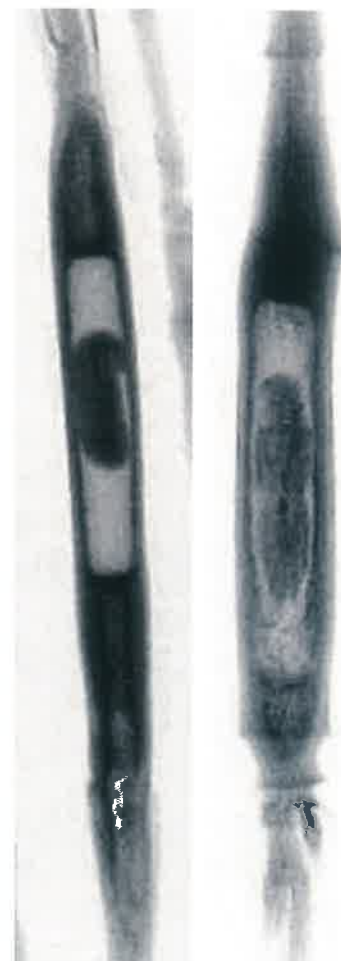


森林防疫

FOREST PESTS

— 森の生物と被害 —



目次

論文

ハラアカコブカミキリの幼虫用人工飼料の開発
[小坂 肇] 3

ケブカトラカミキリ防除支援情報システム「けぶかとらなび」の開発
[武田 藍・牛尾進吾] 8

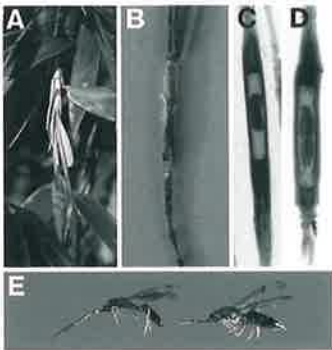
解説

大量出沒によって引き起こされたツキノワグマ個体群の遺伝構造の一時的な変化
[大西尚樹] 15

ニセマツノザイセンチュウ，および弱病原カマツノザイセンチュウの
衰弱した宿主に対する病原力
[神崎菜摘] 18

都道府県だより：三重県 25

森林病虫獣害発生情報：平成24年9月・10月受理分 27



[表紙写真] モウソウチクにできる虫こぶ，モウソウチクエダフクレフシ

写真A：モウソウチクの小枝に作られたモウソウチクエダフクレフシ。

写真B：周りの枯葉を外したところ。

写真C：軟エックス線を照射して特定された虫こぶ内部のモウソウタマコバチ幼虫。

写真D：軟エックス線を照射して特定された虫こぶ内部のモウソウタマコバチ蛹。

写真E：虫こぶから脱出してきたモウソウタマコバチ雄成虫（左）と雌成虫（右）。

モウソウチクエダフクレフシは，モウソウタマコバチ *Aiolomorpha rhopaloides* Walkerによってモウソウチクの小枝に作られる細長い虫こぶ（ゴール）である。この虫こぶは，ときどき竹林で大発生することがあり，香川県，京都府，愛知県でこのハチの生活史が調べられている。名古屋市では，このハチの成虫は4月中旬から5月上旬にかけて羽化脱出し，新梢の節間内部に産卵する。このタマコバチの虫こぶからの脱出時期とモウソウチクの新梢の展開時期とはよく一致している。また多種類の寄生蜂が寄生している。

（名古屋市 柴田 毅 氏）

論文

ハラアカコブカミキリの幼虫用人工飼料の開発

小坂 肇¹

1. はじめに —ハラアカコブカミキリと人工飼料開発の必要性—

ハラアカコブカミキリ（写真-1）は幼虫がシイタケほだ木を摂食し、シイタケの収量を低下させる害虫である。そのため、ハラアカコブカミキリの基本的な生態については多くの報告がある（藤本 1978；堀田・高橋 1981a, b, c；大長光・金子 1988, 1990）。それらによると、ハラアカコブカミキリは年一化で成虫で越冬する。越冬を終えて交尾した雌成虫は枯死してから1年以内の広葉樹に好んで産卵する。したがって、冬期に伐採されてシイタケの種駒を打ち込まれたクヌギなどのほだ木は格好の産卵対象になる。孵化した幼虫は樹皮下を摂食する。幼虫に激しく加害されたほだ木ではシイタケの収量が半減する場合もある。蛹化後、成虫は8月下旬から10月下旬にかけて羽化して、材から脱出する。冬期間、成虫は落葉下や切り株の空洞部などで越冬する。成虫は、越冬の前後の活動期間中、クヌギなどの枯れ枝を後食する。実験的に飼育した場合、後食する樹種としてスギやマツも確認され、雑食性は強いと考えられ

る。分布の中心は、極東ロシアから中国東北部及び朝鮮半島で、我が国にはもともと対馬にしか生息していなかった。それが、対馬からシイタケ原木とともに九州に侵入し、1970年代には定着した。その後、各地での発生採集事例が報告され、我が国における分布は、本州、四国、九州、対馬、壱岐とされる（榎原 2007）。本州における生息地の中心は中国地方であり（井ノ上 1994；大長光・金子 1988）、関東、東北地方では、埼玉県において雌成虫1頭の採集事例はある（村田 1995）ものの、その後の目撃、採集情報は見当たらず定着していないようである。本種は以前から薪炭材やほだ木に付随して移動したものが採集される場合があると考えられており（大長光・金子 1990）、採集地と分布地域（本種が定着して連年発生している地域）が一致していないこともあると思われる。今後、東日本においてシイタケ原木の確保が難しくなると、ハラアカコブカミキリの分布地域からの導入も予想されるので、その分布地域を精査することは喫緊の課題であり、さらにそれを踏まえた上で未分布地域への侵入、定着に対して十分に警戒する必要がある。

このようにハラアカコブカミキリはシイタケほだ木の害虫であり、対馬以外では侵入種であるともいえる。害虫の発生予察や侵入種の潜在的な分布域の推定には、発育零点や有効積算温量を明らかにする必要がある。そのためには、飼育温度別に発育ステージを完了する日数を調べる必要がある。人工飼料で昆虫を飼育できるようになれば、比較的小型な恒温器を用いて多数の個体を飼育でき、また、樹皮下昆虫にとっては発育ステージの観察が容易になり、発育零点や有効積算温量を明らかにすることが容易になる。そこで、ハラアカコブカミキリの幼虫飼育用の人工飼料の開発に取り組み、成功した（Kosaka



写真-1 交尾活動中のハラアカコブカミキリ雌雄成虫
雄成虫が雌成虫にマウントしている。

2011) ので失敗事例を含めて紹介し、今後の展望を述べる。

2. 人工飼料と幼虫の飼育

マツノマダラカミキリの幼虫は、蚕用人工飼料と乾燥酵母に寄主植物であるマツを混合した人工飼料で飼育可能である(小坂・遠田 1991; Kosaka and Ogura 1990)。そこで、これを参考に、2種類の人工飼料を作製した(表-1)。各成分をよく混合し、100mlの三角フラスコに詰めてヘラで固め、フラスコ壁面と人工飼料の間に幼虫接種用の穴をあけた。通気性のある栓(シリコセン, 信越ポリマー株式会社)で人工飼料を入れたフラスコに蓋をして、オートクレーブで121°C, 20分間殺菌した(写真-2)。

表-1 ハラアカコブカミキリ幼虫用の人工飼料の組成 (%)

成分	飼料A	飼料B
クヌギおが屑 ^a	25	—
ブナおが屑 ^a	—	20
蚕用人工飼料 ^b	20	25
乾燥酵母 ^c	5	5
蒸留水	50	50

^a 約2×2mmのナイロンメッシュを通し、最大長は1.5cm
^b 日本農産工業株式会社, シルクメイト原種1~3令用飼料(粉末)
^c アサヒフードアンドヘルスケア株式会社, エビオス錠(粉碎して使用)

ハラアカコブカミキリ成虫を熊本県内で3月から5月にかけて採集し、クヌギの枯れ枝を餌として与えて室内で飼育した。同時にクヌギの小丸太を与えて産卵させた(写真-3)。産卵痕の前後をカッターナイフで削り、ピンセットを用いて小丸太から卵(写真-4)を取り出し、シャーレに入れた湿った濾紙の上に置いて蓋をした。毎日卵を観察し、孵化して1日以内の幼虫を人工飼料に1頭ずつ接種し(写真-5)、25°C全暗条件で飼育した。その結果、どちらの飼料でも飼料を一度も交換することなく、接種した幼虫の6割以上が成虫として羽化した。平均の幼虫期間は約60日、蛹期間は約12日であった。

人工飼料の質を天然飼料と比較するために、野外

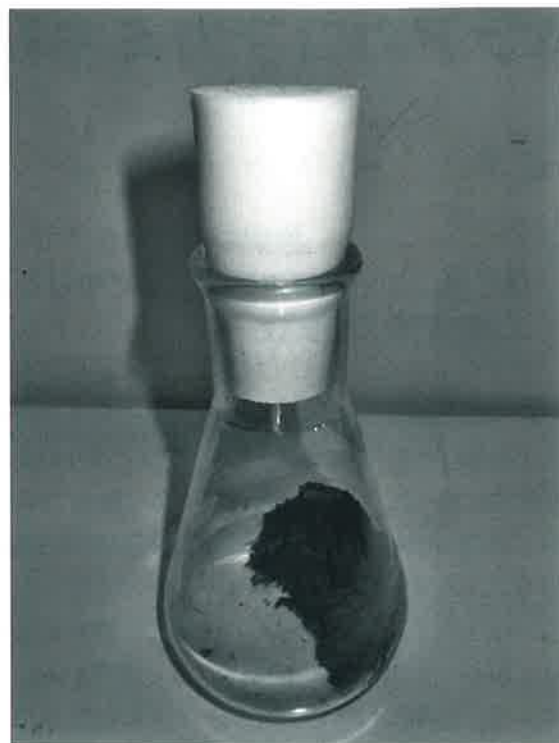


写真-2 ハラアカコブカミキリ幼虫の人工飼料と飼育容器



写真-3 ハラアカコブカミキリ成虫の飼育
 餌として樹皮の薄いクヌギの枯れ枝を入れ、産卵用に樹皮の厚い小丸太(矢印)を入れてある。

に置いた網箱を用いてハラアカコブカミキリを飼育した(写真-6)。3対の雌雄成虫を枯れたクヌギの枝と丸太が入っている網箱に5月に入れた。しばらくすると丸太に産卵痕が認められ、8月から10月にかけて次世代の成虫が羽化した。羽化した成虫の

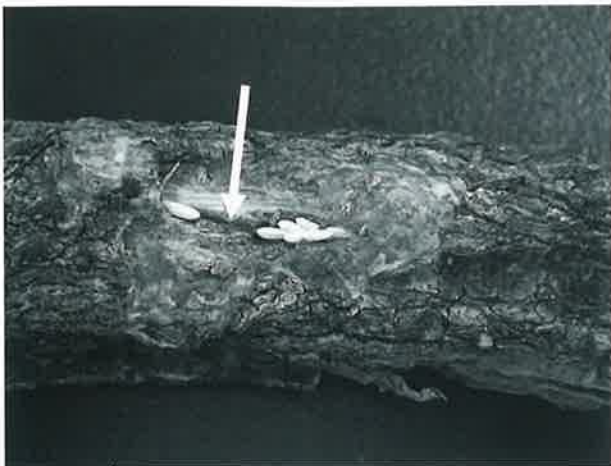


写真-4 ハラアカコブカミキリの卵
矢印は産卵痕のあった場所。このように産卵痕の前後に産卵する
場合が多く、卵をまとめて産みずることもある。



写真-6 バケツを利用した網箱
蓋の一部を切り取って金属製の網を張り、底には水抜き用の穴
を開けてある。



写真-5 人工飼料に接種直後のハラアカコブカミ
キリ幼虫 (矢印)

平均の体重は約500mgであった。一方、人工飼料で飼育した成虫は平均800mg前後であった。これらから、ここで用いた人工飼料は幼虫の飼育には質的に十分であることが明らかになった。

これらの飼育結果から、2種類の人工飼料はハラ

アカコブカミキリ幼虫の飼育に適している、すなわち人工飼料の開発に成功したと判断した。ただし、網箱で飼育したときと比べ、人工飼料での飼育には人工飼料の作製だけでなく卵の採取やそのための成虫の飼育に手間がかかると感じた。野外網箱で飼育した場合、餌木や産卵木とともに3対の成虫を網箱に入れた後、餌交換なしで約60頭の次世代成虫を得ることができた。次世代の成虫が必要な場合は網箱等で天然飼料を用いた飼育、幼虫の発育特性を解明したり清潔な成虫が必要な場合は人工飼料を用いた飼育が適していると考えられる。

3. 飼育の失敗事例

ハラアカコブカミキリ幼虫の人工飼料の開発は順調には進まなかった。飼料Aの組成から蚕用人工飼料を10%、蒸留水を60%に変えた飼料も作製した。蚕用人工飼料に対して本来の飼料であるクヌギの割合を高めるほうが幼虫の発育にはいいのではないかという発想からである。この人工飼料を20g三角フラスコに詰めて同様に殺菌したのち孵化直後の幼虫を接種した。ところが、ほとんどの飼料にカビが発生した(写真-7)。蚕用人工飼料には成分や組成は分からないものの抗菌剤が含まれており、この人工飼料における蚕用人工飼料の比率が低かった、あるいは総量が少なかったため、十分な抗菌作用を発



写真-7 人工飼料に発生したカビ

揮できずにカビが発生したと推察した。カビが発生しても直ちに幼虫が死ぬわけではないが、飼料を交換する手間がかかる。また、マツノマダラカミキリ幼虫の飼育と同様に表面殺菌した卵を接種する無菌飼育 (Kosaka and Ogura 1990) も可能であると思われるものの、やはり殺菌の手間がかかり、また、接種した卵が孵化するとも限らないため飼育効率が悪くなる。そのため、この人工飼料は飼育に不適であると判断した。

4. 今後の展望 ー人工飼料を用いた成虫の飼育へー

ハラアカコブカミキリ成虫の室内飼育はあまり成功していないとされている (大長光・金子 1988)。何をもって飼育の成否とするか難しい点はある。例えば、今回人工飼料を開発する過程で成虫を室内飼育して採卵し、必要な数の孵化幼虫を得た。孵化幼虫の確保という点においては成虫の室内飼育に成功したといえる。しかし、個人的には成虫の室内飼育は難しいと感じている。室内での飼育開始当初は、餌の交換と食べかすや糞の清掃を行っていた。すると室内飼育を始めて10日くらいでほとんどの成虫が死亡した。野外から成虫を採集し続けて室内飼育で産卵させ、何とか採卵を続けて孵化幼虫を確保したのが実情であった。死亡した個体を観察すると腹と



写真-8 人工飼料で飼育中のハラアカコブカミキリ成虫

背中がくっつくようにしぼんでいる個体が多かった。水分不足による死亡を疑い、室内飼育している成虫に霧吹きで水をかけると一見霧吹きから逃れるように活発に動き始めたが、その後水滴をよく舐めた。このことは成虫がよく水を飲むという観察結果 (大長光・金子 1988) を支持している。水分不足が死亡の主な原因であったのか断定はできないものの、室内飼育で霧吹きをするようになってから、成虫はより長生きするようになったと感じている。しかし、今でも霧吹きの間隔があいた後に大量に死亡してしまう場合がある。その他、昆虫病原菌のポーベリアによる死亡も珍しくなく、また、おそらくバクテリアの感染と思われる口や排泄口から赤黒い液を出しての死亡も多い。これらの死亡時は、霧吹きのし過ぎによる湿度超過が原因の場合もあるのではないかと疑っている。水分補給の加減が成虫死亡の直接あるいは間接の要因となっている可能性があるが、現時点では適切な水分補給量が分かっていない。

マツノマダラカミキリ成虫は、もともとは幼虫用に開発された人工飼料を摂食して性成熟した (小坂・遠田 1991)。このことを参考に予備的にハラアカコブカミキリ成虫を羽化直後から幼虫用の人工飼料で飼育した (写真-8) と、個体によっては4か月以上の生存を確認している。人工飼料を摂食してハラアカコブカミキリ成虫が性成熟するのであれば、

人工飼料で成虫を飼育して卵が必要な時だけ小丸太を与えて産卵させ、室内飼育時における霧吹きの手間を省けたり、霧吹きのし忘れやし過ぎによる死亡の危険からも回避できるかもしれない。今回開発したハラアカコブカミキリ幼虫の人工飼料を用いて幼虫の発育零点と有効積算温量の解明に取り組むことは当初からの計画である。それに加えて人工飼料を用いた成虫の飼育とそこから得られるであろう成果にも期待している。

謝辞

ハラアカコブカミキリの採集と飼育には、森林総合研究所九州支所の高畑義啓氏に、採集には熊本県林業指導所の遠山昌之氏と森林総合研究所九州支所の宮崎和弘氏に、飼育には森林総合研究所九州支所の鎌 三佳氏と連絡調整室のみなさまに、文献や生態に関する情報収集には森林総合研究所の北島 博氏と高梨琢磨氏にご助力いただき、ここに感謝いたします。本研究は科学研究費補助金24580234の助成を受けた。

引用文献

藤本幸夫 (1978) しいたけほた木害虫としてのハラアカコブカミキリと、その防除法に関する研究。長崎県総合農林試験場研究報告 (林業部門) 9: 12~35.

堀田 隆・高橋和博 (1981a) ハラアカコブカミキリの生態に関する研究 I - 産卵と羽化の関係 -。大分県林業試験場研究時報 2: 1~5.

堀田 隆・高橋和博 (1981b) ハラアカコブカミキリの生態に関する研究 II - 成虫の行動 - 大分県

林業試験場研究時報 2: 6~12.

堀田 隆・高橋和博 (1981c) ハラアカコブカミキリの生態に関する研究 III - 密度効果 -。大分県林業試験場研究時報 2: 13~17.

井ノ上二郎 (1994) 島根県で発生したハラアカコブカミキリによるシイタケほだ木の被害。島根の林業 194: 15~16.

Kosaka H (2011) Artificial diets for the larval oak logicorn beetle, *Moechotypa diphysis* (Coleoptera: Cerambycidae). Appl Entomol Zool 46: 581~584.

小坂 肇・遠田暢夫 (1991) 人工飼料によるマツノマダラカミキリ幼虫の簡易飼育。森林防疫 40: 183~187.

Kosaka H, Ogura N (1990) Rearing of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) on artificial diets. Appl Entomol Zool 25: 532~534.

槇原 寛 (2007) ハラアカコブカミキリ族 Tribe CROSSOTINI THOMSON, 1864. 日本産カミキリムシ (大林延夫・新里達也編), p.608, 東海大学出版会, 神奈川.

村田元彦 (1995) ハラアカコブカミキリの埼玉県における採集例。月刊むし 298: 27.

大長光 純・金子周平 (1988) ハラアカコブカミキリ。林業と薬剤 106: 1~12.

大長光 純・金子周平 (1990) 福岡県におけるハラアカコブカミキリの発生活消長と防除に関する研究。福岡県林業試験場時報 37: 1~58.

(2012. 6. 13受付, 2012. 7. 17掲載決定)

論文

ケブカトラカミキリ防除支援情報システム「けぶかたらなび」の開発

武田 藍¹・牛尾進吾²

1. はじめに

2008年、千葉県でケブカトラカミキリ (*Hirticlytus comosus* (Matsushita)) によりイヌマキが枯死・衰弱する被害が確認された。ケブカトラカミキリは、チョウセンマキ (イヌガヤ科), ナギ (マキ科), イヌマキ (マキ科) を寄主とする日本固有種である (臼井ら 2007)。屋久島, 種子島, 四国 (高知県南部), 九州 (鹿児島県, 宮崎県南部, 熊本県南部) のみに分布しているとされていたが (佐藤 1999; 臼井ら 2007), 2008年に千葉県でイヌマキにおける被害が確認され, 本州で初めての報告となった (武田 2011)。千葉県においてイヌマキは庭木向けに多く生産され農業生産上重要な樹種であるだけでなく, 庭木や生け垣として一般家庭や公共施設等で広く植樹され, 県木に指定されている。そのため, 県を挙げて被害木の伐採・焼却を進めるほか, 薬剤散布の徹底を呼びかけて被害の拡大阻止を図っている。

薬剤散布は, 効果の得られる散布時期が成虫脱出時期に限られるものの, 伐採・焼却せずに防除できる効果的な方法である (佐藤 2000)。成虫脱出の開始時期は年により2週間以上異なることが報告されているが, 加温試験に基づいて算出された有効積算温量により推定が可能である (武田ら 2012)。また, 野外における脱出消長の調査と登録薬剤の残効試験により, 脱出消長の特徴や防除に必要な薬剤の散布頻度が明らかになり (武田ら 2012; 武田 2012), これらをもとに効果的な薬剤散布時期を決定することが可能となった。

しかしながら, 時別気温データをもとにした有効積算温量の積算作業は煩雑であり, 気温の推移や薬剤の残効期間など複数の情報を組み合わせて判断する必要もあるので, 指導者や防除従事者が各自で頻繁に

応用するのは困難と考えられた。

そこで, 指導者や防除従事者が農薬散布時期を判断するために必要な最新の情報を, 簡便な操作でパソコン (以下PCとする) 上にわかりやすく視覚化して示す防除支援情報システム「けぶかたらなび」を開発した。

2. 材料および方法

(1) システムの概要

Microsoft® Excel® 2007を利用して本システムを

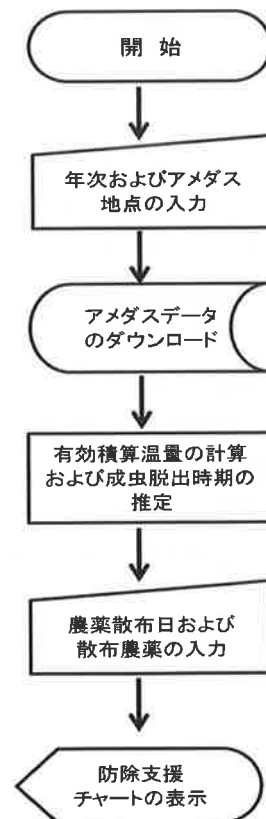


図-1 ケブカトラカミキリ防除支援情報システム「けぶかたらなび」のフロー図

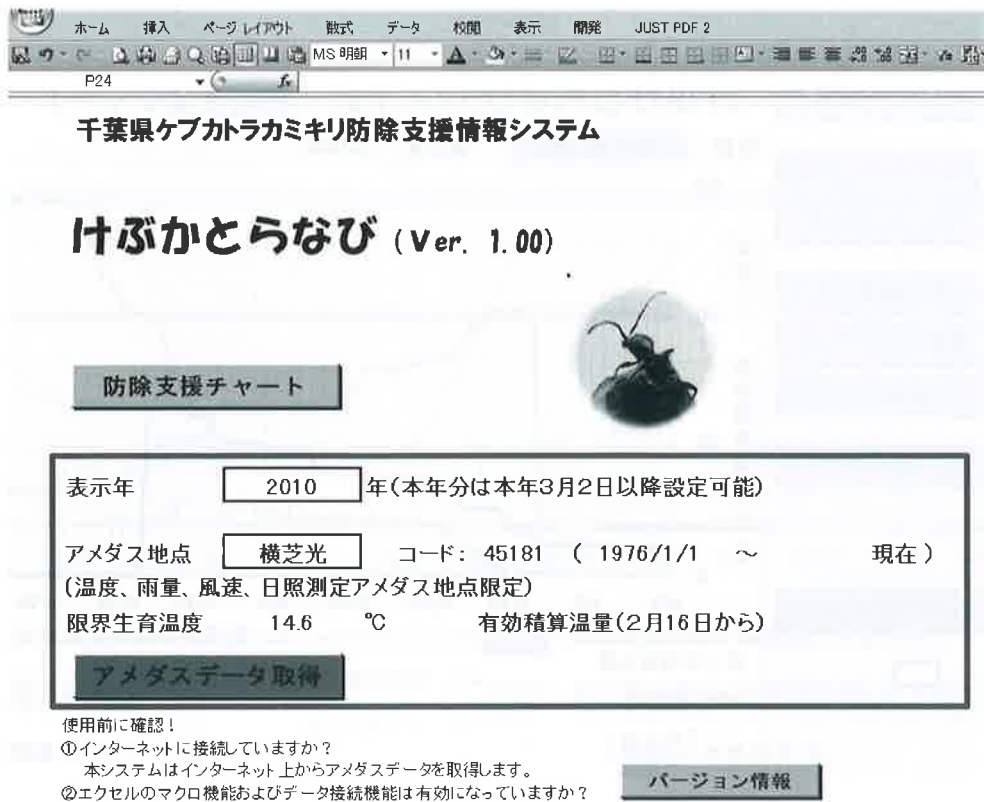


図-2 「けぶかとらなび」初期画面

開発した。年次およびアメダス (AMeDAS, Automated Meteorological Data Acquisition System) 地点を指定すると、自動的にその年次・地点のアメダスデータをダウンロードし、有効積算温量を計算して成虫脱出時期や気温の推移などを防除支援チャートとして出力する。また、薬剤散布日および散布薬剤を指定すると、チャート上に薬剤の残効期間が表示される (図-1)。

(2) 初期画面における入力とアメダスデータの取得
 初期画面 (図-2) において、年次およびアメダス地点を選択入力し、「アメダスデータ取得」ボタンを押下して実行すると、インターネット上に公開されている指定年次・地点の最新アメダス時別気温データがWebクエリを利用して自動的にダウンロードされる。本システムでは千葉県内で使用することを前提として、県内のアメダス地点を選択入力できるようになっているが、アメダス地点のコードを入力すれば、全国のアメダス地点のデータをダウンロー

ドすることができる。ただし、当年を指定して本システムを実行することができるのは3月2日以降とし、実行日が1月1日から3月1日までの場合は当年を指定することができない設定とした。これは、2月中のデータをチャート化するにはうるう年処理をする必要があってプログラムが複雑化するためであり、かつ本虫の場合、2月中のチャート化はあまり意味がないと考えたためである。なお、前年以前のデータはいつでも取得可能である。ダウンロード元はミドルウェアである気象データ利用支援ソフト MetBroker (中央農業総合研究センター (田中 2006)) である。この際、チャート上で比較するために、指定年次の前年のデータも自動的にダウンロードされる。

(3) 有効積算温量の計算

ケブカトラカミキリ成虫の脱出開始は、当年2月16日から14.6°C以上の時別温量の積算値40.9日度にほぼ一致することから (武田ら 2012)、この値を脱

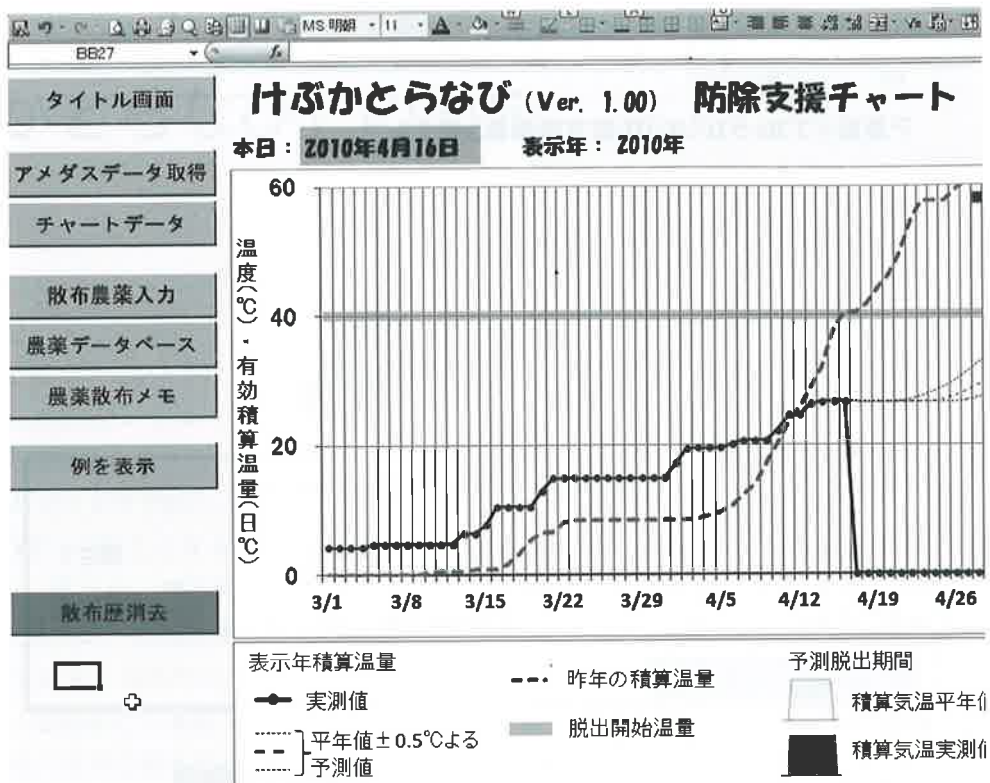


図-3 「けぶかとらなび」出力画面(防除支援チャート)

散布農薬入力Form

農薬の散布日と効果の目安

散布月日	散布農薬
3月16日	取消し
3月17日	スミバイン
3月18日	トレボン
3月19日	
3月20日	
3月21日	
3月22日	
3月23日	
3月24日	

脱出したケブカトラカミキリ成虫に対する効果

残効期間 日間

設定 キャンセル

注意

内蔵データベースに残効期間等が設定されていない場合の各期間は0日になります。

本システムでは残効期間、治療期間は散布当日が1日になります。

システム内に予め収録されている農薬の効果は一応の目安です。農薬の効果は散布方法や気象条件等により異なります。必要に応じて変更できます。

内蔵データベースに予め収録されている農薬は、平成24年1月1日現在の農薬登録内容に基づいたものです。農薬の使用にあたっては、必ず農薬ラベルの表示事項に従って使用してください。

図-4 散布農薬入力フォーム

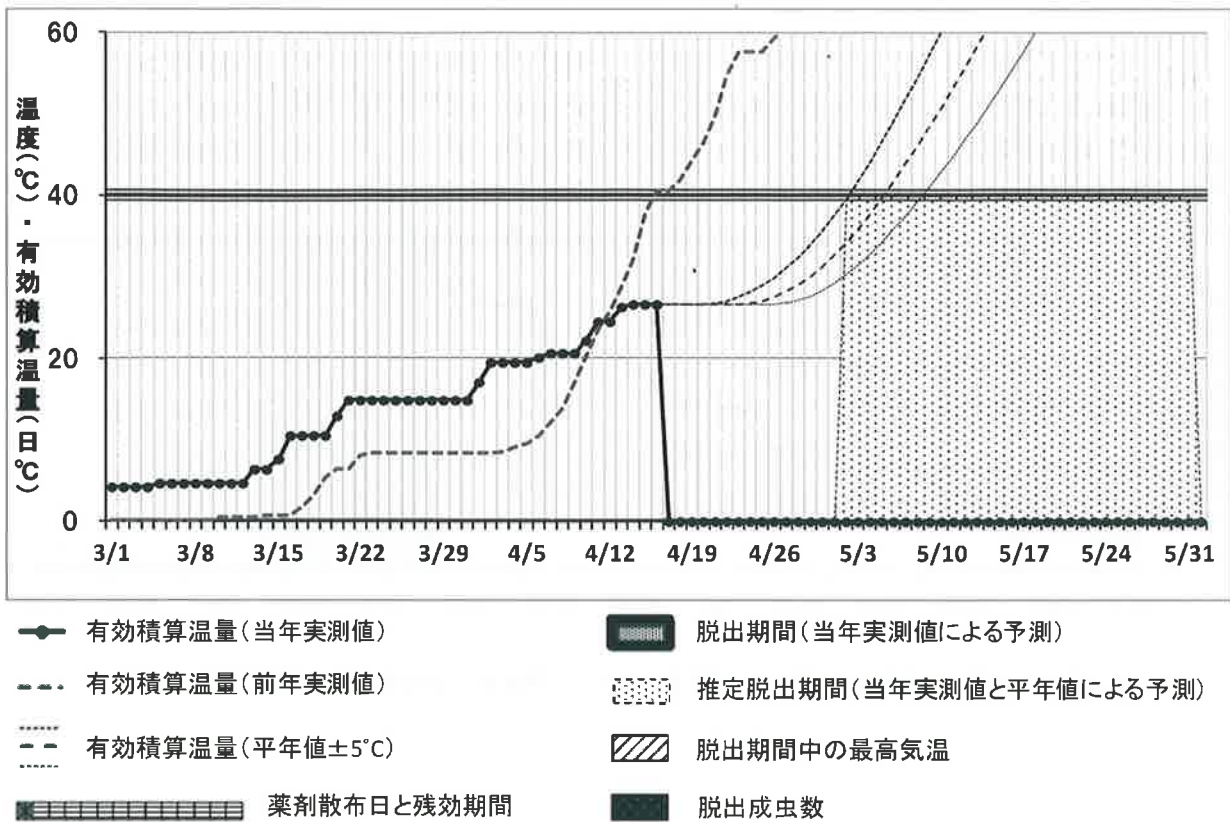


図-5 脱出開始温量到達前における防除支援チャート画面例 (2010年4月16日を実行日とした)
 注) 凡例は図-6および7共通。

出開始温量とした。本システムでは、自動的にダウンロードされたアメダス時別気温データに基づき、2月16日から実行日までの積算温量が日別に計算される。また、実行日以降はあらかじめ格納されている平年値に基づき、平年値および $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ で推移した場合の日別積算温量予測値が計算される。

(4) 散布農薬と散布日の入力

防除支援チャート画面上の「散布農薬入力」ボタン(図-3)を押下すると表示される「散布農薬入力フォーム」で、農薬散布日及び散布農薬名を選択入力する(図-4)。薬剤を選択すると、本種に対する残効期間の目安がテキストボックスに表示される。入力ボックスに表示される農薬および残効期間の目安は、防除支援チャート画面上の「農薬データベース」ボタン(図-3)を押下すると表示される内蔵のデータベースに収録されている。ケブカトラ

カミキリ成虫に対して使用できる薬剤には2012年6月現在、MEP乳剤80(商品名;スミパイン乳剤,50から150倍)およびエトフェンプロックスマイクロカプセル剤(商品名;トレボンMC,2000倍)があり、内蔵のデータベースには上記2剤があらかじめ収録されているが、新たな知見等に対応できるように加除、修正可能である。

3. 結果および考察

(1) 防除支援チャートの表示内容

防除支援チャートの表示例を図-5(脱出開始温量到達前)および図-6(脱出開始温量到達後)に示した。ケブカトラカミキリ成虫の脱出は4月から5月にかけて1ヶ月程度持続するので(佐藤1999;武田ら2012),3月1日から5月31日までをチャート表示する仕様とした。

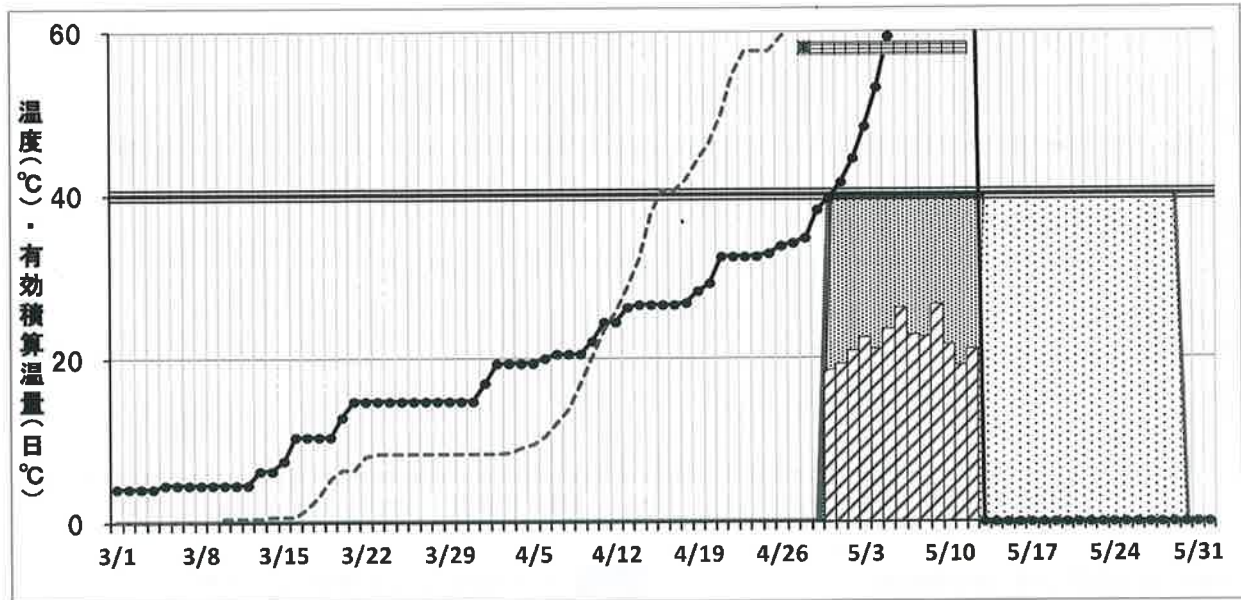


図-6 脱出開始温量到達後における防除支援チャート画面例 (2010年5月12日を実行日とした)

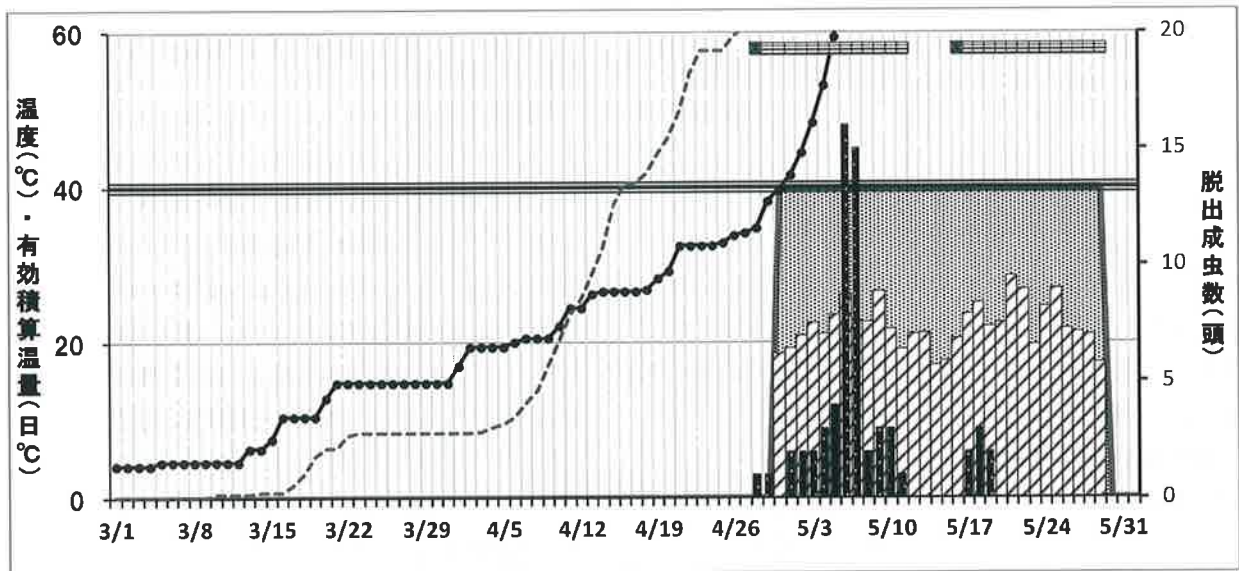


図-7 防除支援チャート出力結果とケブカトラカミキリ成虫脱出消長の比較

注) 脱出消長は武田ら (2012) より引用した。調査は2010年に、千葉県農林総合研究センター (千葉市) の網室 (ガラス天窓) 内で行った。供試木は前年の秋に匝瑳市八日市場で採取したイヌマキの加害木 (5本) であり、約50cmの長さに切断して直径60cmのナイロン紗捕虫網 (株式会社賀昆昆虫普及社) でさらに被覆した。4月1日から毎日成虫の脱出頭数を調査した。

1) 有効積算温量の推移

チャート上には実行日までの有効積算温量の推移が太実線で示されるとともに、実行日以降の積算温量予測値の推移が点線で表示される(図-5)。前年の有効積算温量の推移も同チャート上に太点線で表示され、前年度と比較することができる(図-4)。

2) ケブカトラカミキリの脱出期間

実行日における有効積算温量が脱出開始温量に達していない場合には、平年値+0.5°Cの値の有効積算温量予測値が脱出開始温量に達した日を脱出開始予測日とし、その日から30日間が推定脱出期間として表示される(図-5)。一方、実行日における有効積算温量がすでに脱出開始温量に達している場合には、到達日以降の30日間が脱出期間として表示される(図-6)。

3) その他、防除時期決定に参考になる表示

ケブカトラカミキリは、脱出期間中、最高気温が20°Cを大きく超える日に脱出頭数が多くなり、逆に大きく下回る日には脱出頭数が少なくなることが報告されている(武田ら 2012)。この知見をもとに、成虫脱出期間中は、最高気温が棒グラフで表示される(図-6)。また、「散布農薬入力フォーム」から散布薬剤と散布日を入力すると、農薬散布日およびその残効期間がチャート上に表示される(図-6)。これらの情報は2回目以降の薬剤散布をする際の参考となる。

(2) 野外における実際の発生消長との比較

「けふかとらなび」における表示例として、2010年の防除支援チャートとその年の成虫脱出消長を対応させた図を示す(図-7)。

前年(2009年)の脱出初日は4月16日であったが、2010年の4月16日時点における積算温量は26.6日度と脱出開始温量を大きく下回り、脱出が前年に比べて大幅に遅くなることがグラフから視認できた。実際の成虫脱出初日は4月28日になったが、4月16日時点での予測脱出初日は5月2日、4月25日時点では4月30日、脱出開始温量到達日は4月29日であり、脱出開始温量に近づくほど誤差は減少し、最終的な誤差は1日であった。このことから、有効積算温量

の推移を観察することにより、成虫の脱出開始時期をより正確に推定できると考えられた。

脱出開始温量到達後2週間は、最高気温は18.6°Cから23.6°Cで推移し、最高気温が26.2°Cに達した5月6日に脱出頭数が最大となった。その後、17.1°Cから21.3°Cで推移した5日間は脱出が起これず、最高気温が23.7°Cに達した17日から3日間脱出が再開された。このように最高気温が上昇した日およびその翌日に脱出頭数が増加しており、最高気温のグラフをチェックすることで脱出頭数の増減をある程度推測できると考えられた。

(3) 農薬の散布時期の決定

ケブカトラカミキリは年1化であり、4月から5月に成虫が脱出して交尾・産卵するが、それ以外のステージはすべて寄主の材内で生活している(小林・竹谷 1994)。このため、現時点では寄主を伐採することなく防除できる期間は成虫の脱出時期に限られる。また、成虫は性成熟してから脱出し、脱出後は後食せずに直ちに交尾・産卵することや(小林・竹谷 1994; 佐藤 1999)、主に脱出木の幹上を徘徊して移動性は低いことが報告されている(佐藤 2005)。薬剤についてはMEP剤の接触毒性が明らかになっていたほか(佐藤 2000)、エトフェンプロックス剤の効果が新たに確認され(武田 2012)、農薬登録が拡大された。

これらの知見から、成虫脱出時期の直前にイヌマキの幹に農薬を散布しておき、その上を脱出した成虫が歩行することにより、雌成虫が産卵する前に死亡させるのが有効な防除法と考えられる。このため、1回目の農薬散布をケブカトラカミキリの脱出開始の直前に行うことが最も望ましいと考えられた。本システムを利用すれば成虫の脱出期間があらかじめ予測できるので、1回目の農薬散布時期を容易に判断できる。

また、ケブカトラカミキリ成虫に対する防除効果が確認されている散布薬剤について、その残効期間が2週間程度であることが明らかになっており(武田 2012)、成虫脱出時期の全期間に渡って防除効果を持続させるためには複数回の散布が必要となる。

2回目以降の散布は、1回目の薬剤散布の残効と、最高気温の推移、その後の週間天気予報などを考慮して決定することができる。

4. 終わりに

これまでに成虫の脱出初日予測に必要な生育パラメーターや、脱出数が多くなりやすい気象条件、農薬の残効性を明らかにしてきたが、これらの情報を指導者や防除従事者が実際に防除に活用できるような形で視覚化したのが本稿で報告したシステムである。本システムにより対象害虫の発生状況や防除適期、農薬の残効が視覚化され、根拠に基づいた防除時期の決定や、過去の防除に関する評価を誰もが行うことができると考えられる。

このように、実際の気象状況や薬剤の残効性を視覚化し、根拠に基づいた防除支援をするシステムとしてはナシ黒星病防除支援情報システム「梨ナビ」がある（牛尾ら 2008）。「梨ナビ」は「けふかとなび」と同様にMicrosoft® Excel® 上で動くが、圃場に設置した温度センサーのデータを手動でPCにダウンロードして機能させる必要がある。「けふかとなび」はインターネット上のアメダスデータを、MetBrokerを通してリアルタイムでダウンロードして表示することができるので、温度センサー等の特別な機材は不要で、インターネットに接続されたPCがあればどこでも利用することが可能である。

また、本システムはケブカトラカミキリを対象に、千葉県内で使用することを目的として設計されているが、発育ゼロ点等の生育パラメーターやチャート表示方法を変更することにより、他の地域や他の昆虫等を対象にしたシステムに改造することが可能である。高度情報化社会の進展によりPCのみならずモバイル端末の普及が進んでおり、防除支援の方法にもスマートフォンアプリやソーシャルネットワークサービスなど多様な可能性が考えられ、今後のさらなる進展が期待される。

なお、本システムは試行版が現地農業事務所に配布され、2012年の成虫脱出時期推定および薬剤散布

時期の決定に試用された。今後、現地の意見を取り入れ、改善した上で、2013年度から現地における講習会等を開催して普及する予定である。配布方法については現在検討中である

引用文献

- 小林富士雄・竹谷昭彦編（1994）森林昆虫. pp230. 養賢堂. 東京.
- 佐藤嘉一（1999）ケブカトラカミキリの生態と防除 I—分布・脱出消長・産卵消長—. 日林九支研論 52：89～90.
- 佐藤嘉一（2000）ケブカトラカミキリの生態と防除 II—イヌマキ樹幹上での成虫の行動とフェニトロチオンの接触毒性. 日林九支研論 53：109～110.
- 佐藤嘉一（2005）ケブカトラカミキリによる被害木の空間分布およびその成立要因としての成虫の走光性. 日林誌 87：247～250.
- 武田 藍（2011）千葉県におけるケブカトラカミキリの発生初確認. 森林防除 60：172～175.
- 武田 藍（2012）イヌマキの害虫ケブカトラカミキリの千葉県における新発生と防除. 植物防除 66：印刷中
- 武田 藍・清水喜一・大嵩洋子（2012）千葉県におけるケブカトラカミキリ *Hirticlytus comosus* (Matsushita) (コウチュウ目：カミキリムシ科) のイヌマキからの脱出消長と脱出開始時期の推定. 応動昆 56：68～71.
- 田中 慶（2006）Javaによる作物生育・病虫害発生予測モデル開発のためのフレームワーク. 農業情報研究 15：183～194.
- 牛尾進吾・金子洋平・大谷 徹・菅原幸二・田中慶・梅本清作・竹内妙子（2008）ナシ黒星病防除支援情報システム「梨病害防除ナビゲーション」の開発. 関東東山病虫害研究会報 55：55～60.
- 白井陽介・楨原 寛・森田 茂・佐藤嘉一（2007）ケブカトラカミキリに関する知見および文献目録. 森林防除 56：75～84.
- （2012. 7. 26受付, 2012. 8. 9掲載決定）

解説

大量出沒によって引き起こされたツキノワグマ 個体群の遺伝構造の一時的な変化

大西 尚樹¹

1. はじめに

多くのツキノワグマが山から人里に降りてくる“大量出沒”と呼ばれる現象が各地で起こり、問題となっている。クマは秋になるとたくさん食べて脂肪を蓄えることで冬眠に備えるが、本来の生息地である山の中で秋の主食であるドングリ類が凶作になると、食物を求めて行動範囲が大きくなり、人里まで降りてきていると考えられている（自然環境研究センター 2005；森林総合研究所 2012）。こうした大量出沒による行動範囲の変化は、クマの分布やクマ同士の社会関係に大きな変化を引き起こしている可能性がある。そこで、著者は共同研究者と共に富山県において、大量出沒がツキノワグマの社会にどのような影響を与えているのかを遺伝学的解析を用いて調べ、その結果が日本哺乳類学会の英文誌Mammal Studyに発表された（Ohnishi *et al.* 2011）。今回はその

論文を紹介する。

2. 方法

2004～2008年のうち、2007年を除いた4年間に富山県および富山県との県境付近の石川県内で収集された試料を解析に用いた（図-1、表-1）。富山県では2004年と2006年に大量出沒が報告されているため、'04年と'06年を大量出沒年、'05・'07・'08年を平常年とした。そして、'04年と'06年の大量出沒年の秋に有害駆除によって捕獲された個体の試料を“出沒個体”とした。一方、'05・'06・'08年の夏に富山県の山中に配置したヘアトラップによって集めたツキノワグマの体毛からDNAを抽出して個体識別を行った。これらの識別個体は本来の生息地で行動している“通常個体”とみなし、出沒個体の対照とした。'06年は大量出沒年であるが、ヘアトラップ

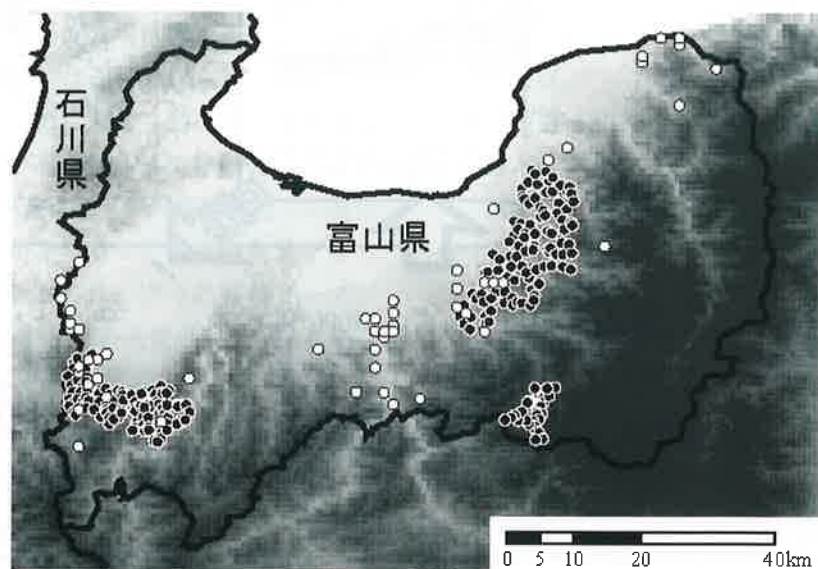


図-1 ヘアトラップの設置地点（●）および有害駆除個体の捕獲地点（○）
Ohnishi *et al.* (2011)のFig.1を元に作成。

Interpretation: Mass-intrusion-induced temporary shift in the genetic structure of an Asian black bear population.
¹OHNISHI, Naoki, 獣森林総合研究所東北支所

表-1 通常個体と出没個体のサンプル収集時期

	2004年 (出没年)	2005年	2006年 (出没年)	2008年
通常個体		ヘアトラップ (夏) 狩猟 (秋)	ヘアトラップ (夏)	ヘアトラップ (夏)
出没個体	有害駆除 (秋)		有害駆除 (秋)	

ブによる体毛は夏に回収し、出没は秋に起こっているため、ヘアトラップによる体毛から識別された個体は通常個体として扱った。また、'05年には狩猟により捕獲された個体も通常個体として扱った。

集められた試料からDNAを抽出して、マイクロサテライトDNA領域8遺伝子座を用いて遺伝解析を行った。

3. 結果と考察

図-2は個体間の距離と遺伝的な関係を示したものである。縦軸が遺伝的な関係性を示す指標（遺伝相関係数： r_c ）で、横軸は距離クラスを示している。

距離クラスとは、例えば0-10kmのクラスでは個体間の距離が10km未満のペアの r_c の平均を示し、0-50kmのクラスでは個体間の距離が50km未満のペアの全ての r_c の平均を示している。各距離クラスに示した横棒は遺伝的な関係性が無いときに期待される r_c の値の範囲で、これより統計的に大きい値の場合を●で示した。つまり、●はその距離の範囲では個体間の遺伝的な関係性が強く、○では関係性が弱いことを意味している。

2006年と2008年の通常個体では r_c の値がL字型の曲線を示し、解析に用いた距離の8割程度まで●となっている。'05年で全て○なのは、試料数が少な

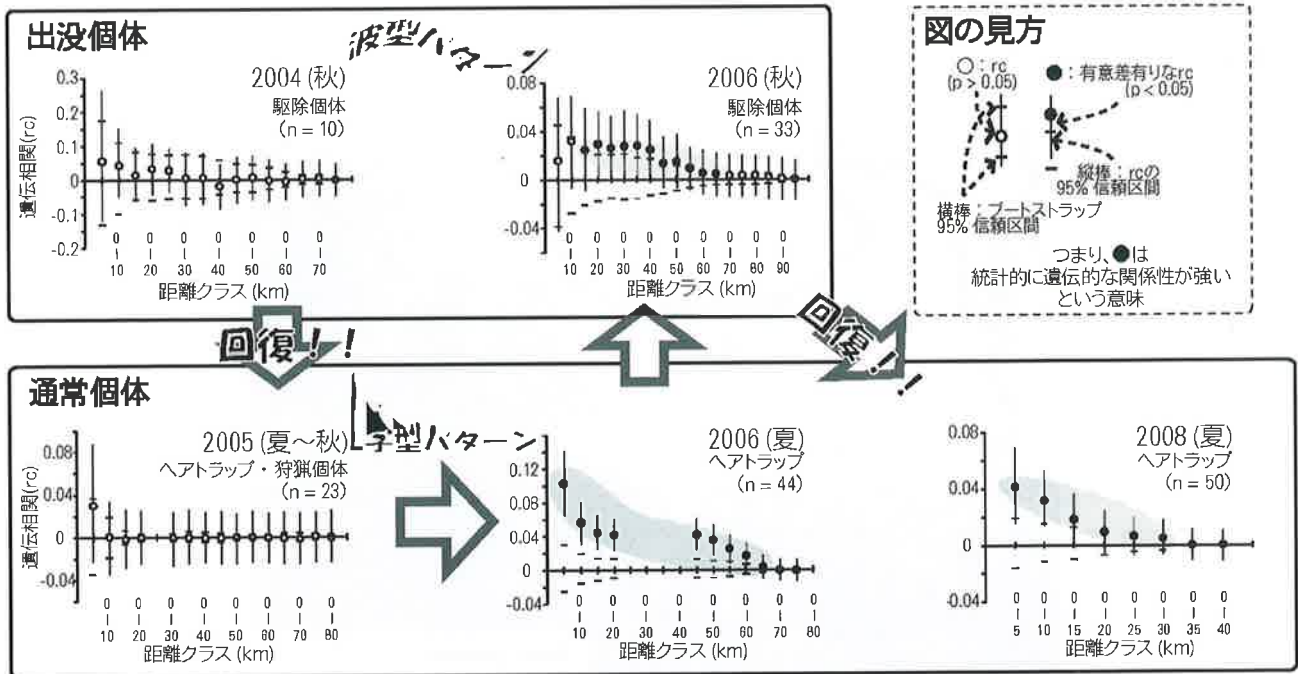


図-2 個体間の距離と遺伝的な関係

Ohnishi et al. (2011) のFig.3を元に作成。

いため統計的な検出力が弱かったと考えられるが、弱いL字型をとっていることがわかる。一方、出沒時はL字型を取らずに rc の値は波打っている。'06年は10km未満で○となっているが、その後65km未満までは●となっている。

このように通常時は遺伝的な関係性が高い個体、つまり血縁関係が近いと推測される個体はお互いに近くにいるのに対し、出沒時にはその関係が崩れてしまうことがわかった。これは、大量出沒時には通常利用している場所を離れたためと考えられる。しかし、通常のこの個体群では1個体の遺伝的な影響力は65km程度維持されるのに対し、出沒時には10km未満で崩れてしまっていることが2006年の結果から見てとれる。このことから、出沒時の個体の移動は10km程度と考えられ、個体群スケール（景観スケール）での遺伝的な構造に大きな変化が無いと考えられる。

また、'06年の夏（通常時）の構造が秋（出沒時）に崩れ、'08年に回復している。'07年は残念ながら試料を収集していなかったのだが、'04年の出沒時の崩れている構造が'05年に回復していることから、'07年の構造も回復していたと推測される。

なぜこのような遺伝構造の回復が起きるのか？クマは食物のある場所を求めて採食場をシフト（移動）する。通常年は秋の採食場は春や夏とそれほど離れていないが、出沒時は通常の採食場では十分に食物が確保できないため、大きく動いていると考えられる（山崎 2011）。しかし、その移動先で定着するのではなく、冬眠を前に元々いた場所の近くに返っているのだろう。大量出沒もその程度が大きくなったものと考えられる。さらに、クマの繁殖シーズンは夏であり（坪田 2011）、秋の大量出沒時とは重なっていない。そのため、大量出沒による遺伝構造の変化も、次世代へは影響しないと考えられる。

最後に、この論文に関して以下の2つの疑問をよ

く質問される。1.なぜ通常年の有害駆除個体を使わないのか？ 2.大量出沒時に非出沒個体の試料は手に入らないのか？ まず1についてだが、通常年は“通常年”であるが故に、クマの出沒そのものが少なく、有害駆除がほとんど行われぬ。そのため、通常年に出沒個体を捕獲できず、捕獲できたとしても解析に耐えうるほどの数が揃わない。2つ目の疑問点は、クマの出沒が起きる時期のほとんどは狩猟期と重なっていないため、出沒していない地域で狩猟によってクマを捕獲することはできない。また、秋にヘアトラップで回収された体毛は遺伝解析の成功率が低いことが経験的にわかっており、出沒時に通常個体の体毛をヘアトラップで集めるのは解析の効率が悪いためにほとんど行われていない。

参考文献

- Ohnishi N, Yuasa T, Morimitsu Y, Oi T (2011) Mass-intrusion-induced temporary shift in the genetic structure of an Asian black bear population. *Mammal Study* 36: 67~71.
- 自然環境研究センター (2005) ツキノワグマの大量出沒に関する調査報告書. 自然環境研究センター, 東京.
- 森林総合研究所 (2011) ツキノワグマの大量出沒の原因を探り, 出沒を予測する. 森林総合研究所, つくば.
- 坪田敏男 (2011) クマの生物学—クマという生き物. 日本のクマ—ヒグマとツキノワグマの生物学 (坪田敏男・山崎晃司編), pp.1~34. 東京大学出版, 東京.
- 山崎晃司 (2011) 行動—これまでの研究と新しい研究機材の導入によりみえてきたこと. 日本のクマ—ヒグマとツキノワグマの生物学 (坪田敏男・山崎晃司編), pp.119~153. 東京大学出版, 東京.
- (2012. 6. 27受付, 2012. 8. 2掲載決定)

解説

ニセマツノザイセンチュウ、および弱病原カマツノザイセンチュウの衰弱した宿主に対する病原力

神崎 菜摘¹

1. はじめに

マツ材線虫病は、一部の寒冷地域を除いて、日本国内のほぼ全てのマツ林で重大な枯死被害をもたらしている。また、本病は80年代以降、東アジア各国へ、1999年にはヨーロッパ（ポルトガル）へ侵入し、現在はスペインにまでその分布を拡大し、世界的にも重要な病害として、警戒されている（Abelleira *et al.* 2011）。

この病原体であるマツノザイセンチュウ（*Bursaphelenchus xylophilus*）は北アメリカ原産、すなわち、被害地域にとっては侵入種である。この線虫がもたらす激甚な被害は、外来種と、それに対して抵抗性のない在来宿主の組み合わせで起こる現象であり、他の重要森林病害にも多く見られる。たとえば、アジア産の樹木病原菌 *Ophiostoma ulmi* がヨーロッパ、および北米において感受性ニレ類の大量枯損を引き起こしたニレ立枯病などにも知られる（Brasier 1990）。

マツノザイセンチュウの生活史に関しては多くの研究がなされており、以下の病原環が明らかになっている（岸 1988）。1) 初夏に枯死木から羽化脱出するマツノマダラカミキリ（*Monochamus alternatus*）の気管に耐久型幼虫として便乗し、枯死木から健全木に運ばれる。2) カミキリムシの摂食（後食）時に健全木に侵入（感染）し、枯死被害を起こす。この際に樹木から発生する揮発性物質がカミキリムシの産卵マーカーとなり、枯死木がカミキリムシの産卵対象となる。そして、3) 材内で成長したカミキリムシが翌年の初夏に羽化する際、線虫は耐久型幼虫を形成し、羽化直後のカミキリムシの気管に侵入（便乗）する、というものである。日本国内では、アカマツ（*Pinus densiflora*）、クロマツ（*P. thunbergii*）、

リュウキュウマツ（*P. luchuensis*）など、ほとんど全ての在来マツ属樹種が本病に感受性である（二井・古野 1979）。

このような、外来病原体は通常、その原産地では、大量枯損を引き起こすことはなく、既に枯死した宿主を利用する腐生者、健全宿主に無病徴で感染状態を維持する寄生者、もしくは枝枯程度の被害しか起こさない弱い病原体として個体群を維持している。マツノザイセンチュウも、原産地である北米では、在来種に経済的被害を引き起こした例はなく、腐生者、もしくは弱病原体として生活している可能性が高い。

本稿では、病原力の弱い線虫株を用いて行われた接種試験の結果から、これらの線虫株が枯死を引き起こす条件についてまとめるとともに、野外の林分において実際に被害を引き起こす可能性に関して考察する。

2. 弱病原カマツノザイセンチュウ

ユーラシア大陸の北部、アジアからヨーロッパにかけて広く分布するニセマツノザイセンチュウ（*B. mucronatus*）は、この地域におけるマツノザイセンチュウの置換種である。この線虫は原産地においては、少なくとも野外の造林地や天然林で宿主マツ属樹木に対して大規模な被害を引き起こすことなく、何らかの原因で枯死した樹木を利用して、生活していると考えられる（Kanzaki and Futai 2006）。また、マツノザイセンチュウの中にも、「弱病原性株」、もしくは「非病原性株」とよばれる病原力の弱い個体群が存在し、このような個体群は、これまでにも日本国内の複数地点から分離されている。現在、実験用に広く利用されているのは、千葉県から分離さ

れた「C14-5」と岡山県から分離された「OKD-1」の2株である。これらの弱病原性株の由来、たとえば原産地などについては、いまだほとんど明らかになっていない。

これら2種の弱病原性線虫については、マツノザイセンチュウ強病原性株との比較対象として研究材料となっており、大まかに生活史も明らかにされている。

いずれの線虫種も、強病原性マツノザイセンチュウ同様、*Monochamus*属のカミキリムシを媒介昆虫として利用する。たとえば、弱病原性株、C14-5は1975年に千葉県においてマツノマダラカミキリより分離されたものであり(清原 1989)、ニセマツノザイセンチュウは、マツノマダラカミキリ、カラフトヒゲナガカミキリ(*M. saltuarius*)、シラフヨツボシヒゲナガカミキリ(*M. urussovii*)からの検出が報告されている(Mamiya and Enda 1979; 軸丸 1996; Jikumaru *et al.* 1994; Togashi *et al.* 2008)。

宿主樹木への侵入は、ニセマツノザイセンチュウでは媒介昆虫の後食時に健全(生存)宿主に、産卵時に枯死、もしくは極度の衰弱宿主に対して起こることが知られている(Jikumaru and Togashi 1995, 2001)。それぞれの感染シーズンは強病原性株と同様である。そして、これらのうち、主に産卵時に侵入したものが媒介昆虫の幼虫周辺(たとえば坑道表面の材など)で増殖、個体群の維持を行い、次世代の昆虫に媒介される。

弱病原性株の生活史に関しては、詳しい情報は無いものの、野外条件で強病原性株との共存の可能性が示されていることなどを考えれば(Aikawa *et al.* 2003)、強病原性株やニセマツノザイセンチュウと類似したものであると考えられる。

3. 苗木に対する弱病原性線虫の病原性

ニセマツノザイセンチュウの病原性に関しては、比較的多くの試験結果があるが、結果とその解釈は研究者間で異なっている。特に、ヨーロッパにおける接種試験ではしばしば非常に強い病原性が示されているのに対し、日本国内で行われた接種試験で

は多くの場合、非常に弱い病原性を持つと結論されている。下記、ニセマツノザイセンチュウに関するものの一部、また、マツノザイセンチュウ、ニセマツノザイセンチュウ以外の線虫に関しては、以前、本誌において形態、分布、病原性、病原性に関して概説したため、そちらを参照されたい(神崎 2008)。

ニセマツノザイセンチュウの病原性に関する見解の相違には、線虫の系統(個体群)間差、実験条件の違いなどが関係していると考えられる。ニセマツノザイセンチュウはこれまで、アジア型、ヨーロッパ型とよばれる2系統の異なる遺伝型に分かれるとされていた。しかし、近年、これら2タイプに関する詳細な遺伝的、形態的比較がなされ、*B. mucronatus mucronatus*(アジア型)、*B. mucronatus kolymensis*(ヨーロッパ型)の2亜種に分けられた(Braasch *et al.* 2011)。より詳細な病原性の評価には亜種の違いまで考慮した接種試験が必要であると考えられる。

日本国内では両方の遺伝型が検出され、これまでいくつかの試験に使われた京都産株、北海道産株は*B. m. kolymensis*、広島、長崎産株は*B. m. mucronatus*である(Iwahori *et al.* 1998, 2000; 神崎 未発表)。

これらのうち、接種試験に多く使われているのは*B. m. kolymensis*の方である。Braasch (2000)は、人工気象器内で育成したヨーロッパアカマツ(*P. sylvestris*)の3年生鉢植苗に対する、ドイツ産、ロシア産2株の*B. m. kolymensis*の接種試験を行い、温度条件、乾燥条件が枯死率に与える影響を調査した。通常の灌水条件(乾燥ストレスのない状態)の場合、15、20℃では枯死は見られず、25℃では2株の線虫それぞれで、10本中2本と9本が、30℃で1本と3本の宿主が枯死したと報告している。また、25℃条件下で灌水を減らして、4段階の異なる乾燥ストレスを与えた宿主マツに、ロシア産株を接種したところ、接種に用いた10本のうち、6本から10本全ての苗木が枯死に至ることを示した。この試験における累積枯死率は図-1、図-2に示した。

この結果から、*B. m. kolymensis*とヨーロッパアカマツの組み合わせの場合、宿主の自生条件に近い、

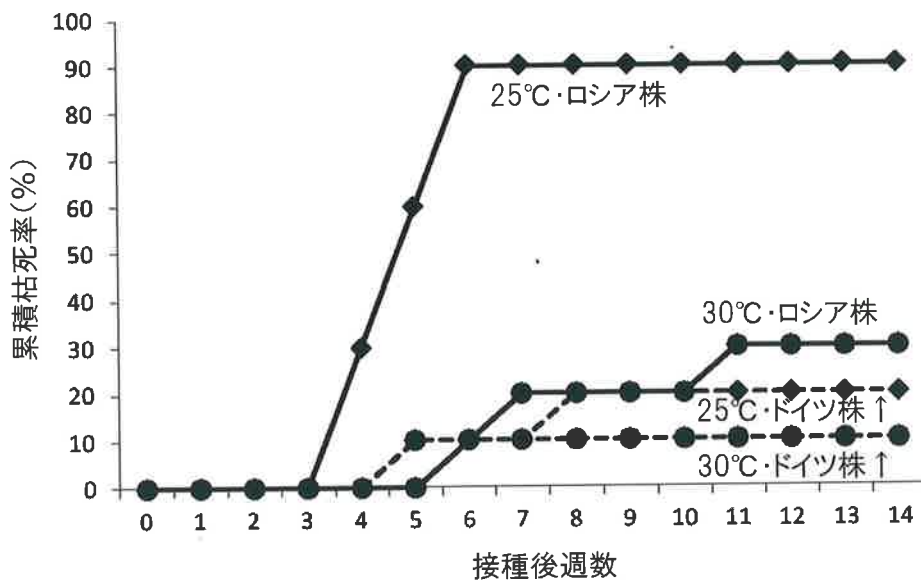


図-1 Braasch (2000) による3年生鉢植え苗を用いた接種試験の結果

異なる温度条件下で、ヨーロッパアカマツに対して *B. m. kolymensis* を接種した際の累積枯死率を示す。15、20°Cでは枯死が発生しなかったため、図から省略した。

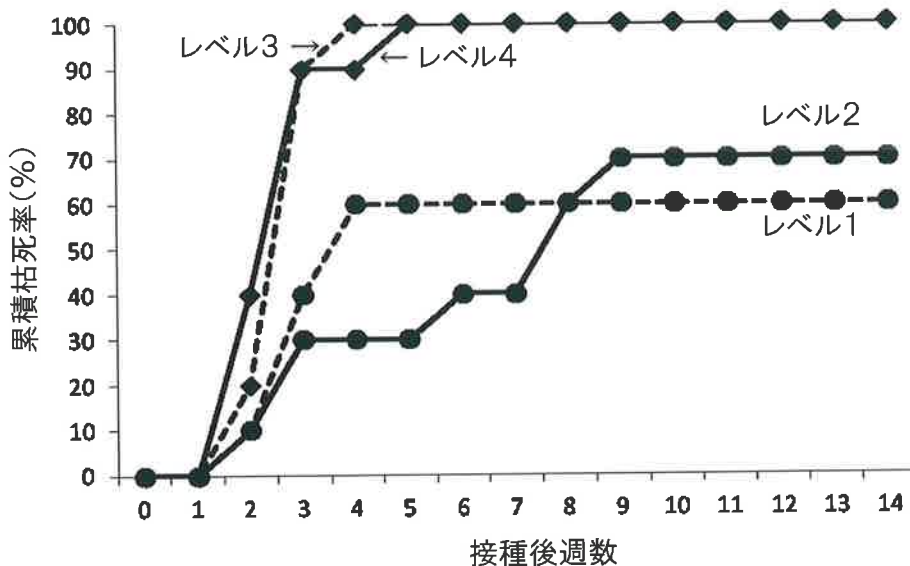


図-2 Braasch (2000) による3年生鉢植え苗を用いた接種試験の結果

異なる乾燥条件下で、ヨーロッパアカマツに対して *B. m. kolymensis* を接種した際の累積枯死率を示す。乾燥ストレスは「レベル」で表し、数字が大きいほど灌水量は少なくなる。

比較的低い温度で乾燥ストレスのない状態においては枯死被害は起こらず、高温条件、また、そこに乾燥ストレスが加わった場合、枯死被害が発生するというのである。すなわち、ヨーロッパ中部以北の自然状態での大規模な枯死被害は現状では考えに

くい。

トルコでもニセマツノザイセンチュウ接種試験が行われている(図-3)。Akbulut *et al.* (2007) は、トルコに自生、優占する3種のマツ属樹木、ヨーロッパアカマツ、ヨーロッパクロマツ (*P. nigra*),

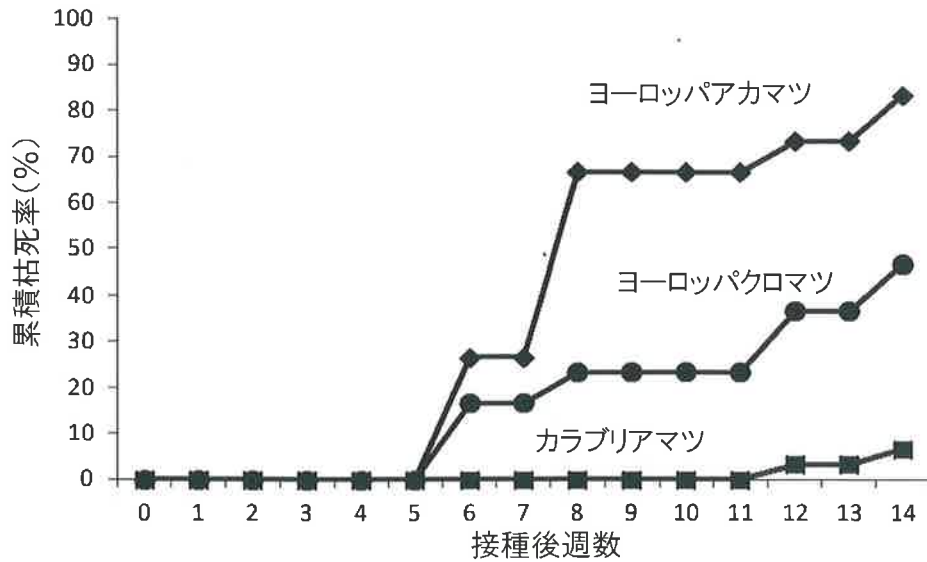


図-3 Akbulut *et al.* (2007) による3年生鉢植え苗を用いた接種試験の結果
3種のマツ属樹木に、*B. m. kolymensis*を接種した後の累積枯死率を示す。

カラブリアマツ (*P. brutia*) に対する接種試験を行った。各種30本の3年生鉢植え苗を温室で栽培し、26~28℃と、やや高い温度条件下での接種を行ったところ、それぞれ83, 47, 7%の宿主が接種14週以内に枯死した。また、試験終了後生き残った宿主から線虫再分離を行ったところ、いずれの樹種からも再分離が確認された。この試験では、使われたニセマツノザイセンチュウ亜種 (この時点では遺伝型) について言及されていないが、トルコ国内からの分離株とされており、*B. m. kolymensis*であったと考えられる。

日本国内では、筆者ら (Kanzaki and Futai 2006) が、被陰と枯死率の関係についての調査を行った。ここでは、野外の苗畑にアカマツの3年生鉢植え苗を設置し、これを黒色寒冷紗で覆うことにより被陰するという方法を使った。この被陰率60%という条件で、*B. m. kolymensis*京都産株を接種したところ、接種3ヶ月後までに20本中13本の苗が枯死に至った (図-4)。その一方、被陰のなされていない対照区では、枯死は発生しなかったものの、生存木から接種線虫の再分離が確認された。被陰によるストレスが、宿主マツの耐性を弱めていること、また、外見

上健全な宿主内で線虫個体群が維持されることが確認された。

これら以外にもいくつかのニセマツノザイセンチュウ接種試験が行われているが、多数の試料を用いた実験は少なく、また、極度のストレス条件下にある宿主、たとえば強度の摘葉を受けた個体など (田中・峰尾 1978)、以外で高い枯死率を示したという接種試験例もほとんどない (岸 1988)。また、日本国内では両亜種が分離されるため、産地情報だけではいずれの亜種を用いたか、現在ではわからない。

マツノザイセンチュウ弱病原性株は、主要な病原体である強病原性株と同種であることから、ニセマツノザイセンチュウよりも近縁な比較対象として、多数の接種試験に用いられている。たとえば、Fukuda *et al.* (1992a, b) は、マツノザイセンチュウ感染時における光合成と水分生理状態の関係、木部柔細胞の変性の解析に、弱病原性株を対照に用いた。そして、ほとんどの場合において、弱病原性株の樹木組織への影響は限定的で、明確な枯死は起こっていない。清原 (1989) による接種試験では、圃場植栽された2, 3年生のクロマツに対しての枯死率は10%以下である。また、近年、Takeuchi and Futai (2007)

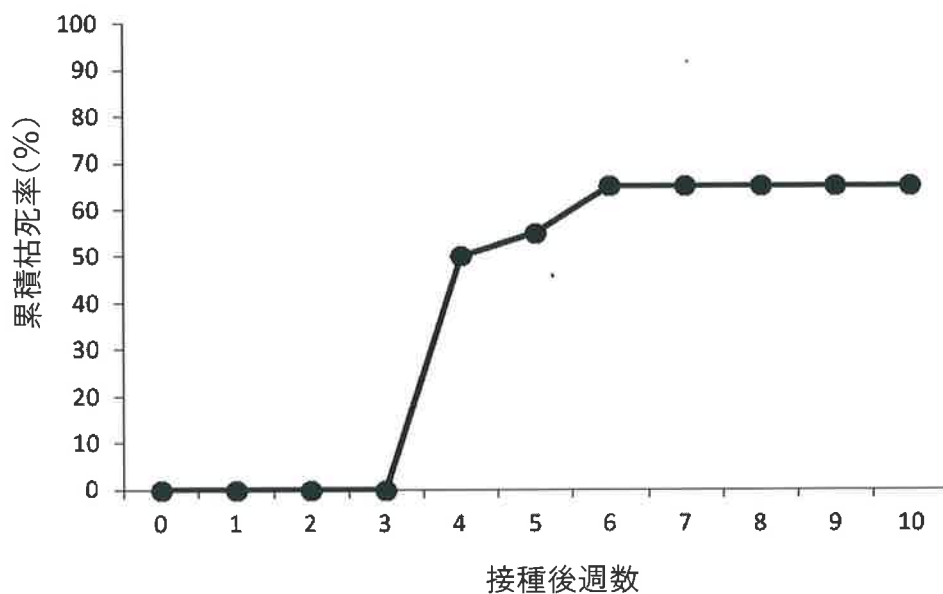


図-4 Kanzaki and Futai (2006) による3年生鉢植え苗を用いた接種試験の結果
強度に被陰したアカマツに、*B. m. kolymensis*を接種した後の累積枯死率を示す。

は圃場に設置された45本の4年生クロマツ鉢植え苗に対して、弱病原力株(C14-5)の接種を行ったところ、接種5週間後の枯死率は20%程度と、やや高い値を示したものの、強病原力株と比べるとその値は低い。ここでは、線虫の再分離も行われており、接種7ヶ月後に、宿主樹体内で線虫が生存していることが確認されている。これらの結果から考えると、マツノザイセンチュウ弱病原力株の病原力は、ニセマツノザイセンチュウ同様、もしくはそれよりも少し強い程度であると考えられる。なお、この試験における累積枯死率は示されていない。

4. 成木に対する病原力

弱病原力株の接種試験は、ほぼ全てが若齢宿主個体、いわゆる苗木を用いたものである。成木に関しては野外での枯損例が若干報告されている他、真宮・遠田(1973)が、ニセマツノザイセンチュウ(亜種不明)を20本の成木に接種し、ごく弱い病原力を報告しているが、成木に関して詳しい解析例は全般に少ない。

筆者ら(Kanzaki *et al.* 2012)は、植栽15年以上を経過した野外の苗畑において、健全状態にある個

体と、競合の結果被陰され、衰弱した個体を対象に、ニセマツノザイセンチュウ(*B. m. kolymensis*)と強弱病原力マツノザイセンチュウ株を接種し、経過を観察した。ここでは、苗畑内の2区の被陰強度の異なる林分においての接種を行い、被陰強度と枯死の関係を検討した。試験に際してそれぞれの試験区において、林内/林縁での裸地に対する相対照度を測定したところ、弱度被陰区では、それぞれ、6%/38%、強度被陰区では、3%/36%であった。この苗畑では、高密度植栽後、マツ材線虫病による枯死木処理以外は間伐、衛生伐などは行われておらず、初期成長において競合に負けた個体には自然条件での長期間にわたる被陰が見られる。線虫の接種は、2011年8月10日に行い、密度は、いずれも宿主1本あたり3000頭とした。実験には、アカマツ、クロマツの両樹種を用いたが、ここでは、試料点数が比較的多かったクロマツの結果を示す(図-5)。

被陰強度の弱い区(サイト1)では、接種2ヶ月以内に、C14-5は5本中2本、*B. m. kolymensis*は6本中1本を枯死させた。被陰強度の強い区(サイト2)では、接種1ヶ月以内に、C14-5は5本中4本、*B. m. kolymensis*は5本中2本を枯死させた。

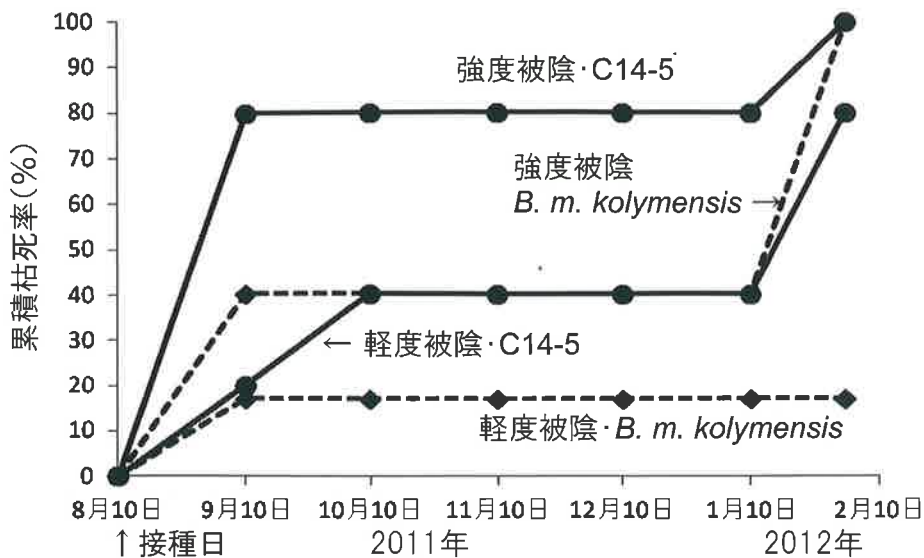


図-5 Kanzaki et al. (2012) による成木を用いた接種試験の結果

2種の弱病原力線虫（マツノサイセンチュウ C14-5 株と *B. m. kolymensis*）の接種を受けたクロマツ被陰衰弱個体の累積枯死率。2011年8月1日の接種から1ヶ月ごとに病徴観察した結果を示す。針葉全体の褐変をもって枯死と判定した。

また、枯死した個体からは全て、接種した線虫が再分離されたことから、線虫による枯死症状であると考えられた。

試料点数が各区5～6本と少ないので、統計検定による解析が出来なかったが、線虫の株間差、被陰条件の違いなどを考えると、1)C14-5は、*B. m. kolymensis*と比べると若干病原力が強い、2)被陰強度と枯死率には正の相関が見られる、すなわち、被陰強度が強まると共に、樹木の抵抗性（耐性）が低下する、ということが示唆された。自然条件下で長期間にわたってストレス条件下に置かれた個体を多数確保することは難しいが、今後繰り返し、同様の試験を行い、これら線虫の病原性に関しては詳しく検証していく必要があると考えている。

また、観察を継続したところ、2011年1月まではマツの生存率に変化はなかったものの、2月に入ってから急に枯死症状を示す個体が発生した。そして、この枯死は非接種の対照区でも同様に見られた。このことから、冬期に入ってから枯死は、線虫の影響以外の要因、例えば被陰個体の一般的な枯死時期など、が関与していると考えられた。

5. 衰弱木は感染対象になるのか？

上での接種試験結果から、被陰を受けて衰弱した成木であれば、病原力の弱い線虫によっても枯死し、その増殖場所となる可能性が示された。

しかし、線虫の感染は媒介昆虫の摂食（後食）によって起こるため、実際に衰弱木に感染が起こるのかどうかを検証する必要がある。このため、筆者ら (Kanzaki et al 2012) は、マツノマダラカミキリを材料に、媒介昆虫の摂食選好性試験を行った。裸地、およびサイト2（強度被陰区）のアカマツから同程度の太さ（直径1cm弱）の枝を採取し、これらを並べて、飼育容器内でカミキリムシ成虫に摂食させた。カミキリムシは雌雄各6頭用い、同様の試験を2回繰り返した。この結果、カミキリムシの摂食量は健全木、衰弱木の間で差はなく、媒介昆虫は樹木の状態によらず摂食行動を行うこと、すなわち、被陰・衰弱宿主へも線虫感染の可能性があると示された。

上記の接種試験結果とあわせて考えれば、野外の林分においても、間伐、衛生伐などの管理がなされず、衰弱木が多数存在する場所では、弱病原性線虫が病原体として機能する可能性がある。野外の放置

林分などでどのようなことが実際に起こっているのかなど、今後検証すべき課題は多い。たとえば今回の試験では材料入手が容易であったため、マツノマダラカミキリを用いたが、現在知られているところでは、ニセマツノザイセンチュウの主要な媒介昆虫はカラフトヒゲナガカミキリである（軸丸 1996；Jikumaru and Togashi 2001）。また、実際に摂食時に線虫がどの程度材内に侵入したかは検証できなかった。今後、より実際の条件を反映した実験系により、森林管理と在来病原体の関係など、詳しく検証していく必要がある。

引用文献

- Abeleira A, Picoaga A, Mansilla JP, Aguin O (2011) Detection of *Bursaphelenchus xylophilus*, causal agent of pine wilt disease on *Pinus pinaster* in Northwestern Spain. *Plant Dis* 95: 776
- Aikawa T, Kikuchi T, Kosaka H (2003) Demonstration of interbreeding between virulent and avirulent populations of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by PCR-RFLP method. *Appl Entomol Zool* 38: 565~569
- Akbulut S, Yüksel B, Serin M, Baysal I, Erdem M (2007) Pathogenicity of *Bursaphelenchus mucronatus* in pine seedlings under greenhouse conditions. *Turk J Agric For* 31: 169~173
- Braasch H (2000) Influence of temperature and water supply on mortality of 3-year-old pines inoculated with *Bursaphelenchus xylophilus* and *B. mucronatus*. *Nachrbl Dtsch Pflanzenschutzd* 52: 244~249
- Braasch H, Gu J, Burgermeister W (2011) *Bursaphelenchus mucronatus kolymensis* comb.n. -new definition of the "European type" of *B. mucronatus*. *J Nematode Morph Syst* 14: 77~90
- Brasier CM (1990) China and the origins of Dutch elm disease: an appraisal. *Plant Pathol* 39: 5~16
- Fukuda K, Hogetsu T, Suzuki K (1992a) Photosynthesis and water status in pine wood nematode-infected pine seedlings. *J Jpn For Soc* 74: 1~8
- Fukuda K, Hogetsu T, Suzuki K (1992b) Cavitation and cytological changes in xylem of pine seedlings inoculated with virulent and avirulent isolates of *Bursaphelenchus xylophilus* and *B. mucronatus*. *J Jpn For Soc* 74: 289~299
- 二井一禎・古野東州 (1979) マツノザイセンチュウに対するマツ属の抵抗性. 京大演報 51: 23~36
- Iwahori H, Kanzaki N, Futai K (2000) A simple polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism-aided diagnosis method for pine wilt disease. *For Pathol* 30: 157~164
- Iwahori H, Tsuda K, Kanzaki N, Izui K, Futai K (1998) PCR-RFLP and sequencing analysis of ribosomal DNA of *Bursaphelenchus* nematodes related to pine wilt disease. *Fundam Appl Nematol* 21: 655~666
- 軸丸祥大 (1996) カラフトヒゲナガカミキリの個体群動態とニセマツノザイセンチュウの伝播に関する研究—冷涼な地域におけるマツ材線虫病激害化の阻害過程—. 広島大学博士論文
- Jikumaru S, Togashi K (1995) A weak deleterious effect of the avirulent pinewood nematode, *Bursaphelenchus mucronatus* (Nematoda: Aphelenchoididae), on the longevity of its vector, *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae). *Appl Entomol Zool* 30: 9~16
- Jikumaru S, Togashi K (2000) Temperature effects on the transmission of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *J Nematol* 32: 110~116
- Jikumaru S, Togashi K (2001) Transmission of *Bursaphelenchus mucronatus* (Nematoda: Aphelenchoididae) through feeding wounds by

- Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae). *Nematology* 3: 325~333
- Jikumaru S, Togashi K, Taketsune A, Takahashi F (1994) Oviposition biology of *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) at a constant temperature. *Appl Entomol Zool* 29: 555~561
- 神崎菜摘 (2008) マツノザイセンチュウ以外の *Bursaphelenchus* 属樹木病原線虫: 病原性とリスク評価. *森林防疫* 57: 3~14
- Kanzaki N, Futai K (2006) Is *Bursaphelenchus mucronatus* a weak pathogen to the Japanese red pine? *Nematology* 8: 485~489
- Kanzaki N, Tanaka R, Sahashi N (2012) Mortality of shaded pine trees inoculated with pathogenic and less-pathogenic isolates of pine wood nematodes. *Environ Entomol* 41: 828~832
- 岸 洋一 (1988) マツ材線虫病—松くい虫—精説. トーマスカンパニー, 東京.
- 清原友也 (1989) マツ材線虫病の病原学的研究. *林試研報* 353: 127~176
- 真宮靖治・遠田暢男 (1973) マツノザイセンチュウの近似種, ニセマツノザイセンチュウ (仮称). 第84回日林講: 328~330
- Mamiya Y, Enda N (1979) *Bursaphelenchus mucronatus* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) from pine wood and its biology and pathogenicity to pine trees. *Nematologica* 25: 353~361
- Takeuchi Y, Futai K (2007) Avirulent isolate of the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus*, survives 7 months in asymptomatic host seedlings. *For Pathol* 37: 289~291
- 田中 潔・峰尾一彦 (1978) 摘葉されたマツに対するマツノザイセンチュウ接種試験. 第89回日林論: 289~290
- Togashi K, Taga Y, Iguchi K, Aikawa T (2008) *Bursaphelenchus mucronatus* (Nematoda: Aphelenchoididae) vectored by *Monochamus urussovii* (Coleoptera: Cerambycidae) in Hokkaido, Japan. *J For Res* 13: 127~131
(2012. 9. 11受付, 2012. 10. 10掲載決定)

都道府県だより

三重県におけるナラ枯れ被害の現状について

○三重県における被害の推移

三重県では、1999年に県南部の熊野市、御浜町、紀宝町においてコナラ、シイ類の集団枯損が初めて確認され、その後、穿孔及び枯死木の発生が徐々に拡大しています(図-1)。2007年に紀北町、大紀町、南伊勢町でウバメガシ、コナラ、アベマキ、シイ類への穿孔被害が確認されるとともに、県北部の桑名市でもコナラの枯死被害が確認されました。2009年には、県南部の被害地域はさらに北上して伊勢市、

大台町、度会町でコナラの枯死被害(写真-1)やシイ類、アカガシ、アラカシへの穿孔被害が確認され、県北部のいなべ市、伊賀市においてコナラ、クヌギの枯死被害が確認されました。2010年から2011年にかけてはさらに被害が拡大し、鳥羽市でウバメガシへの穿孔被害が確認され、県北部の菰野町、四日市市、鈴鹿市、亀山市でコナラ、ミズナラの枯死被害が確認されました。

三重県におけるナラ枯れ被害面積の推移を表-1に示します。1999年に県南部で発生した集団枯死の

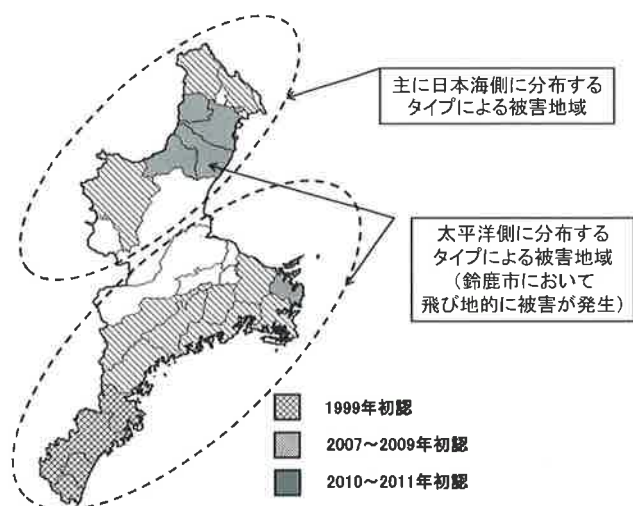


図-1 三重県におけるカシナガ被害（枯死木の発生と穿孔被害）発生地域の推移



写真-1 大量のフラスが発生したコナラ被害木の状況（伊勢市にて撮影）

表-1 三重県におけるナラ枯れの実損面積の推移

単位：ha

地域名	年度													
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
北勢・伊賀	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	15	1	
津・松阪	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
伊勢・志摩	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	1	
尾鷲・熊野	69	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	

実損面積は69haと過去最大のものでしたが、その後の2年間は枯死被害がほとんど発生しませんでした。そして2002年から2011年にかけては、実損面積1～16ha程度の小規模な枯死被害が増減を繰り返しながら発生しています。

○三重県に分布する二つのタイプのカシノナガキクイムシ

最近の研究で、三重県のカシノナガキクイムシは形態的・遺伝的に大きく二つのタイプに分けられることが分かってきました。北勢・伊賀地域で被害を引き起こしている“おもに日本海側に分布するタイプ”と伊勢・志摩、尾鷲・熊野地域で被害を引き起

こしている“太平洋側に分布するタイプ”です。さらに興味深いことに、北勢地域の鈴鹿市で“太平洋側に分布するタイプ”による枯死被害が2011年に確認されました。この地域へのカシノナガキクイムシの侵入経路についてはよく分かっていませんが、飛び地的に発生したこの被害は被害木等の人為的な持ち込みによるものと考えられます。

○ナラ枯れ被害に対する今後の対応について

三重県では、農林水産部治山林道課、県内7つの農林（水産）商工環境事務所、林業研究所が連携して被害分布調査を実施しています。また、2010年からは県防災ヘリを利用して上空からナラ枯れ被害発



写真-2 県防災ヘリによるナラ枯れ被害状況調査 (2012年9月7日伊賀市上空にて撮影)

生地の確認を行っています (写真-2)。

被害対策の普及活動としては、ナラ枯れ被害の発生メカニズムや被害対策方法を、林業研究所が開催する“移動林業研究所”(研究員が県内各地へ出向き、研究成果や関連情報について直接説明し、お集まりいただいたみなさまと意見交換を行うもの)、“三重の林業”や“三重県林業研究所だより”などの普及誌で県民の皆様にはわかりやすくお知らせしています。

今後もナラ枯れ被害地の拡大に注意していくとともに、最新の防除方法についても情報収集を行い県民の皆様には提供していく予定です。

(三重県林業研究所)

森林病虫獣害発生情報：平成24年9～10月受理分

病害

〔マツ材線虫病…新潟県 村上市〕

121年生アカマツ天然林, 2012年8月発見, 被害面積0.02 ha, 被害本数8本 (下越森林管理署村上森林事務所・中束敏之)

〔マツ材線虫病…新潟県 村上市〕

49年生アカマツ人工林, 2012年8月発見, 被害面積0.02 ha, 被害本数7本 (下越森林管理署村上森林事務所・中束敏之)

〔マツ材線虫病…新潟県 村上市〕

5～21年生クロマツ人工林, 2012年8月発見, 被害面積0.17ha, 被害本数85本 (下越森林管理署村上森林事務所・中束敏之)

〔マツ材線虫病…新潟県 村上市〕

85年生アカマツ天然林, 2012年8月発見, 被害面積0.01 ha, 被害本数1本 (下越森林管理署村上森林事務所・中束敏之)

〔マツ材線虫病…新潟県 村上市〕

121年生アカマツ天然林, 2012年8月発見, 被害面積0.01 ha, 被害本数1本 (下越森林管理署村上森林事務所・中束敏之)

虫害：なし

獣害：なし

(森林総合研究所 佐橋憲生/伊藤賢介/小泉 透)

森林防疫 第61巻第6号(通巻第693号)
平成24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 1,302円(送料共)
年間購読料 6,510円(送料共)

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.web.infoseek.co.jp/>