

Vol.72 No.1 (No.754号)  
2023

昭和53年11月8日第三種郵便物認可  
令和5年1月25日発行(奇数月25日発行) 第72巻第1号

ISSN 0288-3740

# 森林防疫

FOREST PESTS

— 森の生物と被害 —



## 目次

### 解説

外来種クビアカツヤカミキリの防除手法を提示

[加賀谷悦子] . . . . . 3

### 解説

チャアナタケモドキと*Fomitiporia punctata*の国内における分布域の推定

[鳥居正人・升屋勇人・服部 力] . . . . . 6

### 解説

西日本の皆伐・新植地に残る痕跡を使ったシカ出現頻度や苗木被害の予測

[大谷達也・米田令仁・野宮治人] . . . . . 14

### 解説

日本産マツカレハ属(チョウ目カレハガ科)4種の概説

[綿引大祐・田中絵里・吉松慎一] . . . . . 22

都道府県により：石川県・岡山県 . . . . . 33



A



B

[表紙写真] チャアナタケモドキと*Fomitiporia punctata*子実体

写真A：チャアナタケモドキ子実体(矢印)

写真B：*Fomitiporia punctata*子実体(矢印)

*Fomitiporia torreyae* (和名；チャアナタケモドキ, 写真A) と *Fomitiporia punctata* (和名：未定, 写真B) は樹木病原菌として知られている。チャアナタケモドキはスギ非赤枯性溝腐病やナシ萎縮病, コウヤマキの枝枯れを引き起こす。一方, *F. punctata* もナシ萎縮病の病原菌として知られるほか, 詳細な被害調査は実施されていないが, エゾヤマザクラへの病原性が確認されている。さらに近年, *F. punctata* がヒノキアスナロの溝腐症状を引き起こすことが明らかとなった。以上のように, 広葉樹, 針葉樹を問わず, 病害を引き起こす両種であるが, 肉眼的特徴が類似するため, 近年まで混同されていた。両種の識別には顕微鏡学的特徴の観察が必要であるが, 国内における両種の分布域は異なると考えられる (本文6~13ページ参照)。

(国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 鳥居正人)

## 解説

## 外来種クビアカツヤカミキリの防除手法を提示

加賀谷悦子<sup>1</sup>

## 1. はじめに

特定外来生物クビアカツヤカミキリ(図-1)はサクラやウメ・モモの樹幹内を加害し、本州と四国の13都府県で深刻な被害を引き起こしている。本種は中国、ロシア、ベトナム、朝鮮半島等に自然分布し、サクラ亜科の樹木を選好する。2011年に国内で成虫が確認された本種は、瞬く間に分布を拡げ、すでに日本における主要な樹木害虫問題の一角を占めるに至ってしまったが、国から公的に推奨される防除手法は長い間なかった。そのため、都府県等の自治体が独自に本種の検出や対応手法を提示していたが、地域を選ばずに推奨できる手法のとりまとめが急務だった。そこで、平成30年度から4年間、森林研究・整備機構 森林総合研究所が中心となり、イノベーション創出強化研究推進事業「サクラ・モモ・

ウメ等バラ科樹木を加害する外来種クビアカツヤカミキリの防除法の開発」を実施し、本種の生態調査を進め、防除の効果を検討した。本プロジェクトに参画した11団体で協働して対策方針を整え、その成果である防除マニュアル「クビアカツヤカミキリの防除法」を発行した(クビアカツヤカミキリコンソーシアム 2022)。本稿ではマニュアルの構成及び推奨する防除手法を紹介する。

## 2. 「クビアカツヤカミキリの防除法」について

マニュアル「クビアカツヤカミキリの防除法」は3章からなり、「第1章 クビアカツヤカミキリの生態と探索法」、「第2章 クビアカツヤカミキリの防除法」、「第3章 地域での総合防除への提言」、



図-1 クビアカツヤカミキリ成虫  
雄は下方の雌に対してガード行動をとっている。



図-2 防除マニュアル「クビアカツヤカミキリの防除法」表紙

Control methods for the invasive beetle, *Aromia bungii*

<sup>1</sup>SHODA-KAGAYA, Etsuko, 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所森林昆虫研究領域

で構成されている(図-2)。A4サイズ、28ページの冊子で、樹木や昆虫の専門家でなくても容易に理解できる表現で記述し、防除の実践につながるよう写真を多く掲載した。随所にコラムを配置し、その中で特定外来生物の解説や、開発中の予防法の紹介などを行った。

#### (1) 第1章 クビアカツヤカミキリの生態と探索法

侵入当初は本種の生態や生活史が未解明であり、原産国である中国の研究を参考にはできても、国内での検証を進める必要があった。プロジェクトを通じて明らかになった日本における被害樹種や生活史を第1章で示した。また、本種の幼虫は樹皮に排糞孔を穿ち、そこから虫糞と木くずの混合物であるフラスを排出することから、そのフラスを手掛かりにして被害木を探索する方法を紹介した。

#### (2) 第2章 クビアカツヤカミキリの防除法

最初に早期発見・早期駆除の重要性を説明し、物理的防除、化学的防除、生物的防除の手順等を示し、最後に推奨する防除のスケジュールを掲載した。本章の防除手順の詳細については後述する。

#### (3) 第3章 地域での総合防除への提言

本種の対策は被害の進行度合いによって重点的に行うべきことが異なる。そこで、被害が甚大な地域、中程度の地域、侵入間もない地域のそれぞれで、推奨できる防除の組み合わせを本章で提言した。被害が進んだ地域では薬剤散布と伐倒駆除の組み合わせで徹底的に密度低下を図る一方、中程度では被害木ごとの丁寧な処理により拡散を抑える必要性を説明した。侵入初期では周辺の被害状況の把握の重要性を指摘し、被害程度が著しくない被害木でも後顧の憂いを絶つために伐倒駆除を推奨した。

### 3. クビアカツヤカミキリの物理的防除と化学的防除

マニュアルでは生物的防除も取り上げたが、本稿では防除現場で用いられることの多い物理的防除と化学的防除を紹介する。

本種の物理的防除には伐倒駆除、樹幹内の幼虫捕殺、網巻きによる成虫飛散防止、成虫捕殺がある。

伐倒駆除は樹内の幼虫を完全に駆除できる唯一の手法であり、成虫の脱出がない9月から翌4月までに実施することが求められる。伐倒した被害材の処理方法について地域により可能な方法が異なり、焼却処理が可能な施設がある場合は焼却を、チップ化が可能な工場が近隣にある場合は粉碎で処理する。幼虫捕殺は木の中から排出されるフラスを頼りに実施個所を定め、排糞孔から外樹皮をはがし、坑道をたどって行き幼虫を刺殺する。千枚通しやノミやドライバーで剥皮をすることが多い。処理が完了したら癒合促進剤を剥皮部に塗布する。網巻きは本種の産卵が樹幹下部に行われることが多いため、胸高付近から地際へと巻いて、6~7月に網の中に樹内から脱出した成虫を封じ込める手法である。網内の個体は脱出後速やかに除去しないと、内部で成虫同士が交尾産卵をしてしまい、当該樹木の保護が困難となる。野外で脱出してきた成虫を発見して捕殺することも物理的防除に含まれるが、本種は木から脱出後すぐに交尾産卵が可能なので、その前に捕殺できることは少ないと推察される。市民を対象とした成虫の捕殺推奨は防除を主目的とせず、普及啓発効果を見込んで行うものと考えられる。

化学的防除には、幼虫を対象とする薬剤による個別駆除、薬剤の樹幹注入、伐倒燻蒸と成虫を対象とする薬剤散布がある。個別駆除や樹幹注入ではフラスの排出の停止をもって、防除の成功とする。個別駆除は①排糞孔からフラスを除去、②薬剤を注入、③処理した所にダルマペンなどで印をつける、④下方に溜まっているフラスを除去又は圧縮する手順で施用する。3~7日後に効果を確認し、フラスの排出が継続している場合、薬剤で定められる利用回数以内で①~④の手順を繰り返す。樹幹注入は樹幹の下方にドリルで一定間隔に開けた注入孔から薬剤を施用し、樹幹内で摂食中の幼虫を一斉に駆除する手法である。本手法はサクラにのみ適用可能であり、果樹には使うことができない。伐倒燻蒸は伐倒した丸太を積み上げ、燻蒸用シートで覆って薬剤を施用する。成虫に対する薬剤散布は、薬剤で登録されている使用方法が散布の場合は木全体に、樹幹散布の



図-3 推奨される防除スケジュール（防除マニュアルより転載）

場合は樹幹のみに向けて施用する。羽化脱出の最初期、脱出最盛期、成虫発生終盤それぞれでの散布が望ましく、果樹への散布については収穫前のどの時期まで施用可能かは農薬ごとに示されているのでそれに従う。

これらの防除手法の施用適期を図-3にまとめた。各季節の本種の態を示し、それに合わせてどのような防除が可能であるのかが示されている。

#### 4. おわりに

外来種の防除で最も大切なことは早期発見早期駆除の徹底である。本種が加害するサクラや果樹については、即座の伐倒を行うための合意形成が難しいことが多く、結果、早期発見ができていても蔓延を許してしまうことがあった。しかし、一旦定着すると上記の防除活動を連年継続する必要がある、その終息への道筋が見えない防除活動への悲鳴を本種の被害

地から聞く度に、初期防除の徹底をより強く指導していく必要性を痛感している。

本マニュアルは筆者へ連絡をもらえたら必要部数を送付するので、是非手に取ってご覧いただけたいと願っている。また、ウェブページからのダウンロードも可能なので (<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/5th-chuukiseika12.html>)、予期せぬ侵入確認による急ぎの情報収集にも有用だろう。本マニュアルの活用によるクビアカツヤカミキリ被害を全国的に低減していくことを望む。

#### 参考文献

クビアカツヤカミキリコンソーシアム（2022）クビアカツヤカミキリの防除法，国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所，つくば（2022.10.26 受理）

解説

# チャアナタケモドキと*Fomitiporia punctata*の国内における分布域の推定

鳥居正人<sup>1</sup>・升屋勇人<sup>2</sup>・服部 力<sup>3</sup>

## 1. はじめに

チャアナタケモドキ (*Fomitiporia torreyae*) は、スギ非赤枯性溝腐病の病原菌である (今関 1960 ; 青島ら 1964)。本病の被害木では、その樹幹部に縦溝が形成され、その内側の辺材部で腐朽が進行する (今関 1960)。被害が深刻な場合には、その溝は長さ6 mを超え、深さは5 cmにも達する (今関 1960)。このように、本病はスギに深刻な経済的損失を及ぼす材質劣化病害のひとつである。さらに、本病の発生はスギの幹折れに関与する可能性が指摘されており (市原ら 2021)、本病は腐朽による単木ごとの損失を引き起こすだけでなく、幹折れによる他の健全木の損傷といった林分全体に関わる問題となる可能性もある。本病は、被害が深刻な千葉県で確認されるほか (千葉県農林総合研究センター 2022)、本病の発見当初には茨城県南部においても確認された (今関 1960)。その後、長らく他の地域での発生報告はなかったが、近年、京都府や神奈川県で被害が確認されている (Ota *et al.* 2016 ; 木村ら 2019)。

被害発見当初から近年まで、チャアナタケモドキの学名として*F. punctata*が適用されていたが (青島ら 1964)、Ota *et al.* (2014) によって、チャアナタケモドキは*F. punctata*とは異なり、*F. torreyae*であることが明らかとなった。さらに、本菌はスギに腐朽病害を引き起こすだけでなく、ナシ萎縮病 (佐久間ら 1993 ; 塩田ら 2008) やコウヤマキの枝枯れ (服部ら 2012) を引き起こすこと、スギ以外にもヤマツツジやウメなどの広葉樹にも広く発生することが明らかとなった (Ota *et al.* 2014)。緑化木や花木を対象とし、本菌の子実体の探索が行われたところ、本菌はOta *et al.* (2014) による報告を含み、針葉樹と広葉樹を合わせて27科53樹種で確認され、宮城

県から鹿児島県までの21都府県で発見された (中村・服部 2020)。つまり、スギ非赤枯性溝腐病の発生地帯だけでなく、その他の地域にも本菌が分布することが明らかとなった。

一方、*F. punctata*も国内に分布することが確認されており (Ota *et al.* 2014)、樹木病原菌として知られている。チャアナタケモドキだけでなく、本菌もナシ萎縮病を引き起こす (金子ら 2014)。さらに、詳細な被害調査は実施されていないが、接種試験によって本菌がエゾヤマザクラに辺材腐朽や形成層の壊死を引き起こし、最悪の場合には枯死させることがあると報告されている (山口 2012)。また近年、本菌はヒノキアスナロの辺材腐朽を引き起こすことが明らかとなっている (市原ら 2022)。

チャアナタケモドキと*F. punctata*は、両種とも茶色の背着生の子実体を形成し、子実層托が管孔状になるなど、その肉眼的な形態の特徴は極めて類似している。そのため、管孔部の剛毛体の有無や担子胞子の大きさといった顕微鏡学的特徴によって両種は識別される (Ota *et al.* 2014)。しかし、担子胞子の大きさは種内でもばらつきがあり、また剛毛体の存在頻度は標本によって異なるため (Ota *et al.* 2014)、顕微鏡学的特徴による識別においても注意深い観察が必要である。宿主範囲を見ると、上述したように両種とも広葉樹と針葉樹を宿主とし、その違いは明確ではない。しかし、地理的分布は両種で異なることと推測されている。子実体の採取情報に基づくと、チャアナタケモドキは暖温帯から亜熱帯地域に、*F. punctata*は冷温帯から亜寒帯地域で発生する (Ota *et al.* 2014)。そのため、地理的分布や気候に対する選好性、特に温度に対する選好性は両種で異なることと考えられるが、詳細な地理的分布域やその分布を決

Prediction of geographical distributions of *Fomitiporia torreyae* and *Fomitiporia punctata*

<sup>1</sup>TORII, Masato, 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所きのこ・森林微生物研究領域 ; <sup>2</sup>MASUYA, Hayato, 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所きのこ・森林微生物研究領域 ; <sup>3</sup>HATTORI, Tsutomu, 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

定づける因子に着目した研究は行われていない。Terashima (2013) は、異なる培養温度でのチャアナタケモドキの菌糸伸長量を報告しているが、本菌が生存可能な温度域は明らかでない。また、*F. punctata*ではその温度特性に関する報告はない。

チャアナタケモドキと*F. punctata*の両種とも樹木病原菌であるため、これらの生態的、生理的特性、つまり地理的分布域や気候選好性を明らかにすることは、これらによる病害の発生予測や防除を考える上で重要な情報となる。そこで、Torii *et al.* (2021) は現在までの両種の採取記録を精査し、その採取地点と国内の気象データ、特に気温と降水量に着目して、種分布モデルにより国内における両種の分布域の推定を行った。さらに、その分布推定における説明変数としての各気象データの重要性を評価した。また、両種の温度特性を調べ、菌糸伸長や生存可能な温度域の推定を行った。本稿では、これらの解析やその結果を紹介する。

## 2. 材料と方法

### 1) 種分布モデルMaxent

種分布モデルとは、対象種の出現の有無や頻度を、その発生地との環境条件や空間的特性と関係づける数理モデルである (Elith and Leathwick 2009)。本モデルは、菌類を含む様々な生物の分布域の推定や将来の分布予測に広く用いられている (例えば、Fink *et al.* 2021; Kujawska *et al.* 2021)。その種分布モデルのうち、maximum entropy modeling (Maxent, Phillips *et al.* 2006) は、精度が良い手法として広く用いられている (Phillips *et al.* 2006; Elith *et al.* 2006)。Maxentでは、対象とする種の不在データは必要ではなく、在データのみで解析することが可能である (Phillips *et al.* 2006)。また、少ないサンプルでも、他の手法に比べて精度良く解析が行えると報告されている (Wisz *et al.* 2008)。菌類、特に肉眼的な子実体を形成する種においても子実体の探索には限界があり、菌糸体や胞子体で存在しても子実体が形成されていないこともあるため、本当の意味での不在データの取得は困難である。さらに、対象

種と形態的に類似する種が存在する場合には、対象種の正確な同定が必要となり、大量の在データを揃えることが難しい。そのため、Maxentは菌類の分布域の推定やその分布に関わる因子を解析するための最適な手法のひとつであると考えられる。そこで、本研究では本手法を用いて両種の分布推定を行った。

Maxentの解析には、チャアナタケモドキと*F. punctata*の採取データとして、既報の3報 (金子ら 2013; Ota *et al.* 2014; 中村・服部 2020) の採取記録と、森林総合研究所微生物標本庫と同所ジーンバンク、同所微生物生態研究室に保管されている標本や菌株採取情報を用いた。解析には採取地点の緯度経度情報が必要となるが、上記のほとんどでその情報は記録されていない。そのため、採取記録の地名等から採取地域を絞り込み、Google Maps上でその中央地点の緯度経度情報を取得した。また、気象データとして、国土交通省が提供している平年値メッシュデータ (1981年から2010年までの平年値、1 kmメッシュデータ、<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html>) のうち、各月と年平均気温、各月と年降水量の計26項目の気象データを用いた。

分布推定には、オンラインで公開されているフリーソフトウェアであるMaxent ver.3.4.4. (Phillips *et al.* 2022) を用い、上記で示した各菌種の採取地点情報 (緯度経度) と気象データを解析に用いた。重複する採取地点は除外し、最終的にチャアナタケモドキ68地点、*F. punctata* 14地点のデータを用いた。さらに、Maxentにより構築されたモデルにおける各気象データの重要性を、ソフトウェアに実装されているjackknife testによって解析した。本解析では、各気象データをモデルに組み込んだ場合のゲイン値 (regularized training gain) が算出されるが、ゲイン値が高い気象データほどモデルにおいて重要な変数であると解釈される。また、両種の採取地点の温度域を明らかにするため、同ソフトウェアを用いて採取地点の気温データを平年値メッシュデータから抽出した。

## 2) 培養試験

温度の違いがチャアナタケモドキと*F. punctata*の菌糸伸長に与える影響を明らかにするため、両種の各3菌株を用いて、異なる温度条件下での菌糸伸長速度を測定した。各菌株をポテトデキストロース寒天（以下、PDA）培地上で25℃、8日間前培養を行い、新たにPDA培地上に移植し、5℃から40℃での5℃おきに培養を行った。一定期間後に菌そう半径を測定し、菌糸伸長速度（mm/日）を算出した。各菌株各温度でシャーレ3枚を供試した。また、低温条件下での各菌株の生存の可否を明らかにするため、PDA培地上で25℃、1ヶ月前培養したものを0℃あるいは-5℃の恒温槽に移した。生存の確認は、0℃での培養では1、2、3、4、8週間後に行い、-5℃での培養では培養8週目までの毎週行った。生存の確認では、各シャーレの菌そう先端部付近から約5×5mmの菌そう断片をランダムに3つ切り取り、新たにPDA培地上に移植した。移植した培地は室温（約20℃）で最大1ヶ月前培養し、菌糸伸長が認められた菌そう断片を生存として判断した。各菌株、各期間で3シャーレ、計9断片について生存の確認を行い、そのうち生存が確認された断片数の割合を算出した。

## 3. 結果と考察

Maxentによる各菌株の分布推定図を図-1に示した。チャアナタケモドキの潜在的分布確率は、東北地方中部以南の太平洋沿岸地域で高かった（図-1）。一方、*F. punctata*では、四国や中国地方中部以北の山間部を中心に潜在的分布確率が高かった。つまり、チャアナタケモドキは*F. punctata*に比べ、より温暖な地域に分布すると推定された。推定モデルにおける各気象データの重要性をjackknife testにより評価したところ、チャアナタケモドキでは、解析に用いた気象データのうち、すべての気温データで他のデータよりもゲイン値が高かった（図-2）。一方、*F. punctata*では12月から3月までの各月の平均気温のゲイン値が他の気象データよりも高かった。つまり、両種ともに気温が分布を規定する

重要な要因となっていることが示唆された。

一般的に、日本における気温は8月に一番高く、1月に一番低くなるとされる。そこで、各採取地点の8月の最高気温（8月の最高気温の1981年から2010年までの平均値）と1月の最低気温（1月の最低気温の1981年から2010年までの平均値）をヒストグラムにまとめた（図-3）。チャアナタケモドキが採取された地点の多くは、8月の最高気温が29℃よりも高かったが、*F. punctata*では、採取地点の多くが29℃以下であった。1月の最低気温をみると、チャアナタケモドキはいずれも-6℃より高い地点で採取され、*F. punctata*では、多くが-6℃以下の地点で採取されていた。

5℃から40℃の5℃おきに両種の培養を行ったところ、両種とも5℃あるいは40℃では菌糸伸長は認められなかった。チャアナタケモドキでは30℃で菌糸伸長速度が最も高く、*F. punctata*では25℃で最も高かった（図-4）。35℃では、チャアナタケモドキで菌糸伸長が認められたが、*F. punctata*では明瞭な菌糸伸長は認められなかった。また、10℃では両種とも明瞭な菌糸伸長は認められなかった。低温条件下での両種の生存を評価したところ、両種とも菌株に関わらず0℃で少なくとも2か月間は生存が確認された。しかし、-5℃では、チャアナタケモドキで培養2週間後から死滅する菌そう断片が観察され、培養期間が長くなるほど死滅する菌そう断片の割合は高くなった（図-5）。一方、*F. punctata*では試験期間中に死滅する菌そう断片は観察されなかった。

以上の各採取地点の温度域と培養試験の結果を整理すると、チャアナタケモドキの採取地点すべてで1月の最低気温は-6℃より高く、本菌は0℃で少なくとも2か月は生存可能であったが、-5℃では培養2か月のうちに死滅した。一方、*F. punctata*は8月の最高気温が31℃以上の地点では採取されておらず、30℃以上では明瞭な菌糸伸長は認められなかった。本研究では菌糸伸長あるいは生存可能な温度の閾値を検証したわけではないが、両種の採取地点の温度域は、培養試験によって推測される菌糸伸長



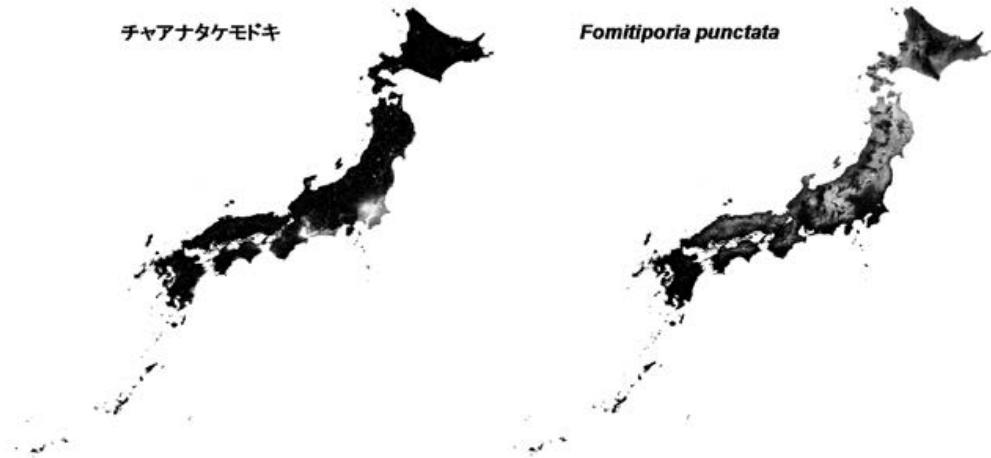


図-1 Maxentにより推定されたチャアナタケモドキとFomitiporia punctataの潜在的分布域  
Maxentにより推定された潜在的分布確率を、確率が高い白色から低い黒色まで色別に示した。  
図はTorii et al. (2021) を改変した。

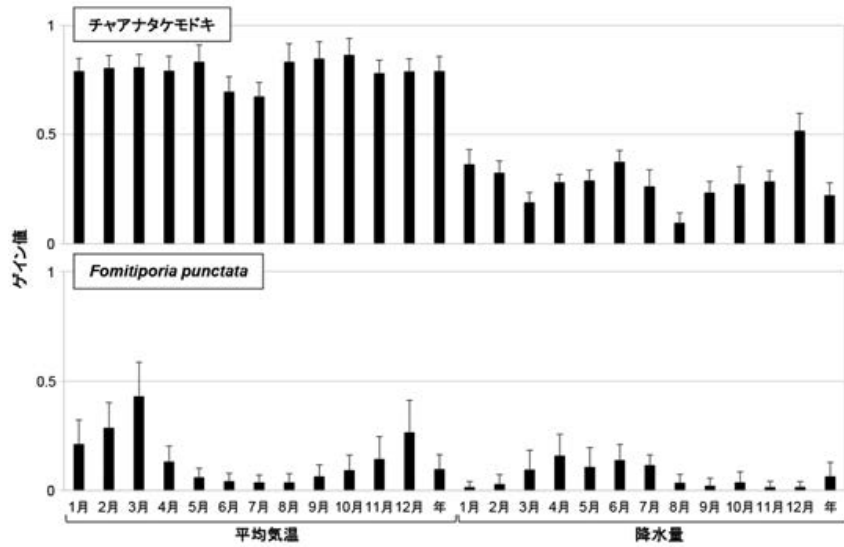


図-2 Maxentにより構築されたモデルにおける各気象データの重要性  
図はTorii et al. (2021) を改変した。

や生存可能な温度域とよく一致した。そのため、これらの結果はMaxentを用いた解析結果を支持し、両種の分布は採取地点の気温と菌糸伸長や生存可能な温度の閾値によって説明できると考えられた。

地球温暖化は菌類の地理的分布に影響を及ぼす可能性が指摘されている (Andrew et al. 2018)。一般的に、温暖化に伴い、その分布は高緯度、高標高地域に移っていくと想定される。本研究では気温が両

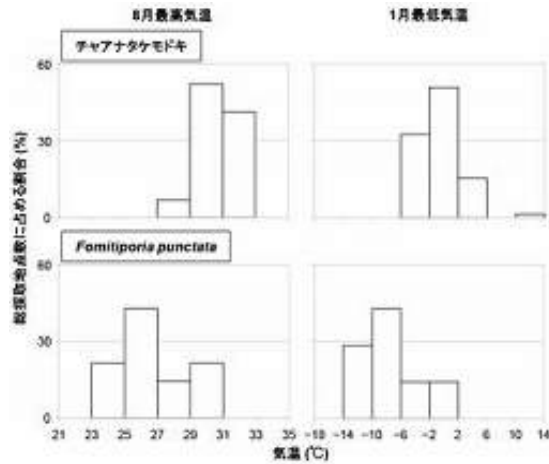


図-3 8月の最高気温と1月の最低気温の各気温段階におけるチャアナタケモドキとFomitiporia punctataの採取地点数を改変した。  
図はTorii et al. (2021) を改変した。

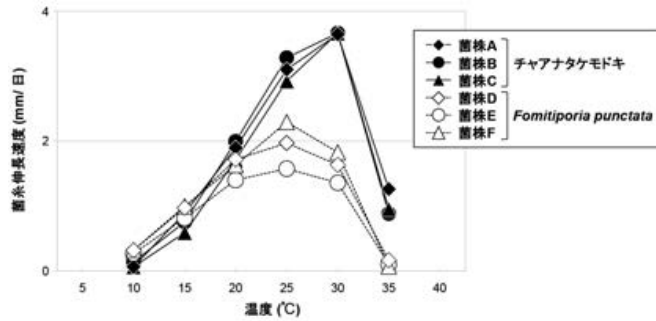


図-4 異なる温度でのチャアナタケモドキとFomitiporia punctataの菌糸伸長速度各値は平均値 (n = 3) を示す。図はTorii et al. (2021) を改変した。

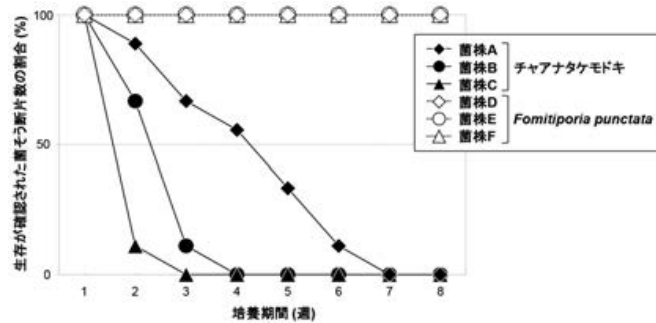


図-5 -5°CでのチャアナタケモドキとFomitiporia punctataの生存状況  
図はTorii et al. (2021) を改変した。

種の分布を規定する要因であると示唆された。つまり、地球温暖化はそれらの分布に影響を与える可能性があり、特にチャアナタケモドキの分布は、より北方地域や山間部へ拡大する可能性がある。両種が共通して病原菌であるナシ萎縮病については、被害は東北地方から九州地方までの各地で発生している（農林水産省 2017）。温暖化に伴い、東北地方では *F. punctata* からチャアナタケモドキへと病原菌の入れ替わりが起こる可能性も考えられる。また、スギ非赤枯性溝腐病による被害は千葉県を中心とする限られた地域でしか報告されていないが、本研究によって潜在的分布確率が高いと推定された地域だけでなく、より北方地域においても今後新たに被害が発生しないか注視する必要がある。

#### 4. 今後の課題

菌類の分布は気温や降水量等の気象条件だけでなく、宿主樹木や基質の分布によっても左右される（例えば、Wollan *et al.* 2008; Yuan *et al.* 2015; Mair *et al.* 2017; Gange *et al.* 2018; Pietras *et al.* 2018）。チャアナタケモドキと *F. punctata* の採取記録によれば（Dai 2010; Ota *et al.* 2014; 中村・服部 2020）、両種とも宿主選好性は、国内の温帯地域に分布するいくつかの木材腐朽菌に比べ低い（Hattori 2005; Yamashita *et al.* 2010）。そのため、これら2種の分布に与える宿主樹木の分布の影響は小さいと考えられる。しかし、本解析では気象条件として気温や降水量しか用いておらず、他の気象条件の影響に関しては、今後検討する必要がある。

本研究で行った分布推定は現在までの採取情報に基づくものである。特に *F. punctata* は採取情報が少なく、分布推定の精度の向上に向けては、より多くの採取地点情報が必要であると考えられる。本研究により推定された潜在的分布確率が高いが採取記録がない地域として、チャアナタケモドキでは中部地方の太平洋沿岸地域が、*F. punctata* では東北地方の北東部が挙げられる。これら地域で集中的な探索を行えば新たな採取情報が取得できるかもしれない。

本研究によって、チャアナタケモドキと *F. punctata*

の分布域は異なると考えられ、チャアナタケモドキは *F. punctata* に比べ、より温暖な地域に分布すると推定された。これは Ota *et al.* (2014) の推測を支持する結果である。また、チャアナタケモドキはスギ非赤枯性溝腐病による被害地域以外にも分布することが支持された。本病が千葉県で深刻な被害を引き起こしている背景として、被害が多発しているスギ品種であるサンプスギはチャアナタケモドキに対する抵抗性が低いこと（阿部ら 1991; 岩澤・中川 1995）、スギの不適地とされる黒色土や寡雨地域への植栽により樹勢や抵抗性が低下している可能性（小田 1985）が推察される。今後は、チャアナタケモドキの分布だけでなく、本病の発生やその程度に関与する可能性がある各地域のスギ品種や環境条件を加味することで、本病の被害発生予測が可能になるかもしれない。

#### 引用文献

- 阿部恭久・服部 力・小林 正 (1991) スギ非赤枯性溝腐病菌のスギ6品種への接種試験. 日林論 102: 323 ~ 324
- Andrew C, Diez J, James TY, Kauserud H (2018) Fungarium specimens: A largely untapped source in global change biology and beyond. *Phil Trans R Soc B* 374: 20170392
- 青島清雄・林 康夫・米林俊三・近藤秀明 (1964) サンプスギの非赤枯性溝腐病. 日本林学会大会講演集 75: 394 ~ 397
- 千葉県農林総合研究センター (2022) 非赤枯性溝腐病リーフレット. <https://www.pref.chiba.lg.jp/lab-nourin/nourin/documents/mizogusarehp.pdf>
- Dai YC (2010) Hymenochaetaceae (Basidiomycota) in China. *Fungal Divers* 45: 131 ~ 343
- Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudik M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans RJ, Huettmann F, Leathwick JR, Lehmann A, Li J, Lohmann LG, Loiselle BA, Manion G, Moritz C, Nakamura M, Nakazawa Y, Overton JM, Peterson AT, Phillips SJ, Richardson KS, Scachetti-Pereira R, Schapire

- RE, Soberón J, Williams S, Wisz MS, Zimmermann NE (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129 ~ 151
- Elith J, Leathwick JR (2009) Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annu Rev Ecol Syst* 40: 677 ~ 697
- Fink S, Gross A, Senn-Irlet B, Scheidegger C (2021) Citizen science data predict high potential for macrofungi refugia outside protected riparian areas. *Fungal Ecol* 49: 100981
- Gange AC, Heegaard E, Boddy L, Andrew C, Kirk P, Halvorsen R, Kuyper TW, Bässler C, Diez J, Heliman-Clausen J, Høiland K, Büntgen U, Kauserud H (2018) Trait-dependent distributional shifts in fruiting of common British fungi. *Ecography* 41: 51 ~ 61
- Hattori T (2005) Diversity of wood-inhabiting polypores in temperate forests with different vegetation types in Japan. *Fungal Divers* 18: 73 ~ 88
- 服部 力・田中正臣・栗生 剛 (2012) チャアナタケモドキによるコウヤマキの枝枯症状. 日本森林学会大会発表データベース 123 : Pb053
- 市原 優・服部 力・松永孝治・高橋由紀子 (2021) 強風によるスギ幹折れ被害における非赤枯性溝腐病による辺材腐朽の状況. 森林防疫 70 : 91 ~ 97
- 市原 優・鳥居正人・相川拓也・服部 力 (2022) *Fomitiporia punctata*によるヒノキアスナロの幹辺材腐朽被害. 森林防疫 71 : 131 ~ 138
- 今関六也 (1960) 山武杉の新しい病気, 非赤枯性の溝腐れ病とその生態的防除論. 森林防疫ニュース 9 : 240 ~ 245
- 岩澤勝巳・中川茂子 (1995) 千葉県精英樹におけるスギ非赤枯性溝腐病抵抗性のクローン間差. 日林関東支論 47 : 57 ~ 58
- 金子洋平・岩波靖彦・塩田あづさ・鈴木達哉・鈴木健・幸由利香・牛尾進吾 (2014) *Fomitiporia punctata*の接種によるナシ萎縮病の病徴の再現 (病原追加). 日植病報 80 : 24
- 金子洋平・塩田あづさ・鈴木 健・鈴木達哉・幸由利香・牛尾進吾 (2013) 千葉県内におけるナシ萎縮病菌*Fomitiporia* sp.の感染実態および分布状況. 関東東山病害虫研究会報 60 : 67 ~ 70
- 木村 遥・遠藤優季・太田祐子・服部 力 (2019) 日本大学湘南キャンパス内のスギに発生したスギ非赤枯性溝腐病. 日本森林学会大会発表データベース 130 : P1 ~ 237
- Kujawska MB, Rudawska M, Stasińska M, Pietras M, Leski T (2021) Distribution and ecological traits of a rare and threatened fungus *Hericium flagellum* in Poland with the prediction of its potential occurrence in Europe. *Fungal Ecol* 50: 101035
- Mair L, Harrison PJ, Jönsson M, Löbel S, Nordén J, Siitonen J, Lämås T, Lundström A, Snäll T (2017) Evaluating citizen science data for forecasting species responses to national forest management. *Ecol Evol* 7: 368 ~ 378
- 中村 仁・服部 力 (2020) チャアナタケモドキの緑化木・花木における発生樹種および発生頻度. 森林防疫 69 : 33 ~ 39
- 農林水産省 (2017) ナシ萎縮病の発生状況調査結果について. <https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/siryuu2/attach/pdf/index-4.pdf>
- 小田隆則 (1985) サンプスギの非赤枯性溝腐病の発病に係る環境要因の解析. 千葉林試研報 18 : 3 ~ 18
- Ota Y, Hattori T, Nakamura H, Terashima Y, Lee SS, Miyuki Y, Sotome K (2014) Taxonomy and phylogenetic position of *Fomitiporia torreyae*, a causal agent of trunk rot on Sanbu-sugi, a cultivar of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in Japan. *Mycologia* 106: 66 ~ 76
- Ota Y, Kimura KM, Hattori T, Miyuki Y, Endo R (2016) First report of trunk rot caused by *Fomitiporia torreyae* in Kyoto prefecture on

- cultivars of Japanese cedar with no relatedness to ‘Sanbu-sugi’. *J For Res* 21: 105 ~ 109
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) Maximum entropy modeling of species geographical distributions. *Ecol Model* 190: 231 ~ 259
- Phillips SJ, Dudik M, Schapire RE (2022) Maxent software for modeling species niches and distributions. [https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)
- Pietras M, Litkowiec M, Gołębiewska J (2018) Current and potential distribution of the ectomycorrhizal fungus *Suillus lakei* (Murrill) A.H. Sm. And Thiers) in its invasion range. *Mycorrhiza* 28: 467 ~ 475
- 佐久間 勉・中村尚武・落合政文・小林 正・阿部 恭久・田中寛康・高梨和雄 (1993) ニホンナシに発生するヒポキシロン幹腐病 (新称) と萎縮病. *果樹試報* 24: 45 ~ 59
- 塩田あづさ・金子洋平・中村 仁・安田文俊・押田正義 (2008) ナシ萎縮病樹から分離された *Phellinus* 属菌の接種による萎縮症状の発生. *日植病報* 74: 37
- Terashima Y (2013) Physiological characteristics of the trunk sap rot pathogen *Fomitiporia* sp. on the ‘Sanbu-sugi’ cultivar of *Cryptomeria japonica*. *Mycoscience* 54: 171 ~ 177
- Torii M, Masuya H, Hattori T (2021) Temperature characteristics of two *Fomitiporia* fungi determine their geographical distributions in Japan. *Forests* 12: 1580
- Wisz MS, Hijmans RJ, Li J, Peterson AT, Graham CH, Guisan A, NCEAS Predicting Species Distributions Working Group (2008) Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Divers Distrib* 14: 763 ~ 773
- Wollan AK, Bakkestuen V, Kausrud H, Gulden G, Halvorsen R (2008) Modelling and predicting fungal distribution patterns using herbarium data. *J Biogeogr* 35: 2298 ~ 2310
- 山口岳広 (2012) *Fomitiporia punctata* 接種によるエゾヤマザクラの辺材腐朽と枯死. 日本森林学会大会発表データベース 123: Pb041
- Yamashita S, Hattori T, Abe H (2010) Host preference and species richness of wood-inhabiting aphyllphoraceous fungi in a cool temperate area of Japan. *Mycologia* 102: 11 ~ 19
- Yuan HS, Wei YL, Wang XG (2015) Maxent modeling for predicting the potential distribution of *Sanghuang*, and important group of medical fungi in China. *Fungal Ecol* 17: 140 ~ 145

(2022.11.11 受理)

解説

# 西日本の皆伐・新植地に残る痕跡を使ったシカ出現頻度や苗木被害の予測

大谷達也<sup>1</sup>・米田令仁<sup>2</sup>・野宮治人<sup>3</sup>

## 1. はじめに

近年、皆伐・再造林が盛んといわれる一方で、依然として新植地におけるニホンジカ（以下、シカ）による苗木被害を克服したとはいいがたい。1990年前後からシカによる苗木被害が取り沙汰されてきたが、いまだ林業での大問題のひとつである。植えた苗木をシカから守るため、新植地のまわりを囲ってシカを排除する防護柵、一本一本の苗木に被せて枝葉を守る単木保護資材、そして化学薬品などでシカの摂食を防ぐ忌避剤といったさまざまな対策が施されている。しかし、いずれの対策をとるにせよ、シカの生息頭数が非常に多い場合には十分に機能せず、ひどい苗木被害を受けることも知られている。シカの生息地で苗木を植えシカ対策を施す場合には、植栽予定地でのシカの出現状況をあらかじめ把握し、シカ対策が有効に機能するように植栽後の管理方法を十分に検討することが大切である。

野生動物の出現を調べる装置として、例えば、赤外線感知式の自動カメラ（カメラトラップやセンサーカメラと呼ばれるもの）が安価になってきたものの、林業事業者が施業の一環として気軽に利用してシカ出現状況を把握できるまでにはなっていない。また、地域全体のシカ生息状況を予測した地図もさまざま報告されているが（多くは地方や県単位）、ある特定の数ヘクタールの皆伐地へのシカ出現状況を推定するにはもっと細かなスケールでの情報が必要と思われる。やはり林業事業者にとっては、特別な機器や技術を使わない簡単な作業によって、植栽予定の林分におけるシカ出現状況を推定できる方法が必要であろう。

シカに限らず野生動物が移動したり採食したあとに残される、足跡やフン、食いちぎられた草木（食

痕）といった痕跡を観察して、動物の生息状況や出現頻度を推定する試みは古くからおこなわれてきた。シカの場合も、慣れた人が森林を歩けば痕跡を観察して地域のシカ生息状況をおおよそ推定することはできる。しかし、ひとつの皆伐地に注目してどれほどのシカが出入りしているのか、さらには苗木を植えるとどれほどの被害になりそうかを予測することは難しいだろう。

Nomiya *et al.* (2022) では九州・四国の単木保護資材をつけた42カ所のスギ新植地において被害状況が調査され、保護資材が機能して苗木が健全に生育している林分からはほぼすべての苗木が壊滅的な被害を受けた林分まで、さまざまな状況にあることが報告された。土壌水分や斜面方位など苗木の生育を規定する条件に加え、シカの生息状況が場所ごとに大きく異なることが予想される。防護柵とは異なり単木保護資材が使われた林分では新植地へのシカの出入りを制限しないので、周囲になにも設置されていない皆伐地にシカが出入りしている状況と同じといえる。そのため、皆伐地へのシカ出現頻度の予測方法を単木保護資材の設置林分にも適用できると考えられる。ただし、苗木被害の程度はシカの出現頻度だけではなく、苗木以外にも食物となる下草量の影響も受けるうえに、現状で販売されている単木保護資材の仕様は一様ではないため、苗木被害を予測することはシカの出現頻度を推定することよりも困難さが増すと考えられる。そのためOtani *et al.* (2022) では、痕跡から皆伐地でのシカ出現頻度を予測する方法をまず作り、次に同様の方法によって単木保護された植栽地の苗木被害まで予測できるかが検討された。本稿では、Otani *et al.* (2022) で示された、皆伐地におけるシカ出現頻度の予測方法、および単

Estimation procedure for deer appearance frequency and cedar sapling damage using field signs found in clear-logged sites in western Japan

<sup>1</sup>OTANI, Tatsuya, 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所四国支所；<sup>2</sup>YONEDA, Reiji, 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所四国支所；<sup>3</sup>NOMIYA, Haruto, 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所九州支所

木保護されたスギ苗の被害予測方法について、実際に野外でどのような作業をするか、出現頻度や苗木被害の指標となるスコアをどのように算出するか、わかりやすく解説したい。

## 2. シカの出現頻度を予測する

### (1) 予測方法の開発

まず個別の皆伐地へシカがどれぐらいやって来ているか、つまりシカの出現頻度を痕跡から予測する方法をつくるため、四国各地の皆伐地、または防護柵の設置されていない新植地29カ所を選び、それぞ

れの辺縁部に幅2m、長さ50mの調査区を3カ所ずつ設置した(図-1)。調査区の設置にあたっては、皆伐地または新植地の外周になるべく偏りがないようにした。調査区を5mごとの小区画に分け、ひとつの調査区に10個の小区画、ひとつの皆伐地・新植地について合計30個の小区画とした。このとき、調査区を設置したのはあくまで皆伐地または新植地の辺縁部であり、隣接の林分のなかではない。シカの出現頻度を推定するための痕跡として、フン、獣道、樹皮剥ぎ、および下草に残る食痕に注目した。30個の5m小区画ごとに、フンの個数、獣道の有無、樹

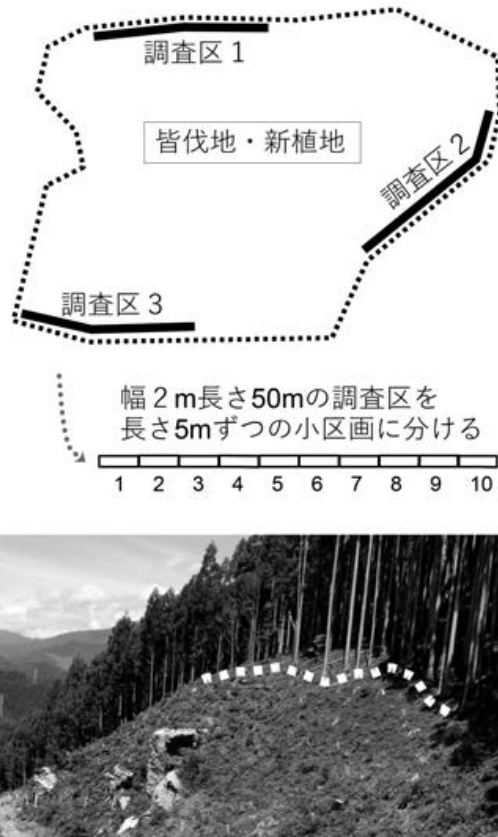


図-1 個別の皆伐地または新植地におけるニホンジカ痕跡の調査区の設置例  
皆伐・新植地の辺縁部に偏りがないように、幅2m長さ50mの調査区を3カ所に設置し、それぞれを5mごとの小区画に分けた(上図)。皆伐地における調査区の設置例(下図の白点線)。

皮剥ぎの有無，および食痕のある下草の本数を数えた。樹皮剥ぎについては，調査区から隣接する林分も見て，およそ5m程度の距離までの立木も対象に含めた。

あわせて，実際のシカ出現頻度を把握するため，合計6台の赤外線式自動カメラを皆伐地・新植地の辺縁部に設置した。ひとつの場所での設置は夏から秋までの期間のうち2ヶ月間ほどとした。自動カメラの赤外線センサが動物を感知し続けた場合には，1分間の休止時間をおいて撮影されるように設定した。場所ごとにすべての写真に写ったシカの頭数を足し合わせて6台のカメラの稼働日数で割り，日あたり出現頭数を算出して出現頻度とした。カメラによって記録されたシカ出現頻度を精度よく再現でき，かつ現地調査の簡単な方法を見つけるため，さまざまな痕跡を組み合わせて集計した。その結果，シカがあまり出現しない状況から高頻度で出現する状況にまで対応し現地調査が簡単な方法として，食痕だけに注目して5m小区画ごとに点数をつけてその平均値をとる方法がよいと判断された。

(2) 食痕スコアおよびシカ出現頻度の算出方法

調査区を設定して食痕スコアを算出するには，特別な機器を必要とせず，調査区の長さを測るメジャー程度の用具があればよい。調査区を区切って食痕を観察し，5m小区画に食痕がなければ0点，1種類の植物だけに食痕があれば1点，2種類以上の植物に食痕があれば2点のように，5m小区画ごとに点をつける。このとき食痕のある植物の種名を同定する必要はない。2種類以上の植物に食痕があると判定する場合でも，5m小区画内の食痕つき植物が全部同じ種類ではないと判断できれば良いので，葉の形が異なる植物に食痕があるとか，樹木と草本に食痕があるといった観察でよい。30個の5m小区画すべてに点数をつけたら，その平均値を求めて食痕スコアとする。後述のとおり，1本の調査区あたりの小区画数を6個まで減らしてもよいが（つまり調査区の長さは30m），調査区は必ず3本を皆伐地の外周に偏りがないように設置する必要がある。皆伐地の一辺だけとか，連続した100mぐらいの調査区を一本だけといった設置は避ける。

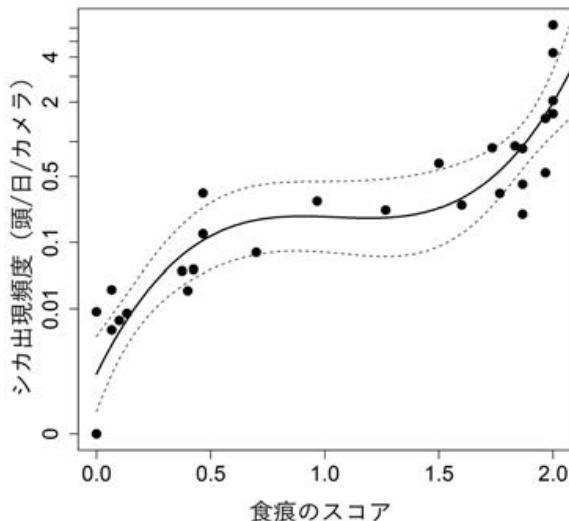


図-2 四国内の皆伐・新植地における，下草に残る食痕についてのスコアと自動カメラによって記録されたシカ出現頻度との関係

食痕スコアからシカ出現頻度を三次式によって回帰することができた（点線は95%信頼区間を示す）。



このように、食痕なし・1種類・2種類以上の3段階に要約した種数によるスコアとカメラで記録したシカ出現頻度との間には図-2のような関係が認められ、三次式によって回帰することができた。例えば、ある皆伐地での食痕スコアが0.2だったとすると、それを下式1の $x$ にあてはめて $y = -2.907$ を得る。

$$y = -4.327 + 8.677x - 8.435x^2 + 2.680x^3 \quad (\text{式1})$$

これをさらに下式2の $y$ にあてはめ、シカの出現頻度0.0156頭/日/台を得る（ここで $\ln$ は自然対数）。

$$2.7182 \frac{\ln(0.1838y + 1)}{0.1838} \quad (\text{式2})$$

ほかには例えば、食痕スコアが1.0の場合は0.197頭/日/台になり、2.0の場合は1.98頭/日/台となる。

林業現場での実際問題として、どれほどのシカ出現頻度であればシカ対策が必要になるか、対策なしで苗木を植えられるのはどれほどの出現頻度までか、ということにもっとも関心があると思われるが、残念ながらこの疑問に答えられるほどのデータを蓄積することはできていない。その理由は、少しでもシカ被害が予想される場合には森林所有者はなんらかの対策をとるので、実際の施業地で調査をしているだけでは十分なデータを集めることができないためである。しかしながら、少数の調査地で苗木被害を観察することができたので、参考として記しておきたい。まず、食痕スコアが2.0となった林分では過去に森林総合研究所四国支所でスギ・ヒノキ苗の植栽試験をしたことがあるが、植栽後1年をおかず苗木がほぼ全滅した。次に食痕スコアが0.5前後となった2箇所のスギ植栽地では、食害を受けた苗木が散見されるものの被害程度は軽微だった。最後に食痕スコアが1.2ほどになった1箇所のスギ植栽地では、林分としては成林しようと考えられたものの激害の苗木が散見された。今後さらにデータを蓄積しシカ対策がない場合の苗木被害と痕跡をもとにしたスコアとの関係を検討する必要があるものの、現時

点では食痕スコアが1.5を越えるような場所ではシカ対策なしでは許容できないほどの苗木被害が発生しうると推察される。

### (3) 調査努力量の削減

さらに調査努力量をどこまで減らしても同じ結果が得られるか、すなわち調査区の数をもどこまで減らしてもよいかを検討するため、簡単なシミュレーションをおこなった。3本ある調査区を2本、さらには1本に減らしたときに、3本すべてのデータで算出した場合よりも食痕から出現頻度を回帰する決定係数がどれほど悪くなるか検討した。また調査区は3本のまま、ひとつの調査区あたりの小区画の数を10から1まで減少させ、同様に決定係数の低下を比較した。3本の調査区から2本をランダムに選択してそのデータから回帰分析をおこなう、あるいは10個の小区画から9個をランダムに選択して分析するといった試行を1,000回ずつおこない、それぞれの場合の決定係数を算出して95%信頼区間を求めた。その結果、調査区を3本から2本へ減らすだけで決定係数は大きく下がり、小区画の数は5よりも少なくすると10の場合よりも決定係数が下がるといった。つまり調査努力量を減らす場合でも、調査区は3本が、1本の調査区には小区画が最低でも6個（調査区の長さ30m）が必要と示された。調査区の設置にあたっては、1本の調査区を少し短くすることは問題ないが、皆伐地の外周に偏りなく3本の調査区を設置することが重要と考えられた。

## 3. 苗木の被害を予測する

### (1) 予測方法の開発

次に、単木保護資材を導入した場合の苗木被害を痕跡から予測する方法をつくるため、単木保護資材が使われた3から6年生のスギ新植地を四国・九州から36カ所選び、苗木被害の調査と前述のシカ痕跡調査をおこなった。ここで選択した新植地では、細かな仕様のちがいはあるものの堅いプラスチック板が円筒状に苗木を覆う、高さ140cmの単木保護資材が導入されていた。スギ新植地のなかに空間的に



図-3 シカによって樹皮を食べられたリョウブ

単木保護資材を付けたスギ苗木の被害割合を推定するには、シロモジヤツゲ、ソヨゴ、エゴノキといった広葉樹に加え、隣接人工林のスギやヒノキについても樹皮剥ぎを観察する。ただし、樹種を判別したり、本数を数える必要はない。樹皮剥ぎのほかには獣道やシカのフンも観察する。

偏らないように3カ所の調査プロットを設置して、それぞれのプロットで50から60本の苗木のうち激害となっている本数を数えた。ここで「激害」とは以下の3通りのいずれかに該当する。1. 苗木が高さ30cmに満たないほどに激しく食害され、枯死または消失しており、単木保護資材の残骸が付近に残されている。2. 単木保護資材が持ち上げあるいは開かれて苗木が引き出され激しく食害されている。3. 単木保護資材の上端に届くまで苗木が生長しているが、その部分で繰り返しの食害を受けて盆栽状になっている。3プロットの結果を足し合わせ、調査対象本数に対する激害苗の本数割合をその新植地の苗木被害の指標とした。

前述と同様に、単木保護資材が使われている新植地の辺縁部に、幅2m長さ50mの調査区を3本ずつ設置してシカの痕跡調査をおこなった。痕跡からシカの出現頻度を推定した場合と同様に、痕跡から苗木被害を予測できるかどうかを検討するため、さまざまな痕跡の組み合わせを説明変数、激害となっている苗木の本数割合を被説明変数としてロジスティック回帰分析を試みた。その結果、樹皮剥ぎ・獣道・

フンの有無から苗木被害を推定する方法がもっとも良いと判断された。また、フンを観察せずに樹皮剥ぎと獣道の有無だけから推定しても、実用上は問題ないと考えられた。出現頻度を推定する場合に重要だった食痕のある植物は、ここでは有用ではないと判断された。食痕スコアはシカが低頻度に出現する状態には敏感だが、一方でシカが多く出現して単木保護資材付きの苗木に被害が出るような状態では値が上限に達してしまうこともあるようだ。

## (2) 痕跡スコアおよび苗木被害の算出方法

上記の痕跡についてのスコアを得るためには、新植地の辺縁部に設置した調査区の合計30個の5m小区画において、樹皮剥ぎ・獣道・シカのフンがあるかないかを観察する必要がある。樹皮がはがれた樹木の本数やシカのフンの個数を数える必要はない。例えば、ある5m小区画で樹皮剥ぎがあった場合には1、なかった場合には0として点数を付け、30個の5m小区画で平均して0.3を得たとする。30個の5m小区画のうち9個で樹皮剥ぎがあり、樹皮剥ぎのあった小区画の割合が0.3ということになる。こ

のとき、注目するのはリョウブやシロモジといった広葉樹はもちろん、人工林のスギやヒノキも対象として、隣接林分内の5m程度の距離までの立木も含めて観察する。ただし、樹種を判別する必要はないし本数を数える必要もない(図-3)。同様に獣道が5m小區画内にあるかどうかを観察し、獣道があれば1、なければ0として、平均値0.1を得たとする。このとき、どの動物による獣道かは正確に判断することはできないので、何らかの獣が通っている跡や蹄の跡があれば、獣道ありと判断してよい。シカのフンについては、シカに特徴的なフンの形を判別できるようになる必要があるが、フンの新旧は問わず、ひとつでもシカと思われるフンがあれば1、なければ0として、平均値0.4を得たとする。下式3において樹皮剥ぎのスコア0.3を $a$ 、獣道0.1を $b$ 、フン0.4を $c$ に代入して、 $y = 1.8626$ を得る。

$$y = 3.331 - 2.183a - 1.715b - 1.605c \quad (\text{式 } 3)$$

これを下式4の $y$ にあてはめ、単木保護資材を付けた林分の激害苗の本数割合0.134を得る。

$$\frac{1}{1+2.7182^y} \quad (\text{式 } 4)$$

すなわち、樹皮剥ぎ0.3、獣道0.1、フン0.4というスコアが得られる林分では、単木保護資材を付けてスギ苗を植えた場合、13.4%つまり1割強の苗はその後の成長が見込めないほどの激害となる可能性がある。

フンについての観察をおこなわない場合には、下式5に上述の樹皮剥ぎ・獣道のスコアを代入して $y = 2.185$ を得る。

$$y = 3.228 - 2.828a - 1.946b \quad (\text{式 } 5)$$

これを式4の $y$ にあてはめ、激害苗の本数割合0.101を得る。フンについてのスコアを省略したため値が少し異なっているが、やはり1割ほどの苗は激害という予測となる。ほかには例えば、樹皮剥ぎ・獣道・

フンのいずれのスコアも0.5であったとすると、3つのスコアすべてを使った場合には0.359、フンを観察しない場合には0.301となり、3割強の苗が激害になると予想される。調査区内にシダやササが密生しているといった理由でフンを見つけることが困難な場合はフンについての観察を省略してもよいが、フンのスコアも使って苗木被害を推定した方がよい。

### (3) 実際の判断

冒頭で述べたように、苗木被害を予測することはシカの出現頻度を予測することよりも難しいので、式3と4、または5と4を使って激害苗の本数割合を予測したとしても、実際の被害状況にはかなりのばらつきがあるものと予想される。激害苗の本数割合が0.5と予測されても、実際の被害はもっと軽微にすむ場合も十分にありうる。図-4には、樹皮剥ぎ・獣道・フンのスコアをひとつずつ取り上げ、激害苗の本数割合との関係を示した。単木保護資材を付けた際の被害割合を予測する際には、これら3つすべて、または樹皮剥ぎと獣道の2つだけを使うわけだが、シカの出現頻度を予測する場合の図-2と比べるとばらつきが大きいことが見てとれる。標高や下草の種構成のちがいでシカの餌資源としてのスギ苗の重要性が場所ごとに異なることに加えて、単木保護資材の仕様や設置方法も場所や林業事業者ごとに異なることが影響していると考えられる。しかしながら、樹皮剥ぎ・獣道・フンのいずれかのスコアが0.5を超えるような場合は、すなわち合計30個の5m小區画の半分以上でこれらの痕跡が見つかるような場所では、多くの苗木が激害を受ける壊滅的な状況が起こり得るということを念頭におくべきであろう。くわえて、ここで被害としているのはあくまで激害であるので、激害苗木の本数割合が0.2と予測されたとしても、軽微なものも含め何らかの被害を受ける苗はもっと多くあると考えられる。単木保護資材を付ける場合には植栽密度を減らして1,500本/haや2,000本/haとすることもよくあるので、上記の方法で苗木被害を推定して高い値が出る場合には、単木保護資材を付けて苗木を植栽した後も、

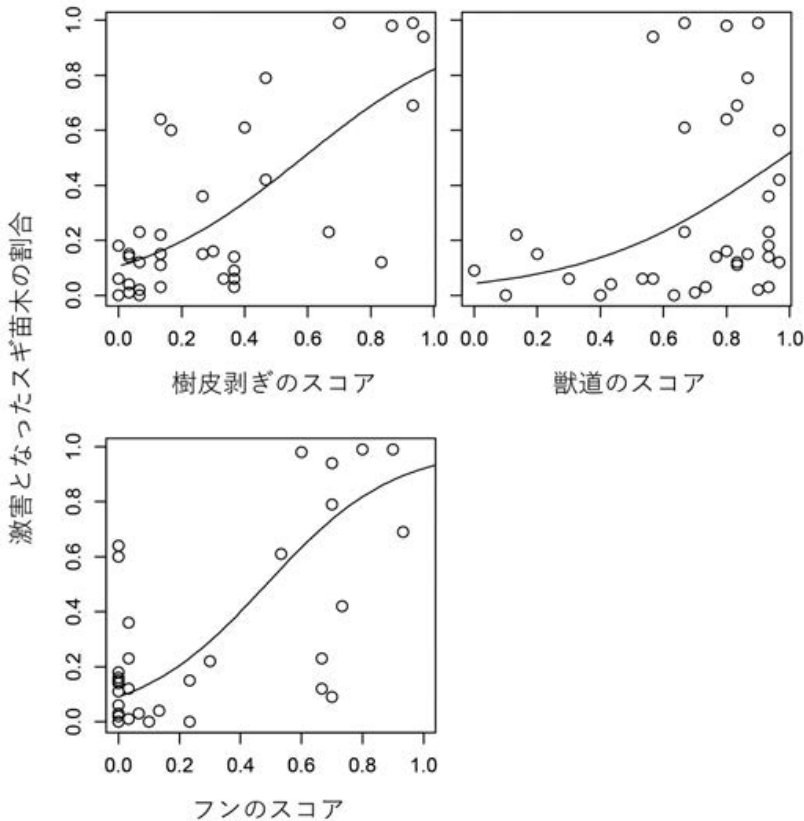


図-4 四国・九州内の単木保護資材をつけたスギ新植地における、樹皮剥ぎ・獣道・シカフンのスコアと激害となった苗木の本数割合との関係  
それぞれロジスティック回帰分析による回帰曲線を示した。

まめな点検・補修によって被害を最小限に抑える努力が必要になるだろう。

#### 4. 今後に向けて

これまでに解説した方法でシカの出現頻度や苗木被害の予測をするためには、初夏から秋にかけての期間に現地での観察をおこなう必要がある。苗木被害を予測する場合には樹皮剥ぎや獣道を観察するので、あまり季節を限定する必要はないと考えられるものの、冬期や春先に観察をおこなった場合に同等の結果が出るかどうかの検証は今後が必要である。また、四国や九州での調査にもとづく推定方法が、

どの地方まで適用可能かも検証が必要である。今回の調査は四国や九州の標高200mから1,200mの場所でおこなったため、環境要因や植生のばらつきにはある程度は対応していると考えられるものの、中部地方以东でも適応可能かどうか、計算式を修正するだけで対応できるかどうか十分に検討しなければならない。本稿の方法を実際に適用した際の感想や予測の正確さについて、手法の改善のためにぜひ情報をお聞かせ願いたい。

最後にもっとも肝心なことであるが、シカが多く出現する、あるいは激害苗木が多くなると予測された際にどのような対策をとるか、具体的な代替手段を

いまだ用意できていない。スギ苗の激害が予想される場合には再造林をしないという選択もあり得るが、保安林指定を受けているなど確実な再造林を求められる場合もあろう。シカの高密度地帯でも計画通りの森林管理をすすめられるよう、個体数管理も含めてシカ被害の確実な防止技術が強く求められる。

## 引用文献

Nomiya, H., Abe, T., Kanetani, S., Yamagawa, H., Otani, T., Sakai, A., & Yoneda, R. (2022) Survival and growth of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) planted in tree shelters to prevent

deer browsing: a case study in southwestern Japan. *Journal of Forest Research* 27 : 200 ~ 205. <https://doi.org/10.1080/13416979.2022.2059735>

Otani, T., Yoneda, R., & Nomiya, H. (2022) A practical technique for estimating deer appearance frequency and cedar sapling damage in young plantations protected by tree shelters in western Japan. *Journal of Forest Research* 27 : 182 ~ 190. <https://doi.org/10.1080/13416979.2022.2059734>

(2022.11.14 受理)

解説

# 日本産マツカレハ属(チョウ目カレハガ科) 4種の概説

綿引大祐<sup>1</sup>・田中絵里<sup>2</sup>・吉松慎一<sup>3</sup>

## はじめに

カレハガ科 *Dendrolimus* 属 (以下、マツカレハ属) はヨーロッパからアジア地域にかけて分布する約30種が知られ (Zolotuhin & Pinratana 2005), そのうち日本にも分布するマツカレハ *Dendrolimus spectabilis* (Butler, 1877), オキナワマツカレハ *D. okinawanus* Sonan, 1934, ツガカレハ *D. superans* (Butler, 1877), タイリクマツカレハ *D. punctatus* (Walker, 1855), ならびに海外産の *D. tabulaeformis* Tsai & Liu, 1962, *D. kikuchii* Matsumura, 1927, *D. sibiricus* Tschetverikov, 1908, *D. grisea* (Moore, 1879) の合計8種が, マツ科樹木の葉を食害する森林害虫として知られている (Billings 1991; EPPO 2005; Mikkola & Ståhls 2008; Zeng *et al.* 2010)。

マツカレハ (図-1) を例に挙げると, アカマツ *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc., クロマツ *P. thunbergii* Parl., ストローブマツ *P. strobus* L., カラマツ *Larix kaempferi*

(Lamb.) Carrière, ヒマラヤシーダー (ヒマラヤスギ) *Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don 等への食害の記録がある (井上 1982; 河原ら 1987; 日本応用動物昆虫学会 2006)。本属に含まれる種による被害は断続的かつ突発的に発生しており, 近年でも鹿児島県の志布志市, 指宿市, 徳之島町 (久保・東 2015), 静岡県三島市の国史跡箱根旧街道の松並木 (三島市教育委員会 2017) でマツカレハの多発が確認されている。沖縄県では1960年代にマツカレハが那覇市周辺で多発した記録 (国吉・稲福 1969) (著者らはその分布からオキナワマツカレハであると推測している) 以外の顕著な発生は認められていなかったが, 2004年頃より石垣島・西表島においてリュウキュウマツで本属の一種の多発が確認されはじめ (伊藤ら 2005) (図-2), 2016年には石垣島内全域のリュウキュウマツ造成林で大きな被害が認められた (畑山 2016)。本個体群は沖縄県農林水産部八重山農林水



図-1 都市部の風致公園に植栽されたクロマツを食害するマツカレハの終齢幼虫  
神奈川県横浜市, 2018年。

An overview of the four Japanese species of the genus *Dendrolimus* (Lepidoptera: Lasiocampidae)

<sup>1</sup> WATABIKI, Daisuke, 国立大学法人 新潟大学 佐渡自然共生科学センター; <sup>2</sup> TANAKA, Eri, 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 植物防疫研究部門; <sup>3</sup> YOSHIMATSU, Shin-ichi, 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 植物防疫研究部門 / 東京農業大学農学部生物資源開発学科



図-2 タイリクマツカレハの多発により枯死したリュウキュウマツの被害  
沖縄県石垣市, 2014年 (沖縄県農林水産部八重山農林水産振興センター提供)。

産振興センターによってすぐに同定が試みられたが、本属に含まれる種は前翅の色調・斑紋・体サイズの著しい個体変異と顕著な性的二型を持ち、同定や種分類が極めて難しいため、この多発した個体群は暫定的にマツカレハと同定した報告が行われていた(畑山 2016)。こうした背景から、著者らは南西諸島を中心とした日本各地より得られたサンプルを用いて、日本産マツカレハ属の形態と遺伝子に基づく日本産本属の種同定に取り組むこととなった。

なお、本研究では種分類を行う上で標準的なDNAバーコード領域(ミトコンドリアDNAのCOIの一部塩基配列)を解析したが、著者らが供試した個体と、比較に用いたGenBankおよびBOLD Systemsに登録されていた個体では、解読した領域が一部重複しておらず、これらの共通領域のみを利用したために最終的に解析できた塩基配列数は593 bpであったことを予めお断りしておく。また、本報告では著者らの専門分野ではない防除法については特に触れないことにし、4種の形態、分布、寄主植物、成虫の識別法を中心に述べることにしたい。

## 結果

著者らの研究(田中ら 2020)により従来オキナワマツカレハ(あるいはマツカレハ)として扱われ

てきた石垣島・西表島の個体群が、形態と遺伝子の両方から*D. punctatus* (Walker, 1855)であると同定でき、タイリクマツカレハ(新称)として日本から初めて記録されることになった。また、オキナワマツカレハは、独立種とされる場合や(Yamamoto 1981; 岸田 2011)、マツカレハの亜種(東ら 2002)、あるいはシノニム(井上 1982)として扱われることもあったが、形態的・遺伝的に独立種であることが改めて示された(田中ら 2020)。

各種の分布は、主に田中ら(2020)および綿引ら(2020a)に基づき作成し、それら論文で精査・同定した成虫標本のラベル情報(採集地・採集日・採集者)はリスト化して公表済である(綿引ら 2020b)。それ以降の追加記録は、当該文献を引用して記述した。また、特に同定が難しいと考えられる南西諸島産の種については分布図を作成した(図-3)。寄主植物については、井上(1982)、岸田(2011)、日本応用動物昆虫学会(2006)に基づき取りまとめた。

## 各種の概説

成虫の外部表徴(図-4)、雄交尾器(図-5)および雌交尾器(図-6)を図示した。以下、それらを参照しつつ各種の概説を述べる。



図-3 南西諸島に分布するマツカレハ属3種の分布図

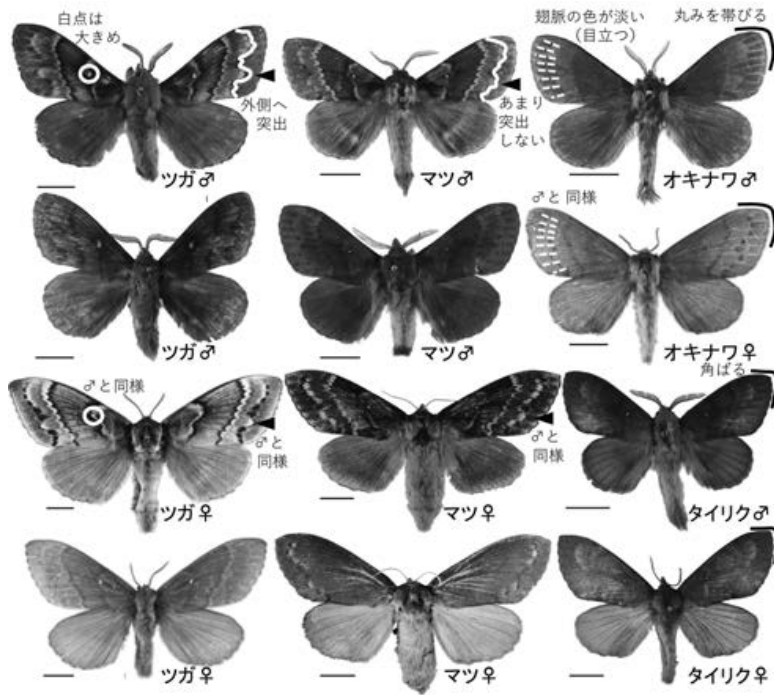


図-4 日本産マツカレハ属の成虫標本およびそれらの外見による識別点  
田中ら (2020) を改変・転載, 目盛: 10mm.



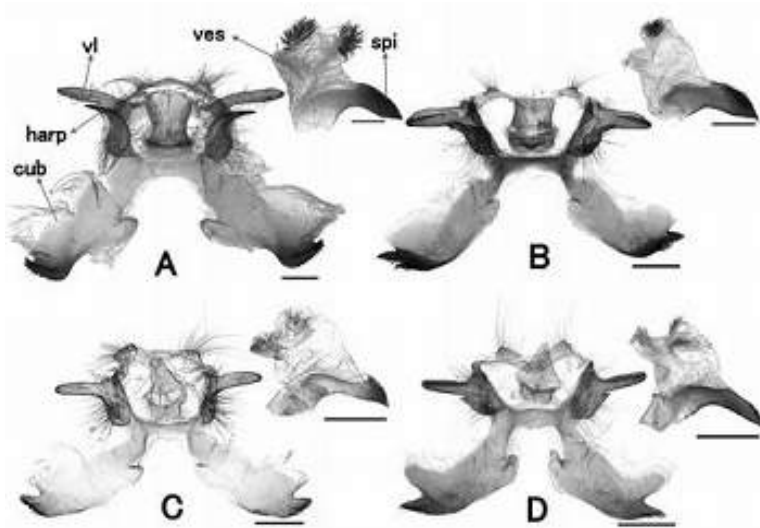


図-5 日本産マツカレハ属の雄交尾器

A: ツガカレハ, B: マツカレハ, C: オキナワマツカレハ, D: タイリクマツカレハ,  
harp = harpe, cub = cubile, vl = valva, ves = vesica, spi = spines. 田中ら (2020)  
を転載, 目盛: 1 mm.

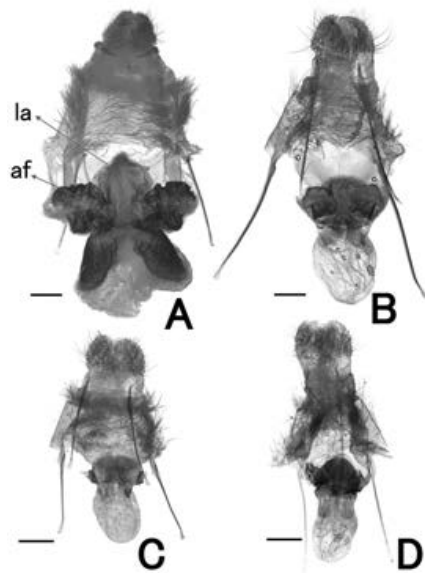


図-6 日本産マツカレハ属の雌交尾器

A: ツガカレハ, B: マツカレハ, C: オキナワマツカレハ, D: タイリクマツカレハ,  
la = lamella antevaginalis, af = accessory flap. 田中ら (2020) を転載, 目盛: 1 mm.

#### ・ツガカレハ

形態：前翅長は雄が26–36mmで雌が36–48mm。前翅の地色は淡褐色、淡黄褐色、橙黄褐色、茶褐色など個体変異が大きい。各横線は黒褐色から茶褐色で、内横線は不明瞭が消失する。環状紋は黄白色で良く目立つ。雄交尾器は全体的に強く骨化し、cubileの先端にある鋸歯状部およびvalvaのharpeが顕著に発達する。雌交尾器も全体的に骨化が強く、lamella antevaginalisが腹方後縁部で強く骨化し、その中央部が後方に向かって三角形に顕著に突出する。

分布：北海道・本州・四国・九州地方にかけて分布し、長崎県対馬等にも分布するものの、一般的に離島部での記録は少ない。国外ではロシア（岸田2011）や中国（Qin *et al.* 2019）に分布する。

寄主植物：モミ、ツガ、トウヒ、ヒマラヤスギ、カラマツ等

#### ・マツカレハ

形態：前翅長は雄が22–31mmで雌が31–43mm。前翅の地色は淡褐色、黒褐色など変異が大きい。オキナワマツカレハよりも暗色となる傾向が強く、また斑紋や各横線が明瞭に表れる場合が多い。雄交尾器は、オキナワマツカレハと比較してcubileの先端にある鋸歯状部の溝が深く鋸歯が鋭い。Valva腹方のharpeは痕跡的な棘状突起として存在する場合もあるが、一般的には不明瞭。雌交尾器は、accessory flapの骨化が強くまた大きく、lamella antevaginalisは強く骨化した正方形状である。

分布：北海道（道央・道南の標本のみ確認できた）・本州・四国・九州地方にかけて分布する（トカラ列島北部の中之島が南限）。離島部でも多数の個体が得られており、著者らによって、新潟県の佐渡島、東京都の伊豆諸島（新島、神津島、伊豆大島、三宅島、八丈島）、長崎県の対馬、五島列島（福江島）、鹿児島県の屋久島・種子島、トカラ列島（中之島・口之島）から確認された。国外では中国（Qin *et al.* 2019）や韓国（Park *et al.* 2001）に分布する。

寄主植物：アカマツ、クロマツ、カラマツ、ストロブマツ、ヒマラヤスギ等

#### ・オキナワマツカレハ

形態：前翅長は雄が21–27mmで雌が23–33mm。前翅の地色は赤褐色で、他種と比較して変異は少ない。各横線は不明瞭。前翅外半部の翅脈上の鱗粉は地色よりもやや色が薄く、翅脈が目立つ傾向にある。雄交尾器は同属他種と比較して全体的に骨化が弱く、cubileの先端にある鋸歯状部も溝が浅く発達が弱い。雌交尾器は、accessory flapが他種と比較して明らかに小さく、lamella antevaginalisが腹方後縁部に顕著な突出部を伴わない。

分布：九州（鹿児島県）・沖縄地方にかけて分布する（トカラ列島南部の悪石島を北限とし、宮古諸島が南限）。鹿児島県のトカラ列島南部（悪石島・宝島）、奄美大島、加計呂麻島、徳之島、沖縄県の沖縄島、渡嘉敷島、伊平屋島、伊是名島（長田・吉武2021）、久米島、宮古諸島（伊良部島）から得られている。過去の宮古諸島（砂川・小浜2017）および与那国島（中島・木村2012）の記録は再検討が必要であるが、正確な記録として綿引ら（2020a）および長田・吉武（2022）による伊良部島の記録がある。なお、本種の分布に関しては、過去の植樹等の人為的影響も考慮する必要がある（綿引ら2020a）。日本固有種。

寄主植物：リュウキュウマツ

#### ・タイリクマツカレハ

形態：前翅長は雄が21–24mmで雌が27–32mm。地色は全体的に黒褐色で、各横線は基本的に不明瞭となる。翅形は翅頂がオキナワマツカレハよりも尖る傾向にある。雄交尾器はcubile先端の鋸歯部が発達し、valva腹方に明瞭な棘状のharpeが一對あることが、他種との識別点となる。雌交尾器はオキナワマツカレハよりもlamella antevaginalisの腹方後縁部が後方へ向かってやや隆起した形状となる。

分布：沖縄県の八重山諸島の石垣島と西表島に分布する。今後の調査によって、宮古諸島等でも発見される可能性がある。国外では中国や台湾（Qin *et al.* 2019）、ベトナム（Zolotuhin 2000）に分布する。

寄主植物：リュウキュウマツ、パビショウ、アブ

ラマツ、クロマツ

なお、岸田（2011）においてオキナワマツカレハとして図示されている石垣島産の個体（p.89, 1-072-14）は、その分布と翅形から本種である可能性が高い。

### 各種成虫の識別法

ここでは、本属各種の分布に着目しつつ、成虫の形態およびDNAバーコーディングによる識別法を示す。特にマツカレハ・オキナワマツカレハ・タイリクマツカレハの分布境界付近であるトカラ列島と宮古諸島付近（図-3）で得られた個体は、交尾器や遺伝子情報等を用いたより正確な同定を行うことが望ましい。

### 成虫の形態による識別

・北海道～九州地方の屋久島以北（ツガカレハ・マツカレハの2種が分布）

ツガカレハは雌雄ともに大型の個体が多く、前翅長が雄で30mm、雌で43mmを超えることが多いが、マツカレハより小型になることもある。また、両種は翅の斑紋に違いがあり、前翅の中央にある白色の斑紋（環状紋）が、ツガカレハでは他種と比較して大きく、他の3種のそれは小さくて目立たない。その他、ツガカレハは前翅の亜外縁線の一部が外側へ強く突出する。しかしながら、それらの特徴だけでは両種の正確な識別が難しい場合もあるため、触角の形態の比較が両種の正確な同定には有用である（図-7）。ツガカレハの触角は雌雄ともに黒化が強く、

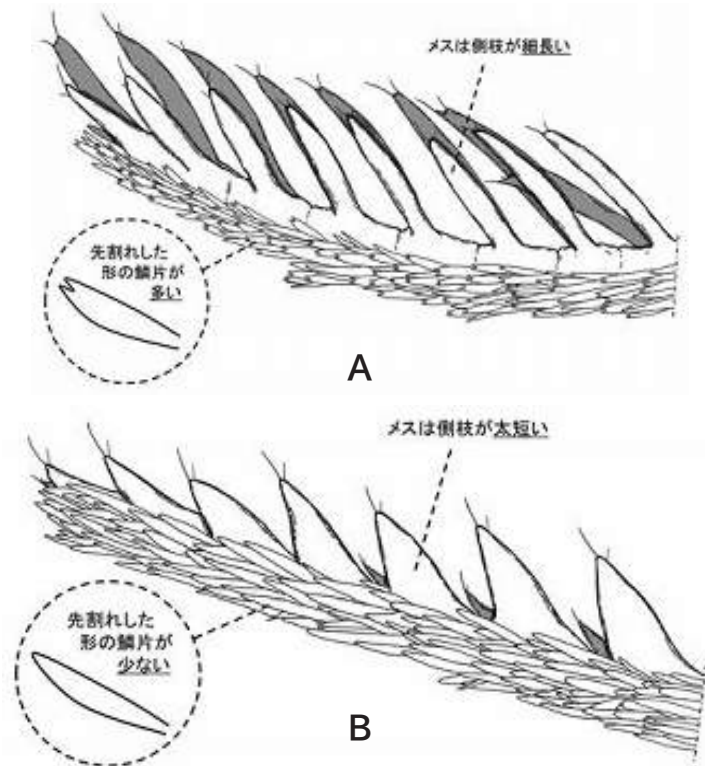


図-7 メス成虫の触角先端図

A：ツガカレハ、B：マツカレハ。  
オスの場合、側枝の長さでは見分けられないが、鱗片の形はメスと同様な違いがあり（先割れするかどうか）、両種の良い識別点となる。



図-8 オキナワマツカレハの黒化したオスの個体  
沖縄県国頭村, 2019年.  
このような個体では、タイリクマツカレハと外見で識別  
するのが難しい場合が多く、正確な同定には交尾器を  
検鏡する必要がある。

触角の背面の鱗片が先割れした形となるが、マツカレハでは全体的に色調が明るく、鱗片の先端が丸みをおびる。特に雌では触角の違いが顕著に現れ、上記の違いに加えて触角の各枝（側枝）がツガカレハは細長い、マツカレハでは太短い。雄交尾器ではツガカレハのharpeの長さがvalvaの1/2以上の長さとなること、雌交尾器ではツガカレハのlamella antevaginalisの中央部が後方に向かって三角形に顕著に突出することから両種は識別できる。

・鹿児島県内のトカラ列島以南の離島部（マツカレハ・オキナワマツカレハの2種が分布）

トカラ列島中之島以北に分布するものはマツカレハ、悪石島以南の奄美大島や徳之島等に分布するのはオキナワマツカレハであると考えられるが、両種の分布調査はいまだに不十分であるため同定には注意が必要である。両種の大きさを比較するとマツカレハの方が大型で、前翅長が雄で27mm、雌で33mmを超える場合はマツカレハである可能性が高い。ただし、マツカレハには小型の個体も存在するため、大きさだけでは正確に同定できない。次に前翅の色

調と斑紋を比較すると、マツカレハでは変異幅があるのに対し、オキナワマツカレハでは変異がほとんど認められず、基本的にどの個体も一様に赤褐色であることが多い（稀にタイリクマツカレハとよく似た黒褐色の個体も存在する（図-8））。また、オキナワマツカレハは雌雄ともに翅の形が丸みを帯びていることも特徴で、さらに新鮮な個体であれば、翅の外半部の翅脈が目立つ（翅脈上の鱗粉の色調が、翅全体の地色に比べてやや淡くなる）傾向にあることも識別点となる。雄交尾器ではマツカレハのcubileの先端は鋸歯状部の溝が深く鋸歯が鋭いこと、雌交尾器ではオキナワマツカレハのaccessory flapの骨化が弱く小さいことから両種は識別できる。

・沖縄県（オキナワマツカレハ・タイリクマツカレハの2種が分布）

沖縄諸島に分布するものはオキナワマツカレハ、八重山諸島に分布するものはタイリクマツカレハであると考えられるが、宮古諸島で得られた個体の同定には注意が必要である。両種は前翅の形と色調により識別可能で、タイリクマツカレハは前翅の先端

表-1 日本産マツカレハ属4種のミトコンドリアDNA (COI) 領域の一部塩基配列

	種間における塩基置換率の最小-最大値(%)			
	1	2	3	4
1 マツカレハ (n=11)				
2 オキナワマツカレハ (n=7)	2.8-3.5			
3 タイリクマツカレハ (n=13)	4.6-6.0	5.4-6.2		
4 ツガカレハ (n=4)	7.6-8.2	8.6-9.3	6.0-7.6	
5 近縁属:クヌギカレハ (n=1)	13.6-14.6	14.3-14.8	12.9-14.8	14.9-16.6

593塩基対に基づく種間の塩基置換率の最小-最大値 (%). "n" は供試個体数を示す. 近縁属のクヌギカレハ *Kunugia undans* (Walker) を比較のために用いた (田中ら (2020) を改変・転載).

がわずかに尖った形状かつ色調が雌雄とも黒褐色である一方、オキナワマツカレハのそれは丸みを帯びて色調は一様に赤褐色である。また、オキナワマツカレハは翅の外半部の翅脈が目立つ傾向にあることも識別点となる。しかしながら、前述したようにタイリクマツカレハと紛らわしい色調のオキナワマツカレハが沖縄島でも稀に得られることがあり (図-8)。そのような場合は、正確な同定のために交尾器を検鏡することが望ましい。雄交尾器ではタイリクマツカレハのvalva腹方に生じるharpeがオキナワマツカレハにはないこと、雌交尾器ではオキナワマツカレハのaccessory flapが明らかに小さく、lamella antevaginalisの腹方後縁部が顕著な突出部を伴わないことから両種は識別できる。

### DNAバーコーディングによる識別

著者らの研究 (田中ら 2020) では、タイリクマツカレハとその他の3種では塩基配列の差異 (塩基置換率) が大きいことが示され、その差は4.6%以上であった (表-1: ツガカレハとの差異が6.0-7.6%, マツカレハとは4.6-6.0%, オキナワマツカレハとは5.4-6.2%)。ミトコンドリアCOI領域に基づく近隣結合樹においても、大きく分けて各種に対応した4つのクレードを形成した。しかしながら、サンプル数が少ないにもかかわらず全ての種で複数のハプロタイプが、また一部の種で多数のハプロタイプが確認された (図-9)。このことは、本

属の各種における遺伝的多様性の高さを示しており、本属のDNAバーコーディングによる識別はさらなる検討が必要であることが示唆された。

### 今後の課題

ここまでは、著者らが八重山諸島の石垣島・西表島産の標本に基づいて日本からはじめて記録したタイリクマツカレハについて紹介し、本種を含む日本産マツカレハ属4種の分布と識別法について述べてきた。ここでは、これら研究を踏まえた上で、本属に関する今後の研究課題について簡単に触れておきたい。

中国に分布する本種と近縁な *D. tabulaeformis* との識別に関する研究が大きな課題として挙げられる。*D. tabulaeformis* は中国で大害虫とされ (Qin *et al.* 2015)、日本の植物防疫法でも検疫有害動物に指定されているが (植物防疫所, 2004)、両種は同種である可能性も示唆されている (Qin *et al.* 2015)。もし同種と見なされた場合、タイリクマツカレハにも上記の植物防疫法が適用される可能性があることから、早期解決が望まれる。なお、著者らが独立種として再確認することができたオキナワマツカレハについても、今回解析できなかった地域個体群も含めた遺伝子解析が望まれる。その他、本解説ではマツカレハ属の幼虫についてほとんど触れなかったが、加害態である幼生期の識別についても検討を行う必要がある。これまでマツカレハ属の幼生期について

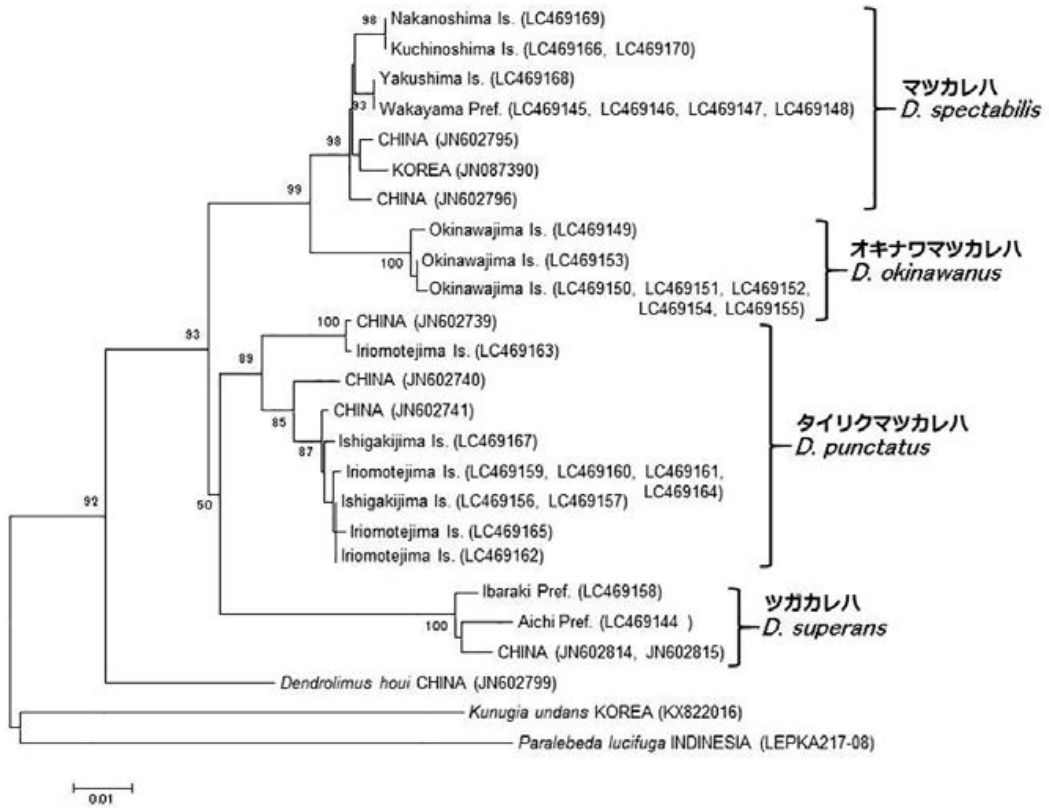


図-9 日本産マツカレハ属のミトコンドリアCOI領域593bpに基づく近隣結合樹  
 中国産と韓国産のサンプルはGenBankより引用。クヌギカレハ*Kunugia undans* (Walker)と*Paralebeda lucifuga* (Swinhoe) は外群として使用。ブーストラップ値は1,000回反復により算出 (田中ら (2020) を改変・転載)。

では中国の数種の中・終齢幼虫におけるTsai & Liu (1962) の分類学的研究がある。しかし、日本産についての幼虫の研究は十分ではなく、幼生期における正確な種同定を可能にするために形態を記載することで発生の早期段階での適切な防除が期待される。現在、著者らや共同研究者らの調査によって、本属の複数種の幼生期サンプル (卵・各齢期の幼虫・蛹) や画像が集まりつつあることから、今後は幼生期における識別法の開発も進めていきたい。最後に、今回の遺伝子解析では限られた地域のサンプルしか用いることができなかったにも関わらず、多数のハ

プロタイプ (遺伝子型) が検出され、マツカレハ属では種内の遺伝的多様性が高いことが示唆された。遺伝的多様性は、防除の研究を進める上でも重要なファクターとなることから、今後は多数地点のサンプルに基づくDNAバーコード領域のみならず他の遺伝子領域も用いた分子生物学的研究が求められる。

#### 謝辞

本解説文の執筆にあたり以下の方々にお世話になった。今回この様な形で日本産マツカレハ属の概説を取りまとめる機会を与えていただいた元国立研究

開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所の植原 寛氏と後藤忠男博士，草稿を推敲いただいた同研究所の牧野俊一博士，タイリクマツカレハによるリュウキュウマツの被害写真をご提供いただいた沖縄県農林水産部八重山農林水産振興センターの金城彰太郎氏，一部図表の転載を許可いただいた日本応用動物昆虫学会編集委員長の園田昌司博士には，厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 東 清二・金城政勝・木村正明 (2002) チョウ目. (琉球列島産昆虫目録増補改訂版. 東 清二編, 沖縄生物学会). 397 ~ 465
- Billings RF (1991) The pine caterpillar *Dendrolimus punctatus* in Viet Nam; recommendations for integrated pest management. For Ecol Manage 39: 97 ~ 106
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) (2005) *Dendrolimus sibiricus* and *Dendrolimus superans*. EPPO Bulletin 35: 390 ~ 395
- 畑山健太郎 (2016) マツカレハ. (沖縄のみどりに発生する主要な病害虫 診断・防除の現状. 牧野俊一監修, 沖縄県農林水産部森林管理課沖縄らしいみどりを守ろう事業保全対策検討委員会). 87 ~ 94
- 伊藤賢介・小泉 透・佐藤憲生 (2005) 平成16年の九州地域の森林病虫獣害発生状況. 九州の森と林業 71: 4 ~ 5
- 井上 寛 (1982) カレハガ科. (日本産蛾類大図鑑 I・II. 井上 寛・杉 繁郎・黒子 浩・森内 茂・川辺 満編, 講談社). I: 580 ~ 584, II: pls 111 ~ 117
- 河原 漢・芝野伸策・高橋康夫・平田雅和 (1987) マツカレハの発生とその被害: 1985年ストローブマツ林の実態. 日本林学会北海道支部論文集 35: 76 ~ 78
- 岸田康則 (2011) カレハガ科. (日本産蛾類標準図鑑 I. 岸田康則編, 学研教育出版). 317 ~ 321
- 久保慎也・東 正志 (2015) 鹿児島県におけるマツカレハ大発生による松壮齢木の枯死. 森林防疫 64: 29 ~ 34
- 国吉清保・稲福保男 (1969) 琉球産マツカレハ *Dendrolimus spectabilis* Butlerについて. 琉球林業試験場研究報告 12: 10 ~ 41
- Mikkola K, Ståhls G (2008) Morphological and molecular taxonomy of *Dendrolimus sibiricus* Chetverikov stat. rev. and allied lappet moths (Lepidoptera: Lasiocampidae), with description of a new species. Ent Fennica 13: 65 ~ 85
- 三島市教育委員会 (2017) 文化財年報. 三島市教育委員会, 静岡
- 中島秀雄・木村正明 (2012) 与那国島の蛾類. 蛾類通信 264: 357 ~ 361
- 日本応用動物昆虫学会 (2006) 農林有害動物・昆虫名鑑 (増補改訂版). 日本応用動物昆虫学会, 東京
- 長田庸平・吉武 啓 (2021) 2020年に伊是名島と伊平屋島で採集された蛾類. 蛾類通信 298: 627 ~ 635
- 長田庸平・吉武 啓 (2022) 2021年3月に宮古諸島で採集された蛾類. 蛾類通信 301: 15 ~ 21
- Park KT, Ronkay L, Przybylowicz L, Kun A, Peregovits L (2001). Moths of North Korea (Lepidoptera, Heterocera, Macrolepidoptera-parts). Korea research institute of bioscience and biotechnology & center for insect systematics, Korea
- Qin J, Li J, Gao Q, Wilson J-J, Zhang AB (2019) Mitochondrial phylogeny and comparative mitogenomics of closely related pine moth pests (Lepidoptera: *Dendrolimus*). PeerJ 7: e7317
- Qin J, Zhang Y, Zhou X, Kong X, Wei S, Ward DWR, Zhang AB (2015) Mitochondrial phylogenomics and genetic relationships of closely related pine moth (Lasiocampidae: *Dendrolimus*) species in China, using whole mitochondrial genomes. BMC Genomics 16: 428
- 植物防疫所 (2004) 植物防疫法施行規則. <https://www.maff.go.jp/p/ps/j/law/houki/shorei/>

- shorei\_12\_html\_12.html, 2020.12.3参照
- 砂川博秋・小浜継雄 (2017) 宮古諸島の蛾. 宮古島市総合博物館紀要 21: 193 ~ 234
- 田中絵里・綿引大祐・吉松慎一・渡久地彩子 (2020) 日本初記録の害虫種タイリクマツカレハ (チョウ目: カレハガ科) (新称) を含む日本産 *Dendrolimus* 属 4 種の識別法. 応動昆 64: 27 ~ 36
- Tsai P, Liu Y (1962) A study of the genus *Dendrolimus* (Lasiocampidae) of China with descriptions of two new species and one new subspecies. Acta Entomol Sin 11(3): 237 ~ 252 (In Chinese with English summary)
- 綿引大祐・田中絵里・吉松慎一 (2020a). オキナワマツカレハの宮古諸島からの正確な記録とその由来に関する考察. 蛾類通信 295: 516 ~ 518
- 綿引大祐・田中絵里・吉松慎一 (2020b) ツガカレハ・マツカレハ・オキナワマツカレハの正確な日本国内記録. 蛾類通信 296: 541 ~ 545
- Yamamoto H (1981) A morphological comparison in the genitalia among the pine moths of the Ryukyu Islands, the main islands of Japan and Taiwan (Lepidoptera, Lasiocampidae). Kontyû 49: 1 ~ 11
- Zeng JP, Feng GE, Jian-Wei SU, Zhong HE (2010) Researches on the occurrences of major forest pests of pine caterpillar *Dendrolimus* spp. in China. Chin Bull Ent 47: 451 ~ 459
- Zolotuhin VV, Witt TJ (2000) The Lasiocampidae of Vietnam. Entomofauna suppl 11: 25 ~ 104
- Zolotuhin VV, Pinratana A (2005) Moths of Thailand Vol. 4, Lasiocampidae. An illustrated catalogue of the Lasiocampidae (Insecta, Lepidoptera) in Thailand. Brothers of Saint Gabriel in Thailand, Bangkok
- (2022.11.30 受理)



## 都道府県だより

## 石川県における抵抗性クロマツ第2採種園の整備

## ○はじめに

石川県の海岸線は福井県境の加賀市から能登半島の志賀町に至るまで長い砂丘地帯となっています。冬期には厳しい季節風にさらされ、飛砂、風、塩害から生活環境を守るため、昔から海岸ではクロマツ林を造成し管理してきました(写真-1)。

しかし、昭和40年代ごろから松くい虫被害によってクロマツ林の衰退が県全域に拡大したことから、石川県では松くい虫対策として、薬剤散布や樹幹注入、被害木の伐倒駆除を行っているところです。さらに、防除の重要な対策の一つとして「県内で植栽するクロマツは全て県内産の抵抗性クロマツとする」を目標に、平成4年度から抵抗性クロマツの選抜に取り組み、平成24年度からは抵抗性候補クロマツ(1次合格したクロマツ)として、植栽を開始しました。その後、改良を重ね、平成28年度から2次合格した抵抗性クロマツの種子が少しずつ収穫できるようになり、令和2年度に34万粒の種子が収穫できるようになりました。

今回は、抵抗性クロマツの開発経緯について報告致します。

## ○抵抗性クロマツ選抜と開発の経緯

石川県では抵抗性クロマツを開発するために、平成4年度から次のようなことを行ってきました。

- ① 県内各地の松枯れ激害地で単木的に生き残った立木から若い穂を採取し(写真-2)、接ぎ木苗を育成(写真-3)
- ② 2年生の接ぎ木苗にマツ材線虫病の病原体であるマツノザイセンチュウ1万頭を接種
- ③ 接種数か月後、枯れる率の低い品種が1次合格となる
- ④ 1次合格した品種で暫定採種園を造成し、ここで採取された種の苗は、出荷前にマツノザイセンチュウの接種を行い、枯れなかった苗だけを抵抗性候補苗として出荷
- ⑤ その一方で、1次合格した品種を国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 林木育種センターにおいて2次検定を実施
- ⑥ 平成23年に、石川県抵抗性クロマツ第1号「小松99号」が合格
- ⑦ 2次合格した県内抵抗性クロマツに種苗配布区が同じ他府県の抵抗性クロマツを加えて、第1採種園として整備(令和4年3月現在、13品種)



写真-1 昭和30年代の海岸林造成作業の様子(広大な砂浜が広がっていた)



写真-2 松枯れ激害地と採穂の様子 (矢印) (加賀市加佐岬)

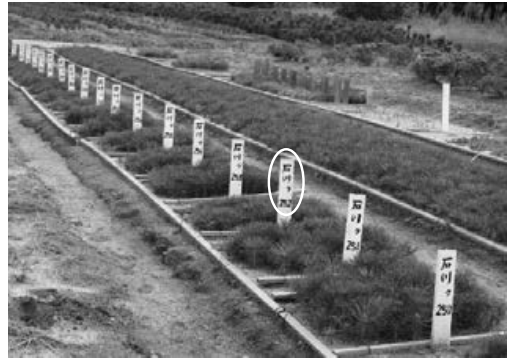


写真-3 接ぎ木苗を育成: 252号は抵抗性品種として登録

表-1 石川県抵抗性クロマツ品種の登録経緯

平成23年	小松99号		
平成25年	加賀387号	加賀388号	志賀396号
平成27年	加賀295号		
平成28年	輪島240号	輪島246号	
令和3年	高松417号	志賀58号	富来252号

の母樹245本で構成)

- ⑧ 平成28年から種子が少しずつ収穫され始め、令和2年度は34万粒に達し、抵抗性マツ由来の種子が県内で安定供給される
- ⑨ 令和3年に2次検定で合格した抵抗性クロマツ品種が10品種に到達 (表-1)

このように、石川県産抵抗性クロマツが10品種となったことから、石川県の気候に適し、遺伝的多様性も確保した採種園を令和3年度に抵抗性クロマツ第2採種園として整備しました (写真-4)。約30年という長い期間と多くの人手により、「県内で植栽するクロマツは全て県内産の抵抗性クロマツとする」という目標に目途が立ちました。第1採種園を参考にすると、約10年後には本格的に種子供給ができ、選抜から40年程度で、漸く目標が達成される目途が立ちました。



写真-4 県産抵抗性マツのみで整備した抵抗性クロマツ第2採種園

### ○今後の海岸林造成に向けて

これまで、クロマツで構成される海岸林 (以降、クロマツ海岸林) では、1万本/ha植えという、かなり密な植栽基準により造成されてきました。これは、海岸付近特有の飛砂や乾燥などといった環境の厳しさから、林帯を形成していく中で、環境に負けて枯れてしまうクロマツがあることを前提とした基準です。また、生育環境の他に枯れる原因として、マツ材線虫病があり、近年では、6、7年生頃から枯れる若いクロマツも見受けられます。

しかし、現在の砂浜海岸は、激しい浸食により海岸線が後退しており、飛砂量も大幅に減ってきているほか、植栽地は人工砂丘や防風柵、静砂垣で守ら

れ、生育環境は改善されてきていると言えます。また、近年、コンテナ苗が導入されたことにより、植栽後の枯損の危険性は極めて低くなったうえに、これから出荷される苗は石川県の気候にあった抵抗性品種であることから、今後のクロマツ海岸林の造成方法は枯れることを前提とし、生き残った個体で林分を構成するのではなく、スギ等と同じように、除

伐等で密度を管理しながら育林することが適切と考えます。

クロマツは日光が当たらないと極端に弱る陽樹のため、適正な時期の本数調整が重要となります。今後とも松くい虫防除の継続とともに、海岸マツ林の保全・管理に努めていきたいと考えています。

(石川県林業試験場)

## 岡山県における造林地に対する獣害対策の取組について

### 〇はじめに

岡山県では、イノシシやシカによる農林業被害対策として、第二種特定鳥獣管理計画による狩猟期間の延長やくくりわなの規制緩和、有害鳥獣許可捕獲の推進等を実施しています。平成19（2007）年度に鳥獣による農林水産業等に係る被害の防止のための特別措置に関する法律（鳥獣被害防止特措法）が制定されてからは対策をさらに強化しており、その効

果もあってか、林業に対する被害が最も深刻なシカによる農林業被害額は、平成23（2011）年をピークに長期的には減少傾向にあります（図-1）。

一方で、シカの生息地域は拡大が確認されており、防護対策が遅れている地域において被害が顕著化、深刻化しています（図-2）。シカによる被害が甚大な地域では、植林する際に侵入防止柵やツリーシェルター等の獣害対策資材が設置されていますが、現地までのアクセスが悪い場所では管理が難しく、

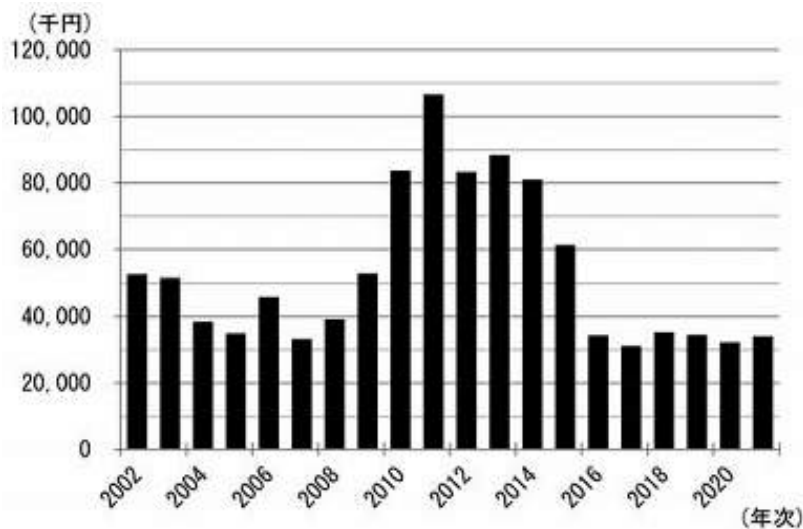


図-1 岡山県におけるシカによる農林業被害額

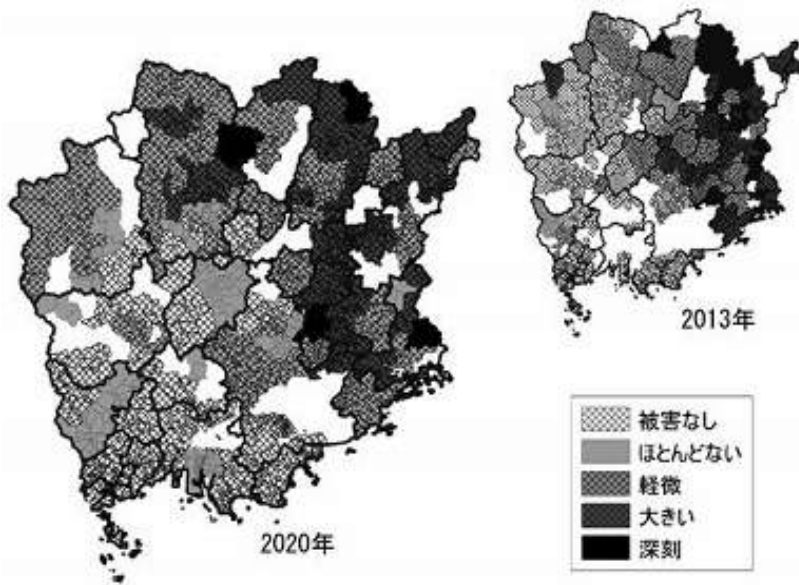


図-2 シカによる被害の深刻度（有害駆除班アンケート）



写真-1 倒木による柵体の破損（矢印）



写真-2 雪害による支柱の折損（矢印）

台風や雪の気象害等により破損した結果、設置した資材の被害抑制機能が十分に発揮されないケースが多くみられます（写真-1, 2）。

植栽した木々が食害により成林できないことは、森林所有者の意欲に与える影響が大きいため、林内に設置された侵入防止柵が十分に機能する管理方法について、行政部署と研究機関が共同で検討しました。

### ○林内に設置された侵入防止柵の管理方法の検証

侵入防止柵を設置したものの、雪害や野生鳥獣による食い破り等によって柵が破損し、植栽木が消失した造林地において、侵入防止柵の修繕と補植を行った後、柵体の見回りと補修を定期的に行い、侵入

防止機能が維持できるか検証しました。その結果、見回り開始直後はネットの噛切りや、噛切ろうとした痕跡が数多くみられましたが、侵入防止機能に影響を与えるおそれのあるこれらの痕跡を損傷が小さいうちに補修すると、発見される痕跡の数は大きく減少しました（図-3）。実証を行った現場は降雪

量が多いため、冬季は点検に入ることができませんが、雪解け後に雪害によって倒伏した柵を速やかに補修した結果、痕跡の数は、降雪前に行った最後の点検とほとんど変わっておらず、点検の効果は持続されることが確認できました。本調査は5年間実施し、当初は2週間に1回の頻度で実施していた点検

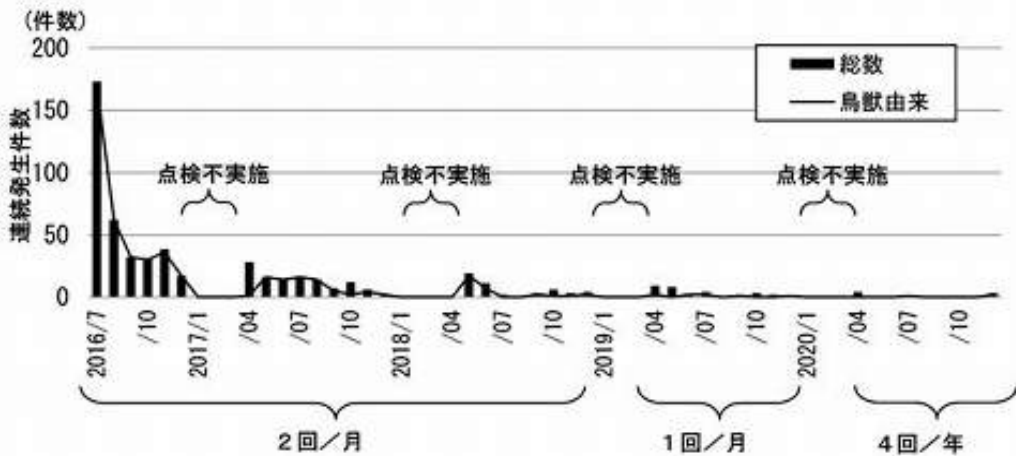


図-3 侵入防止柵に発生した破損件数及び点検間隔

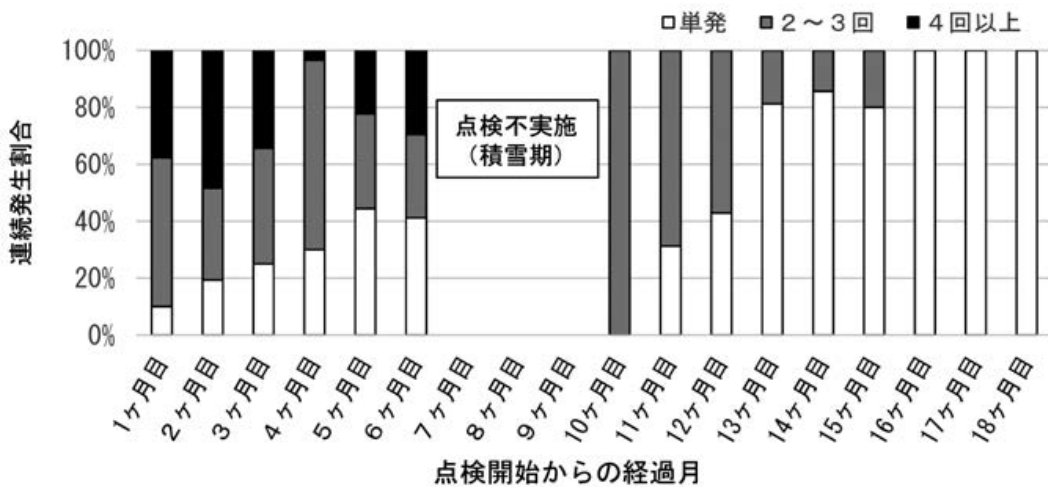


図-4 同一箇所における破損の連続発生状況

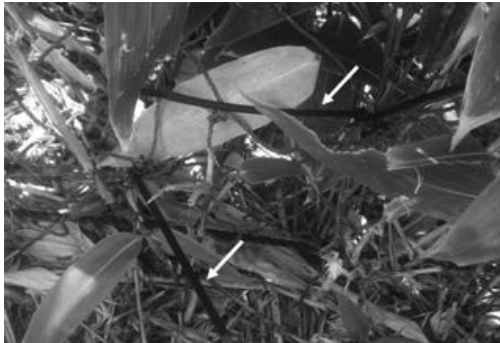


写真-3 結束バンド（矢印）によるネット補修



写真-4 添え木（矢印）による支柱折損部分の応急処置

を、徐々に間隔を延ばしながら最終的には年間4回（雪解け直後、下刈り実施時、台風時期、降雪前）まで回数を削減したところ、柵体にみられる痕跡は非常に少ない数で推移しています。

また、1年目は同じ箇所でも何度も痕跡が確認されましたが、2年目ではその傾向がみられなくなりました（図-4）。伐採により地表付近の光環境が良くなり草本類が繁茂した林地は、草食動物にとっては、人の入込みも少なく、安心して利用できる魅力的な餌場です。侵入防止柵はシカにとって餌場までの経路を遮る障害物となるため、ネットを噛切るなどして柵内への侵入を繰り返す試みるものの、定期的な点検補修により侵入が阻止され続けた結果、餌場としての価値が減衰したと考えられます。

なお、土砂崩れにより崩壊した箇所は新しく柵体

を設置する必要がありましたが、ネットの穴は結束バンドによる補修、支柱の折損や倒伏は添え木で立てたりロープで牽引するなど、ほとんどの破損は点検と併せて行える簡易な補修で対応が可能でした（写真-3、4）。

#### ○既設の侵入防止柵で見られた破損等

侵入防止柵の管理方法の検証で確認された破損は、ほとんどが獣類によるものでしたが、それ以外に土砂崩壊、雪害、倒木落枝等に起因するものがみられました。そこで、既設の侵入防止柵における破損状況を確認するため、設置後1年未満～3年の侵入防止柵を調査しました。その結果、設置年数にかかわらず調査したすべての柵で破損等が確認され（表-1）、環境によっては短期間でも破損等が発生する

表-1 林内に設置された侵入防止柵の破損等発生状況

No.	経過年数	延長(m)	柵内への侵入	植栽木の被害	植栽木の枯死	破損等の発生数	破損箇所/100m
1		1,200	○	○	○	44	3.67
2	3年	1,057	○	×	×	17	1.61
3		586	○	○	×	8	1.36
4	2年	317	○	×	×	19	5.99
5		1,080	○	○	×	34	3.15
6	1年未満	235	○	○	○	2	0.85

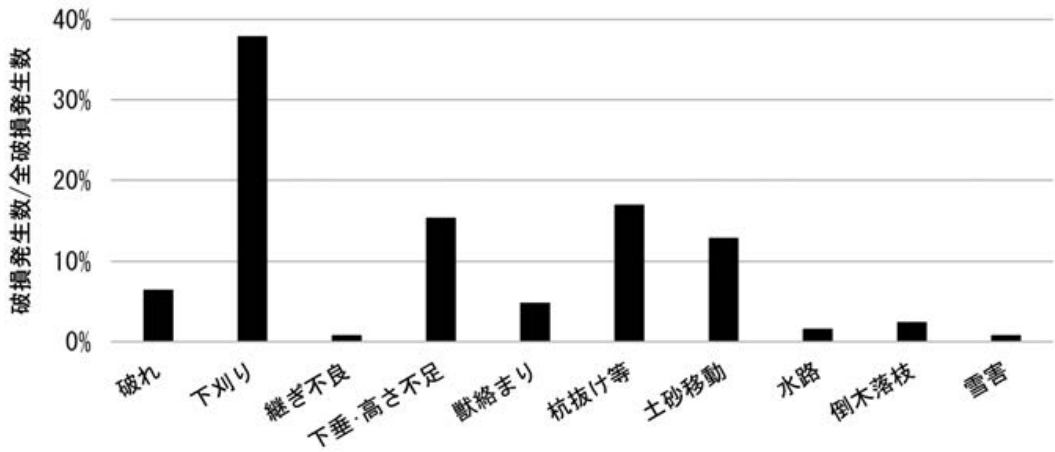


図-5 破損等の種類別発生状況

リスクがあることが確認できました。確認された破損等を種類別に分類したところ、下刈り時に誤ってネットを切断してできた破損が最も多く確認されました(図-5)。それ以外にも引き抜き抵抗が得られない地盤の緩い箇所にアンカーを打つ、水路の上に追加資材なしで柵体を通すなど、侵入防止柵を設置する際に注意することで回避できる不具合も散見されました。

人為的な破損等の発生件数は、現場によって大きく異なると考えられ、今回の結果が全ての現場に該当するとは限りませんが、侵入防止機能に大きく関与する可能性があることを認識して施業していただきたいと思います。

### ○おわりに

今回の調査・実証を基に、侵入防止柵の管理方法に関する手引書、「林内に設置した侵入防止柵の管理技術」を作成しました。岡山県農林水産総合センター森林研究所ホームページでご覧いただけます(<https://www.pref.okayama.jp/page/779335.html>)。侵入防止柵が破損する要因は、気象、地形、生息する獣種など、必ずしも現場で状況が同じではありませんが、植栽木を保護するという共通の目的のための参考になれば幸いです。

(岡山県農林水産総合センター 森林研究所)

<p>マツクイ虫防除に多目的使用が出来る サンケイ <b>スミパイン</b><sup>®</sup> 乳剤 <small>スミパイン®は住友化学(株)の登録商標</small></p> <p>松枯れ防止樹幹注入剤 <b>グリーンガード・NEO</b><sup>®</sup> <small>グリーンガード®は日本曹達(株)の登録商標</small></p> <p>少量注入でクビアカツヤカミキリや ケムシ、吸汁性害虫を防除 <b>ウッドスター</b><sup>®</sup></p> <p>伐倒木くん蒸用分解性シート <b>ビオフィレックス</b><sup>®</sup> <small>ビオフィレックス®はアキレス(株)の登録商標</small></p>	<p>松枯れ防止と庭木の害虫防除に <b>マツグリーン</b><sup>®</sup>液剤2 <small>マツグリーン®は日本曹達(株)の登録商標</small></p> <p>ナラ枯れ予防用樹幹注入剤 <b>ウッドキング</b><sup>®</sup> <b>DASH</b></p> <p>伐倒木用くん蒸処理剤 <b>キルパー40</b><sup>®</sup> <small>キルパー®はマックマンラボラトリーズ(株)の登録商標</small></p> <p>マツクイ虫被害木伐倒駆除に <b>パインサイド</b><sup>®</sup>S油剤D</p>																
 <p><b>サンケイ化学株式会社</b> &lt;説明書進呈&gt;</p>																	
<table border="0"> <tr> <td>本社</td> <td>〒891-0122</td> <td>鹿児島市南栄2丁目9</td> <td>(099)268-7588</td> </tr> <tr> <td>東京営業部</td> <td>〒366-0032</td> <td>埼玉県深谷市幡羅町1丁目13-1</td> <td>(048)551-2122</td> </tr> <tr> <td>大阪営業所</td> <td>〒532-0011</td> <td>大阪市淀川区西中島2丁目14-6 新大阪第2ビル3F</td> <td>(06)6305-5871</td> </tr> <tr> <td>九州北部営業所</td> <td>〒841-0025</td> <td>佐賀県鳥栖市曾根崎町1154-3</td> <td>(0942)81-3808</td> </tr> </table>		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2丁目14-6 新大阪第2ビル3F	(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
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2丁目14-6 新大阪第2ビル3F	(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														

**森林防疫** 第72巻第1号(通巻第754号)  
令和5年1月25日発行(奇数月25日発行)

編集・発行人 中崎和久  
印刷所 松尾印刷株式会社  
東京都豊島区東池袋5-45-5  
ASビル  
☎ (03) 5944-9853  
定価 1,570円(送料込, 消費税込)  
年間購読料 7,850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

〒101-0044 東京都千代田区  
鍛冶町 1-9-16(丸石第2ビル6階)  
☎ (03) 6700-4735 FAX (03) 3258-5611  
<https://forest-pests.sakura.ne.jp/>