の市販品を, マダラコール（サンケイ化学（株）製）エタノール用標準プラカップ容器に脱脂綿のみが入ったものに50ml

注射器で注入し, 揮散量がおよそ0.3g/dayになるように蓋に穴を開けてトラップに設置し野外試験に供試した。また, フェロモン剤として市販のカシナガコールLと, 試験用の高純度のカシナガコールHを用いた。カイロモン候補化合物を, いずれかのフェロモン剤と組み合わせて用いる処理区を設けるとともに, 対象として誘引源を用いない無処理区を設けて野外誘引試験を行い, 集合フェロモンに対する誘引協力効果を検討した。

安定した誘引協力効果が認められたエタノールに関しては, 揮散量の違いによる効力を比較した。エタノール揮散用には上述のプラカップ容器（揮散量0.3g/day）を使用した。また, 大量揮散用にポリプロピレン製の円筒プラカップ（ポリプロピレン製 ϕ 10cm \times 高さ12cm容量300ml）にエタノールを300ml含浸させた脱脂綿を入れ, エタノールの揮散量が25℃人工気象室で1.0g/day, 10g/day, 20g/dayになるように蓋に穴をあけたものを設置した。これらを2個のカシナガコールLと一緒にトラップ上部に取り付けて, 野外誘引試験を行った。

試験はカシナガ被害が発生している林分で行った。カイロモン候補化合物試験は, 岐阜県の, 関市, 岐阜市三田洞, および岐阜市古津の3か所において, 各処理1基ずつのトラップを設置し, 2009年6/12から6週間, 山形県小国町では, 各処理3基ずつのトラップを設置し, 2009年6/19から5週間行った。エタノール揮散量試験は, 長野県栄村で, 各処理3基ずつのトラップを設置し, 2010年6月中旬から8月上旬に行った。いずれの試験地も, トラップ設置期間中に週一回捕獲虫を回収して頭数を記録した。

(3) おとり木法による誘引力比較試験

ドリル穿孔によりカイロモンを発生させる方法と, エタノールのフェロモン剤に対する誘引協力効果を比較する野外試験を, 山形県小国町で50年生のミズナラおよびコナラ立木を用いて行った。コナラとミズナラの誘引傾向は同じであったため, 各処理区はコナラ4本, ミズナラ1本, 無処理区はコナラ3本, ミズナラ2本の計5本で行った。ナラ立木へのドリル穿孔方法は特許（2007-061398）（衣浦ら 2012）

に従い、径10mm、深さ30mmの穿孔を、地際から1.3m付近の位置を上端として、環状に10cm間隔で、3列あけた。エタノールは、前述の大量揮散用円筒プラカップを揮散量20ml/dayに調整したものを、樹幹部の約1m地点にロープで巻きつけて設置した。いずれの立木にも、カシナガコールLを2個装着した。殺菌剤注入は2010年5月中旬～6月上旬、ドリル穿孔は6月上旬～中旬、フェロモン剤とエタノールの装着は6月中旬にそれぞれ行い、6月下旬から穿入孔数調査を行った。立木の地際部から高さ4mまでの穿入孔数を毎週一回9月下旬まで計数した。

(4) 太平洋型カシナガに対するケルキボロールの有効性

太平洋型カシナガに対するケルキボロールの有効性を、EAG活性の有無で確認した。分析条件は(1)に準じた。ケルキボロールの分析用標準品はカシナガコールHをノルマルヘキサンに希釈して用いた。また太平洋型及び日本海型雄虫体50頭ずつをノルマルヘキサンで抽出し、0.1頭分に濃縮したものを分析に用いた。太平洋型カシナガは、和歌山県田辺市の穿入木玉切り丸太から羽化脱出した個体を供試した。

Ⅲ 結果と考察

(1) 揮発性成分の分析結果

ミズナラ立木揮発性成分のGC-MS分析から、テルペノイド化合物、芳香族化合物、アルデヒド化合物、アルコール化合物、炭化水素など20種以上の成分が検出された(所ら 2010a)。これらの各成分の合成標準化合物をGC-EAD分析に供した結果、カシナガの触角に対して比較的強いEAG活性を示した数成分、アニソール、ユーカリプトール、メチルフェニルアセテート、ベンズアルデヒドを検出することができ、それらの合成品を用いたEAG活性も確認できた(図-1)。

(2) 野外誘引試験の結果

フェロモン剤とカイロモン候補化合物を用いて行った野外誘引試験の結果、フェロモン剤に対してエタノールが比較的高い誘引協力効果を示した。

岐阜県における平均捕獲数を図-2に示した。カシナガコールHとエタノールの組み合わせにおいて最も高い誘引活性が確認でき、次いでカシナガコールLとエタノールの組み合わせであった(図-2)。カイロモン候補化合物アニソール、ユーカリプトール、は今回の試験条件ではカシナガコールL単独の場合よりもむしろ誘引力が低い結果であった。山形県における試験結果を図-3に示した。岐阜県の結果と同様にカシナガコールHとエタノールの組み合わせにおいて最も高い誘引活性が確認でき、次いでカシナガコールLとエタノール、カシナガコールLとメチルフェニルアセテート、カシナガコールLとユーカリプトールの順であった(図-3)。これら候補化合物を一部混合した試験区においても、エタノールとフェロモン剤の組み合わせよりも高い効果は得られなかった(図-3)。同様の傾向が、島根県、滋賀県、新潟県、福島県で行われた野外試験でも報告されている(所ら 2010b)。

これらカイロモン候補化合物においては、高濃度による忌避効果も考えられる。しかし、希釈して揮散量を低くした誘引試験においても、誘引効果が高くなる現象は確認できなかったことが報告されている(所ら 2011)。したがって、カイロモン候補化合物を混合することにより、さらに効率的な誘引効果を発揮する可能性は否定できないが、混合濃度や揮散量等、さらなる実験が必要であると考えられた。

フェロモン剤に対して最も安定した誘引協力効果を示したエタノールの、揮散量と誘引効果の長野県における結果を図-4に示した。

エタノールの揮散量が多いほど、カシナガの捕獲数は増加する傾向がみられた(図-4)。この傾向は、滋賀県において行われた野外試験の結果と類似していた(所ら 2011, 2013)。カシナガでは、かなりのエタノール揮散量に対しても忌避効果は見られないことが示唆された。

(3) おとり木法による誘引力比較試験の結果

おとり木トラップ立木におけるエタノールの誘引協力効果を、従来のドリル穿孔による協力効果と比較した結果を図-5に示した。エタノールを誘引剤

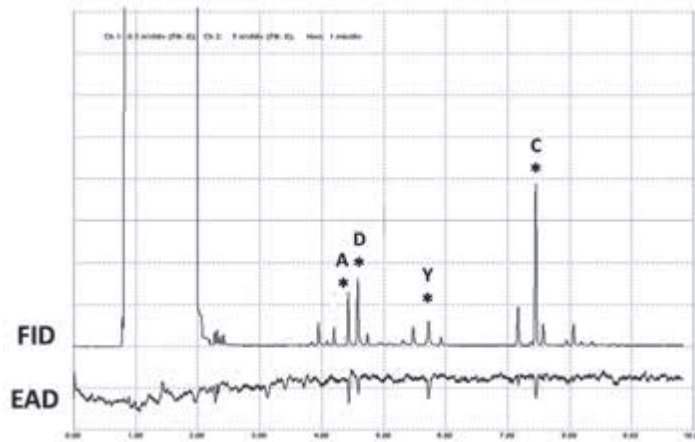


図-1 合成カイロモン候補化合物に対するGC-EAD分析の結果

A: アニソール, D: ベンズアルデヒド, Y: ユーカリプトル, C: メチルフェニルアセテート.
 注) FID: 検出された成分全てのクロマトグラム, EAD: カシナガ触角が反応した成分のクロマトグラムで触角が反応するとピークとなる.

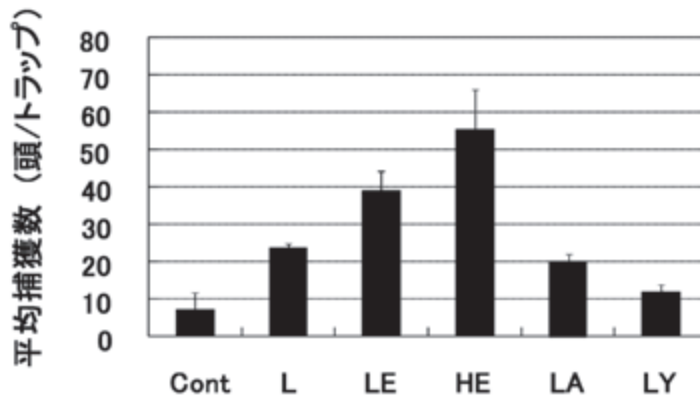


図-2 岐阜県におけるカイロモン候補化合物と合成フェロモン剤を用いた野外誘引試験の結果
 Cont: 無処理区, L: カシナガコールL, H: カシナガコールH, E: エタノール, A: アニソール, Y: ユーカリプトル.

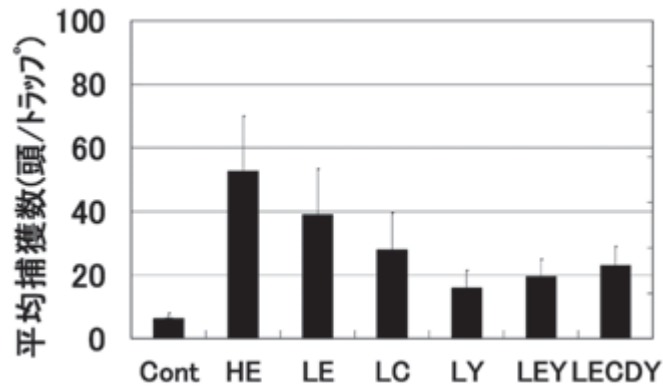


図-3 山形県におけるカイロモン候補化合物と合成フェロモン剤を用いた野外誘引試験の結果
 Cont: 無処理区, L: カシナガコールL, H: カシナガコールH, E: エタノール, C: メチルフェニルアセテート,
 Y: ユーカリプトル, D: ベンズアルデヒド.

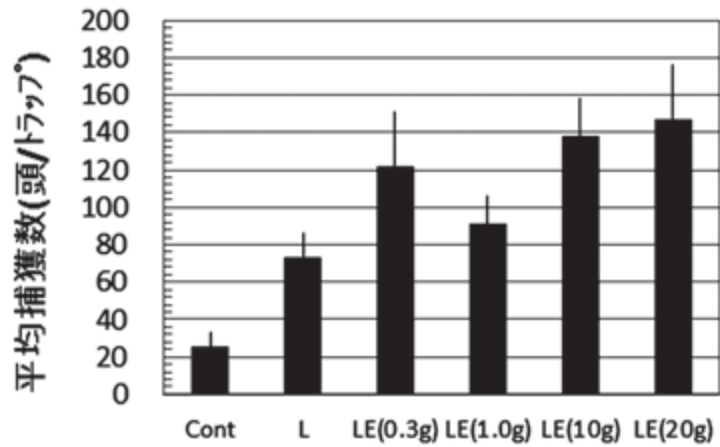


図-4 長野県における合成フェロモン剤と異なるエタノール量の併用による野外誘引試験の結果
 Cont: 無処理区, L: カシナガコールL, E: エタノール. () 内g数は1日当たり揮散量.

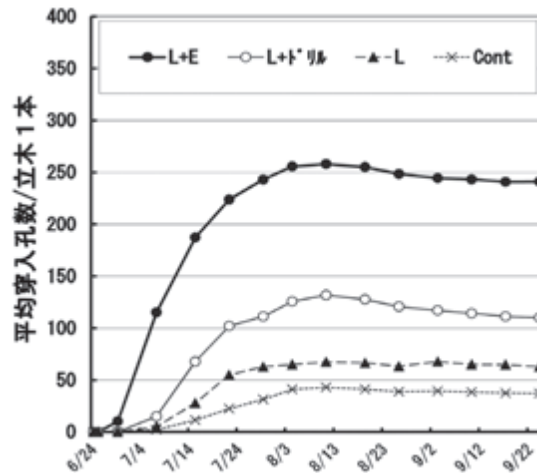


図-5 おとり木トラップ法における立木ドリル穿孔とエタノール併用との比較試験の結果

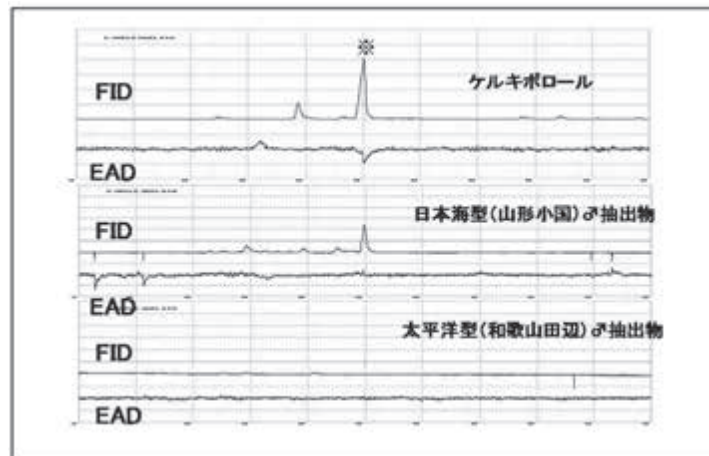


図-6 ケルキボロールおよびカシナガ雄抽出物に対するGC-EAD分析の結果
 FIDおよびEADは図-1に同じ.

として併用した方が、ドリル穿孔よりも2倍程度穿孔数が増加した。特に、穿孔初期に優れた誘引効果を発揮することが明らかとなった(図-5)。このことから、エタノール製剤を併用することによって、おとり木法の立木のドリル穿孔は不要になると考えられた。

(4) 太平洋型カシナガにおけるケルキボロールの有効性

太平洋カシナガの雄成虫のノルマルヘキサノール抽出物には、ケルキボロールピーク部にFIDのピークが認められないことから、ケルキボロールを含有しないことが判った(図-6)。またケルキボロールに対してEADのピークも見られないことから、触角の反応が認められないことが明らかになった。このことからケルキボロールが太平洋型カシナガの集合フェロモンではない可能性が高いことが確認できた。したがって、太平洋型カシナガをおとり木法で防除するためには、新たな誘引剤の開発が不可欠であると思われた。

IV おわりに

ナラ枯れ予防処理としてのおとり木法やおとり丸太法において、集合フェロモンは脱出飛翔を始めた初期のカシナガ雄成虫を、おとり木やおとり丸太にいち早く集めるトリガーとしての、重要な役割を果たしていると考えられる。

今回、集合フェロモンの誘引協力剤としてエタノールが有効であることが明らかとなり、サンケイ化学株式会社より、チューブにゲル状のアルコールを充てんした資材として製剤化された。この製剤は合成フェロモン剤の協力剤として、ナラ枯れ防除に貢献できるものと期待される。

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領域設定型研究「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」(2022:平成20~22年度)および、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「広葉樹資源の有効利用を目指したナラ枯れの低コスト防除技術の開発」(24030:平成24~26年度)の成果の一部であり、

長野県、山形県、岐阜県、滋賀県、新潟県、福島県、島根県、和歌山県、静岡県、三重県の関係各位には、現地調査ならびに技術的なご協力をいただいた。また、これらの皆様以外にも多くの関係者にご協力をいただきました。この場を借りて深謝いたします。

引用文献

- Hamaguchi K, Goto H (2010) Genetic variation among Japanese populations of *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae), an insect vector of Japanese oak wilt disease, based on partial sequence of nuclear 28S rDNA. *Appl Entomol Zool* 45: 319 ~ 328
- 伊藤進一郎・窪野高德・佐橋憲生・山田利博 (1998) ナラ類集団枯損被害に関する菌類. *日林誌*80: 170 ~ 175
- Kashiwagi T, Nakashima T, Tebayashi S, Kim C-S (2006) Determination of the absolute configuration of quercivorol, (1*S*,4*R*)-*p*-menth-2-en-1-ol, an aggregation pheromone of the ambrosia beetle, *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae). *Biosci Biotechnol Biochem* 70: 2544 ~ 2546
- 衣浦晴生・斉藤正一・中村人史・岡田充弘・小林正秀・阿部 豊 (2012) カシノナガキクイムシ捕殺用おとり木トラップ及びカシノナガキクイムシの捕殺方法. 特許庁特願 2007 ~ 061398
- 衣浦晴生・所 雅彦・栗生 剛 (2011) カシノナガキクイムシ太平洋型個体群の集合フェロモンの存在. 第62回応用森林学会要旨集: 30
- Kinuura H, Tokoro M, Saito S, Okada M, Kobayashi M, Ino M (2009) Control of Japanese oak wilt using aggregation pheromone of *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae). In: *Chemical Ecology of Wood-Boring Insects* (eds. Nakamuta K and Millar JG), pp.40 ~ 51. For Forest Prod Res Inst, Ibaraki
- 小林正秀 (2000) カシノナガキクイムシの各種広葉樹丸太への穿孔. *森林応用研究* 9(2): 99 ~ 103

- Kubono T, Ito S (2002) *Raffaelea quercivora* sp. nov. associated with mass mortality of Japanese Oak, and the ambrosia beetle (*Platypus quercivorus*). Mycoscience 43: 255 ~ 260
- Miller DR, Rabaglia RJ (2009) Ethanol and (-)-*a*-pinene: Attractant kairomones for bark and ambrosia beetles in the southeastern US. J Chem Ecol 35: 435 ~ 448
- 齊藤正一・市原 優・衣浦晴生・猪野正明 (2008) 集合フェロモン剤および共力剤の併用によるカシノナガキクイムシの誘引. 東北森林科学会誌 13 (2): 1 ~ 4
- 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ンプによるカシノナガキクイムシの大量誘殺. 第120回日林大会学術講演集CD-ROM: Pb205
- 所 雅彦・市原 優・衣浦晴生・齊藤正一・岡田充弘 (2010a) カシノナガキクイムシ集合フェロモンの誘引効果を高めるナラ類揮発性成分の探索—GC-MS分析の結果—. 関東森林研究 61: 1 ~ 4
- Tokoro M, Kobayashi M, Saito S, Kinuura H, Nakashima T, Shoda-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: Platypodidae). Bull For Forest Prod Res Inst 6: 49 ~ 57
- 所 雅彦・岡田充弘・衣浦晴生・齊藤正一・壽田智久・蛭田利秀・大橋章博・林 晋平・布川耕市・猪野正明 (2011) エタノールによるカシノナガキクイムシ誘引効率の向上. 第122回日林大会学術講要集CD-ROM: Pa2-101
- 所 雅彦・岡田充弘・壽田智久・蛭田利秀・衣浦晴生・齊藤正一・福井修二・大橋章博・布川耕市・本郷智明・猪野正明 (2010b) カシノナガキクイムシ集合フェロモンの誘引効果に対するナラ類揮発性成分の影響. 第121回日林大会学術講要集CD-ROM: Pc1-40
- 所 雅彦・吉濱 健・猪野正明 (2013) カシノナガキクイムシの信号化学物質と殺菌剤を用いた防除の試み. JATAFFジャーナル1(5): 34 ~ 38
- 上田明良・小林正秀・野崎 愛 (2001) カシノナガキクイムシの寄主からの臭いに対する反応の予備調査. 森林応用研究 10(2): 111 ~ 116
(2014.10.16受付, 2014.10.20掲載決定)

少量樹幹注入処理によるナラ枯れ枯損予防方法の開発

岡田充弘¹・斉藤正一²・猪野正明³・吉濱 健⁴・所 雅彦⁵

1. はじめに

カシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus*, 以下 カシナガ) が病原菌 (*Raffaelea quercivora*, 以下 ナラ菌) を媒介するブナ科樹木萎凋病による集団枯損 (以下 ナラ枯れ) は, ナラ類などが, 辺材部でのナラ菌の繁殖伸長によって通水阻害を起こし, 萎凋症状を呈して枯損する被害 (伊藤ら 1998; Kubono and Ito 2002) であり, 現在までに31都府県に拡大して, 大きな問題となっている。またナラ類は, 本病に対する感受性が高く, 特にミズナラ (*Quercus crispula*) は枯死率が高い (布川 1993)。

本病害に対する対策としては, 媒介昆虫のカシナガ, 病原菌のナラ菌, ナラなどの被害樹種の三者のつながりの一部を遮断することが重要である。そのため, 被害木に穿孔寄生しているカシナガの駆除 (齊藤ら 1999; 岡田ら 2007, 2010; 大橋 2012) や生立木への穿孔防止 (小林・萩田 2003; 小林・吉井 2014, 齊藤ら 2003; 大橋 2007; 江崎 2008) のための方法が開発され, 実用化されている。一方, ナラ菌に焦点をあて, カシナガが穿孔時に持ち込んだナラ菌の辺材内での伸長を抑制し被害を予防する方法として, 防カビ剤の樹幹注入処理法 (齊藤ら 2006) が開発された。その発展形として殺菌剤水溶液の樹幹注入処理法が開発され, 薬剤の農薬登録も完了し実用化された (岡田ら 2008; 齊藤ら 2014a)。この方法は, これまでのマツ材線虫病予防の樹幹注入処理 (松浦 1984) と同様に, 薬液を充填したノズル付注入容器を注入孔に挿し込んで処理する。そのため, 森林内で被害予防の作業を行う際, 以下の点が問題となる: ①大量の薬液の運搬, ②注入後の容器回収, ③回収した容器が廃棄物になる, ④注入孔1か所あたりの経費が1,000円以上と高価。また現行

処理は, カシナガの発生前に樹体内に成分を拡散させるため, 展葉期に注入処理が行われている。しかし, この時期の処理は, 予算や他の森林作業などとの関係で時間的・物理的な制約を受け実施が難しい。そのため, カシナガの穿孔と当年被害の発生が一段落する9月以降に, 翌年に向けた処理ができれば, 被害の発生状況にあわせた対策となり, 非常に有効である。

これらの問題点を解消できれば, 省力的かつ安価で, 廃棄物が少ない, より実用的な方法となる。そこで, 薬剤の有効成分濃度を高めて薬液量を大幅に少なくして, 注入容器を使わずに樹幹注入する方法の開発を目的とし, 少量樹幹注入処理の枯損予防効果, 少量注入に適した処理方法と作業コスト低減効果, および適切な処理時期などについて検討した。

2. 方法

(1) 供試薬剤と処理区

ナラ枯れ防除薬剤として, 既にトリホリン0.036%乳剤 (商品名ウッドキングSP, 以下 SP) が農薬登録されている。以下の実験ではSPの有効成分であるトリホリンの濃度を高めたトリホリン15%乳剤 (以下 KW) を供試薬剤とした。また, 対照薬剤としてはSPを使用した。なお, KWは予備試験においてナラ類樹幹辺材部での有効成分の垂直および水平方向への拡散が確認されている。

(2) KWの樹幹注入処理による枯損予防効果

試験地は, 長野県北安曇郡小谷村梅池のミズナラ, コナラを主体とする広葉樹二次壮齢林の被害林分 (標高約780m, 2011年被害初確認, 以下 梅池) とし, ミズナラ42本を供試した (表-1)。

各処理区では, 表-2に従って薬剤を注入した。

A small amount injection method of fungicide for preventing mass mortality of oak trees by Japanese oak wilt disease

¹OKADA, Mitsuhiro, 長野県林業総合センター; ²SAITO, Shoichi, 山形県森林研究研修センター; ³INO, Masaaki, サンケイ化学株式会社;

⁴YOSHIHAMA, Takeshi, サンケイ化学株式会社; ⁵TOKORO, Masahiko, (独)森林総合研究所

表-1 KW樹幹注入処理による枯損予防試験結果 (2012年 小谷村柵池)

処理区	ミズナラ 供試 本数	胸高 直径 (平均 ±SD)	注入成 率 (平均 ±SD)	薬害の有無			供試木の状態				
				樹冠の 状態	1週間 後	2週間 後	4週間 後	生死 など 区分	穿孔無 (0孔)	穿孔少 (49孔 以下)	穿孔多 (50孔 以上)
KW区	15	22.1 ± 6.22cm	100.0 ± 0.0%	正常 一部枯れ 半分枯れ	15	15	15	枯死 異常 正常	12	0	3
SP区	14	21.1 ± 6.38cm	93.3 ± 14.1%	正常 一部枯れ 半分枯れ	14	14	14	枯死 異常 正常	7	2	3
対照区	13	23.8 ± 7.26cm	- - -	正常 一部枯れ 半分枯れ	13	13	13	枯死 異常 正常		1	3

表-2 樹幹注入各処理区の注入方法の差異

区分	注入孔あたりの 薬液注入量	注入孔ドリル径 (mm)	注入方法
KW区	0.5ml	5mm	注入孔に1孔あたり0.5mlを注入し、自然圧で注入した。
SP区	200ml	7mm	注入孔に薬液入り注入容器のノズルを挿し込み自然圧で注入した。
対照区	-	-	注入孔等は作成せず。

注入孔は、地上高20cmの樹幹に水平方向に対して30～45度となるように、充電式ドリルを使用して、深さ50～70mmの孔を開け作成した。立木当たり注入孔数は、SPについては所定の方法により決定した。KWでは、1注入孔あたりのトリホリン量がSPと同量となるように薬液量を決定し、注入には新たに開発した少量注入器具 (写真-1, 以下 器具) を用いた。なお、KWとSPの注入は、2012年5月30日と2012年6月13日にそれぞれ実施した。

調査は、薬液の注入状況、処理木の外観上の薬害の有無、萎凋状況、および地上高2mまでのカシナガ穿孔数について実施した。薬液の注入状況は、KWは注入孔内に薬液がみられなくなった時点を終了とし、SPは処理1週間後に薬液残量を測定して、注入予定量に対する注入済み量の比を注入成功率として算出した。薬害の有無は、注入1～4週後に樹冠を観察し、3段階 (「正常」, 「一部枯れ」, 「半分枯れ」) に区分した。萎凋状況は、供試木の外観を「正常」, 「異常」 (樹冠の一部が萎凋あるいは変色), 「枯死」 (樹冠の葉の全体が褐変), の3段階に区分して



写真-1 少量樹幹注入用注入器による注入作業

調査した。また、カシナガ穿孔数は、「無」, 「穿孔少」 (49孔以下), 「穿孔多」 (50孔以上) の3段階に区分した。調査は、2012年6月22日～10月14日に行った。

(3) KWとSPの処理作業の比較

試験地は、長野県北安曇郡小谷村蕨平のミズナラ、コナラを主体とする二次壮齢林の被害林分 (標高820～850m, 被害状況:平成22年被害初確認, 以

表-3 KW樹幹注入処理による枯損予防試験結果 (2013年 小谷村 蕨平)

処理区	ミズナラ 供試 本数	胸高 直径 (平均 ±SD)	注入成 功率 (平均 ±SD)	薬害の有無			供試木の状態				
				樹冠の 状態	1週間 後	2週間 後	4週間 後	生死 など 区分	穿孔無 (0孔)	穿孔少 (49孔 以下)	穿孔多 (50孔 以上)
KW区	10	25.3± 5.37cm	100.0± 0.0%	正常 一部枯れ 半分枯れ	10	10	10	枯死 異常 正常		4	6
SPI区	10	20.4± 2.07cm	100.0± 0.0%	正常 一部枯れ 半分枯れ	10	10	10	枯死 異常 正常	1	2	4
対照区	15	23.9± 3.09cm	-	正常 一部枯れ 半分枯れ	-	-	-	枯死 異常 正常			6 2

表-4 KW樹幹注入の秋期処理による枯損予防試験結果

試験地 処理年	処理区	ミズ ナラ 供試 本数	胸高 直径 (平均 ±SD)	注入成 功率 (平均 ±SD)	薬害の有無			供試木の状態			
					樹冠の 状態	1週間 後	翌年 6月	生死 など 区分	穿孔無 (0孔)	穿孔少 (49孔 以下)	穿孔多 (50孔 以上)
柵池 2011年 秋処理	KW区	13	20.5± 5.51cm	100.0± 0.0%	正常 一部枯れ 半分枯れ	13	13	枯死 異常 正常	4	6	3
	対照区	13	23.8± 7.26cm	-	正常 一部枯れ 半分枯れ	-	-	枯死 異常 正常		1	3
蕨平 2012年 秋処理	KW区	15	25.3± 4.06cm	100.0± 0.0%	正常 一部枯れ 半分枯れ	15	15	枯死 異常 正常	4	1	7
	対照区	15	23.9± 3.09cm	-	正常 一部枯れ 半分枯れ	-	-	枯死 異常 正常	4	3	

下 蕨平)とし、ミズナラ35本を供試した(表-3)。

薬剤注入処理を、前述の方法で2013年5月15日に実施した。作業者ごとに処理作業をデジタルビデオで撮影し、作業を①作業者の移動、②注入容器などの資材運搬、③ドリル穿孔による注入孔の作成、④薬剤注入に分けて、それぞれの作業時間を計測した。薬剤注入後は、前述の方法で薬液の注入状況、処理木の外観上の薬害の有無、萎凋状況、および地上高2mまでのカシナガ穿孔数について調査した。

(4) 樹幹注入処理の実施時期の検討

試験は、2011年は柵池で、2012年は蕨平で実施した。供試薬剤はKWとし、柵池ではミズナラ26本

(KW区、対照区各13本)、蕨平ではミズナラ30本(KW区、対照区各15本)を供試した(表-4)。

薬剤注入処理を、前述の方法で紅葉が始まる前の秋期、すなわち柵池では2011年10月4日、蕨平では2012年10月19日に実施した。

注入処理後は、前述の方法で薬液の注入状況、処理木の外観上の薬害の有無、萎凋症状、および地上高2mまでのカシナガ穿孔数を調査した。

3. 結果と考察

(1) KWの樹幹注入処理による枯損予防効果

KW区では、注入当日に注入成功率100%を達成

した。SP区でも、平均注入成功率は93.3%であった(表-1)。登録薬剤であるベノミル水和剤(有効成分ベノミル50%)500倍液の樹幹注入処理では、注入成功率が低くなると成分が樹体内に十分に拡散せず、枯損予防効果が低くなる(齊藤ら2014a)ことが指摘されている。今回の処理では、両区の比較に十分な薬剤が注入できたと考えられた。

また、薬液の注入による薬害の発生は認められず、KW区、SP区ともに注入1~4週間まで、全ての供試木が正常であった(表-1)。齊藤ら(2014b)は、KWを本試験の1孔あたりの注入量の倍量の注入を行い、供試木に薬害の発生がみられなかったことを報告している。これらのことから、本試験のKW処理量では薬害は発生しないと考えられた。

各試験区における供試木のカシナガ穿孔数、および萎凋状況をみると、KW区では穿孔多(50孔以上)の供試木3本全てが正常で、SP区では5本中3本が正常であり、残りの2本は異常であった。これに対して対照区では、穿孔多の供試木6本中3本が枯死し、3本が異常であった(表-1)。また、穿孔少の供試木1本も異常であった(表-1)。穿孔多の供試木枯死率は、対照区が50%であったのに対して、KW区、SP区が0%であるとともに、枯死を含む異常木の発生状況を比較すると、対照区とKW区では有意な差がみられた(Fisherの正確確率検定 $p=0.011904$)。これらのことから、KWの少量樹幹注入処理は、SPと同等のナラ枯れ枯損予防効果が認められると考えられた。また、山形県で実施された枯損予防効果試験においても、KW区の枯死率は、対照区の枯死率に対して低く、今回の結果を支持する結果であった(齊藤ら2014b)。

(2) 注入器具を用いた少量注入処理と現行処理の作業比較

KWとSPの1孔あたりの処理時間(ドリル穿孔+薬剤注入)を比較すると、KWが平均21.7秒に対して、SPは平均51.7秒であり、KWではSPの1/2以下に処理時間が短縮された(図-1)。また、KWは器具の操作が容易なため、処理時間のバラつきが小さいが、SPは注入孔へのノズル挿入に手間取る場

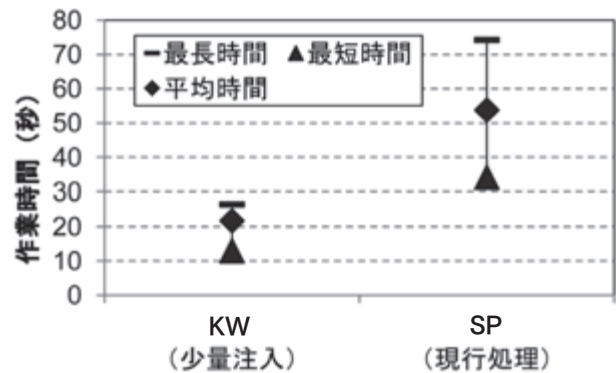


図-1 KW区とSP区の注入孔あたりの平均作業時間(ドリル穿孔+薬剤注入)の比較

合があり、バラつきが大きかった(図-1)。山形県での調査でも同様に、KWの処理時間はSPの処理時間の1/2以下に短縮されたことから(齊藤 私信)、KWを使用することにより、作業時間は半減すると考えられた。また、KWは注入処理が処理当日に完了したが、SPは1週間後に注入容器の回収で10分程度の時間を必要とした。

KWは、1孔あたりの注入量が0.5mlとSPの注入量の1/400であることから、注入器に装着した50ml入容器ですべての処理が可能であった。これに対して、SPは、45本の注入容器(9kg以上)の運搬が必要であった。つまり、KWは現行処理に比べ作業時間だけでなく、資材の運搬面でも大幅に作業が軽減された。

なお、各処理区のカシナガ穿孔数、および萎凋状況をみると、梅池同様にKWの高い枯損予防効果が確認された(表-3)。

これらのことから、KWの少量樹幹注入処理は、高い枯損予防効果と処理時間が大幅に短縮できる高い作業性の両方を兼ね備えていると考えられた。

(3) 樹幹注入処理の実施時期の検討

各処理区における供試木のカシナガ穿孔数、および萎凋状況を表-4に示した。梅池においては、KW区では穿孔多の供試木3本全てが正常で、枯死木は発生しなかった。一方、対照区では6本中3本が枯死し、残る3本も異常であった。蕨平では、KW区では穿孔多の供試木10本中7本が正常、2本

が枯死，1本が異常木であったが，対照区では，8本中6本が枯死し，残る2本も異常であった。

これらの結果は，前述の枯損予防効果の結果とほぼ同様であり，対照区に対して明らかに枯損予防効果を示している。また，山形で実施された秋期の注入処理では，KW区では枯損木はなく，対照区の平均枯損率が29.0%であった（齊藤ら 2014b）。これらのことから，秋期のKWによる少量注入処理は，春期処理と同等の枯損予防効果があることが明らかになった。

(4) 少量注入処理によるコスト削減効果の検討

KWとSPの1孔あたりの処理時間の結果を用いて，両者のコストを計算し，コスト削減効果を検証した。コスト計算の条件は，以下のとおりである。薬剤価格：KW50ml (100孔分) 39,800円 (税抜)，SP200ml (1孔分) 880円 (税抜)；労務単価：普通作業員15,700円/日；処理木：ナラ類 (DBH40cm，注入孔数11孔)；作業員の1日作業時間：6時間。

これらの条件で試算すると，KWは処理木1本当たり6,190円であるのに対して，SPは13,920円であった。このコストの低下は，有効成分の高濃度化による薬液の少量化や注入容器への充填の不要化などによって，薬剤価格が大幅に低下したことに加え，作業の省力化と作業時間の減少，それらに伴う作業員数の減少によるものであった。

4. おわりに

高濃度薬剤KWを用いた少量樹幹注入処理は，現行の処理と同等以上の枯損防止効果が認められることが明らかになった。また，KWとその少量注入器具の開発により，現行の処理に比べて，作業時間，作業コストともに大幅に軽減できること，注入容器を不要とすることで，廃棄物を大幅に削減できることが明らかになった。さらに，KWは，秋期処理の有効性が先に確認されたSP（齊藤 2013）同様に秋期も処理が可能であった。今回の試験を含む試験結果を基に，KWは2013年7月10日に微量注入用ウッドキングDASH（農林水産省第23301号）として農薬登録され，実用化された。

今後は，薬剤の効果持続性を検討するとともに，有効成分を樹体内に効率的に拡散させるために，現状では多数の注入孔が必要である点などを改良し，より効果が安定する手法の検討が望まれる。

本研究は，農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「広葉樹資源の有効利用を目指したナラ枯れの低コスト防除技術の開発（課題番号24030，平成24～26年度）」で実施した。また，長野県林務部，北安曇郡小谷村の関係各位には，現地調査ならびに技術的な御協力をいただいた。この場を借りて深謝する。

引用文献

- 江崎功二郎 (2008) フェニトロチオン乳剤の樹幹散布によるカシノナガキクイムシの穿入防止効果. 日林誌 90: 391～396
- 伊藤進一郎・窪野高德・佐橋憲生・山田利博 (1998) ナラ類集団枯損被害に関する菌類. 日林誌 80: 170～175
- 小林正秀・萩田 実 (2003) カシノナガキクイムシのビニールシート被覆による防除法. 森林防疫 52: 137～147
- 小林正秀・吉井 優 (2014) ブナ科樹木萎凋病（ナラ枯れ）の防除法. 森林防疫 63: 52～66
- Kubono T, Ito S (2002) *Raffaelea quercivora* sp. nov. associated with mass mortality of Japanese oak, and the ambrosia beetle (*Platypus quercivorus*). Mycoscience 43: 255～260
- 松浦邦昭 (1984) 樹幹注入法によるマツ材線虫病の防除. 植物防疫 38(1): 27～31
- 布川耕一 (1993) 新潟県におけるカシノナガキクイムシの被害とその分布について. 森林防疫 42: 210～213
- 大橋章博 (2007) 接着剤を利用したナラ類集団枯損被害の防除. 第118回日林講要: PB076
- 大橋章博 (2012) ナラ枯れ被害木の割材によるカシノナガキクイムシの駆除. 中森研60: 151～152
- 岡田充弘・近藤道治・小山泰弘・山内仁人・尾崎伸行・芳沢雅行・松尾一穂・河野恵里・武田芳夫 (2008)

- カシノナガキクイムシによるナラ枯れ被害予防方法の検討. 中森研 56: 63 ~ 64
- 岡田充弘・小山泰弘・山内仁人 (2007) カシノナガキクイムシによるナラ枯れ被害木の薬剤処理方法の検討. 中森研 55: 57 ~ 58
- 岡田充弘・武田芳夫・山内仁人 (2010) カシノナガキクイムシによるナラ枯れ被害木の薬剤処理方法の検討(II). 中森研58: 11 ~ 12
- 齊藤正一 (2013) 萎凋病防除薬剤試験 (ナラ枯れ予防剤に関する試験) (樹幹注入). 平成24年度林業薬剤等試験成績報告集: 68 ~ 74
- 齊藤正一・中村人史・三浦直美 (2003) 薬剤と接着剤によるナラ類集団枯損被害における枯死木の新たな防除の試み(I). 林業と薬剤166: 18 ~ 24
- 齊藤正一・中村人史・三浦直美・小野瀬浩司 (1999) ナラ類集団枯損の薬剤防除法. 森林防疫 48: 84 ~ 94
- 齊藤正一・中村人史・中江純一郎・山本克哉 (2006) 防カビ剤の樹幹注入によるミズナラの枯損被害防止. 東北森林科学会誌 11: 92 ~ 96
- 齊藤正一・中村人史・岡田充弘・本間航介 (2014a) 殺菌剤ベノミル水和剤の樹幹注入によるナラ類集団枯損被害に対する予防効果. 日本農薬学会誌39 (1): 10 ~ 17
- 齊藤正一・岡田充弘・鶴田英人・猪野正明 (2014b) 高濃度トリホリン乳剤の樹幹注入によるナラ枯れの予防. 東北森林科学会誌 19: 12 ~ 17
(2014.9.18受付, 2014.10.1掲載決定)

ブナ科樹木萎凋病に対するスタジイでの殺菌剤注入技術とその他常緑樹への展開

衣浦晴生¹・所 雅彦²・後藤秀章³・栗生 剛⁴

1. 緒言

ミズナラやコナラなどの集団的枯死被害（＝ブナ科樹木萎凋病，以下 ナラ枯れ）は，全国的な広がりをみせており，被害地域は今も拡大し続けている。さらに近年ではナラ類のみならず，常緑樹のスタジイやマテバシイなどのシイ類やウバメガシなどのカシ類にまで枯死被害が発生し，「ナラ枯れ」という表現があまり適当ではない状況も発生している（衣浦・後藤 2013）。

このナラ枯れ被害の拡大に対しては，これまでに様々な防除法が開発されてきているが，殺菌剤の樹幹注入による枯死予防法は，ナラ類に対して効果が高いことが知られている（斉藤ら 2006；斉藤・野崎 2008）。本方法は，健全木に事前に殺菌剤を注入しておき，カシノナガキクイムシ（以下 カシナガ）の穿入に伴い感染する病原菌（*Raffaella quercivora*，以下 ナラ菌）の伸長を抑制することで，通水阻害の発生を抑えて枯死予防する方法である。ミズナラやコナラなどの落葉ナラ類では殺菌剤が農薬登録されているが，カシ類やシイ類など常緑樹に関しては調査例が乏しく，その登録薬剤がない状況である。

そこでカシナガの穿入によるナラ菌の伸長で枯死する可能性のある常緑シイ・カシ類に対して，殺菌剤の樹幹注入処理に枯死予防効果があるか調査・研究を行ってきた。ここではその判定法から注入技術の展開，その特徴・注意点などのこれまでに明らかとなった知見を中心に，東京島嶼部のスタジイ，紀伊半島のウバメガシ，その他を含めて樹種毎に総括する。

なお本研究は，農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「広葉樹資源の有効利用を目指したナラ枯れの低コスト防除技術の開発（課題番号24030）」，

および東京都「平成23～25年度伊豆諸島におけるカシノナガキクイムシ実態調査・薬剤注入手法調査」により実施した。

2. スタジイ

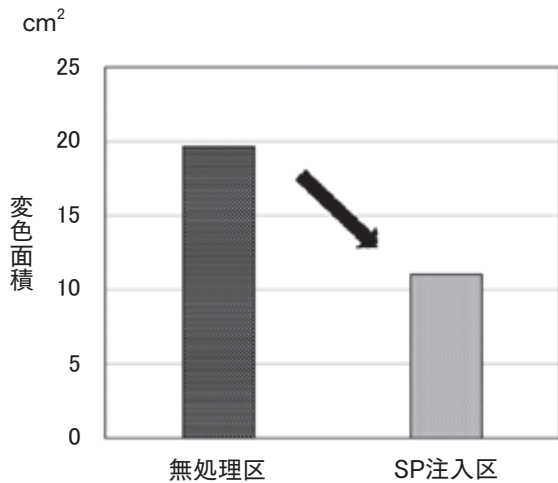
(1) 調査の背景

2010年，東京島嶼部においてカシナガ穿入加害によるスタジイの大量枯死被害が発生した（東京都環境局自然環境部 2011）。スタジイの枯死が拡大すると，島嶼地域の貴重な植生や観光産業，黄八丈などの産業に影響を与える可能性がある。そのため，スタジイに対する殺菌剤樹幹注入による枯死予防効果の有無を検討した。

またスタジイは，ナラ類に比べて本病に対する感受性が低く枯死しにくい傾向がある。このため，殺菌剤の枯死予防効果を枯死率で判定することが困難である。そこで，斉藤・中村（2013）が示した，ナラ類の殺菌剤樹幹注入処理木と無処理木へナラ菌を人工接種した際に生じる変色面積を比較して，ナラ菌に対する枯死予防効果を簡易に判定する方法に準じて，殺菌剤樹幹注入のスタジイ枯死予防効果を検討した。

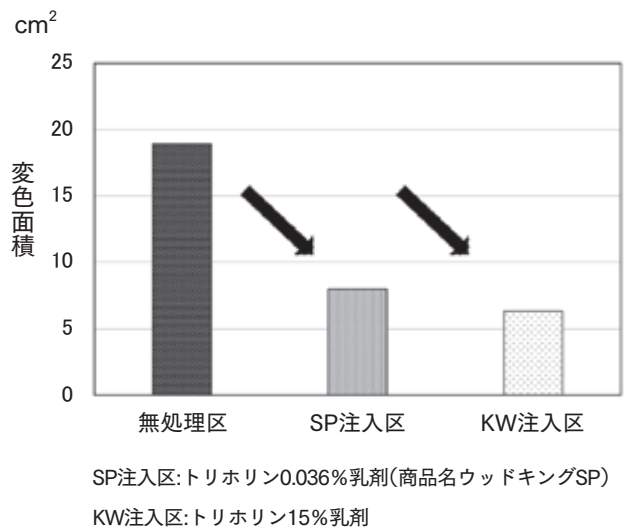
(2) 材料と方法

試験は2012年，東京都島嶼部の八丈島および三宅島のスタジイを主体とする常緑樹林で行い，供試薬剤を登録薬剤のトリホリン0.036%乳剤（商品名ウッドキングSP，以下 SP）とSPの有効成分であるトリホリンの濃度を高めたトリホリン15%乳剤（以下 KW）とした。接種源として，各島のスタジイ被害木から分離し保存してあるナラ菌の菌株を使用した。殺菌剤を，樹幹の地上高80cmの位置に，ナラ類での処理（斉藤・中村 2013）と同様に注入した。樹体



SP注入区:トリホリン0.036%乳剤(商品名ウッドキングSP)

図-1 八丈島のスタジイに対するナラ菌接種木辺材の平均変色面積



SP注入区:トリホリン0.036%乳剤(商品名ウッドキングSP)

KW注入区:トリホリン15%乳剤

図-2 三宅島のスタジイに対するナラ菌接種木辺材の平均変色面積

内に薬剤が分散したと思われる殺菌剤樹幹注入の数週間後に、殺菌剤注入位置の上方、および下方50cmの位置に、接種孔(径8mm,長さ50mm)を水平にあって、ナラ菌を培養したおがくずフスマ培地を詰めた。

各試験区2~4本の供試木はナラ菌接種3~4週後に全て伐採し、ナラ菌を接種した部分を中心にして20~30cmの長さで採取し、さらにナラ菌接種部位を厚さ2~3cmで調査用円板試料として採取した。この円板木口表面の画像をスキャナーによって保存後、辺材の菌接種部位を除いた変色している部分の面積を測定した後、変色部と無変色部から菌類の分離を行った。

なお、詳細は衣浦ら(2014)を参照されたい。

(3) 結果と考察

すべての試験地の供試木では、薬液の注入による薬害の発生は認められなかった。

各試験地における辺材の変色状況をみると、八丈島ではSPを注入した場合の変色面積は薬剤処理をしていない無処理区の56%と小さく、SPの変色抑制効果は約4割と考えられた(図-1, 矢印は変色抑制効果を示す)。三宅島でも、無処理区における変色面積と比べて、SPのそれは42%、KWでは34%

であり、変色抑制効果はSPでは約6割、KWでは約7割と考えられた(図-2)。

またナラ菌の分離試験では、無変色部分からはナラ菌が全く分離されず、逆に変色している辺材部分からは100%、ナラ菌が分離されたことから、変色部分はナラ菌の蔓延による通水阻害部分であると考えられた。

ナラ類では、殺菌剤注入木の変色面積が無処理木の10%以下(変色抑制効果が9割以上)なら有意にナラ菌の伸長抑制効果があるものと判断できると報告されている(齊藤・中村 2013)。

今回の結果では、スタジイの殺菌剤樹幹注入処理木の辺材変色面積は、無処理木に比べて小さく、通水阻害部分の発生が抑制されていた。また、無変色部からはナラ菌が分離されなかった。これらのことから、スタジイでも変色範囲を比較することで、簡便にナラ菌の樹体内の分布を推定し、殺菌剤のナラ菌伸長抑制効果を判断可能と考えられたが、その変色抑制割合はナラ類とは異なっていた。しかしスタジイでは、カシナガ穿入生存木の変色面積は、穿入枯死木の80%程度であったことから、薬剤によって2割以上変色を抑制できれば、枯死が予防できると考えられている(衣浦ら 2014)。このため、SP、

KWはスタジイに対して枯死予防効果があると考えられた。

3. ウバメガシ

(1) 調査の背景

紀伊半島南部で、1999年、三重県、奈良県、和歌山県にまたがる地域で初めてナラ類・カシ類の集団枯死被害が確認された。その後被害地域は拡大し、和歌山県内では2012年には備長炭の原料であるウバメガシを含む27.59haの被害が発生した（和歌山県農林水産部 2014）。そこで、ウバメガシの被害対策として、殺菌剤樹幹注入処理の枯死予防効果を検討した。

(2) 材料と方法

試験は2013年、和歌山県田辺市、三重県南伊勢町のウバメガシを主体とする二次林で行い、供試薬剤をスタジイ同様、SPとKWとした。ナラ菌の接種から伐倒・調査円板の採取、菌類の分離に関しても、スタジイ同様に調査を行った。

(3) 結果と考察

すべての試験地の供試木では、薬液の注入による薬害の発生は認められなかった。

和歌山県田辺市の試験地では両剤ともに、処理木の変色面積が無処理木の約70%であったことから、薬剤注入処理によって約3割の変色抑制効果が確認できた。

齊藤ら（未発表）が熊本県熊本市のウバメガシ人工林で実施したKW樹幹注入処理試験では、ナラ菌を接種した辺材部の変色面積は無処理木の3割未満であり、和歌山における今回の結果よりも高い7割以上の変色抑制効果が確認された。また、この試験において辺材の無変色部の薬剤成分は、30ppmを上回っていたことから、供試木の辺材変色の抑制は、薬剤成分によるナラ菌伸長抑制効果であると判断された。これらのことから、ウバメガシでは複数の地域において、薬剤の効果で無処理区の3割以上の変色抑制効果が認められたことになり、ナラ菌の伸長抑制による枯死予防効果が認められた。

しかし、三重県南伊勢町では無処理区よりも薬剤

処理区の変色が大きくなる場合があるなど、処理に関わらず変色面積のばらつきが大きかった。この原因としては、供試木の心材率が高いものや不規則に腐朽が入っているものがあり、ナラ菌接種による変色が全体として少ない場合や、ナラ菌による変色とそれ以外の変色との区別が困難な場合があることなどが考えられた。そのため、伐倒時に腐朽や異常の見られない健全な供試木で評価すれば、薬剤処理の効果が正しく判定できると考えられた。

4. 他のシイ・カシ類

近年、九州南部から島嶼地域においては、マテバシイやスタジイ、アラカシなどにカシナガが穿入して枯死する被害が発生している（衣浦・後藤 2013）。そこで鹿児島県出水市のアラカシ二次林で試験を行い、供試薬剤をウバメガシ同様、SPとKWとして薬剤注入試験を行った。試験方法は、ウバメガシ同様の内容で実施した。

その結果アラカシでは、スタジイ、ウバメガシと同様に、薬剤処理木の変色面積は無処理木の70%以下となり、3割程度の変色抑制効果が確認された（衣浦 未発表）。

5. まとめ

常緑シイ・カシ類は、ナラ菌に対する感受性が弱く、枯死しにくい樹種であることから、ナラ類で既に用いられているナラ菌接種による樹幹注入処理の効果判定（齊藤・中村 2013）を行った。その結果、スタジイ、ウバメガシではSP、KWともに枯死予防効果があることがわかった。

ナラ類では、SP、KWともに薬剤注入時期は着葉期となっている。しかし、常緑のシイ・カシでは注入した薬液がほとんど樹体内に注入されても、樹種や注入時期によって樹体内での薬剤成分の拡散が異なっていた（衣浦 未発表）。これに関して具体的なデータは割愛するが、薬剤の樹体内の拡散には、スタジイは春期～夏期、ウバメガシは秋期～冬期の注入が適すると考えられた。これらにより、スタジイではSP、KW（商品名：ウッドキングDASH）とも

に適用拡大が承認され（平成26年7月23日）、枯死予防法として実用化された。

ナラ枯れでは、スダジイ、ウバメガシだけでなく、マテバシイやアカガシなどの常緑広葉樹でも枯損が見られる。このため、今後はこれらの樹種でもSP、KWの枯死予防効果を解明していく必要がある。

引用文献

衣浦晴生・後藤秀章（2013）ナラだけではないナラ枯れ. JATAFFジャーナル1(5)：14～18
衣浦晴生・所 雅彦・後藤秀章（2014）スダジイへのナラ枯れ予防薬剤注入によるナラ菌伸長抑制効果の検討. 林業と薬剤 No.207：1～6
斉藤正一・中村人史（2013）ナラ枯れ予防殺菌剤の

ナラ菌接種によるナラ菌伸長抑制効果判定の検討. 林業と薬剤 No.204：1～5

斉藤正一・中村人史・中江純一郎・山本克哉（2006）防カビ剤の樹幹注入によるミズナラの枯死被害防止. 東北森林科学会誌 11：92～96

斉藤正一・野崎 愛（2008）第7章 被害形態別の防除方法. 林業普及双書157, 全国林業改良普及協会 137～157

東京都環境局自然環境部（2011）平成23年度「伊豆諸島における森林被害状況調査」委託報告書, 25pp

和歌山県農林水産部森林・林業局（2014）平成26年度森林・林業及び山村の状況：9

（2014.10.6受付, 2014.10.8掲載決定）

大量集積型おとり丸太によるナラ枯れ防除法

齊藤正一¹・岡田充弘²・箕口秀夫³

1. はじめに

ブナ科樹木萎凋病によるナラ類の集団枯損被害（以下 ナラ枯れ）は拡散が続いており、その防除法の開発は緊急を要している。本病は落葉ナラ類（ミズナラ、コナラ等）や常緑シイ・カシ類（スダジイ、ウバメガシ等）に被害を与えており、中でもミズナラでは枯死率が高い（布川 1993）。近年の被害で、コナラやミズナラを主としたナラ枯れ被害は、2010年までには北は青森県、西は山口県まで発生しており、2013年現在、本州では山梨県、埼玉県、東京都、神奈川県、千葉県、茨城県、栃木県で被害がないだけで、被害終息の目処は立っていない。東北地方では山形県を主として全県で被害が発生しており、ミズナラの現存量の多さを反映して被害量も甚大である。また、海岸林内にはミズナラ・コナラ・カシワが点在し、それらが感染の経路となるため、被害の北進スピードは極めて速い（齊藤・柴田 2012）。

被害が拡大する中、これまでに多数の防除法が開発されている。枯死木の駆除方法として、殺虫剤による立木や丸太の燻蒸処理法（齊藤ら 1999, 2000; 齊藤・野崎 2008; 岡田 2010）、短木処理法（大橋・佐藤 2013）が開発・実用化された。健全木の予防方法として、シートで立木を被覆する方法（小林・萩田 2003）、粘着剤等の散布（齊藤ら 2003; 齊藤 2005; 増田 2005; 大橋 2007）、殺虫剤散布（江崎 2008）、殺菌剤の樹幹注入（齊藤ら 2014a, 2014b）が順次実用化された。しかし、カシノガキクイムシ（以下 カシナガ）の繁殖力が大きいこと、膨大なナラ類生立木の現存量全てを防除できないため、被害の拡大は残念ながら止まらない現状にある。

拡大する被害の軽減には、ミズナラやコナラを主とする地域ではナラ菌を媒介するカシナガの大量補殺が有効である。先行研究として、旧熊本営林局で

は、国有林に自生する70～130年生のカシ類を伐採し、餌木として配置してカシナガを誘引寄生させて、焼却駆除する防除試験を実施している。餌木とした丸太には多数のカシナガの誘引が確認され、周囲での被害が減少した事、カシナガを誘引した餌木は翌年春までの間に全て製炭するか焼却すれば駆除できると記録されている。カシナガの性質を利用し、生立木を伐採して餌木にカシナガを寄生させて、この材料を木炭などでも利用していくという、非常に効果的な試験・研究である（熊本営林局 1941）。また、カシナガはナラ類の生立木にマスアタックを行い、樹幹内に穿入して繁殖するが、この際に、カシナガの集合フェロモンが作用している事も明らかになっている（Kinuura 2002）。そこで、筆者は、伐採したばかりの長さ1mのナラ類の丸太（1 m³程度）とカシナガの集合フェロモン剤（ケルキボロール；Tokoro *et al.* 2007）によるカシナガの誘引方法を検討した。その結果、カシナガの密度が高い激害や中害などの地域においた場合、丸太の集積方法に関係なく、丸太を井桁に組んだ場合でも、木口面をそろえて集積した場合でも、カシナガを多数誘引できる事がわかった（齊藤 2013）。

このことから、カシナガを大量に誘引して被害を軽減するため、未被害地のナラ類を伐採して丸太を採取し、大量に集積し、これに集合フェロモン剤を付けてカシナガを大量に誘引し、その後チップ化して駆除を達成し、燃料用などとして利用する方法を検討した。さらに、丸太を採取した林分が確実に更新可能かどうか確認し、被害防除を単なる手法開発にとどめず、被害の軽減・木材利用・森林の再生という三位一体の防除技術として大量集積おとり丸太法を提案できるか検討した。

2. 材料と方法

(1) 現地に設置した大量集積型おとり丸太によるカシナガの誘引実証試験

大量集積型おとり丸太によるカシナガの誘引実証試験は、2010～2014年に未被害地のナラ類の健全木から採取した末口15cm、長さ2mの大量の丸太をナラ枯れ被害地に集積して行った。試験地は、2010～2014年において設置に協力が得られた山形県西置賜郡小国町・飯豊町、寒河江市、西村山郡西川町で、26箇所、合計49試験地である。

丸太は、林道の退避場や土場跡、林道と接する平坦なスギ林内など比較的広い空間を確保できる場所に集積し、林道側に木口を向けて発散されるナラ類の木の匂い(カイロモン)が広く開いた路線の空間に発散するようにした。設置場所当たり材積が20m³以上になるように、場所の形状に応じて高さ1～5m、幅4～25mに、運搬してきた丸太をグラップルなどで再び集積して設置した。さらに集積した丸太へのカシナガの誘引を促進するために、カシナガの集合フェロモン剤(サンケイ化学製、カシナガコール2mg入り)2本を丸太の中央付近に分散して設置した。健全木の伐採・丸太の採取・運搬を4～6月上旬、集合フェロモン剤の設置をカシナガの初発日前の6月中旬、推定誘引穿入虫数の測定を8月下旬～9月上旬に実施した。カシナガの誘引状況は被害程度に応じて異なると考えられたため、被害状況を激害(枯死木が100本以上/ha)、中害(10～100本/ha)、微害(10本未満/ha)および激害跡(当年被害の枯死木が周囲に無い状況)に区分し、記録した。

カシナガの丸太への推定誘引穿入虫数は、斉藤(2013)の方法を参考にした。集積した丸太の中段において、調査する丸太を任意に20本選び、木口面の一方で丸太と丸太の間に見えるカシナガの穿入孔数をカウントし、その観察面の面積と丸太の表面積の比率から丸太1本あたりの穿入孔数を推定した。カシナガの穿入虫数は、これまでの調査(斉藤2013)から1孔当り1.4頭生存しているので、穿入孔数を1.4倍して丸太1本あたりのカシナガの穿入虫数を推定し、試験地ごとの比較を考えて1m²当り

のカシナガの推定誘引穿入虫数として計算した。

また、大量集積型おとり丸太法による防除方法により具体的にするには設置する場所を指示することも大切である。立地環境を①林道側に向けた木口の方位、②設置した標高、③微地形(凹・凸・平坦)に区分し、カシナガの推定誘引穿入虫数を比較し、カシナガを効率的に誘引できる環境条件を明らかにした。

さらに、大量集積型おとり丸太は、いつまで設置しておけば防除効果を期待できるかを検討した。同一の5試験地に5年継続して大量集積型おとり丸太を設置し、カシナガの推定誘引穿入虫数を調査した。

(2) 寒冷紗被覆によるカシナガの推定誘引穿入虫数増加の検討

カシナガは乾燥した丸太を嫌うため、丸太の乾燥を緩和する方法として、農業用の黒色寒冷紗を使用し、集積した丸太の上部の寒冷紗での被覆が、カシナガの推定誘引穿入虫数に及ぼす影響を調査した。調査は、山形県小国町内のカシナガが誘引可能な激害跡地に前述と同様に材積が20m³以上になるように集積した丸太に集合フェロモン剤を装着して、被覆区・無被覆区各5試験地において、2012～2013年に実施した。

(3) 大量集積型おとり丸太に使用できる樹種の検討

ナラ枯れ被害は、ミズナラやコナラ林で被害が大きくなるが、被害地と隣接するブナ林では、カシナガがブナ生立木に穿入しても虫体の腹部の先端を見せたまま死亡している状況や割材による死亡個体を多数観察している。そこで、ミズナラやコナラ以外の丸太材料として、ブナが活用できるか検討した。調査は、山形県小国町内のカシナガが誘引可能な激害跡地に、丸太の材料をブナのみとしたブナ区、ミズナラのみとしたミズナラ区、ブナとミズナラ各5割程度とした混合区のおとり丸太を、前述と同様な方法で2013年6月に設置し、それぞれの区におけるカシナガの推定誘引穿入虫数を比較した。

(4) ナラ枯れ被害材の利用状況の調査

山形県は1989年より2014年の現在まで連続して被害が発生し、2010年には県内で約24万本のナラ類が

枯死する状況であり、ナラ類の資源は確実に減少している。そこで、山形県内の広葉樹を取扱うチップやペレット工場において、ナラ枯れ被害材を資源としてどの程度利用しているか県内4事業者で調査した。また、枯死木も木材資源でもあるため、ナラ類の枯死後、何年目までチップとして利用が可能であるかについても4事業者のうち2事業者で聞き取り調査した。

(5) 丸太を採取した広葉樹伐採跡地での更新状況調査

おとり丸太の材料となる丸太等を採取するために、伐採した小国町・飯豊町等の広葉樹林11林分において、伐採後2～4年目に3m×3mの区画を設置して、その中の高木性広葉樹の稚樹の成立本数を調査した。山形県における更新完了基準は、樹高30cm以上の高木性広葉樹の稚樹の成立本数が5,000本/ha以上あれば更新完了とするので、これに達しているかどうかを判定した。

3. 結果と考察

(1) 大量集積型おとり丸太でのカシナガの誘引結果

図-1に、山形県における被害区分別の大量集積型おとり丸太への推定誘引穿入虫数(個体/㎡)を示した。

被害区分ごとのカシナガの推定誘引穿入虫数は、フェロモンありとフェロモンなしで比較すると、フェロモンありで激害が18,574個体/㎡(n=15)、中害は15,432個体/㎡(n=9)、当年の枯死木がない激害跡は12,613個体/㎡(n=17)、微害が10,155個体/㎡(n=2)であった。一方、フェロモンなしの平均が10,874個体/㎡(n=6)で、うち激害は11,649個体/㎡(n=1)、中害が12,014個体/㎡(n=1)、激害跡で11,435個体/㎡(n=2)、微害では9,357個体/㎡(n=2)であり、虫密度が高い激害から中害ではフェロモンを設置することでカシナガをより多く誘引できる事が明らかになった。

また、カシナガの誘引をより有効にできる環境条件は、林道側に向けた丸太の木口の方位では、北東から南までの方位でカシナガを多く誘引できており、

反対に南西から北にかけては誘引数が少ない傾向にあった。次に100m単位で標高別の誘引虫数の違いを見たが有意差はなかった。一方、微地形では凸地と平坦地で誘引虫数は多い傾向にあり、逆に凹地では凸地・平坦地に対して誘引数が少ない事がわかった。

図-2に、5年間継続して大量集積型おとり丸太を設置した5試験地のカシナガの誘引推定穿入虫数を示した。5試験地とも設置時は激害であったが、3年目には枯死木が周辺にはない激害跡地へと推移した。カシナガの推定誘引穿入虫数は、設置当初は試験地ごとに差があったが、4年目には推定誘引穿入虫数が微害レベルの約10,000個体/㎡にまで減少し、さらに5年目には約3,000個体/㎡に激減した。大量集積型おとり丸太は微害レベルの虫密度に低下する少なくとも4年間は設置が必要であると考えられた。

(2) 寒冷紗被覆によるカシナガの推定誘引穿入虫数増加の検討

図-3に、黒色寒冷紗による被覆の有無でのカシナガの推定誘引穿入虫数のちがいを示した。黒色寒冷紗有りの場合は、13,251個体/㎡、無しは12,335個体/㎡で有意差はなかった(分散分析; $p = 0.2618$)。しかし、寒冷紗でおとり丸太の上部を被覆すれば、丸太の最上部の表面の乾燥が緩和されるため、カシナガが穿入する機会が増加すると考えられる。事業実施の場合は被覆する方が良いものと考えられる。

(3) 大量集積型おとり丸太に使用できる樹種

おとり丸太の樹種の違いによるカシナガの推定誘引穿入虫数の平均は、ブナ区11,272(10,720～11,824(範囲以下同じ))個体/㎡、ミズナラ区12,265(11,316～13,787)個体/㎡、混合区11,798(11,536～11,946)個体/㎡で、使用する材料で推定誘引穿入虫数の差はなかった(図-4)。再度被害が発生した場合は、ミズナラなどのナラ類に替わってブナもおとり丸太の材料として使用できる事が明らかになった。

(4) ナラ枯れ被害材の利用状況の調査

表-1に山形県内におけるナラ枯れ被害材の利用

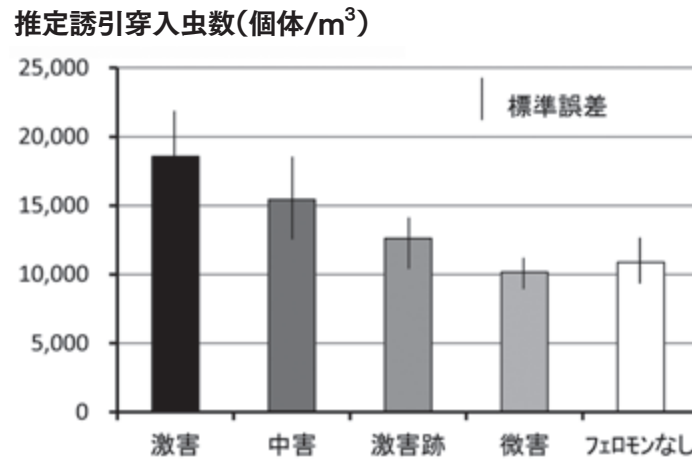


図-1 山形県における被害区分別の大量集積型おとり丸太へのカシナガ推定誘引穿入虫数

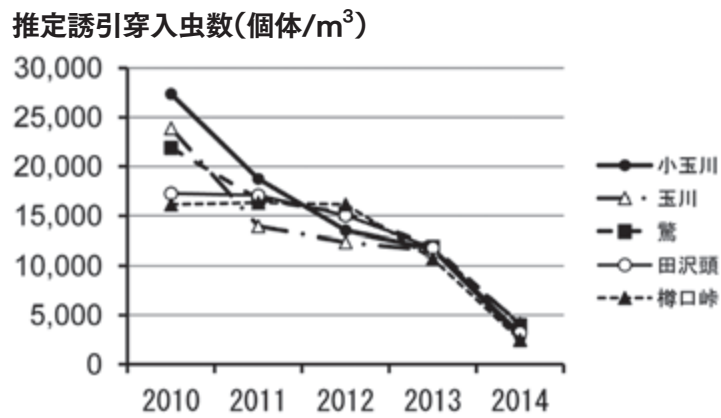


図-2 大量集積型おとり丸太を同一箇所に設置した場合のカシナガ推定誘引穿入虫数の推移

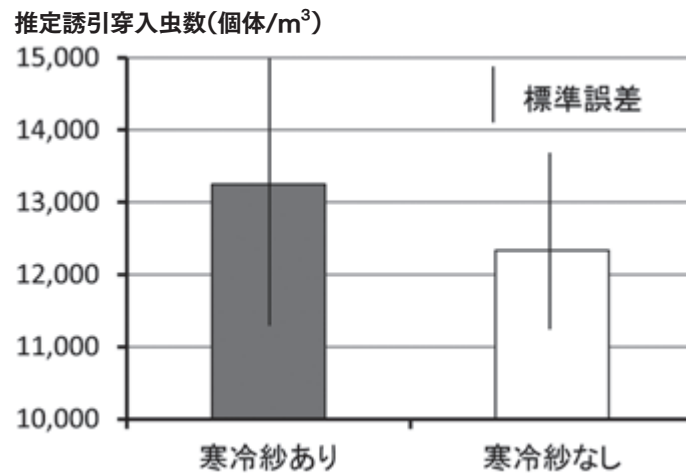


図-3 黒色寒冷紗での被覆の有無によるカシナガの推定誘引穿入虫数

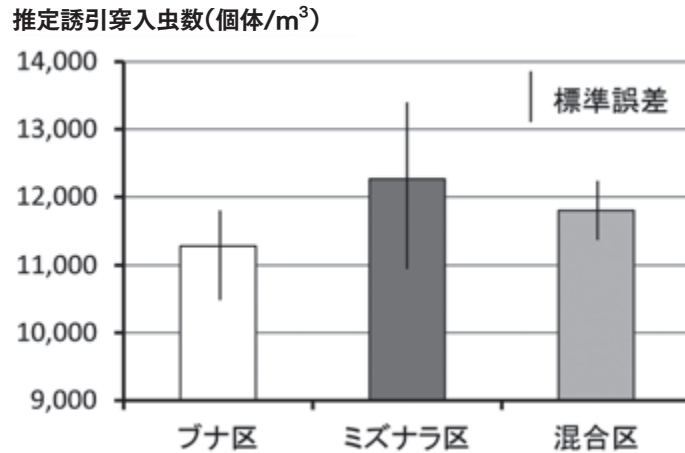


図-4 ブナ・ミズナラ・両者混合にした場合のカシナガの推定誘引穿入虫数

表-1 山形県内におけるナラ枯れ被害材の利用状況

事業体名	生産年度	広葉樹入荷量 (m ³)	うちナラ枯れ被害材比率	生産物	生産量	用途
A	2011	6,000	40	チップ	2,400 t	ボード
B	2011	11,000	50	チップ	5,400 t	製紙
C	2010	8,775	46	チップ	10,936 t	燃料・製紙
	2011	6,830	75	チップ	5,568 t	〃
	2012	8,894	60	チップ	13,062 t	〃
D	2011	1,000	40 ~ 50	ペレット	132 t	燃料
				おが粉	3,659m ³	菌床用
				チップ	712m ³	燃料
D	2012	2,000	50 ~ 70	ペレット	169 t	燃料
				おが粉	7,680m ³	菌床用
				チップ	800 m ³	燃料
D	2013	2,500	80 ~ 90	ペレット	200 t	燃料
				おが粉	9,000m ³	菌床用
				チップ	1,100m ³	燃料

表-2 枯死木をチップ化する場合の歩留まり

被害経過年数	事業体C		事業体D	
	歩留り	採算性	歩留り	採算性
被害当年	90 %	十分	90 %	十分
2年目	80 %	利用可能	80 %	利用可能
3年目	70 %	努力必要	利用せず	歩留り悪く不採算
4年目	使用不能	碎けて不採算		

状況、表-2に枯死木をチップ化する場合の歩留まりを示した。

山形県内で広葉樹を利用している4事業体からの聞き取り調査では、素材として入荷する広葉樹材の4

～9割が穿入生存木を含むナラ枯れ被害材で、その多くは燃料用などのチップとして利用されていた。その他ペレットやボード、菌床用オガ粉などの用途にも利用されていた(表-1)。また、枯死木をチ

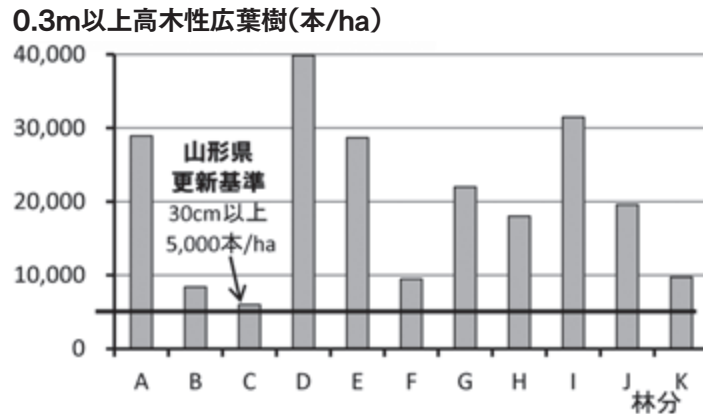


図-5 丸太等の材料を採取した11林分の広葉樹林における高木性広葉樹の稚樹の成立本数

ップ化する場合の歩留りは、被害当年は90%、2年目は80%、3年目は70%であり、年々チップにする歩留りは低下し、4年目以降はバーカーに丸太を挿入すると砕けてしまうため利用できないという事であった（表-2）。枯死木も被害当年に伐採してチップ化すればカシナガの物理的な駆除ができ、木材利用も可能だが、カシナガが脱出した立木でも枯死から3年目くらいまでは燃料用などを中心としたチップとして利用可能である事が明らかになった。

(5) 丸太を採取した広葉樹伐採跡地での更新状況調査

図-5に、丸太等の材料を採取した11林分の広葉樹林における高木性広葉樹の稚樹の成立本数を示した。各調査地において3m×3mのプロットで出現種と樹高、本数を調査したところ、出現頻度が高かった上位5種の高木性広葉樹は、ホオノキ、イタヤカエデ、コナラ、ミズナラ、オオヤマザクラであった。また、亜高木性のコシアブラ、ウワミズザクラなども多数観察され、林冠を構成するには十分な樹種構成であった。山形県の広葉樹林の更新管理基準である、30cm以上の高木性広葉樹が5,000本/ha以上成立することとする条件は11林分全てで満たしており、多様な樹種からなる広葉樹林として再生していく可能性が非常に高い事が明らかになった。

4. まとめと今後の課題

被害が面的に拡大するナラ枯れ被害にあって、カ

シナガの分散を抑制し、密度を低下させる大量集積型おとり丸太法は、ナラ枯れ被害の防除法としては非常に有効であると考えられる（齊藤 2013）。被害区分が激～中害では、15,000個体/m²のカシナガが丸太に穿入したと推定されるが、山形県では枯死木1本当たり約1,000個体のカシナガが穿入する。枯死木数を丸太1m²当りで換算すると15本分を枯死させるのに相当する数のカシナガをおとり丸太は誘引したことになる。1集積20m²ならば、枯死木300本分に相当するので、おとり丸太の設置はこうした枯死木を減少させる意味でも被害軽減に役立つ可能性が高いものと推察される。大量集積型おとり丸太は、カシナガ密度が高い激害から中害ではより多くのカシナガを誘引でき、カシナガが穿入した丸太は、新成虫が羽化する前にチップなどに粉碎すれば駆除にもなり、その材料は燃料用や製紙用チップなどとしても活用可能である。さらに丸太採取のために伐採した林分は更新するので、駆除・利用・更新を三位一体で進める実用化技術として提案したい。

おとり丸太を採取するためにはナラ林を伐採する必要がある。山形県にはニホンジカが多数生育していないため伐採後の広葉樹林の更新は容易に進むが、ニホンジカの密度が高い地域では食害によって更新が阻害される可能性もある。今後の課題として、シカ等による食害対策も必要になるものと考えられる。

本研究は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業費「広葉樹資源の有効利用を目指したナラ枯

れ低コスト防除技術の開発（課題番号 24030）」および、「山形県広葉樹林健全化育成事業」により実施した。また、本研究の実施にあたって、山形県小国町役場の二馬健氏・渡部智也氏・蛭原紘子氏、小国町森林組合の皿谷義之氏、山形県庁の小関秀章氏・志斎和樹氏より実証試験地の設定と効果調査についてお世話になった。

引用文献

- 江崎功二郎（2008）フェニトロチオン乳剤の樹幹散布によるカシノナガキクイムシの穿入防止効果。日林誌 90：391～396
- Kinuura H（2002）Relative dominance of the mold fungus, *Raffaelea* sp., in the mycangium and proventriculus in relation to adult stages of the oak platypodid beetle, *Platypus quercivorus* (Coleoptera; *Platypodidae*). J For Res 7: 7～12
- 小林正秀・萩田 実（2003）カシノナガキクイムシのビニールシート被覆による防除法。森林防疫 52：137～147
- 熊本営林局（1941）カシ類のシロスジカミキリ及びカシノナガキクイムシの予防駆除試験の概要。熊本営林局：51pp
- 増田信之（2005）カシノナガキクイムシ被害における液体粘着剤を用いた防除法。第56回日本森林学会関西支部等合同大会研究発表要旨集：65
- 布川耕市（1993）新潟県におけるカシノナガキクイムシの被害とその分布について。森林防疫 42：210～213
- 大橋章博（2007）接着剤を利用したナラ類集団枯損被害の防除。第118回日本森林学会学術講演集：CD-ROM (PB076)
- 大橋章博・佐藤公美（2013）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。岐阜県森林研究所研究報告 42：1～7
- 岡田充弘（2010）カシノナガキクイムシ防除薬剤試験。平成22年度林業薬剤等試験成績報告集：127～129
- 齊藤正一（2005）殺虫剤と接着剤によるナラ類集団枯損被害の防除法（公立林業試験研究機関研究成果選集No.2。独立行政法人森林総合研究所編 茨城），19～20
- 齊藤正一（2013）駆除・木材利用・森林更新の三位一体でナラ枯れを防ぐ。JATAFFジャーナル：29～33
- 齊藤正一・中村人史・三浦直美（2003）薬剤と接着剤によるナラ類集団枯損被害における枯死木の新たな防除の試み(1)。林業と薬剤 166：18～24
- 齊藤正一・中村人史・三浦直美・小野瀬浩司（1999）ナラ類集団枯損被害の薬剤防除法。森林防疫 48：84～94
- 齊藤正一・中村人史・三浦直美・小野瀬浩司（2000）ナラ類集団枯損被害立木へのNCS注入によるカシノナガキクイムシとナラ菌の防除法の改良。林業と薬剤 152：1～11
- 齊藤正一・中村人史・岡田充弘・本間航介（2014a）殺菌剤ベノミル水和剤の樹幹注入によるナラ類集団枯損被害に対する予防効果。日本農薬学会誌 39：10～17
- 齊藤正一・野崎 愛（2008）第7章被害形態別の防除方法。林業普及双書No. 57「ナラ枯れと里山の健康」。林業普及協会：135～157
- 齊藤正一・岡田充弘・鶴田英人・猪野正明（2014b）高濃度トリホリン乳剤の樹幹注入によるナラ枯れの予防。東北森林科学会誌 19：12～17
- 齊藤正一・柴田鏡江（2012）山形県におけるナラ枯れ被害林分での森林構造と枯死木の動態。日林誌 94：223～228
- Tokoro M, Kobayashi M, Saito S, Kinuura H, Nakashima T, Shoda-Kagaya E, Kashiwagi T, Tebayashi S, Kim Cs, Mori K (2007) Novel aggregation pheromone, (1S, 4R)-*p*-menth-2-en-1-ol, of the ambrosia beetle, *Platypus quercivorus* (Coleoptera: *Platypodidae*). Bulletin of FFPRI 6 (No. 402): 49～57
(2014.8.26受付, 2014.10.1掲載決定)

カシノナガキクイムシによるウバメガシの穿孔被害と被害軽減対策の開発

大谷栄徳¹・山下由美子²・栗生 剛³・衣浦晴生⁴・長谷川絵里⁵

1. はじめに

和歌山県では、1999年に和歌山県南部の東牟婁郡熊野川町（現在は新宮市）において、コナラ・クヌギを中心とした集団枯損被害が発生した。この集団枯損（ブナ科樹木萎凋病＝ナラ枯れ）は、カシノナガキクイムシ（*Platypus quercivorus*、以下 カシナガ）が、ナラやカシ類等の幹に侵入して、病原菌（*Raffaelea quercivora*、以下 ナラ菌）を樹体内に持ち込むことにより発生する（伊藤ら 1998；Kinuura and Kobayashi 2006）。県南部での発生以来、集団枯損の被害区域は太平洋沿岸を西進し、現在では日高郡みなべ町にまで至っている。この被害は、紀州備長炭の原木であるウバメガシ林にも広がり、原木資源への直接的な影響に加え、穿孔被害木が放置される原木伐採現場が増加することで、さらなる被害の拡大が懸念されるなど重大な問題となっている。そこで本研究は、ウバメガシにおけるカシナガの発生消長及び穿孔被害木を受けたウバメガシの処理方法がカシナガ発生に及ぼす影響を明らかにするため行った。

2. 材料と方法

(1) ウバメガシにおけるカシナガの発生消長

この地域のカシナガは、太平洋型個体群であることが明らかになっているが（濱口・後藤 2007）、ウバメガシにおけるカシナガ成虫の発生時期などの研究事例は少ない。そこで、ウバメガシを主体とした常緑広葉樹林におけるカシナガ成虫の発生消長について調査を行った。調査は、穿孔被害を受けた常緑広葉樹林の調査地A（西牟婁郡上富田町）と調査地B（西牟婁郡すさみ町）で実施した。調査地Aでは、コナラ（平均DBH 25.4cm）とウバメガシ（平

均DBH 22.0cm）の樹種別のカシナガ発生頭数を調査するため、それぞれ5本ずつの穿入生存木を選んだ。調査地Bでは、ウバメガシの径級別の発生頭数を調査するため、穿入生存木のうち、大径木（平均DBH 20.0cm）4本と小径木（平均DBH 11.0cm）5本を選んだ。各穿入生存木においてフラスの確認できた穿孔孔20個に羽化トラップ（衣浦ら 2010；小林ら 2004）を取り付け、2012年6月から11月の期間、毎週、羽化トラップ内の成虫を回収した。

(2) ウバメガシにおけるカシナガ被害軽減対策の検討

ウバメガシ林の伐採現場では、穿孔被害を受けた切株が放置されている。そこで、穿孔被害後の被害木の取り扱いが、カシナガ発生に及ぼす影響について検討を行った。西牟婁郡すさみ町のウバメガシ林において、2013年4月に、前年に穿孔被害を受けたウバメガシ生存木10本を選木した。そのうち、5本については高さ1.0m付近で伐倒し、伐倒木区と切株区に分けた。残りの5本については生立木区とした。フラスの確認できた穿孔孔に各調査木1本当たり20個の羽化トラップを設置し、2013年6月から11月の期間、トラップ内の成虫を回収した。

3. 結果と考察

(1) ウバメガシにおけるカシナガの発生消長

コナラとウバメガシにおける成虫発生期間は、コナラよりもウバメガシの方が長く（図-1）、穿孔孔あたりの平均発生頭数についても、コナラ13.4頭/孔に対し、ウバメガシは35.5頭/孔と多かった（図-2）。

ウバメガシ小径木と大径木では、成虫発生期間に違いは見られず（図-3）、また、穿孔孔あたりの

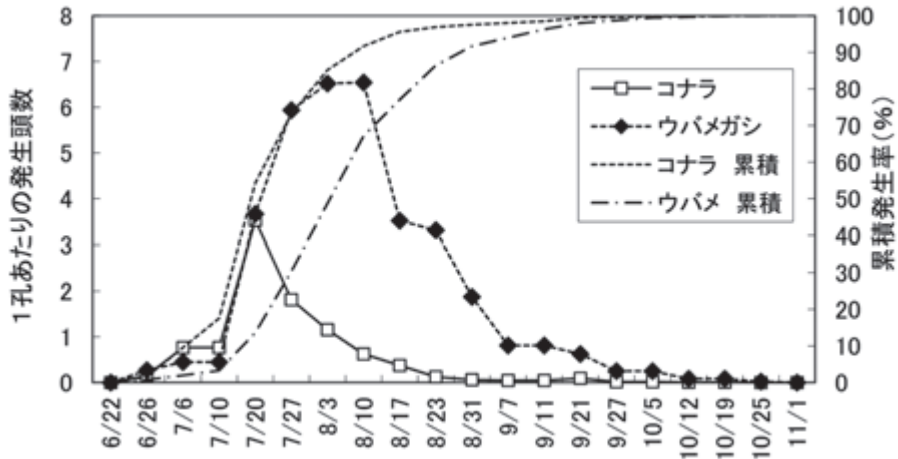


図-1 コナラとウバメガシからのカシノナガキクイムシ成虫発消長

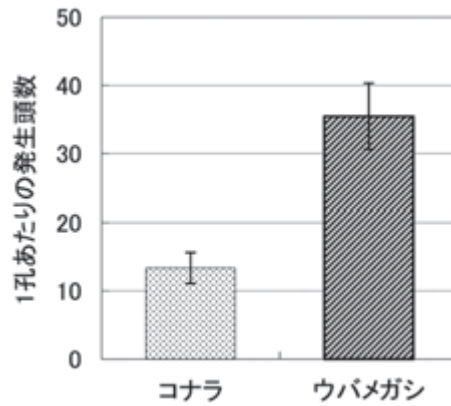


図-2 コナラとウバメガシからのカシノナガキクイムシ平均成虫発生頭数
※図中のバーは標準誤差(S.E.)を示す

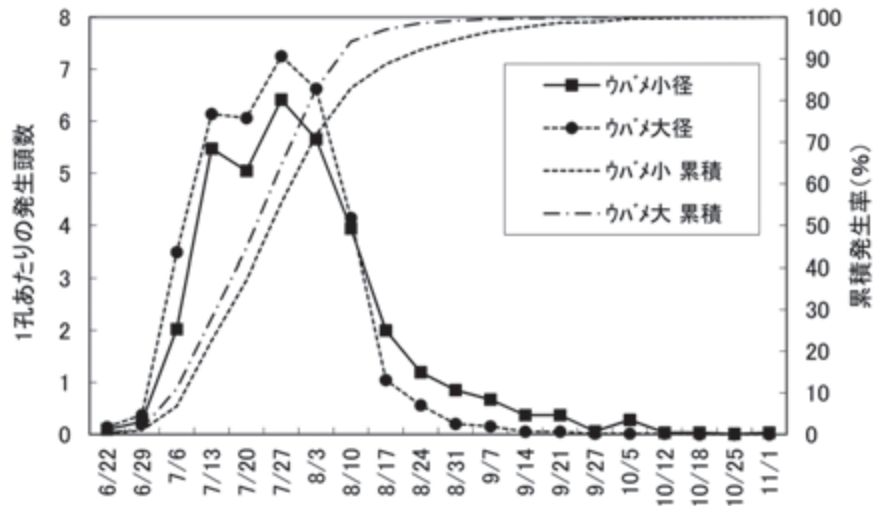


図-3 ウバメガシの径級別のカシノナガキクイムシ成虫発消長

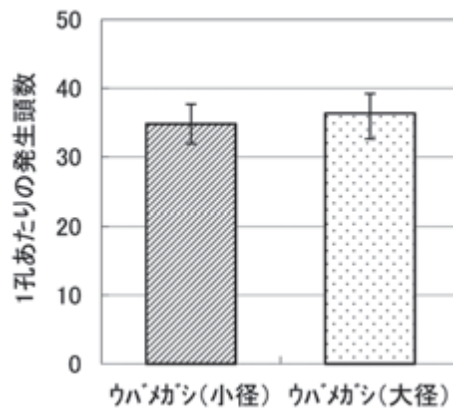


図-4 ウバメガシの径級別のカシノナガクイムシ成虫発生頭数
※図中のバーは標準誤差(S.E.)を示す

表-1 ウバメガシ被害材からの処理区別カシノナガクイムシ成虫発生頭数

区分	調査孔数	成虫発生孔数	繁殖成功孔率 (%)	総発生頭数	調査孔当たりの発生頭数
生立木区	95	93	97.9	4,779	50.3
伐倒木区	100	2	2.0	2	0.02
切株区	100	95	95.0	8,456	84.6
合計	295	190		13,237	

平均発生頭数についても、小径木が34.8頭/孔、大径木が36.3頭/孔と、ほとんど違いが見られなかった(図-4)。

これらのことから、穿入生存木に関してウバメガシはコナラよりも穿入孔あたりの成虫脱出数が多く、そのうえ、小径の穿孔被害木も被害発生源となるため、駆除の対象にする必要があると考えられた。

(2) ウバメガシにおけるカシナガ被害軽減対策の検討

設置した羽化トラップ300個の内、破損した5個を除く295個を対象に解析したところ、成虫総発生頭数は13,237頭であった(表-1)。そのうち、雄は6,943頭、雌は6,294頭で性比は0.52:0.48であった。

つぎに、被害木の区分別の成虫発生頭数を見ると、カシナガの繁殖成功孔率(成虫発生孔数/調査孔数×100)は、生立木区97.9%・切株区95.0%と高いのに対し、伐倒木区は2.0%と低かった(表-1)。また、調査孔当たりの成虫発生頭数は、生立木区が50.3頭、伐倒木区が0.02頭、切株区が84.6頭と、切株区>生立木区>伐倒木区の順に多かった(表-1)。

成虫の発生は、切株区、生立木区ともに、6月下旬から始まり、7月下旬にピークをむかえ、11月中旬まで発生が続いた(図-5)。

これらのことから、カシナガが前年に穿入した被害木の切株については、生立木よりも穿入孔あたりの成虫発生頭数が多いため、伐採現場などでは切株部分はできるだけ少なくなるように伐倒しなければならないと考えられた。一方、カシナガが穿入した被害木を4月に伐倒した伐倒木区からの成虫発生頭数は、生立木区のその0.04%と非常に少なく、ウバメガシでは4月までに伐倒するだけで、伐倒木からの成虫の発生を抑制できることが分かった。通常、伐倒駆除は細かく粉碎もしくは焼却するか、くん蒸等の薬剤処理が必要とされている(斉藤・野崎2008)。これに対し、ウバメガシにおける太平洋型カシナガの伐倒駆除は、穿入生存木を伐倒して現場に残置するという極めて簡易な駆除手法が可能であり、かなりの労力軽減・低コスト化を図ることができると考えられた。

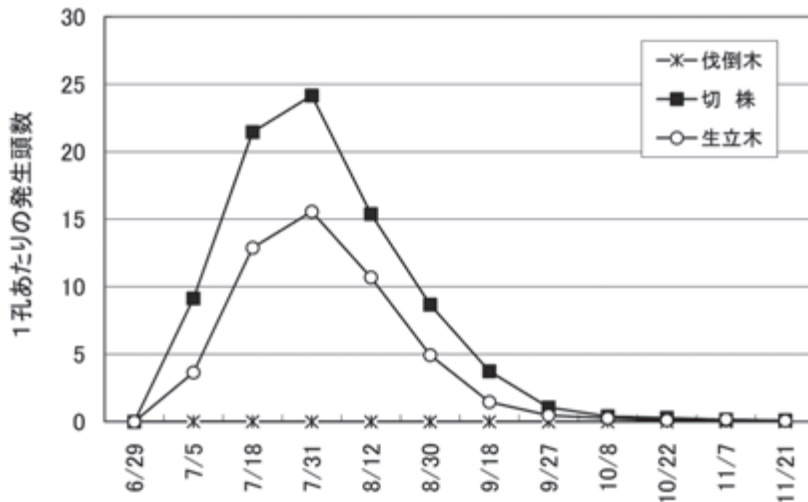


図-5 ウバメガシ被害材からの処理別カシノナガキクイムシ成虫発生消長

4. まとめと今後の課題

ウバメガシ林におけるカシナガ被害対策は、穿入生存木の径級に関わらず駆除対象とすること、穿入生存木を伐倒する際は、地際で伐採し、切株を低くすることが被害軽減につながるということがわかった。特に、ウバメガシの穿入生存木を4月までに伐倒するだけで、カシナガの発生を抑制できることを明らかにした。穿入生存木を伐倒し、現場に残置するという極めて簡易な手法であり、かなりの労力軽減・低コスト化を図れるとともに、取り入れやすい駆除方法となる。このことは、紀州備長炭の原木であるウバメガシの資源量を守っていくうえで意義が大きい。和歌山県内の常緑広葉樹林には、ウバメガシ以外にもブナ科樹木萎凋病（ナラ枯れ）に罹ることが知られているアラカシやツブラジイなども生育している。これらの樹種についても、この簡易な駆除手法が適用できるのか明らかにし、さらなる被害軽減に努めることが、今後の課題である。

5. 謝辞

本研究は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「広葉樹資源の有効利用を目指したナラ枯れの低コスト防除技術の開発（課題番号24030）」により実施した。

引用文献

- 濱口京子・後藤秀章（2007）rDNAの28S領域を用いたカシノナガキクイムシの地域変異解析. 第51回応動昆大会講要：130
- 伊藤進一郎・窪野高德・佐橋憲生・山田利博（1998）ナラ類集団枯損被害に関連する菌類. 日林誌80：170～175
- Kinuura H, Kobayashi M（2006）Death of *Quercus crispula* by inoculation with adult *Platypus quercivorus* (Coleoptera Platypodidae). Appl Entomol Zool 41: 123～128
- 衣浦晴生・齊藤正一・所 雅彦・岡田充弘（2010）樹幹注入した穿入生存木におけるカシノナガキクイムシ繁殖成功率. 第121回日本森林学会大会学術講演集：719
- 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
- 齊藤正一・野崎 愛（2008）第7章 被害形態別の防除方法. ナラ枯れと里山の健康(黒田慶子編著) pp141～143 林業改良普及協会, 東京
(2014.9.25受付, 2014.9.30掲載決定)

最新 ICT を活用したナラ枯れリアルタイム被害発生予測システムの開発

山中武彦¹・近藤洋史²

1. はじめに

森林被害をワンタッチで記録するだけで、自動的に被害状況がデータベースに登録され、リアルタイムに被害予測マップまで自動生成することが可能になれば、どれだけ迅速な森林防疫を行うことができるだろうか。現在行われているナラ枯れ被害調査がいかにお大変で煩雑か、例を見てもらえれば容易に想像がつくだろう。各県複数の森林管理の調査担当者が森林に分け入り、それぞれが用意した紙ベースの地図に被害の程度・枯損数を記録するだろう。紙ベースの被害地図は事務所に持ち帰られ、被害データをExcelなどのスプレッドシートに落とし込む。Excelシートは、調査を取り仕切る担当者、もしくは解析を専門とする研究者のもとに送られ、一つにまとめられて、フォーマットを整形されたのち、空間解析用のソフトウェアによって被害予測モデルと予測に基づくハザードマップが作成される。おおよそ調査が行われるオンシーズンでは、データをまとめる時間的余裕がないのが常で、煩雑なデータの取りまとめにたどり着くのは、次年度の被害調査直前になりそうである。

米国が軍事用に使用していたGPS (Global Positioning System, 全地球測位網) 衛星のサービスが1980年代に民間に開放されると、簡便に現在地を測量できるようになり、今では自家用車にGPSカーナビゲーションシステムがついていることが当たり前になっている。このGPSを利用して広域の害虫調査を簡略化する取り組みは、古くからなされてきた。日本においても2000年代初頭には、山中らのチームが、Palmと呼ばれた小型携帯コンピューターにGPS装置を組み合わせることで、外来ハムシの分布拡大を調査したり (Otuka and Yamanaka 2003;

Yamanaka *et al.* 2007), 果樹害虫の被害調査に利用したりしている (Yamanaka *et al.* 2011)。このGPS装置を活用すれば、調査結果はワンタッチでExcelシート形式に保存され、作業は大幅に効率化される。しかし、専用のGPS装置を使用する調査では、特注のアプリケーションを開発して搭載する必要があり、頻繁に調査機器の機種変更とそれに伴うアプリケーションのアップデートの必要に迫られるなど、高度な機材ならではの問題が発生する。日本全域を対象とするような広域森林害虫の調査には、特別な機材を必要とせず、様々な県の調査担当者が気軽に参画できる調査プロトコルが必要なのである。

最新ICT (Information and Communication Technology) 機器、すなわち汎用の携帯電話は、これらの問題をすべて解決する。今や携帯電話の普及率は、日本全国でほぼ100%となっており、一昔前では考えられない多機能・高性能なものに変貌している。誰でも普通に持っているこの安価なコミュニケーションツールは、ほとんどの場合GPS機能が内蔵されており、優れた生物調査装置となりうる。例えば、鶴川 (2007) は、環境教育用のツールとして携帯電話とカメラ機能の活用を提案している。Osawa *et al.* (2013) は、携帯電話を使った一般市民参加型の調査を行い、高精度の生物調査データの収集が可能であることを示している。我々は、このアイデアをさらに発展させて、汎用の携帯電話で撮影されたナラ枯れ被害写真を、指定されたメールアドレスに送信することで被害データを蓄積し、このデータをもとに自動的に統計解析を行い、被害予測マップまで作成する「ナラ枯れリアルタイム被害発生予測システム」の開発を行っている。以下にシステムの概要・運用、今後の課題を解説する。

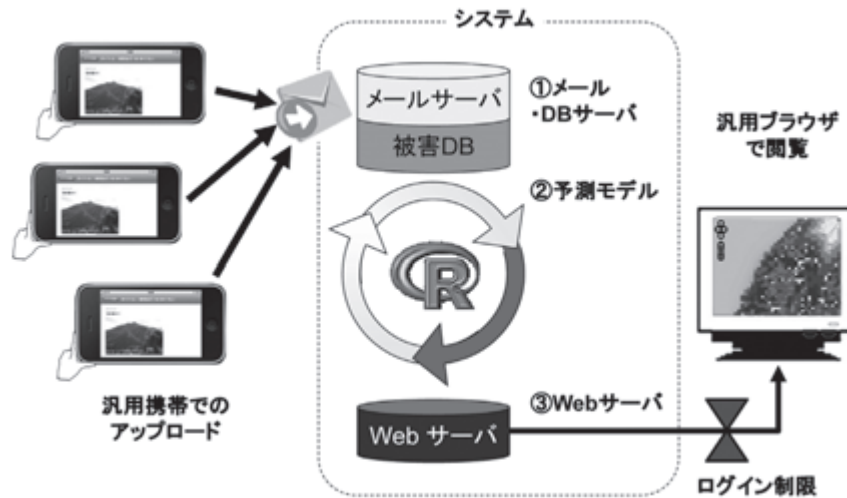


図-1 ナラ枯れリアルタイム被害発生予測システムの構造

2. システムの概要

ナラ枯れリアルタイム被害発生予測システム全体の概念図を図-1に示した。システムは、Linux環境上に展開されたサーバ群、①メールサーバ (James Ver2.3)・DBサーバ (データベースサーバー PostgreSQL Ver9.1) と、②予測モデルを実行する統計開発環境R (Ver 2.13.0 CRAN)、得られた予測マップを表示し配信する③Webサーバ (Apache2+ Tomcat Ver 7.0) から構成される。株式会社富士通FIPが開発・販売しているパッケージシステム「携帯フォトシステム (<http://jp.fujitsu.com/group/fip/services/environment/management/biodiversity/>, 2014年7月確認)」を元に、ナラ枯れ調査用のモジュールとインタフェースの追加を行い、予測モデルとの連携モジュールを新規設計したものである。

調査担当者は、被害発生地点付近で汎用携帯電話を用いて被害状況を撮影し、ナラ枯れ専用のメールアドレスへ写真を添付して送信 (アップロード) する。送られてきた写真付メールは、システム内のメールサーバが受信し、送信者のメールアドレス、写真に付与されている位置情報、撮影日時を抽出する (図-1①)。デジタルカメラで撮影された写真は、画像本体の情報以外にExif (Exchangeable image file) というヘッダ構造を持ち、ここに位置情報・

撮影日時などの付属情報が格納されている。メールサーバが受信した添付写真は、システムに内蔵された解析プログラムによって必要な情報を抽出され、DBサーバへ格納される。

予測モデル (図-1②) は、統計開発環境R上で実行される。実体は、DBからの呼び出し、モデルの再構築と評価、予測、の3つの動作が、自動実行できるようにパッケージ化されたRのモジュールである。具体的には、日本の北から逐次100×100kmの地域を選択していき、このエリア内の調査実施年度の被害と、別途整備・格納されている気象・植生データをDBサーバから読み込む。被害の有無は1×1kmメッシュ (3次メッシュ) ごとにまとめられ、植生・気象を予測変数にしたロジスティック回帰モデルで解析される。ロジスティック回帰モデルの詳細については、現在学術誌に投稿中である (Kondoh *et al.* 2014)。このRモジュールではさらに、100×100kmの地域を日本全国をカバーするように北から南までスライドさせながら、各々の地域に最適な植生・気象条件でロジスティック回帰モデルを再構築し、3次メッシュ精度の全国被害発生予測マップを生成する。この予測モデルの実体であるRのパッケージは、Linux上で常駐するタイマーによって1日おきに自動実行され、最新の予測モデルが常時配信されることになる。

被害調査データ、被害予測マップは、閲覧許可を持つ者だけが汎用のブラウザ（Internet Explore, Google Chrome, Mozilla Firefoxなど）で閲覧することができる（図-1③）。システムへのアクセスは、ログイン認証によって制限され、各県の調査担当者、森林防疫担当者のみが閲覧できる。これは、ナラ枯れ被害が起きている林分の所有者に、不当な不利益が発生しないようにするための措置である。被害調査データ、被害予測マップとも、国土地理院提供の日本白地図や、Google Mapなどと重ね合わせて表示することが可能で、簡単な絞り込み検索や、マップのPDF形式でのダウンロード機能を持っている。

3. システムの運用

我々は、2013年から山形県、長野県、和歌山県など各県の協力を得て、ナラ枯れリアルタイム被害発生予測システムの試験運用を実施している。また写真を含まない過去の被害履歴もDBサーバに格納し、予測の妥当性の検討を行っている。図-2①は、試験運用されているシステムの画面遷移を表す。

調査担当者は、ログイン画面の認証を通過すると、全登録データにアクセスできる「登録データ検索ページ」に入る。このページは、携帯保有者や撮影日時・場所からデータを特定するときに使用する。さらに、このページの上部にあるリンクをたどって「ナラ枯れ枯損数表示ページ」「ナラ枯れ被害予測ページ」にたどり着く。枯損数表示ページに続く「ナラ枯れ枯損数入力ページ」では、被害データを編集したり、写真の無い新規被害データを追加したりできる。この被害データ修正画面では、データの削除、枯損数の修正だけでなく、緯度経度の直接入力や埋め込み地図でのアイコン移動によって、被害記録場所の修正も行うことができる（図-2②）。一方、防除担当者は、調査担当者と同様に、「枯損数表示ページ」、「被害予測ページ」を閲覧することができるが、「登録データ検索ページ」、「ナラ枯れ枯損数入力ページ」を持たず、被害データの入力や編集はできない。

被害予測ページでは、ズームアウトして広域での

トレンドを見たり、ズームインして特定の地域の危険箇所をチェックしたりできる（図-2③）。また、前年の被害と今年度の被害予測を見比べながら、防除対策を考えることができる。さらに、枯損数表示ページ下に設置したリンクから県ごと、年度ごとの被害マップ、被害予測マップと、Excel形式の生データがダウンロードできる。最近では、カシミール3D（<http://www.kashmir3d.com/>、2014年7月確認）やQGIS（<http://www.qgis.org/ja/site/>、2014年7月確認）などの優れたフリーの地図ソフトがあるため、県の調査担当者自身で解析を行ったり、独自に結果を配信したりといった要望に応えることができる。

4. おわりに

本稿では、特別なアプリケーションや装置を必要とせず、汎用の携帯電話を使って写真を送信するだけでデータを収集でき、自動的にリアルタイム被害予測マップが、インターネットで配信されるシステムについて紹介した。誰もが持ち歩く携帯電話というインターネット装置を駆使して、高精度な調査と調査結果のリアルタイム配信を可能にしているという点で、まさにICTを活用した21世紀的な生物調査方法といえるだろう。このような被害予測システムは、ナラ枯れにとどまらず、県をまたいで急速に広がる侵略的外来種全般に応用可能で、迅速な防除を実現するための画期的な調査プロトコルを提供しうる。

しかし、どんなにシステムが優れていても、防除の現場で広く活用されるようになるためには課題が多い。各県の林業行政にはそれぞれの事情があり、広域調査に積極的でないケースもあるだろう。例えば被害が出やすいナラ類・カシ類がさほど存在せず、重要視されていないケースなどがあげられる。また現場でナラ枯れを見分けるノウハウが蓄積していない場合には、別の要因で枯れた枯死木を被害として登録してしまうかもしれない。精度の低いデータに基づく予測に従えば、誤った防除戦略を立ててしまうだろう。常に肝に銘じておかななくてはならないの

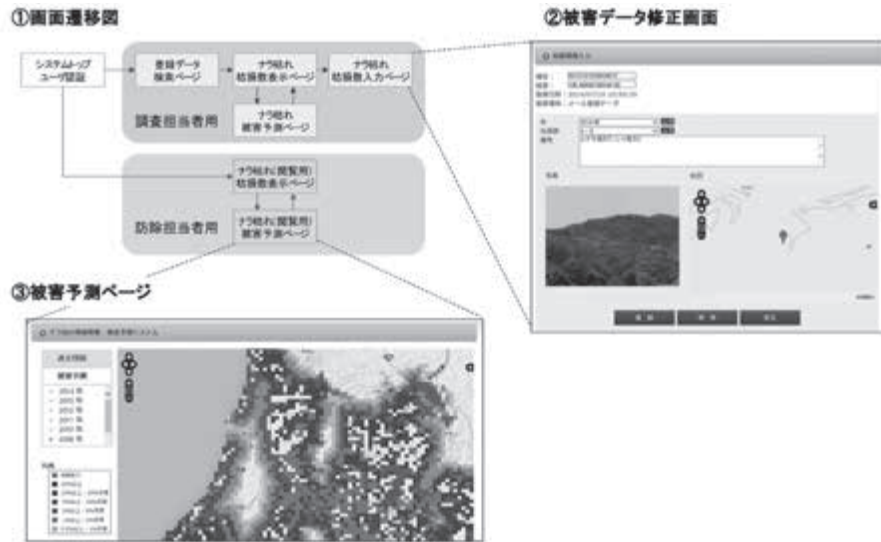


図-2 システムのWEB構成と画面イメージ

は、システム自体は業務を効率化するためのツールに過ぎず、全体の調査がうまくいくかどうかは、実際に調査を行う人的ネットワークの熟成に掛かっているということである。ナラ枯れの脅威について情報を共有し、少しでも食い止めたいという熱意が背景にあってこそ、便利な道具は画期的なツールとなりうる。

謝辞

本システムに格納されている被害データは、各県の試験場の担当者が長年地道な努力で収集したものである。特に新潟県の布川耕市氏、山形県の斎藤正一氏、長野県の岡田充弘氏、和歌山県の栗生剛、大谷栄徳両氏には、厚くお礼を申し上げたい。本研究は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「広葉樹資源の有効利用を目指したナラ枯れの低コスト防除技術の開発（課題番号24030）」により実施した。

引用文献

Kondoh H, Yamanaka T, Saito S, Shoda-Kagaya E, Makino S (2014) Development of a hazard map for oak wilt disease in Japan. *Agric For Entomol* in press

Osawa T, Yamanaka T, Nakatani Y (2013) Establishing a canonical procedure for collecting biodiversity information from citizen scientists using mobile phones. *Jp J Conser Ecol* 18: 157 ~ 165

Otuka A, Yamanaka T (2003) An application for insect field survey using a handheld computer. *Agric Info Res* 12: 113 ~ 124

鶴川義弘 (2007) デジタルカメラとGPS付携帯電話を使う環境教育用マップ. 宮城教育大学環境教育研究紀要 10 : 9 ~ 15

Yamanaka T, Tanaka K, Otuka A, Bjørnstad ON (2007) Detecting spatial interactions in the ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) and the ragweed beetle (*Ophraella communa* LeSage) populations. *Ecol Res* 22: 185 ~ 196

Yamanaka T, Teshiba M, Tuda M, Tsutsumi T (2011) Possible use of synthetic aggregation pheromones to control *Plautia stali* (Hemiptera: Pentatomidae) in kaki persimmon orchards. *Agric For Entomol* 13: 321 ~ 331

(2014. 9. 17受付, 2014.10.3掲載決定)

都道府県だより

栃木県におけるナラ枯れ被害対策について

○はじめに

全国的に広がりを見せているナラ枯れ被害については、全国の被害量としては平成22年度をピークに減少傾向にあります。一部地域では拡大が続いている状況です。

栃木県においては、現在までナラ枯れ被害は確認されていないものの、隣県の福島県及び群馬県では被害が発生しており、本県への被害拡大が懸念されています。本県でナラ枯れ被害が発生し、コナラ・ミズナラ等の広葉樹林が消失した場合、日光や那須地域等における、豊かな自然環境を有する森林の生物多様性、観光地の景観など、森林の持つ貴重な公益的機能が失われる危険があります。

○栃木県ナラ枯れ被害連絡会議の設立

このような中、栃木県では、県内関係機関においてナラ枯れに関する情報を共有するとともに、被害発生時の協力体制や防除体制の検討を行うため、平成23年度に「栃木県ナラ枯れ被害連絡会議」（以下

「連絡会議」）を設置しました。この会議には、関係する森林組合や市町村をはじめ、日光国立公園や国有林の関係機関が参加し、協力して監視体制の強化等に取り組んでおります。

これまでの連絡会議の活動としては、構成員間によるナラ枯れ被害の情報共有が主体でしたが、今年度は福島県森林保全課及び県北農林事務所に御協力をいただき、9月3日に福島県福島市において現地研修を実施し、実際にカシノガキクイムシの穿孔を受けた被害木の状況等を確認しました。この研修を通じて、連絡会議の各構成員が、本県に被害が拡大した場合の自然環境への影響の大きさについて共通認識を深めるとともに、被害木の特徴を理解することにより、被害を早期に発見する“目”を養うことができました。

また、連絡会議は、県内において被害が発生した場合には、「栃木県ナラ枯れ被害防除対策会議」へと移行し、会議の各構成員が連携して、被害状況の把握や情報発信、各種防除対策を行うこととしています。

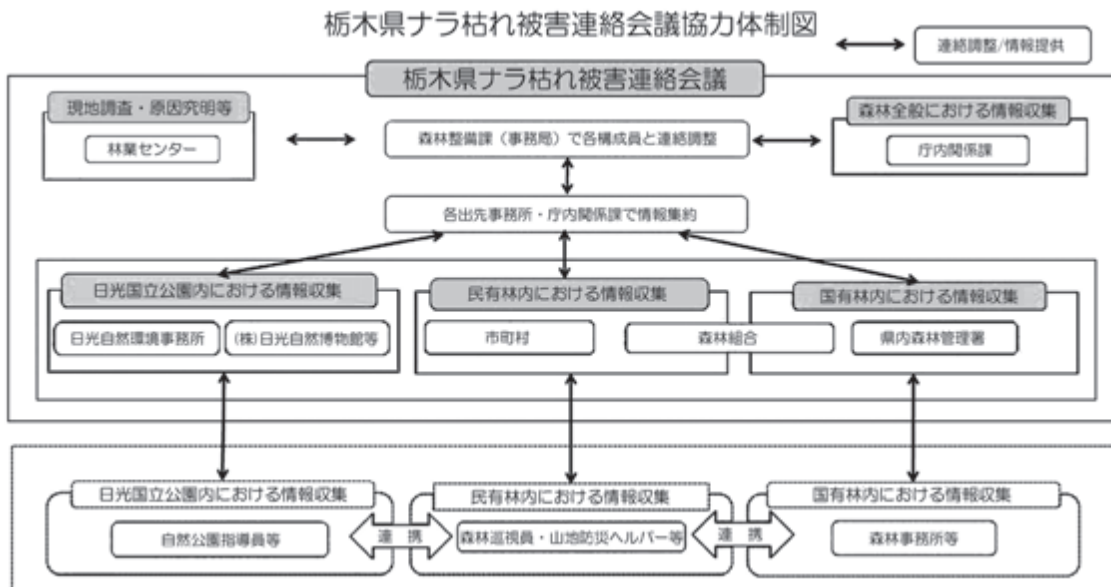


図 栃木県ナラ枯れ被害連絡会議協力体制図



写真-1 福島県における現地研修 会議の状況



写真-2 福島県における現地研修 被害木の確認状況

○その他の防除対策

連絡会議の活動に加え、本県では平成24年度から福島・群馬両県の被害地に近い市町において、カシノナガキクイムシの生息分布調査を実施しています。これまでに那須町及び日光市（南部）において調査を実施しましたが、カシノナガキクイムシによる被害は確認されませんでした。今年度は、日光市（北部）、来年度は那須塩原市で調査を行う予定です。

また、平成24年度から本県林業センターにおいてナラ菌の培養・保存を行っており、ナラ菌の自主判定が行える体制を整備しています。これにより、県内においてナラ枯れの恐れがある被害が発生した場

合は、早急にナラ菌であるかを判定し、速やかな防除対策につなげていくこととしております。

○おわりに

ナラ枯れ被害の拡大を防ぐためには、被害木の早期発見と徹底防除が重要です。

この観点から、本県では、連絡会議による情報収集に加えて、広く県民に対し、ナラ枯れ被害の恐ろしさや早期発見の重要性について啓発に努め、県民一丸となった監視体制を目指していきます。また、防除方法について最新の知見を積極的に取り入れるとともに、他県における防除対策等を参考に、より効果的な防除体制の確立を図って参ります。

（栃木県環境森林部 森林整備課）

鳥取県におけるナラ枯れ被害に対する取り組みについて

○被害の状況

鳥取県におけるナラ枯れ被害は、平成3年に県東部の旧福部村（現鳥取市福部町）で初めて確認されました。その後の被害発生は県東部地域に留まっていたようですが、平成17年以降被害は急速に拡大し、現在では県中部地域にまで及んでいます。

これとは離れた、県西部の国立公園大山周辺には、ミズナラ林が広範囲に分布し、美しい景観を形成し

ていますが、平成21年、飛び火的な被害が確認されたため、集中的な駆除対策を実施し、被害拡大を防いだところです。しかし、平成25年には、再び被害が発見され、ヘリコプターによる探査を行ったところ、周辺市町に拡大していることが判明しました（図-1）。

平成25年の全県における被害本数は3,720本で、ピーク時（平成22年）の約14%まで減少していますが、被害地は依然として拡大しています。

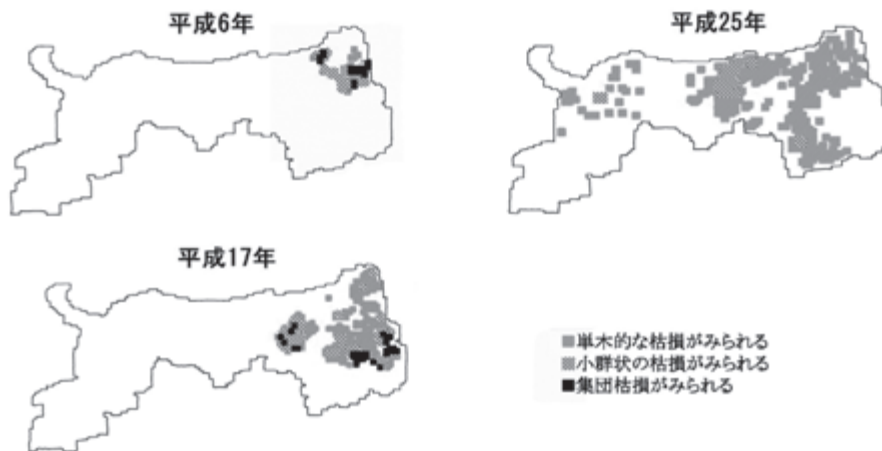


図-1 鳥取県のナラ類集団枯損被害エリアの推移

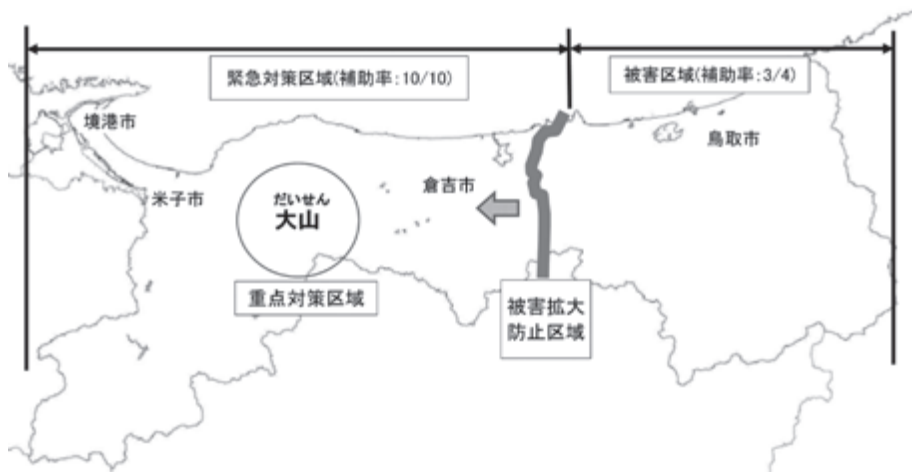


図-2 ナラ枯れ被害対策区分図

○県の支援

駆除は、市町村が実施し、県はこれに対して補助しています。その補助率は、県中部で面的な集団枯損が発生している地域の東端以西の「緊急対策区域」では10/10、以東の「被害区域」では3/4としています。その他に、「緊急対策区域」の東端から西方2キロメートル程度の区域を「被害拡大防止区域」、大山山頂を中心とした10キロメートル範囲内の区域を「重点対策区域」として、監視及び、駆除を強化しています(図-2)。

○大山周辺における取り組み

平成25年度には、関係機関(県・市町・森林管理署、

環境省自然環境事務所)で「大山広域ナラ枯れ被害対策協議会」を設置し、共通した認識の下、徹底した駆除対策を始めています。平成26年度には、カシノナガキクイムシ(カシナガ)の生息状況を調査するため、6月~10月の期間、51地点で、粘着シートを用いたモニタリングを行うとともに、9月には、ヘリコプターによる空中探査を3回実施し、GPSで被害木の座標を特定し、地上からの被害木調査を効率的に行うようにしています。

駆除方法は、原則被害木の伐倒搬出ですが、それが困難な場合は、地形条件等被害地の事情に応じて、伐倒くん蒸、伐倒シート被覆、立木くん蒸、立木シート被覆等の方法を選択することとしています。また、駆除に当たっては、後年度脱出するカシナガの

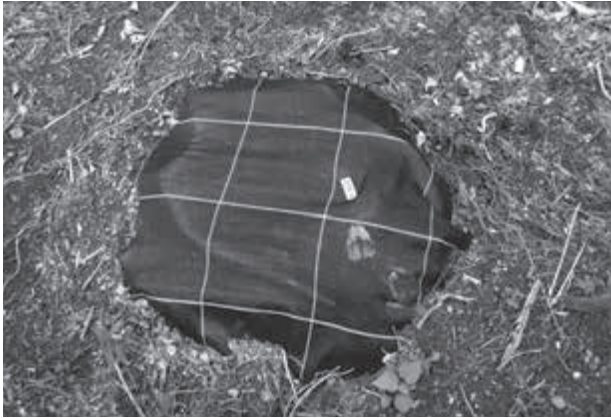


写真 根株のシート被覆

処理対策を重視し、多くのカシナガが潜入しているにもかかわらず、薬剤も効きにくい根株については、

シート被覆（写真）によりカシナガを封じ込める対策を講じています。

○今後の対応方針について

全県の被害量は減少傾向にあります。本県のシンボリックな存在である大山において、これ以上の被害の拡大を阻止し、美しい景観や公益的機能を確保する必要があるため、今後とも、モニタリング、空中探査を継続するとともに、より効率的で効果の高い駆除方法を試行し、国・市町と連携し、隣県とも情報交換しながら、対策に当たっていく考えです。（鳥取県農林水産部 森林・林業振興局 森林づくり推進課）

森林病虫獣害発生情報：平成26年9～10月受理分

病害

なし

虫害

〔カンバルリチュウレンジ・・・栃木県 日光市〕

天然林シラカンバ、2014年9月12日発見、被害本数20本（栃木県林業センター・丸山友行）

〔ダケカンバハバチ（推定）・・・栃木県 日光市〕

天然林ダケカンバ、2014年9月16日発見（栃木県林業センター・丸山友行）

獣害

なし

（森林総合研究所 窪野高徳／伊藤賢介／大井 徹）

林野庁だより

人事異動

穂積玲子（森林整備部研究指導課保護企画係長）

→ 森林整備部計画課付研究指導課併任（平成26年9月1日付、9月16日まで）

穂積玲子（森林整備部計画課付研究指導課併任）

→ 森林整備部計画課付外務事務官併任（平成26年9月17日付）

平山由希子（（独）森林総合研究所企画部育種企画課企画係長）

→ 森林整備部研究指導課保護企画係長（平成26年10月1日付）

森林防疫

第63巻第6号（通巻第705号）
平成26年11月25日 発行（奇数月25日発行）

編集・発行人 佐藤重芳
印刷所 松尾印刷株式会社
東京都港区虎ノ門5-8-12
☎ (03) 3432-1321

定価 1,339円（送料込、消費税込）
年間購読料 6,696円（送料込、消費税込）

発行所

全国森林病虫獣害防除協会
National Federation of Forest Pests Management
Association, Japan

〒101-0047 東京都千代田区
内神田 1-1-12（コープビル）

☎ (03) 3294-9719 FAX (03) 3293-4726

振替 00180-9-89156

<http://bojyokyokai.main.jp/>

新しいマツノマダラカミキリの後食防止剤 **林野庁補助対象薬剤**

農林水産省登録第20330号

マツグリーン[®]液剤

- ①マツノマダラカミキリ成虫に低薬量で長期間優れた効果。
- ②樹木害虫にも優れた効果を発揮。
- ③新枝への浸達性に優れ、効果が安定。

農林水産省登録第20838号

普通物

マツグリーン[®]液剤2

- ④車の塗装や、墓石の変色・汚染がほとんどない。
- ⑤環境への影響が少ない。
- ⑥周辺作物に薬害の心配がほとんどない。

剪定・整枝後の傷口ゆ合促進用塗布剤

農林水産省登録第13411号

トップジンM[®]ペースト

作物名	適用病害名・使用目的
樹木類	切り口及び傷口のゆ合促進
きり	腐らん病
さくら	てんぐ巣病
ぶな(伐倒木)	クワイカビ類による木材腐朽



株式会社 ニッソーグリーン 本社 〒110-0005 東京都台東区上野3-1-2
☎03-5816-4351 <http://www.ns-green.com/>

マツクイ虫防除に多目的使用が出来る 樹木のケムシ退治に

サンケイ

スミパイン[®]乳剤

松枯れ防止樹幹注入剤

ディプロレックス[®]乳剤

ナラ枯れ予防用樹幹注入剤

グリーンガード[®]・NEO ウッドキング[®]

伐倒木用くん蒸処理剤

DASH

キルパー40[®]

伐倒木くん蒸用分解性シート

マツクイ虫被害木伐倒駆除に

ビオフレックス パインサイド[®]S 油剤C 油剤D



サンケイ化学株式会社 <説明書進呈>

本社 〒891-0122 鹿児島市南栄2丁目9 (099)268-7588
 東京営業部 〒366-0032 埼玉県深谷市幡羅町1丁目13-1 (048)551-2122
 大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島4丁目5-1 新栄ビル (06)6305-5871
 九州北部営業所 〒841-0025 佐賀県鳥栖市曾根崎町1154-3 (0942)81-3808