

## ■ 個別防除手法

### 1. 伐倒駆除

被害木を伐倒して、その中に生息するマツノマダラカミキリを木ごと処理して死滅させる方法です。また、被害木に適切な処理を施して、発生したマツノマダラカミキリ成虫を死亡させる、あるいは周辺に飛び出さないようにするような方法もここに含みます。

**要点1：**防除対象の松林に発生するマツノマダラカミキリ成虫の“ほぼすべてを殺虫する”くらいの強度で実施しないと、防除効果は期待できません。

**要点2：**被害木中のマツノマダラカミキリは木の中～上部に多く、直径 1.5～2 cm 程度の枝にも生息することがあります。このような枝までしっかり集めて処理することが大切です。

**要点3：**作業はマツノマダラカミキリ成虫脱出時期までに終了することが絶対条件です。

具体的な方法には、以下のようなものがあります。

### ▶くん蒸処理

集積した被害材の上面全体にガス化する殺虫剤（カーバム剤）を施用し、ガスバリア性のシートで密閉して一定期間放置します。この方法では、施用後数日間のガス濃度が高い時期に、シートに破損があったり、密閉が不十分になったりすると殺虫効果が低下するので、十分な注意が必要です。また、殺虫に必要なガス濃度を確保するため、連日最高気温が 5℃ を下回るような厳冬期の使用は避けること、また、薬液を一点に流し込むような施用を行わないことを推奨します。

シート被覆には下の 2 種類の方法があります。状況に応じて使い分けるとよいでしょう。

なお、薬剤の施用量や被覆期間、シートの取り扱い等については、製品の仕様に従って下さい。



#### 上面被覆（かぶせ式）

- ・集積した被害材の周りに溝を掘っておき、シートを上からかぶせて被害材の上面に薬剤を散布した後、シートの裾を溝に埋めて密閉します。
- ・標準的な 4 m x 4 m のシートで約 1 m<sup>3</sup> の被害材を処理できます。
- ・地面の状態により溝掘り作業に労力を要することがあり、また岩場等の溝を掘れない場所では施工できません。



#### 全面被覆（あめ玉式）

- ・地面に広げたシートの上に被害材を集積・薬剤施用し、2 辺を持ち上げ、端を合わせて 3 回程度折り込んでから大型ホチキスで留め、両端をヒモ等で縛って密閉します。形状が、包装紙でくるんだあめ玉に似ているので、通称「あめ玉式」と呼ばれています。
- ・処理できる被害材の量がかぶせ式の 70% 程度まで少なくなります。
- ・地面の状態によらず施工することが可能です。強風等の条件下でもシートがめくることがありません。

### ▶焼却

林内、林外で野焼きにする他、搬出してごみ焼却場等で処分する、あるいは、バイオマス発電施設、炭焼き窯、焼き物窯などで燃料として利用するといった方法もあります。搬出して焼却する場合には、マツノマダラカミキリ成虫発生期までに確実に処理されるよう、責任を持って監視する必要があります。

伝統的に行われてきた駆除方法ですが、林内での焼却は山火事の危険があることや、つちくらげ病発生の原因になりかねないことから、現在ではあまり行われません。



### ▶破碎

機械（チップパー）を用いて被害材をチップにする方法です。搬出してチップ工場で処理する方法の他に、可搬式のチップパーを使い林内で被害材を処理することも可能です。材内のマツノマダラカミキリを確実に露出・殺虫するために必要なチップの厚さは6 mm以下とされていますが、チップ工場の大型チップパーであれば15 mmまでの粗大なチップでも蛹室が破壊されるので有効です。



### ▶加温処理

被害材を木材として利用する場合に用いられている方法です。処理する木材の中心温度56℃、30分以上の熱処理が、針葉樹内の害虫やマツノザイセンチュウを死滅させる方法として、国際標準規格 (ISPM No.15) に規定されています。

### ▶成虫の移動分散阻止

被害材内のマツノマダラカミキリを死滅させられなくても、羽化した成虫がすぐ死ぬようにしたり、移動分散できないようにしたりすれば、マツ材線虫病被害の拡大を防ぐことができます。例えば、被害材を土中に埋めて、地面との間に10 cmの土層が確保できれば、成虫の脱出をほぼ阻止することができます。最近では、被害材を覆った網に殺虫剤を散布する方法や、成虫が食い破ることのできない厚さのシートで被害材を被覆するなどして移動分散を阻止する方法（駆除効果を高めるためにシート内に粘着資材を併用）が開発され、実用化されています（18ページ：コラム）。

羽化脱出した成虫に昆虫病原菌を感染させ、摂食抑制と短命化を図る方法が開発、実用化されましたが、普及がすすまなかったため、製品は現在製造中止となっています。

## ☑甘くない、マツ材線虫病の「生物的防除」

「天敵によるマツ材線虫病防除」への期待・要望は強く、研究者も長年にわたってさまざまな取り組みをすすめてきましたが、強力な伝染病であるマツ材線虫病を押さえ込めるほど強力な天敵は、残念ながらほぼ見つかりません。日本にいないなら海外から導入すればよい、というのは昔の考え方で、現在では海外、あるいは国内ですら、その場所に自生しない生き物をむやみに野外に放つことなどできません。

昆虫病原菌ポーベリア・バッシアーナ (*Beauveria bassiana*) の中に、マツノマダラカミキリに強い効果を示す系統が発見され、さまざまな経緯を経て2008年に防除資材として製品化されましたが、主にコストの問題から普及には至りませんでした(上述)。求められていたはずの天敵による防除が、現場には受け入れられなかったという、我々にとっては苦く重い経験となりました。

天敵以外でも、フェロモンや、不妊化虫放飼のように、他の害虫で活用されていてなんとなく「よさそう」な方法によるマツノマダラカミキリの防除を期待されることもあるのですが、手法の有効性や実行可能性は虫の生態や加害形態によりそれぞれ異なります。また、農業害虫等では実用的な高コストな方法をそのまま森林に適用することがコスト的、労力的に困難であることは、想像に難くないでしょう。

とは言いながらも、環境低負荷なマツ材線虫病防除手法のオプションを求めて、新たな天敵利用技術開発に向けた研究は今もすすめられています。(中村克典)

## ☑ 農薬不使用の選択肢 —成虫逸出抑制法—

開発の背景には、化学農薬の使用が周辺環境に及ぼす影響への関心の高まりや、2006（平成18）年におけるポジティブリスト制度\*4の施行がありました。マツノマダラカミキリの脱出成虫を対象とした昆虫病原菌ボーベリア・バッシアーナ（*Beauveria bassiana*）の不織布製剤を用いた駆除法（前ページ）にヒントを得て、伐倒・集積した被害材の上部に粘着資材を置き、被覆シートで覆ってその内側にマツノマダラカミキリを封じ込め駆除する「被覆・粘着資材を利用した穿孔性害虫逸出抑制法」を山口県等で開発しました（特許第5722641号）。

防除効果を確保するために特に配慮した点は、①マツノマダラカミキリ成虫がシートを食い破りにくくするための集積丸太～シート間の空間の確保、②成虫が食い破りにくく、かつ、成虫を粘着資材へとスムーズに誘導できるシートの選択（材質、色など）、③成虫を効率的に捕獲でき、長期間利用可能な粘着資材の開発、の3点でした。こうして開発された逸出抑制法は、現地試験において高い駆除効果を示し、被覆・粘着資材をセットにした「害虫捕虫資材」が井筒屋化学産業(株)より販売されています。

その後の試験で、この方法を日なたで行った場合には高温になる上部の丸太からはマツノマダラカミキリ成虫が発生せず、集積方法の工夫で防除効果を高められることが分かりました。また、東北地方のような寒冷地で発生する2年1化の成虫に対応するための長期間設置でも、本法が有用であることを確認しました。一方、くん蒸処理による駆除と比べて長期間の設置を要することから、鳥獣によりシートに穴が明けられて駆除効果が低下する可能性があり、この点にいかに対処するかが課題として残りました。そこで、さらなる試験に取り組み、山口県における破損被害の主原因がカラスとタヌキによるものであることをつきとめ、施工後に被覆シートに防風・防鳥ネットを被せることで鳥獣による破損被害を防げることを明らかにしました。

本法が、周辺環境や生態系保全への配慮、各種森林認証制度への対応等の面から、化学農薬を使用できない場面でも利用可能な駆除法の選択肢として、マツ材線虫病防除の一助となればと考えています。

（杉本博之、千葉のぞみ、渡邊雅治）



シートの一辺を被覆する集積丸太で固定します。



集積丸太上部に粘着資材を置きます。



シートで集積丸太を緩く覆います。



鳥獣被害回避のため防風ネットを施用した例



シートの裾を石や丸太で固定します。くん蒸処理とは異なり、密閉の必要はありません。

### \*4 ポジティブリスト制度

2006年から施行されている農薬等の残留規制に関する制度。それまでの「特に危険な化学物質について残留基準を示す」方法（ネガティブリスト）を改め、「残留基準が設定された一部の物質以外については一律で0.01 ppmの残留基準を当てはめる」として、化学物質の残留への規制が強化された。

## 2. 予防散布

守りたい松の樹冠にあらかじめ有機リン系やネオニコチノイド系の殺虫剤を撒き付けておいて、枝をかじったマツノマダラカミキリ成虫を死亡させる方法です。マツノマダラカミキリ成虫の飛来が想定される状況下で、大面積の松林に感染予防策を講じることができる唯一の方法です。適用薬剤の残効期間が長くないため、マツノマダラカミキリ成虫の活動期間をカバーするには通常2回の施用（累積羽化率5%時に1回目、50%時に2回目を推奨）が必要です。ただし、残効期間の長いマイクロカプセル剤であれば、散布回数を1回のみとすることができます。

**要点1：**すでに活動している成虫を駆除するためではなく、予防のために行う殺虫剤散布です。

**要点2：**対象地域のマツノマダラカミキリ成虫発生時期に照準を合わせ、最適なタイミングで散布を行うことが重要です。

**要点3：**予防散布の殺虫効果には限界があります。伐倒駆除等によりマツノマダラカミキリの密度を下げる、あるいは感染源からの隔離により成虫飛来数を抑制することなしに、予防散布のみで防除を成功させることは期待できません。

**要点4：**実施に当たっては、散布薬剤が周辺の自然環境や生活環境、農業や水産業に影響を及ぼさないよう、細心の注意が必要です。

散布方法には以下のようなものがあります。

### ▶空中散布

ヘリコプター等を用いて、上空から薬剤を散布する方法です。かつては有人ヘリコプターからの散布が主流でしたが、近年ではより小回りのきくラジコン式の無人ヘリコプターが用いられることが多くなり、今後はドローンの活用もすすむと思われます。広範囲、高所の散布に適し、飛来するマツノマダラカミキリ成虫への対策に有効な樹冠上面への散布を確実に行えるという利点がありますが、機材やオペレーター確保のため散布タイミングを自由に設定できないという問題があります。



### ▶地上散布

動力噴霧機やスパウター（大型の送風噴霧器機）を使って、地上から薬剤を散布します。前者では10m程度、後者であれば30~40mの高さまで薬剤を到達させることができますが、樹冠上面への散布を確実に行える空中散布よりは防除効果が劣る可能性を考慮しておく必要があります。高所作業車を併用することで、空中散布と同等の散布を実現できている例もあります。

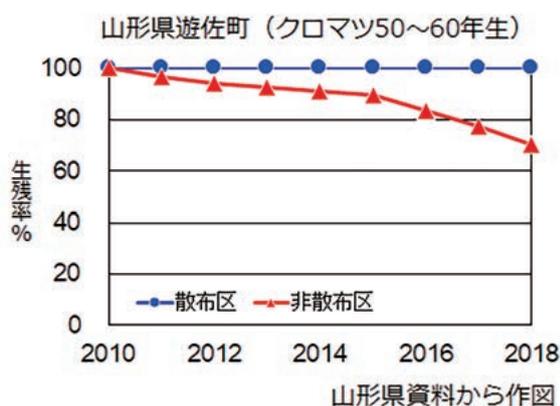
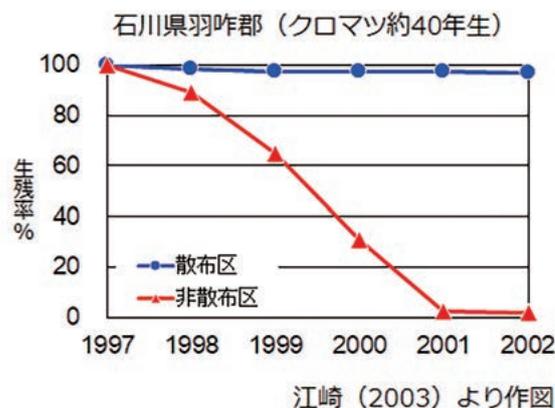


### ▶スプリンクラー散布

特定の木を保護するために、樹幹に固定したパイプの上部に設置したスプリンクラーから薬剤を散布する方法です。

## ❖ 予防散布の有効性

予防散布では、誤った理解や運用上の制限などから期待通りの効果が得られないことがあり、このことが効果に対する疑念につながっている場合も見受けられます。しかし、適確に運用されれば予防散布の効果は明確であり、松林維持のための極めて有効な手段であることは間違いありません。松林を保護することのメリットと薬剤を使用することのリスクとを考慮し、地域にとって最善の防除手法を選択して下さい。



予防散布を行った松林(散布区：●)と行わなかった松林(非散布区：▲)における、生き残った木の割合の推移

グラフは、それぞれの調査地での調査開始時の松の本数を100として、その後の調査で生き残っていた松の本数をパーセントで表しています。いずれの調査地でも、散布区では非散布区に比べて本数の減少が小さい（たくさんの松が守られた）ことがわかります。

【出典】

吉本喜久雄（2011）松くい虫空中散布取りやめ後の松林の推移：平戸市生月町の事例．林業と薬剤 197：1-6

江崎功二郎（2003）松くい虫薬剤空中散布（特別防除）の効果．石川県林業試験場研究報告 34：46

山形県庄内総合支庁 森林整備課・山形県森林研究研修センター（2018）平成30年度 産業用無人ヘリコプターによるマツグリーン液剤2散布事業地における生物影響調査報告書 32p. ほか

### 3. 樹幹注入

あらかじめ松生立木の樹幹下部にドリルで穴をあけて薬剤を注入し、有効成分を樹体内に分散させておくことで、その後侵入してきたマツノザイセンチュウの移動・増殖を抑制、マツ材線虫病の発病を予防する方法です。適切に施用されれば確実な予防効果が得られ、その効果は薬剤により最大7年まで維持されます。単木的な予防に適した方法であり、広範囲の松林に適用するのは経費がかかりすぎて現実的ではありません。また、この方法に治療効果はないので、すでにマツノザイセンチュウに感染した木の発症を抑えることはできません。



**要点1：**十分な効果を得るには、適切な時期に、適切な技法によって薬剤を施用する必要があります。研修会等の機会を利用して、正しい施用法を習得して下さい。

**要点2：**樹幹に穴をあけ、薬剤を注入する処理は、木にとってストレスとなります。老木や恒常的にストレスを受けている庭園木、盆栽への施用には十分な注意が必要です。また、五葉松類は薬害が出やすいとされ、施用が推奨されていません。



**要点3：**年ごとに処理木をローテーションすることで、多数の松を守ることができます。この場合、どの木にいつ施用したかが確実にわかるよう木を特定できるようにし、記録を残すことが、施工管理上極めて重要です。

### 4. 抵抗性マツの植栽

マツ材線虫病に抵抗性の苗木を植栽することで、松林自体をマツ材線虫病に強くしようとする方法です。国内ではすでに抵抗性のクロマツ、アカマツが数百品種開発され、これらの松からなる採種園で生産された種子から育てた“抵抗性マツ”の苗木が一般に供給されています。



抵抗性クロマツ採種園  
(宮城県林業技術総合センター)

抵抗性マツを扱う上で忘れてはならないのが、それらが枯れにくい松であっても、枯れない松ではないということです。枯れにくい松からなる松林では被害が広がりやすく、防除しやすいという大きな利点があります。しかし、マツノマダラカミキリやマツノザイセンチュウの勢いがあまりに大きくなると、抵抗性マツもマツ材線虫病にやられてしまいます。抵抗性マツを植栽したからといって、防除が不要になるというようなことはありません。

抵抗性マツはマツ材線虫病への抵抗性に着目して選抜された品種であって、樹形や成長については特に考慮されていません。しかし、アカマツが用材として利用される東北地方等の地域で植栽される苗木には、抵抗性のみならず、樹形、成長、材質等の特性も優れたものであることが求められます。森林総合研究所林木育種センター東北育種場のホームページには、そのような抵抗性アカマツ品種についての情報がまとめられています\*5。

\*5 東北育種基本区アカマツ品種選択ツールの紹介

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/touiku/research/kenkyuseika/touhoku-akamatu-sentaku.html>



## 5. 守りやすくするために

ここまで述べてきたとおり、マツ材線虫病から松林を守るには、被害木を探し出して着実に駆除し、また生きた木に対して適切な予防対策を行うなどの作業が必要です。しかし、広大で道路もない松林では、被害木を探すのも駆除に向かうのも大変ですし、下層植生が繁茂するなど林内が荒れていれば、さらに作業は困難になります。また、そもそもマツノマダラカミキリが大量に飛来するような状況下であれば、防除の成功などあり得ません。直接的な防除以外にも、マツノマダラカミキリが侵入しにくく、松が元気で、林内作業がしやすい環境を整えるという観点から、以下のような活動や規制はマツ材線虫病対策をすすめる上で大変重要です。

### (1) 非松林化・樹種転換

伝染病であるマツ材線虫病への対策として、守りたい松林を感染源から“隔離”することは有効です。実際に、海に囲まれた小面積の離島や、周囲が市街や農地で囲まれて孤立した松林で、マツ材線虫病防除が効果的であることは、経験的に知られています。

断続的に松林が連続するような場所において、守るべき松林の周辺感染源からの隔離は、周辺松林で松を伐採し（非松林化）、植栽や天然更新の活用により別の樹種に置き換えること（樹種転換）で達成できます（11 ページ：コラム）。

隔離帯の幅として、2～3 km という距離がよく採用されます。しかし、マツノマダラカミキリ成虫がこの距離を超えて移動をすることは十分にありえます。2～3 km の隔離が鉄壁の防御となるわけではないので、十分な監視と被害発生時に対処できる体制の維持が求められます。



青森－秋田県境でマツ材線虫病侵入対策として実施された大規模な松林伐採（2005～06年）

### (2) 松の伐採や移動の制限

マツノマダラカミキリ成虫の活動期に松衰弱木や伐倒木が林内にあると、その周辺に成虫が誘引されてマツ材線虫病が発生する可能性が高まります。このようなことを避けるため、被害拡大が警戒される地域では、夏季の松林での伐採作業を控えることが望ましく、実際に、岩手県や青森県ではそのようなルールが定められています\*6。

不用意に被害材を移動させて、移動先でマツノマダラカミキリ成虫が発生すると、マツ材線虫病の感染拡大を助けることとなります。また、夏に伐採した松材を被害地から未被害地に移動させると、被害地で誘引されて松材に取り付いたマツノマダラカミキリがいっしょに運ばれる可能性があります。被害木はもちろん、未被害木を伐採した松材であっても、運搬利用にあたっては、被害地から未被害地への移動を禁じるなど、適切なルールの運用が強く望まれます。



松被害材を運搬する大型トレーラー

\*6 「松くい虫対策としてのアカマツ伐採施業指針」について（岩手県）。  
<https://www.pref.iwate.jp/sangyoukoyou/ringyou/seibi/matsukuiumushi/1008329.html>  
マツ類及びナラ類の伐採・移動・利用に関する留意事項について（青森県）。  
[https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/nourin/rinsei/ryuuijikou\\_matunara.html](https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/nourin/rinsei/ryuuijikou_matunara.html)



（岩手県）



（青森県）

### (3) 林内作業道の整備

広い松林で被害木の地上探査や伐倒駆除、あるいは地上散布を行うには、作業道が不可欠です。効率的に作業を行うには、一定の密度でマツ林内に道路が張り巡らされていることが望まれます。

### (4) 林内環境の整備

上木が繁茂して暗くなり、林床の土壌が発達した林内では、松の芽生えは育たず広葉樹林化が進行します。林床に発達する他樹種を刈り払い（下刈り）、林床に溜まった落ち葉を除去する（落ち葉掻き）ことで、松林を人為的に維持することができます。このような環境は、松の健康にもよい効果があることが知られています（ただし、健康な松がマツ材線虫病にかからないわけではありません）。人手が入って整理された松林では被害木が発見されやすく、駆除作業も容易になります。



ボランティアによる松林整備（落ち葉掻き）

人の手が入ることで維持されてきた里山の松林は、マツ材線虫病の存在下でも、人が関わることで守られてゆくことでしょう。

## ☑ 被害拡大は温暖化のせい？

西南日本でまん延していたマツ材線虫病の被害が東北地方等の寒冷地に拡大してきたという経緯を見て、これを地球温暖化の現れと考える人は少なくないようです。

確かに、マツ材線虫病を引き起こすマツノザイセンチュウやマツノマダラカミキリは変温動物で、低温になると活動や増殖が抑制されることから、温暖化がマツ材線虫病の拡大に有利にはたらくのは間違いありません。しかし、国内における被害拡大の推移ということであれば、これはそもそも九州や山陽地方等を起源とする伝染病が周辺地域に拡大してきた過程であり、西南から東北へ広がってきているように見えるのは当たり前のことです。また、現在のマツ材線虫病の被害分布は、温度条件的には被害が激化しうるエリアの内におさまっていて、さらなる拡大を防除で抑え込んでいるのが実情です。つまり、マツ材線虫病被害の分布北限は、拡大しようとする伝染病とそれを抑えようとする防除努力とのせめぎ合いによって定まっているものであり、過去の被害拡大は、人の努力が病気の勢力に押されてきたことを反映しています。マツ材線虫病被害の分布拡大は、温暖化の進展にともなって“不可抗力的”にすすんでいるようなものではありません。

一方で、温暖化の進展により、これまで低温のため発生が抑えられてきた地域においてもマツ材線虫病が発生、まん延する可能性は確実に高まっています。被害先端地域での徹底した監視と防除、被害まん延地域からの被害材等の移入の阻止に加え、温度条件の変化により防除困難となった地域では樹種転換を推進するなどの防除方針の見直しが進められることになるかもしれません。（中村克典）

参考：イラストで適応策がわかるインフォグラフィック（気候変動適応情報プラットフォーム HP）

<https://adaptation-platform.nies.go.jp/local/measures/infographic.html>

