

Vol.72 No.2 (No.755号)
2023

昭和53年11月8日第三種郵便物認可
令和5年3月25日発行(奇数月25日発行) 第72巻第2号

ISSN 0288-3740

森林防疫

FOREST PESTS

— 森の生物と被害 —



目次

論文	
福島県林業研究センター構内のイヌエンジュから羽化脱出したサビイロクワカミキリ 【齋藤直彦・小野武彦】	3
論文	
シカ・カモシカ生息地のスギ造林地における防護柵管理の一事例 —どの程度の見回りをしていつ直すか— 【大谷達也・米田令仁】	11
論文	
長野県におけるスギ壮齢林の梢端枯れ被害 【柳澤賢一・小山泰弘】	21
論文	
‘染井吉野’切枝の樹皮表面の形状や着生植物がクビアカツヤカミキリの産卵選好に 与える影響 【法眼利幸・小田奈津子】	30
解説	
新たな防除マニュアル「マツ材線虫病にどう対処するか —防除対策の考え方と実践—」について 【中村克典】	37
記録	
東京大学北海道演習林における虫害の観察記録 —1980年からの43年間— 【井口和信】	42
新刊紹介	
【電子版】マツ枯れは森の感染症 森林微生物相互関係論ノート 【中村克典】	49
都道府県だより：群馬県・秋田県	50



A



B

【表紙写真】 長野県で観察されたスギの梢端枯れ

写真A：山林内で発見された梢端枯れを起こしたスギ壮齢木（長野県辰野町）

写真B：被害を受けた梢端部の状況（松本市四賀の被害木）

2022年6月に松本市四賀をはじめ全県下で確認されたスギの梢端被害は、北向き斜面の突出木を中心に点々と発生していた。クマ剥ぎのように被害は点在していたものの、どの被害地でも突出した梢端部と、林縁側の陽光をしっかりと受けることが出来る側枝のみが被害を受けており、木全体が枯死するということにはなかった。被害木のサンプルを検査したところ、梢端部でも側枝でも枝先の一部のみが枯れており、被害枝の変色部における横断面の多くには凍傷痕がないため、今回の被害は主に寒風害によるものと考えられた。しかしながら、一部で凍傷痕と考えられる変色も観察されたことから、本被害は寒風害と凍害による複合被害の可能性が示唆された。

（長野県林業総合センター 柳澤賢一・小山泰弘）

論文

福島県林業研究センター構内のイヌエンジュから羽化脱出したサビイロクワカミキリ

齋藤直彦¹・小野武彦²

1. はじめに

福島県郡山市及び周辺地域では、カミキリムシ科フトカミキリ亜科に属する外来種サビイロクワカミキリ (*Apriona swainsoni*) による樹木の被害が発生していることが国内で初めて確認された (安齋 2021)。サビイロクワカミキリは、中国、朝鮮半島、東南アジアに分布し、食樹は主に、エンジュ等のマメ科の樹木あるいはツル性植物とされており (Haack 2017)、当該地域でも確認された被害樹木のほとんどはイヌエンジュ (*Maackia amurensis*) であった (安齋 2021; 永幡 2022)。本地域において、イヌエンジュは床柱用や街路樹として広く植栽されているため影響が大きいと考えられ、被害範囲は2021年秋の時点で郡山市南部を中心とした半径26kmの範囲に広がっていたことから (永幡 2022)、早急な防除対策により被害拡大を防止し、根絶を図る必要がある。福島県は、2021年11月に県内や近県で発生している外来カミキリムシ (クビアカツカミキリ、ツヤハダゴマダラカミキリ、サビイロクワカミキリ) について情報を発信し、薬剤防除方法についても参考として示した (福島県 2021) (以下、県情報)。しかし、国内被害の初認から日が浅く、効果的な薬剤防除に必要な知見となるサビイロクワカミキリの羽化脱出時期や生息場所等の生態、薬剤の効果等に関する報告はほとんどない。加えて、野外で確認された成虫のほとんどがメスであったとの報告から (永幡 2022)、雌雄の比率、習性、生息場所等が異なる可能性も考えられた。

福島県林業研究センターは郡山市南部に所在し、構内に約30年生のイヌエンジュ林があるが、近年はほとんど利用されておらず、原因が特定されない樹勢衰退が徐々に進行し、2018年頃から枯損木が目立

ち始めた。安齋 (2021) の報告に際し、改めて観察したところ、特徴的な脱出孔、フラス、産卵痕等がほぼ全ての立木で見つかり、サビイロクワカミキリの被害地である疑いが認められた。このため全木を伐倒し処分することとしたが、サビイロクワカミキリ防除への参考とするため、材の一部を利用し、成虫の羽化脱出時期、脱出した成虫の性差、後食選好性、及び県情報で薬剤処理方法として示された「排糞孔にノズルを差し込み噴射する形で使用」する殺虫剤の効果について調査した。

2. 調査地及び調査方法

(1) 調査地の概要

調査地の福島県林業研究センターは、福島県郡山市安積町に所在し、永幡 (2022) が示したサビイロクワカミキリ被害の同心円の中央付近に位置する (図-1)。被害を受けたイヌエンジュ林は、川沿いの平坦な場所にあり、面積700㎡、標高240mである。本林分は1990年頃に広葉樹に関する研究の予備調査のためha当たり5,000本植栽されたがその後放置され、虫害による枯損や整理伐が進んだ結果、2022年春時点の成立本数は21本であった。そのほかに、樹幹下部が折損したが株元部分が生存している木が5本あった。

(2) 成虫の羽化脱出時期

2022年4月12日と17日、植栽地に残存する21本のイヌエンジュを伐倒し、樹幹を90cmに玉切りした。21本の胸高直径は15~31cm/平均21.4cm、樹高は7~11m/平均約9mであった。サビイロクワカミキリのもと思われる脱出孔やフラス排出口は根際付近の樹幹下部に多く見られたため (写真-1)、観察に使用する部位は樹幹下部の1, 2番玉とし、残

Apriona swainsoni emerged from *Maackia amurensis* trees in Fukushima Prefectural Forestry Research Center.

¹SAITO, Naohiko, 福島県林業研究センター; ²ONO, Takehiko, 福島県林業研究センター



図-1 調査地の位置



写真-1 イヌエンジュ樹幹下部に多数認められるサビイロクワカミキリの脱出孔やフラス

りの幹、枝は清掃センターに運んで焼却した。観察に供する42本の丸太は、太さごとの割合が均等になるように21本ずつの2つのグループに分け、福島県林業研究センター構内に設置した網室（3m×3m×3m）2棟に運入し、1つのグループはそのまま

静置し、一方のグループは薬剤効果調査のための処理をした。網室は、樹齢40年程度のアカマツに広葉樹が混交した林分内にあり、2つの網室は約20m離れていた。また、伐採後の切り株断面には幼虫による孔道が多く認められ、切り株にも幼虫が生息する可能性があるため、切り株からの成虫の羽化脱出についても観察した。観察切り株数は、伐倒した21株に前年までの被害で折損した立木を整理した5株を加えた26株で、株ごとに断面の径と地表からの高さを計測し、羽化した成虫が逸脱しないよう防虫ネットで覆い地表にペグで固定した。なお、切り株についても、薬剤効果調査として、伐倒した21株のうち12株を処理した。羽化脱出した成虫の個体数は、網室の丸太、切り株ともに1日ごとに8月末まで記録した。

(3) 成虫の性差

羽化脱出調査に使用したイヌエンジュの樹幹及び切り株より捕獲したサビイロクワカミ成虫は飼育用ケースに移し、イヌエンジュ等マメ科樹木の枝を与えて研究センター内の日光の当たらない風通しのよい場所に置き、3～4日ごとに枝を取り替えながら飼育した。これらの成虫を用い、サビイロクワ

カミキリの雌雄の違いを調査した。雌雄の同定は、サビイロクワカミキリと近縁のクワカミキリ (*Apriona japonica*) の雌雄識別方法 (日本鞘翅目学会 1984) を参考として腹部末端の形状により区分し、死亡後の腐敗等の大きな損傷がなく標本に加工できた48体を対象として雌雄の構成比を推定した。また、フトカミキリ亜科の雌雄識別に一般的に用いられる触角と体長の比率による違いについて、個体ごとの体長と触角の長さを定規で計測し検討した。

(4) 後食選好性

羽化脱出調査で得た成虫の雌雄を腹部末端の形状により区分し、主な加害植物として知られるマメ科樹木の枝を餌として与え、樹種による後食選好性を観察した。与える枝は、郡山地域の被害のほとんどを占めるイヌエンジュと当地域で比較的生育数が多いエンジュ (*Styphnolobium japonicum*)、ハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia*)、フジ (*Wisteria floribunda*) とした。2022年7月26～30日に羽化脱出した成虫のオスマたはメス4個体ずつを4つの昆虫飼育用プラスチックケース (26×16×18cm) に入れた。与える枝は、イヌエンジュを含む4樹種、又はイヌエンジュを除いた3樹種の太さ5～12mmの当年枝又は前年枝とし、長さ15cmに切り、1ケースごとに3～4本/樹種ずつ体積が同程度となるように与え、16:00から翌日の16:00までの24時間に囓られて傷ついた部分をノギス等で計測し表面積を算定した。調査は2022年8月2, 3, 6, 13日の4回繰り返しとし、調査回の間に弱った成虫は元気の良い個体と取り替えるとともに、試験区の個体構成も調査回ごとにランダムに変更した。なお、与える枝の太さについて調査区ごとの把握は行わなかったが、調査回ごとになるべく太さをそろえ、同程度の体積/樹種となるよう配慮した。

また、イヌエンジュの枝年齢や太さの違いによる後食選好性についても調査することとし、2022年8月18日、6つの飼育用ケースにオスマたはメス成虫を3個体ずつ入れ、3段階に区分したイヌエンジュの当年枝又は前年枝を同分量ずつ与え、24時間後、囓った部分の表面積を算定した。枝の形状区分は、

イヌエンジュ太：前年枝付け根付近の木質化が進んだ径10mm以上の枝、イヌエンジュ中：前年枝中間～当年枝付け根付近の木質化が始まった枝でイヌエンジュ太と中の中間の太さ、イヌエンジュ細：当年枝中間～先端の木質化しておらず緑色で径6mm未満の枝とした。

(5) 孔道への薬剤噴入効果

県情報で材中の外来カミキリへの対策方法として紹介されている、樹木類における「カミキリムシ類」, 「カミキリムシ類成虫」及び「クビアカツヤカミキリ (さくら)」が適用病害虫であるフェンプロパトリンエアロゾル殺虫剤 (有効成分：フェンプロパトリン0.020%) が、サビイロクワカミキリに対しても有効か検証するため、玉切りして網室に搬入したイヌエンジュ丸太と切り株を用いて羽化脱出抑制効果を調査した。県情報では、本剤による処理方法として「噴射前には、針金等でフラスを可能な限り除去してから、孔にノズル (商品に付属されているノズル (長さ10cm, 径1mm)) を差し込み、液が漏れてくるまで噴射」と示されているが、フラスを完全に取り去ることは材外側から確認が困難であるため除去は行わず、幼虫の食害で樹皮の表面に開いた全ての孔道入り口から可能な限り深くノズルを差し込み、薬剤が逆流してくるまで噴入した。噴入は、網室2棟のうちの1棟に入れた21本に対し等しく処理し、処理後、丸太元口の直径階により4つの群に分け、群ごとに防虫ネットで覆って分離した。なお、幼虫の食害で樹皮の表面に開いた孔道の様相は供試したすべての丸太で違いは見られなかった。また、無処理の丸太は直径階による区分を行っていない。切り株に対しては、伐採位置の地上高と断面の径を計測し、うち12株に対して丸太と同様の方法で断面と側面に開いた孔道から薬剤噴入した。処理時期は丸太、切り株ともに2022年5月17日と20日、処理回数は1回とした。

3. 結果と考察

(1) 成虫の羽化脱出時期

羽化脱出は、2022年7月14日に切り株から初めて

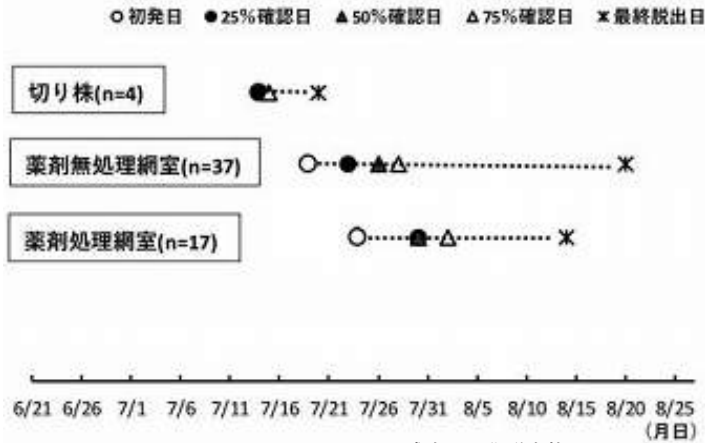


図-2 サビイロクワカミキリ成虫の羽化脱出状況

確認され、切り株からは調査期間中に4個体が記録された(図-2)。薬剤無処理網室では2022年7月19日が初認日で、脱出個体数の50%の脱出日は7月26日、脱出個体数は37個体であった。また、薬剤処理網室からも羽化脱出があり、初認日は7月24日、50%脱出日は7月30日で17個体が記録された。また、期間中の最終脱出日は、薬剤無処理網室における8月20日であった。

本結果より、1回のみ調査ではあるが、サビイロクワカミキリの羽化脱出時期が主に7月中～8月中旬であることが示唆された。切り株、網室2棟の羽化脱出時期にずれがあったことについては、マツノマダラカミキリの羽化脱出に積算温度が関係する(在原 1986)ことより、サビイロクワカミキリでも材の置かれた場所の温度により羽化脱出時期が違った可能性も考えられた。

なお、サビイロクワカミキリは2年1化とされ(Haack 2017)、次年度にも成虫の羽化脱出がある恐れがあるため、調査に使用した材、切り株は逸脱防止を保持し観察を継続する予定である。

(2) 成虫の性差

羽化脱出した成虫は、網室で1日ごとに個体数を確認後、飼育用ケースに移して生態観察に供した。飼育用ケース内では、複数のペアによる1体がもう

1体の背後から体に這い上がるマウントの行動(大林ら 1992)(写真-2)が見られたため、当該個体群にも雌雄が存在することが窺われた。同属のクワカミキリの雌雄判別方法として「オスは第5腹節端が広く切断状、メスは2山状」とされるため(日本鞘翅目学会 1984)、マウントを行った複数のペアの上側と下側の個体の腹部末端の形状を確認したところ、個体差はあるが下側は末端が突出し腹部背板先端は2山状であるのに対し、上側は腹部末端が突出せず、腹部背板の先端は緩やかに中央が凹む形状であった(写真-3)。このことから、腹部末端の形状がサビイロクワカミキリ成虫の性差で雌雄の識別点であると考えられた。生態観察後に標本とした48個体(全捕獲数の83%)について腹部末端の形状により雌雄を識別したところ、オス25個体、メス23個体で性比は1:0.92であった。このため、サビイロクワカミキリは雌雄とも同数程度、同時期に羽化脱出する可能性が高いと考えられた。

また、上記の48個体を対象に体長と触角長について検討したところ、体長はオスが平均28.8mm、メスが平均32.9mm、体長に対する触角長の比率はオスが平均1.05、メスが0.94で、体長はメスが有意に大きく(Mann-WhitneyのU検定 $p < 0.01$)、触角/体長比ではオスが有意に大きかった(Mann-WhitneyのU



写真-2 飼育用プラスチックケース内でマウント姿勢をとるサビイロクワカミキリ成虫のペア

表-1 サビイロクワカミキリの推定した雌雄の体長, 触角長, 触角/体長比

推定性別	オス♂	メス♀	
調査個体数	25	23	
体長 (mm)	28.8 (24~35)	32.9 (28~37)	**
触角長 (mm)	30.0 (26~34)	31.0 (28~35)	
触角/体長	1.05 (0.97~1.17)	0.94 (0.85~1.03)	**

注：数値の括弧内は調査対象の最小～最大値を示す。
アスタリスクは雌雄間で有意差（U検定）が確認されたことを示す（**：p<0.01）。

検定 p<0.01）（表-1）。このことから、オスはメスより小さく、触角は体長より少し長く、メスは触角が体長よりやや短いという形態的な違いがあり、雌雄の同定に活用できることが考えられた。

(3) 後食選好性

樹種による後食選好性の調査に供したサビイロクワカミキリは、個体によっては羽化脱出から4週間以上生存した。雌雄ともイヌエンジュ、エンジュ、ハリエンジュ、フジを全て嚙り、オスはイヌエンジュの有無に関わらずほぼ同程度にマメ科樹木を嚙った（図-3, 4）。メスは、イヌエンジュがある場合は数値的にはイヌエンジュを多く嚙ったが（図-

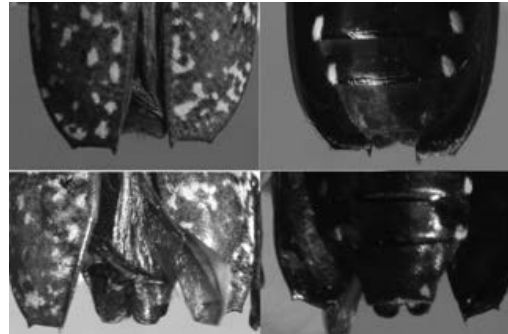


写真-3 サビイロクワカミキリ成虫の腹部末端に認められる差異

注：上=オスと推定した個体の背側（左）、腹側（右）。
下=メスと推定した個体の背側（左）、腹側（右）。

3), 統計的な違いは確認されなかった（Sidakの多重比較検定p>0.05）。イヌエンジュの枝年齢に伴う形状の違いによる選好性調査では、雌雄とも10mm以上の太い枝が数値的に多く嚙られ、オスでは統計的有意差が確認されたが（Sidakの多重比較検定p<0.05）、メスでは確認されず、雌雄とも木質化していない6mm未満の枝も嚙った（図-5）。

これまで、サビイロクワカミキリ被害のほとんどはイヌエンジュで確認されている（安齋 2021；永幡 2022）ことから、産卵選好性はイヌエンジュに対し大きいと考えられる。これに対し、武藤ら（2022）は郡山市で採取されたサビイロクワカミキリが飼育下でエンジュ、ヤマハギ（*Lespedeza bicolor*）、ツクシハギ（*Lespedeza homoloba*）（いずれもマメ科）を後食したと報告した。本調査でもイヌエンジュ以外のマメ科樹木3種の後食が確認され、多くのマメ科植物が後食対象となる可能性が認められた。郡山地域では、エンジュは街路樹としてイヌエンジュと同箇所に植栽されていることが多く、ハリエンジュ、フジは道路法面や手入れされていない林地等に多く生育しているため、イヌエンジュから羽化脱出した成虫がこれらのマメ科樹木の枝を後食しながら生息することが危惧された。また、イヌエンジュでは木質化した太い枝から木質化していない先端付近の細い枝まで後食対象となり得ることが認められ、枝の

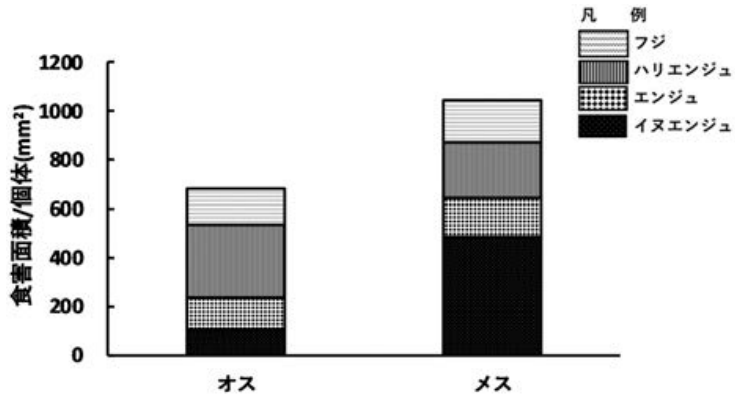


図-3 サビイロクワカミキリ成虫が24時間で齧ったマメ科樹木樹種別の枝表面積 (イヌエンジュを含む4樹種)

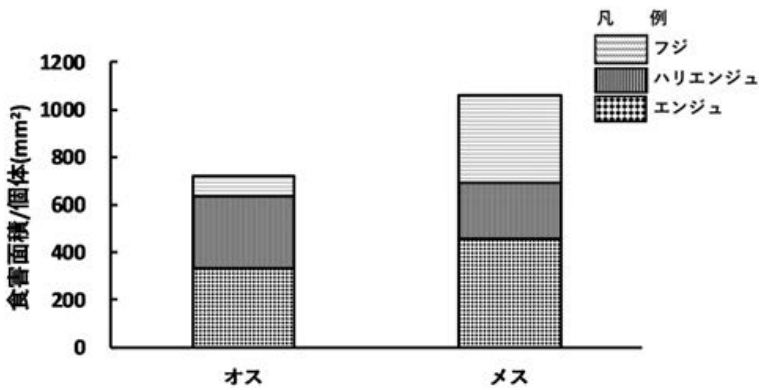


図-4 サビイロクワカミキリ成虫が24時間で齧ったマメ科樹木樹種別の枝表面積 (イヌエンジュを含まない3樹種)

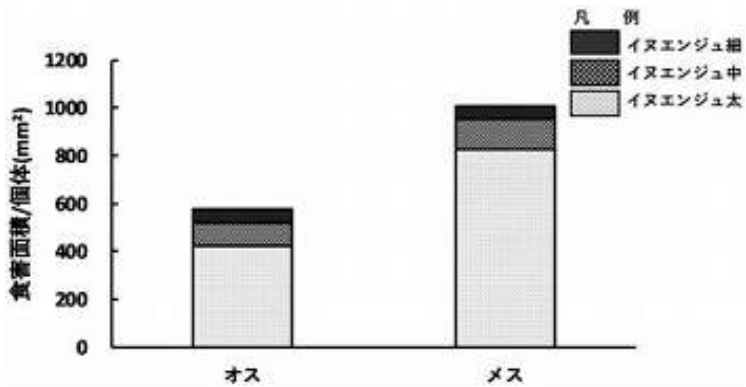


図-5 サビイロクワカミキリ成虫が24時間で齧ったイヌエンジュ枝の形状別表面積

先端付近に生息する可能性も考えられた。先行調査(永幡 2022)では野外に生息するオス成虫がほとんど見つかっていないことから、今後の生息場所の探索ではイヌエンジュの先端付近の細枝から他のマメ科樹木まで広い範囲が必要となると考えられた。

(4) 孔道への薬剤噴入効果

網室に搬入した丸太の薬剤処理の有無と丸太元口径ごとの羽化脱出個体数は表-2のとおりである。処理区と無処理区全体の羽化脱出数を比較すると処理区で羽化脱出数が少なく、薬剤の効果があったと考えられた。本調査では割材による死亡確認を行っていないため、材積ごとの幼虫生息数が同じと仮定したうえで処理区の丸太元口径別の結果を検討すると、元口径13～18cmの丸太からは羽化脱出は無く、元口径18～22, 23～26cmの丸太1本当たり0.2～0.4個体の少数が羽化脱出し、26～33cmの丸太では

無処理と同程度か多い個体数が羽化脱出した。このことから、10cmの噴入ノズルが中央付近まで届くサイズである元口径20cm程度までの丸太では、フラスを除去しなくとも十分な効果があったと考えられた。しかし、元口径20～26cm程度の丸太ではフラスや孔道の構造等の要因により少数が殺虫されず、元口径26cm以上の丸太では多くの幼虫に薬剤が届かなかったことが想像された。これらより、本供試殺虫剤はクビアカツヤカミキリ幼虫に対する効果(安達 2017)と同様に1回の使用でも樹幹内のサビイロクワカミキリ幼虫の羽化脱出を抑制し、噴入ノズルを使用すれば、径20cm程度までの丸太又は立木ではフラス除去を行わなくとも効果が期待できるものと考えられた。しかし、径20cm程度以上の場合は孔道内のフラスを除去したうえで使用しなければたさに応じて成虫の逸脱が起こる危険が高まるため、シート

表-2 薬剤処理の有無と丸太元口径別のサビイロクワカミキリ羽化脱出数

薬剤処理の有無	丸太本数	丸太元口径(cm)		羽化脱出個体数 (一本当たり)
		最小～最大	平均±標準偏差	
無	21	13～33	22.6±5.1	37 (1.8)
	6	26～32	28.3±2.1	14 (2.3)
有	5	23～26	24.6±1.0	2 (0.4)
	5	18～22	20.0±1.8	1 (0.2)
	5	13～18	16.2±1.8	0 (0.0)
小計	21	13～32	22.6±5.0	17 (0.8)

表-3 薬剤処理の有無と切り株高さ別のサビイロクワカミキリ羽化脱出数

薬剤処理の有無	切り株高さ	切り株数	羽化脱出個体数
無	30cm	5	1
	20cm	6	
	10cm	3	
有	30cm	4	2
	20cm	5	1
	10cm	3	
計		26	4

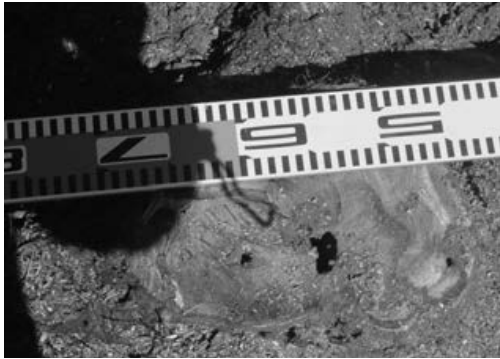


写真-4 サビイロクワカミキリ成虫の羽化脱出があった切り株の地際で切り直した断面

被覆等の防除法を併用するなどの検討が必要となることが示唆された。

また、切り株からの羽化脱出は前述のとおり4個体あり、うち3個体は薬剤処理した株からだった(表-3)。伐採位置の地上高を10cm、20cm、30cmとした区分では、3個体が30cm高さの株からの羽化脱出で、1個体が20cm高さの株と高い位置で伐採した切り株から羽化脱出した。一方、切り株の径とはあまり関係はなかった。2022年8月19日に羽化脱出があった切り株を地際で伐り直し、内部を観察したところ、株中央の朽ちた部分には大量のフラスが詰まり、地表から下の部分にもフラスが詰まった孔道が認められた(写真-4)。このことから、被害立木の地下部分にも幼虫が生息する危険があるため、伐倒はできるだけ地際で切ることが重要であるとともに、株に孔道が認められる場合は、樹幹部と同様によくフラスを除去して薬剤処理をし、場合によっては被覆等の処置が必要であると考えられた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、福島県野生動物植物保護アドバイザーの吉井重幸氏、樹木医の安齋由香理氏には本虫被害の特徴、雌雄の見分け方、飼育方法等

について御教示いただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 安達拓郎(2017)クビアカツヤカミキリ *Aromia bungii* (Faldermann) 幼虫に対する薬剤の防除効果. 植物防疫所調査報告 第53号; 51 ~ 62
- 安齋由香理(2021)福島県郡山市で発生しているサビイロクワカミキリ(新称) *Apriona swainsoni* (Hope) について. 月刊むし No.609; 16 ~ 22
- 在原登志男(1986)福島県における松類材線虫病に関する研究(1)-マツノマダラカミキリなどの生態、材線虫病感染源としての雪害木の役割および本病発生予測-. 福島県林業試験場研究報告19; 59 ~ 98
- 福島県生活環境部自然保護課(2021.11.18 更新)クビアカツヤカミキリ等外来カミキリムシに関する情報. <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16035b/kubiakatuyakamikiri.html>
- Haack, R (2017) Cerambycid pests in forests and urban trees. In Wang, Q, Cerambycidae of the World, Biology and Pest Management; 352 ~ 397. CRC Press, Boca Raton.
- 武藤将道・吉井重幸・塘忠顕(2022)福島県で最近発見された外来昆虫 *Apriona swainsoni* (Hope 1840) (コウチュウ目・カミキリムシ科・フトカミキリ亜科) の分布、食害および後食に関する予備的な報告. 昆虫(ニューシリーズ), 25(1): 18 ~ 24
- 永幡嘉之(2022)サビイロクワカミキリの実態. 月刊むし No.611; 20 ~ 33
- 日本鞘翅目学会編(1984)日本産カミキリ大図鑑
大林延夫・佐藤正孝・小島圭三(1992)東海大学出版会. 日本産カミキリムシ検索図説; P11
(2023.1.16 受理)

論文

シカ・カモシカ生息地のスギ造林地における防護柵管理の一事例 –どの程度の見回りをしていつ直すか–

大谷達也¹・米田令仁²

1. はじめに

戦後、盛んに造成されたスギ・ヒノキ人工林が成熟し、昨今では皆伐・再造林が活発におこなわれているものの、再造林地における動物害をいまだ克服したとは言いがたい。とくに1980年代後半から生息頭数を回復・増加させたニホンジカ (*Cervus nippon*, 以下シカ) による森林被害は、現在では野生鳥獣による被害の7割を占めている (林野庁 2021)。シカによる苗木食害を防ぐために、防護柵、単木保護、忌避剤、および捕獲といった対策が施されている。このなかで防護柵によるシカの排除はもっとも単純で100年以上前から紹介されている方法であり (森 1898; 土井 1918)、有効に機能させ続けられれば効果が高いと期待される。しかし、不適切な設置や設置後の不十分な管理により、放置され機能していない防護柵や成林が望めないほど加害された再造林地も散見される。

防護柵は設置前の設計と同様、設置後の管理を適切におこない、定期的な点検・補修によって機能を維持することができる。1980年代に設置された防護柵では強度・構造ともに不十分なものがみられたが (高柳・半田 1986)、近年では素材や構造の改良がすすみ、設計通りの性能が発揮されれば長期にわたってシカを再造林地から排除し続けることができる と期待される (Kaji *et al.* 2004)。ただし、最終的に人力で設置される再造林地の防護柵は各部材に重量の制限があるため、強度を際限なく上げることはできず、柵のネットや支柱は軽量の柔構造とせざるを得ない。そのため、土砂移動の起こる不安定な傾斜地に設置され、動物の干渉を受け続ける再造林地の

防護柵を有効に機能させ続けるためには、設置後の効果的な保守作業が不可欠である。

しかしながら、近年の人手不足も相まって、林業現場では省力化・低コスト化が叫ばれて久しい。下草刈りといった初期保育作業についても労力削減の議論がおこなわれるほどで (平田ほか 2012)、植栽木を育てるという本来の目的にとっては余計な作業である防護柵の点検・補修にはなるべく労力を割きたくないというのが林業事業者の本音であろう。一方、全国のシカ生息頭数は減少傾向が認められるものの新たな地域への分布拡大や以前からの高密度生息地は少なからずあり (環境省自然環境局 2022)、シカ対策なしには再造林が成立しない地域は今後も存在し続けると予想される。再造林地に設置した防護柵を効率よく点検・補修し、最小限の労力で防護柵の機能維持を図る方策が必要である。

そこで本試験では、再造林地の防護柵を有効に機能させる適切な点検のタイミングおよび補修方法の具体的な指針を得るために、林業事業者によって設置された後、部分的に破損した防護柵を使って、柵補修とその後の破損および動物侵入について試験をおこなった。これまでの事例から、防護柵に干渉し破損する動物としてカモシカ、イノシシ、ノウサギ、およびアナグマなどがあげられ (法眼ほか 2019; 高山ほか 2019)、とくにカモシカはシカと同様の体格をもつとともに苗木被害の原因としてシカと混同されることが多い。そのため、本試験ではシカ以外の動物も対象にして、試験設定として防護柵を完全に補修した後、破損の過程を経時的に観察しながら同時に柵内外での各種の動物出現を記録し、1. 完

A case study of management of deer fence installed around a young cedar plantation in a deer and serow habitat –how to do effective maintenance works–

¹OTANI, 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; ²YONEDA, 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

全に柵補修した後の柵破損の再発と動物侵入の時期、2. 柵破損の発生位置とシカ・カモシカの出現位置、および3. 柵補修にかかる人工数と定期的な見回り、の3点について検討した。

2. 調査地と方法

(1) 調査の概略と調査地

本試験では、以下の3段階の調査を順次おこなった。1. 設置後に5年が経過して防護柵が部分的に破損した状態での柵内外の動物出現の記録、2. 柵を完全に補修した後に防護柵が徐々に破損していく過程の記録および動物出現の記録、および3. 柵を再度補修した後の破損と動物侵入の記録の繰り返しである。あわせて柵補修のコストを算定するため、柵補修にかかった人工数を記録した。高知県香美市物部町にある、2015年3月設置の防護柵付き5年生スギ植林地を2020年9月に試験地とした。この地域は高知県東部のシカ高密度生息地のひとつであり、2014年の高知県調査では20から30頭/km²程度の生息密度、2020年調査では前回と大きく変化なしという状況である(高知県 2017; 高知県 2021)。試験地の植林地にはシカを排除するための防護柵が周囲に設置されており、その総延長は水平距離で約970mである。この植林地は水平距離で幅約60m、長さ約430mと全体に細長い形状をしており、最下部は標高480m、最上部は780mと上下で300mの標高差がある(図-1)。地形図から読み取った平均斜度は35

度であり、林班内や防護柵の設置された線上には岩礫地を含む。この防護柵は、下半分にだけステンレス線が撚り混まれた樹脂製の目合い10cm・高さ180cmのネット柵本体の下部に、目合い10cmのスカートネットを斜めに取り付けたものである。支柱間隔は3mを基本としており、調査開始時点の実測では全体で328本の支柱が使われていた。防護柵設置林分の周囲は、ヒノキ人工林、広葉樹林、および単木保護資材をつけた5年生スギ植林地に囲まれている(図-1)。広葉樹林では、コナラ、リョウブ、アセビ、およびアカマツといった樹種がみられる。この地域では降雪の場合もあるが、通常は数cmの積雪があっても数日中になくなる。この林分へつながる林道は施錠されており、林道の行き止まりから約5分間の歩行で試験地林分に到達する。

(2) 動物出現の記録

防護柵の内外に出現する動物を記録するため、防護柵の外側周囲に16台、防護柵の内側に25台のセンサーカメラ(TREL製10J-Dおよび18J-D)を空間的に偏りがないように設置した(図-1)。園芸支柱を使って地上約1.5mの高さに水平や下向きにカメラを取り付け、奥行き約10mの撮影範囲を確保した。赤外線センサーの感知範囲内に動物が入ったときに静止画を一枚撮影するように設定し、撮影休止時間を1分間とした。一部のカメラでは柵の内外を一台の画角に捉えているものがあり、その場合は柵外にカメラが設置されていても柵内の動物出現を記

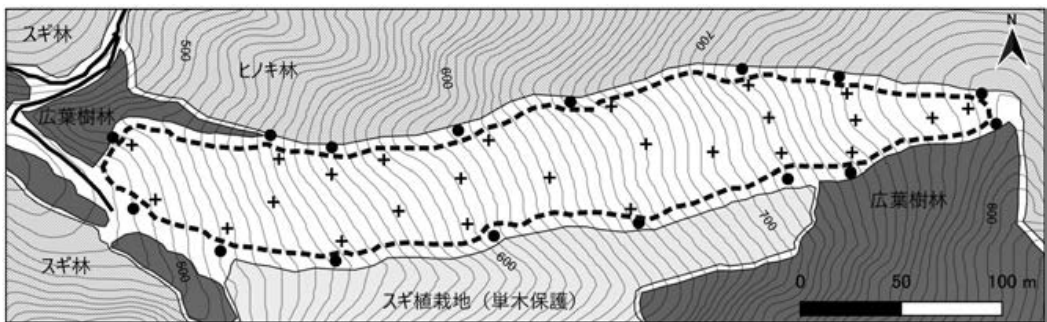


図-1 試験地における防護柵、センサーカメラ、および周辺林分の位置図

破線が防護柵、●が柵外のカメラ、および+が柵内のカメラを示す。等高線の間隔は5m、太い実線は作業道。

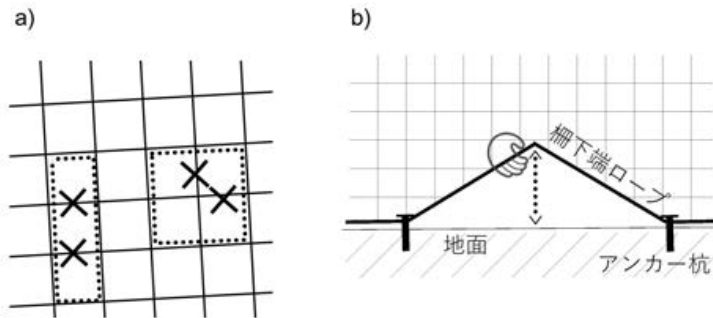


図-2 a) 防護柵のネットが破れた場合の開口部, および b) 柵下端と地面との隙間の測定
 a) 隣接する2カ所が切断された2例を示し, いずれも開口部の周囲長は80cmとなる. b) 柵下端ロープを手で引き上げて, 地面との隙間の高さを測定した

録したり, また逆の場合もあったが, 動物の出現位置の判定にあたってはカメラの設置位置ではなく動物の位置によって柵内外を判断した。2020年9月中旬から2022年8月上旬まで2年弱の期間, それぞれの地点で機器を入れ換えながら常時稼働するように努めた。

シカ, カモシカ, イノシシ, およびノウサギに着目し, これらの動物が写ったすべての写真を使って画角内の頭数を足し合わせ, カメラの稼働日数で除して出現頻度(頭/日/台)を算出した。シカとカモシカについては, 完全に座り込んでいる, あるいは防護柵に体が絡んで移動できないといった行動が連続して撮影されることがあったが, このような一連の写真は出現頻度の計算からは除外した。

(3) 防護柵の破損状況の記録

防護柵の破損を経時的に記録するため, すべての防護柵支柱に番号札を取り付けて場所を明確にした。2020年10月1日に現状のままの防護柵の破損状態を記録したところ, 複数の場所で支柱の折れを伴う柵本体の倒壊, 柵本体ネットの大きな破れ, 地際部分の浮き上がり, およびスカートネットの脱落が認められ, シカの侵入を容易に許している状態であることが推察された。2021年1月に防護柵内の3地点で約50本ずつ, 合計156本のスギ植栽木を調査したところ, 胸高直径 3.7 ± 1.4 cm (平均 \pm 標準偏差), 樹高 313 ± 71 cmであり, シカによるものと考えられる剥

皮が115本で認められ, そのうち32本は全周剥皮を受けていた。植栽後の初期には防護柵が機能していたものの, 数年が経過した時点から防護柵の大きな破損・シカの侵入・植栽木の剥被害を許したものと推察された。

2021年1月および2月に防護柵を完全に補修し, 人工数を算定した。この際, 支柱が折れて柵本体が倒壊している, 柵下端が持ち上がって大きな隙間が空いている, 柵本体の上端が下がっているといった場所では, 支柱を打ち直すことも含めて防護柵を部分的に新設した。柵本体のネットが大きく破れている部分には, 新しいネットを1mまたは2mの幅に切り取ったものをあてて補修した。スカートネットが脱落している部分や, またネットの素材が劣化して細かな切れ目が多い部分については新しいスカートネットを取り付けた。柵本体・スカートネットの地際部分の裾おさえアンカー杭が失われている場合には, 支柱間で2本または3本のアンカー杭を打設した。岩礫地では異径鉄筋を約15cmの長さで切ったアンカー杭も併用した。

その後, 2週間からひと月に一度, 防護柵を一巡して破損を記録した。柵本体・スカートともにネットが切れた場合は, 開口部の周囲長を計測した。ネットが10cm目合いであるので, 例えば2カ所が切断されて隣り合う3マスがつながった場合は周囲長80cmとなる(図-2a)。裾おさえアンカー杭が失われ

柵本体の下端が持ち上がる場合には、地面と柵下端との距離を測定した(図-2b)。防護柵の破損を記録する際には補修を一切しなかった。2021年11月および12月には前回と同様の方針で再び柵補修をおこない、人工数を算定した。ただし、このときには柵の部分的な新設を必要とするほど大きな破損はなかったため、補修作業としては柵本体・スカートネットのとり合わせ、アンカー杭の追加の打設、およびスカートネットの付け直しをおこなった。その後、これまでと同様に柵の破損状況を経時的に記録した。試験は2022年8月に終了したが、2022年10月および11月には再び柵補修をおこない、人工数を算定した。この際にも前回と同様の補修をおこなった。すべての補修作業には森林管理者の指示を受けた作業員があたり、それぞれの補修作業の最後には研究員が確認・補修をおこなった。

本報告での統計解析にはすべてR4.2.1を使用した(R Core Team 2022)。

3. 結果

(1) 防護柵の破損状況

支柱間の小区画を単位として破損のある場所を数えると、1回目の防護柵補修をする前の2020年10月1日には、支柱間小区画が合計328あるところ、支柱の折れ・倒れ9区画、柵上端の垂れ下がり17区画、柵本体ネットの破れ17区画(周囲長60cm以上、すなわちネット1ヶ所以上が切れたもの、図-2a)、柵下端の浮き上がり78区画(持ち上げ高さ10cm以上)、スカートネットの破れ107区画(周囲長60cm以上)、およびスカートネットの脱落・持ち上げ43区画という状態であった。

2021年2月末に1回目の補修が終わった後、周囲長60cm以上のスカートネットの破れは急速に増加し、2021年3月16日で29区画、2021年6月24日で119区画となり補修前の状態と同等になった。2回目の補修直前2021年11月4日には181区画となり、半数以上の区画でスカートネットになんらかの破れがみられる状態となった。2021年12月に2回目の補修が完了した後もスカートネットの破れは時間の経過と

ともに増加し、試験が終了した2022年8月3日にはスカートネットの破れは104区画となった。スカートネットの脱落・持ち上げも補修後には経時的に増加し、2回目の補修前2021年11月4日には46区画、試験終了2022年8月3日には34区画と、補修前とほぼ同等の状態になった。

図-3には柵本体の破損について、a) 破れの周囲長ごと、およびb) 地際の柵下端持ち上げ高さごとに破損区画数の経時変化を示した。1回目の補修前には周囲長100cm以上の破れが9区画、180cm以上の大きな破れは4区画であった(図-3a)。1回目の柵補修が完了した後、周囲長100cm以上120cm未満の小さな破れはすぐに発生しその後も数が増えたものの、180cm以上の破れは2021年7月まで発生せず、2回目補修の直前2021年11月でも180cm以上の大きな破れは2区画にとどまった。2回目の補修後2022年2月には小さな破れから順次発生し、試験終了の2022年8月には180cm以上の破れは2区画となった。柵下端の持ち上げについては、1回目の補修前には10cm以上の持ち上げ高さでは73区画、20cm以上で61区画、30cm以上で41区画、および40cm以上で23区画であった(図-3b)。1回目補修の直後2021年3月5日には10cm以上20cm未満の持ち上げが1区画あり、補修の不備か早期の破損が疑われたものの、下端の持ち上げ区画数が増加し始めるのは2ヶ月後の2021年5月中旬であった。その後、持ち上げ区画数・持ち上げ高さともに急速に増加し、2回目の補修完了直前2021年12月では10cm以上の持ち上げ19区画、40cm以上では3区画となった。2回目の補修後2022年2月上旬には、前回は異なり短期間で40cm以上の大きな持ち上げが3区画で発生し、より低い高さの持ち上げも同様に発生した。試験終了の2022年8月まで持ち上げ区画数は大きく増加せず、最終的に40cm以上の持ち上げは4区画となった。

(2) 防護柵内外での動物の出現頻度

図-4には、シカ、カモシカ、イノシシ、およびノウサギについて、10日ごとに集計した防護柵内外の出現頻度の経時変化を示した。シカの出現頻度には季節変化が認められ、冬期には柵外の出現頻度が

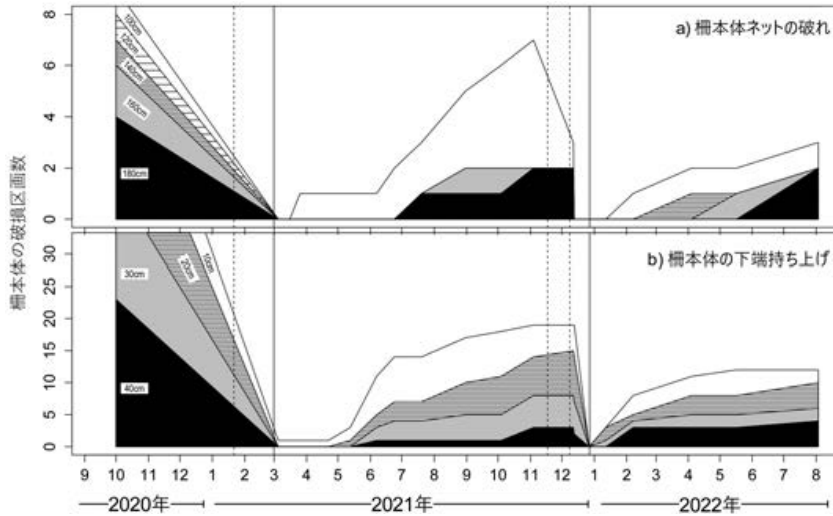


図-3 防護柵本体の破損区画数の経時変化

a) 柵本体ネットの破れについては周囲長を100cm以上、120cm以上、140cm以上、160cm以上、および180cm以上に、b) 柵下端の持ち上げについては持ち上げ高さを10cm以上、20cm以上、30cm以上、および40cm以上に区分して示した。縦破線は防護柵の部分的な補修、縦実線は完全な補修が完了した時期を示す。

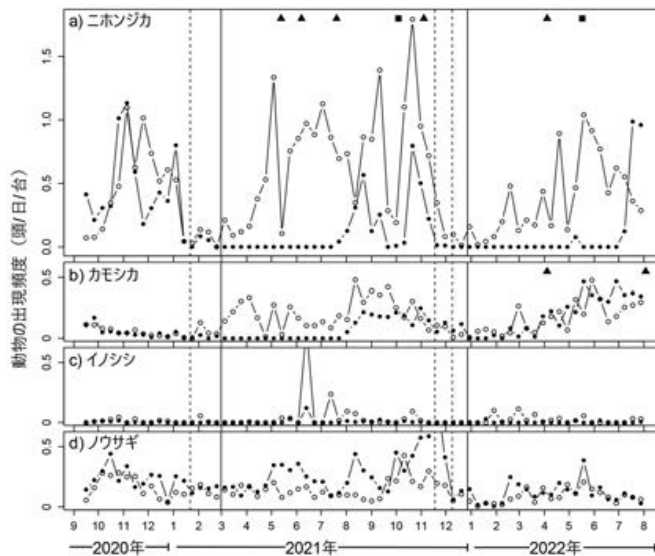


図-4 防護柵の外内に設置されたセンサーカメラによって記録された4種の動物の出現頻度
○柵外および●柵内の出現頻度。シカ・カモシカのグラフ上部のマークは、防護柵の点検時に発見した、柵に絡まったそれぞれの頭数を示す(▲1頭、■2頭)。縦破線は防護柵の部分的な補修、縦実線は完全な補修が完了した時期を示す。

ほかの季節に比べ少なかった(図-4a)。2021年2月末に柵補修が完了する前には、柵外の出現頻度の中央値が0.53頭/日/台、柵内では0.36頭/日/台となり、柵内外のシカ出現頻度には差がなかった(Wilcoxon signed rank exact test, $V=37$, $p>0.05$)。その後1回目の柵補修が完了した後は、2021年7月下旬まで4ヶ月半の間は柵外ではシカが高頻度で出現しているものの柵内での出現は認められなかった。2021年7月下旬からはシカの柵内侵入が連続して認められ、柵外の出現頻度の増減に対応して柵内の出現頻度も増減した。2021年12月に2回目の柵補修が完了した後は、2022年5月上旬に若いオスの1回の侵入が認められるまで、4ヶ月半の間は柵内へのシカ侵入はなかった。2022年7月上旬にメス個体を含めた侵入が始まるまで、若いオス1回の侵入を除けば、6ヶ月間はシカの侵入がなかったともいえる。この若いオス1回の侵入を除けば、シカ侵入の開始時期と周囲長180cm以上の本体ネット破れの確認時期が、1回目の補修後には2021年7月、2回目には2022年7月で一致していた(図-3,4)。

2020年9月に調査を開始した時点では柵の周囲にシカのものと考えられる白骨が複数ヶ所で見つかったが、いずれも古く同年に死亡したものとは考えられなかった。2020年9月から2021年4月までは柵に絡まったシカは確認されなかったが、その後、柵に絡まり死亡したシカは2021年には計6頭、2022年には計3頭であった。いずれの場合もシカが絡まったことでスカートネットは脱落したが、柵本体が大きく破損することはなかった。絡まったシカの体重で柵上端が下がったことが2例あったが、シカを外すことで防護柵は元に戻った。柵にシカが絡まって死亡したことによるシカ出現頻度の変化を検討するため2021年と2022年の1月から3月を比較したところ、シカが死亡する以前の2021年1月から3月では0.12頭/日/台、シカが6頭死亡した後の同じ季節である2022年1月から3月では0.17頭/日/台となり、両年の柵外出現頻度に差はなかった(Wilcoxon rank sum exact test, $W=31$, $p>0.05$)。同様に両年の4月から6月を比較したところ、シカが2頭死んだ時点

での2021年4月から6月では0.75頭/日/台、9頭死んだあとの2022年4月から6月では0.62頭/日/台となり、やはり両者に差はなかった(Wilcoxon rank sum exact test, $W=41$, $p>0.05$)。

カモシカについては全体の出現頻度はシカの3分の1程度であるものの、シカと同様に出現頻度の季節変化が認められ、やはり冬期の柵外出現頻度はほかの季節に比べ少なかった(図-4b)。1回目の柵補修後にはシカと同様、4ヶ月半カモシカが柵内で確認されない期間があったが、2回目の補修後には1ヶ月後から柵内で確認され、その後も連続して柵内に侵入された(図-4b)。カモシカでは、柵本体とスカートネットの間にできる三角形の空間に入り込み、柵に沿って歩いていると推察される様子やスカートネットの下端から脱出する様子が頻繁に撮影された(図-5a, b)。カモシカでは2022年に2頭が柵に絡み、いずれもスカートネットの脱落と柵下端の浮き上がりが生じた。

イノシシについては、ほか3種の動物に比べて少ない出現記録しかなく、柵外の出現頻度 0.03 ± 0.10 頭/日/台、柵内 0.005 ± 0.016 頭/日/台となった。なお、2021年6月の柵外での出現頻度が高い値(0.79頭/日/台)を示しているが、これは2頭のメスが9頭のウリボウとともに撮影されたためであった。この場所ではイノシシの出現そのものが多くないため防護柵との関連を論じるには不十分であるが、1回目の柵補修後には3ヶ月目に柵内への侵入が認められたが、2回目の柵補修後には1ヶ月以内に侵入が記録された(図-4c)。いずれの場合も、シカ・カモシカに先じてイノシシの柵内侵入がおこったことになる。イノシシについてもカモシカ同様、柵本体とスカートネットの隙間を移動する様子が確認された。

ノウサギについては出現頻度に明確な季節変化は認められず、柵外の出現頻度 0.13 ± 0.08 (頭/日/台)に対して柵内 0.21 ± 0.15 (頭/日/台)となり、柵内のほうが出現頻度が高かった(Wilcoxon signed rank test, $V=2020$, $p<0.001$)。柵の補修後に柵内への侵入頻度が下がる傾向は認められなかった(図-



図-5 防護柵の周辺で確認された動物の特徴的な様子

a) 柵本体とスカートネットの隙間を移動するカモシカ, b) スカートネットの下端を潜る際に強く引っ張るカモシカ, c) 柵本体の編み目を素通りするノウサギ, および d) スカートネットの編み目を通り抜ける際に強く引っ張るアナグマ。

4 d)。ノウサギでは柵本体およびスカートネットの編み目を素通りする様子が確認された(図-5 c)。

これら4種の動物のほかに、中型哺乳類ではテン、ハクビシン、タヌキ、キツネ、アナグマ、およびニホンザルが柵内外で撮影され、このうちハクビシン、タヌキ、およびアナグマについては柵を通り抜ける際に柵本体やスカートネットを引っ張る・噛むといった様子が撮影された(図-5 d)。

(3) 防護柵の破損と柵内でのシカ・カモシカの出現の位置関係

図-6にはシカとカモシカについて、柵補修前の期間、1回目の柵補修後に動物が侵入した期間、および2回目の柵補修後に動物が侵入した期間の3つに分けて、柵内外での出現頻度をカメラごとに5段

階で示し、あわせて動物が侵入可能な破損の中でもとくに大きな破損の位置を示した。ほかに比べると柵内の出現頻度が少ない b) および e) では、柵内の中央部でカモシカおよびシカがまったく撮影されないカメラがまともであるものの、ほかの場合には柵内のほぼすべての場所で動物が記録された。また、いずれの場合にも柵内の中央部よりも柵近くのカメラでより高い頻度で記録された。とくに、シカ・カモシカとも植栽地の最上部(それぞれ図中右端)、シカでは上部南側の広葉樹林と接した部分(同様に右下)、カモシカでは北側のヒノキ林と接した部分(同様に上側)の柵沿い内側で出現頻度が高かった。柵外については、いずれの場合もほぼすべての場所でシカ・カモシカを記録しており、シカでは

柵の南側（図中下側）で出現頻度が高い傾向だった。

柵破損の位置とシカ・カモシカの出現頻度との関連をみると、1回目および2回目の補修後に起こった破損の区画とその期間に出現が多い場所とは一致しているとはいえなかった。とくに斜面下部の北側の1ヶ所は（図中左上×印）、全期間を通じ繰り返して大きな本体ネットの破れが認められたが、この周辺で動物の出現頻度が高いわけではなかった。

(4) 防護柵の補修にかかった人工数

2021年1月および2月に柵を完全に補修したときには（1回目の補修）、合計24人日（それぞれ12人日）を要した。その後9ヶ月が経過した2021年11月および12月に再び補修したときには（2回目の補修）、合計14人日を要した。最後に試験の終了した2022年8月以降の10月および11月に補修したときには（3回目の補修）、合計7人日を要した。ただし、いずれの補修の際にも作業員に補修の必要な場所と内容を事前に詳しく伝えたとともに、それぞれ研究員による補修作業の2人日ないし3人日の人工数を含んでいる。

4. 考察

(1) 補修後の柵破損の再発と動物侵入の時期

本試験では、定期的に柵破損を記録しながら補修をいっさいせず、動物の柵内侵入を確認するという手法をとった。その結果として、設置後に5年が経過して部分的に破損した防護柵であっても完全に補修すればシカの侵入を少なくとも4ヶ月間は防ぐことができると実証できた（図-4）。一方、5ヶ月経てば再びシカの侵入が始まり、その時期は柵本体ネットに周囲長180cm以上の破れができたときと一致した。シカが柵内へ侵入する経路については、防護柵を跳び越えるよりも地際から潜り込むことが多いと指摘され（尾崎 2001；池田 2001；高山ほか 2008）、飼育個体を使った実験では地際の高さ20cmの間隙までくぐり抜けられることが確かめられている（堂山ほか 2016）。しかし本試験では、柵下端の持ち上げ高さ20 cm以上さらには40 cm以上の隙間が複数区画で確認された時期には（2021年6月、お

よび2022年2から4月）、シカの柵内侵入はいまだなかった（図-3, 4）。いくつかの場所では柵下端が浮き上がってもスカートネットが機能していたため、シカが柵下端を潜ることを防止するのに一定の効果があったと考えられる。ただ、本試験で確認されたようにスカートネットは急速に破損していくため、補修の際には新しい資材を取り付けることになり資材費の増加につながる。そうならば、この数年で一般的になってきた地面に這わせる長い裾部分と柵本体とが一体となった構造が、部品点数を減らすという観点から優れているかも知れない。

カモシカは一回目の補修後にはシカと同時期に侵入したが、2回目の補修後にはシカの柵内侵入よりも前に、すなわち周囲長180cm以上の破れができる前の2022年2月には侵入した（図-4b）。カモシカだけの侵入が確認された2022年2月から4月の時点ですでに本体ネットには100cm以上の破れが確認されていたので、カモシカの侵入経路が潜り込みだと断定できないものの、シカでは確認されなかったスカートネットの下を歩いたり潜ったりという様子がカモシカでは確認されたことから（図-5a, b）、カモシカはシカよりもネットを潜ることが多いといえそうである。シカに比べてイノシシやアナグマは防護柵に積極的に干渉することが多いと報告されている（高山ほか 2019）。本試験で柵補修後にシカ・カモシカに先んじてイノシシが侵入したことで、食肉目の中型動物が柵に干渉したことをあわせれば、イノシシ、アナグマ、カモシカといった動物が防護柵を潜る、あるいは破るという行動をした後にシカの侵入路ができると推察される。

(2) 柵破損の発生位置とシカ・カモシカの出現位置

シカ・カモシカの柵内での撮影頻度については、頻度の高低は認められるものの柵内のいずれの場所でも確認されており（図-6）、いったん侵入したシカ・カモシカは柵内を広く行動していると考えられた。シカおよび有蹄類は、開けた場所にはあまり滞在せず森林と皆伐地の境界付近、あるいは森林のギャップに長く滞在することが指摘されている（Takatsuki 1989；Kuijper *et al.* 2009）。本試験の柵

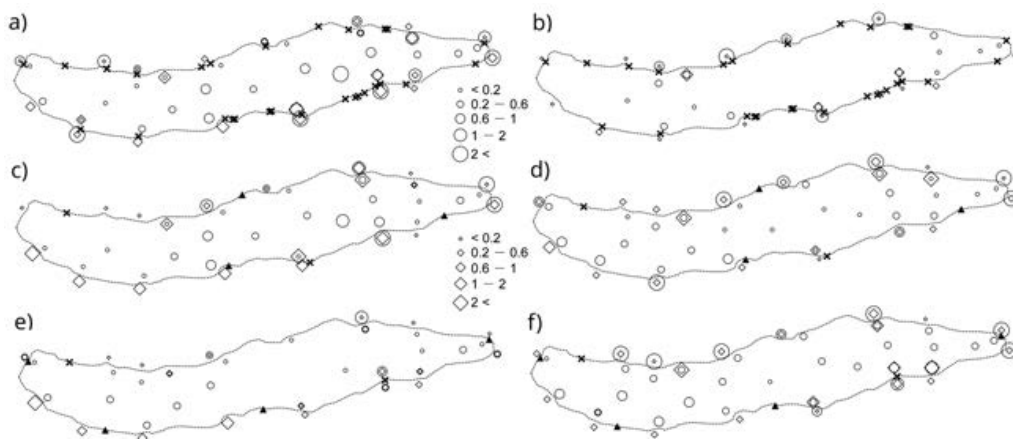


図-6 防護柵破損とシカ・カモシカ出現頻度の位置関係

防護柵補修前の2020年9月から2021年1月までの a) シカと b) カモシカ, 2021年7月下旬から11月上旬までの c) シカと d) カモシカ, 2022年3月中旬から7月までの e) シカと f) カモシカについて, 出現頻度(頭/日/台)とその期間の柵破損区画を示した。○柵内, および◇柵外の出現頻度。防護柵に近い場所に設置したカメラについては, 柵内外を同一画角に捉えているものがあるので, ひとつのカメラで柵内外の出現頻度を記録している場合がある。a) と b) では破損の形態を区別せずに防護柵の倒壊, 支柱の折れ, 柵本体ネットの破れ(周囲長180cm以上), および柵下端の持ち上げ(高さ40cm以上)を×で示した。c) から f) については, 周囲長180cm以上の柵本体ネットの破れを×で, 高さ40cm以上の柵下端持ち上げを▲で示した。

内の植栽地, さらには隣り合う単木保護資材付きスギ植栽地では, 植栽木やシロダモなどの常緑広葉樹が高さ3m前後に成長しており遮蔽物となるので, シカは植栽地の中央でも林縁部と同じように出現したと推察される。柵外での出現頻度については, 柵の破損位置とシカ出現頻度との明確な対応はみられないものの, 広葉樹林と接した部分での出現頻度が高い傾向はあった。実際に, 本試験地の斜面上部南側の広葉樹林から防護柵へ続く獣道が確認されたので, 動物が往来する頻度が高いと推察される。今後, 防護柵の破損位置と周辺林分との関係については, より多くのデータによる検証によって防護柵管理に有益な情報が得られることが望まれる。

(3) 柵補修にかかる人工数と定期的な見回り

本試験では防護柵を補修せずに9ヶ月間放置してその期間の破損を補修するのに, 14人日(2回目補修)あるいは7人日(3回目補修)の人工数がかかった。ただし, 本試験では作業員に補修場所と内容を事前に伝えたので, 事前情報なしに補修する場合

にはこれよりも時間がかかり, さらには補修の完成度が悪くなると考えられる。仮に定期的な点検をしてその度ごとに補修する場合, 4ヶ月より短く, 例えば3ヶ月ごとに2人1組で9ヶ月間に計3回の点検・補修をすれば合計6人日となり, 放置後にまとめて補修するより定期的に補修した方が低コストといえる。ただし, 台風や大雨など荒天のあとには定期的な点検とは別にすみやかに点検を実施すべきである。また, 例えば3ヶ月ごとの補修とした場合には, 1回の補修が一日で完了する程度の作業量かどうか, また新植地ではその間隔の補修で苗木被害が許容できる状態に収まるかどうかについて, 常に見直ししながら最適な点検間隔を探るべきだろう。こまめに点検して防護柵の機能維持を図り苗木被害を防ぐことが理想だが, シカの生息状況や地形によっては柵破損の発生頻度が高くなり補修の労力が過大になり得る。本試験では, 2年間で合計9頭のシカが防護柵に絡んで死亡したが, その後の出現頻度の減少は認められず, 2022年の柵内侵入が遅くなるこ

ともなかった(図-4)。シカ個体数の調整によって柵の破損頻度を下げるには、もっと大幅な捕獲が必要になるだろう。植栽予定地周辺のフィールドサイン(動物の糞や足跡)から、柵設置後のシカ被害リスクを予測する手法が提案されている(Yamagawa *et al.* 2022)。今後は、被害リスクに応じた最適な防護柵点検の間隔、さらには設置後に柵の機能を維持するための総コストを事前に算定する基準が必要であろう。

引用文献

- 土井藤平(1918) 森林保護学. 中川書店出版部
- 堂山宗一郎・江口祐輔・上田弘則(2016) ホンシュウジカが通り抜けられる隙間サイズの測定. *Animal Behaviour and Management* 52(4): 171 ~ 179
- 平田令子・伊藤 哲・山川博美・重永英年・高木正博(2012) 造林後5年間の下刈り省略がヒノキ苗の成長に与える影響. *日本森林学会誌* 94(3): 135 ~ 141
- 法眼利幸・大谷栄徳・日下昭宏(2019) 和歌山県の森林防護柵沿いにおけるニホンジカ等の出現と行動. *和歌山県農林水産試験研究機関研究報告* 7: 145 ~ 154
- 池田浩一(2001) 福岡県におけるニホンジカの生息および被害状況について. *福岡県森林林業技術センター* 3: 1 ~ 83
- Kaji K, Okada H, Yamanaka M, Matsuda H & Yabe T (2004) Irruption of a colonizing sika deer population. *The Journal of Wildlife Management* 68(4): 889 ~ 899
- 環境省自然環境局(2022) 鳥獣の管理の強化 個体数推定. <https://www.env.go.jp/nature/choju/capture/capture6.html>. 2022.12.05参照
- 高知県(2017) 第4期高知県第二種特定鳥獣(ニホンジカ) 管理計画. https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/070201/files/2018080700251/file_20198283162416_1.pdf. 2022.12.05参照
- 高知県(2021) 高知県内におけるニホンジカの生息状況調査について. <https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/070201/2021041600095.html>. 2022.12.05参照
- Kuijper DPJ, Cromsigt JPGM, Churski M, Adam B, Jedrzejewska B & Jedrzejewski W (2009) Do ungulates preferentially feed in forest gaps in European temperate forest? *Forest Ecology and Management* 258(7): 1528 ~ 1535
- 森庄一郎(1898) 吉野林業全書. 伊藤盛林堂
- 尾崎真也(2001) 兵庫県におけるニホンジカによる幼齢造林木被害とその防除. *兵庫県立森林・林業技術センター研究報告* 49: 19 ~ 23
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>
- 林野庁(2021) 令和3年版 森林・林業白書. 全国林業改良普及協会
- Takatsuki S (1989) Edge effects created by clear-cutting on habitat use by sika deer on Mt. Goyo, northern Honshu, Japan. *Ecological Research* 4: 287 ~ 295
- 高柳 敦・半田良一(1985) 拡大造林地域におけるカモシカ食害対策とその評価. *京都大学農学部演習林報告* 58: 125 ~ 137
- 高山夏鈴・竹下実生・田村典子・小泉 透・山崎晃司(2019) シカ防護柵の設置が各種哺乳類の移動に与える影響. *森林防疫* 68(5): 3 ~ 10
- 高山耕二・内山雄紀・赤井克己・花田博之・伊村嘉美・中西良孝(2008) 牧場採草地へのニホンジカ侵入に対する防護柵の影響. *鹿児島大学農場研究報告* 30: 11 ~ 14
- Yamagawa H, Kitahara F, Otani T, Yoneda R, Suzuki KK & Nomiya H (2022) Assessing the damage caused by deer on young trees in a Sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation based on field signs. *Journal of Forest Research*. DOI: 10.1080/13416979.2022.2148862

(2023.1.18 受理)

論文

長野県におけるスギ壮齡林の梢端枯れ被害

柳澤賢¹・小山泰弘²

1. はじめに

2022年6月、長野県松本市四賀五常において、スギ壮齡林の梢端部および側枝が赤変する被害（以下、梢端枯れ、写真-1）が散見されるとの情報があり、状況確認および原因究明のため現地調査を行った。当該地での梢端枯れは2022年5月上旬には目立ち始め、6月には地域住民が心配するほど被害が目立っていた。その後、県下全域を対象に情報収集を行ったところ、多くの地域で類似の被害が散見され、特に中南部の塩尻市南部から辰野町、伊那市、木曾町周辺で多く見られるとの情報が寄せられた。これまで県内のスギの被害として、壮齡木の梢端部や側枝



写真-1 スギの梢端枯れ木
破線部が赤変。

に異常をきたす被害が広域に発生した事例はほとんどない。本稿では、今回発生したスギ壮齡林の梢端枯れ被害の発生状況と推定原因を報告する。

2. 調査方法

被害状況調査は、情報が得られた2022年6月から7月末まで、県下各地のスギ林で梢端枯れを呈したスギを地上探索した。被害が確認された場合は、被害形態別に梢端部が赤変している被害木、側枝が赤変している被害木、その両方が見られる被害木に3区分し、被害木の位置（緯度経度、斜面方位、標高）、観察地点から目視できた被害本数を記録した。記録後、既に目視で確認できた個体と異なる個体が確認できた場合は、改めて被害木の調査を行った。調査は、県下の各地域に配属されている林業普及指導員へも依頼し、担当区域内でスギの梢端枯れが見つかった場合に、上記の調査項目とともに写真データを提供してもらい解析資料とした。被害が小集団的に発生していた場所のうち、松本市四賀、辰野町小横川、伊那市長谷、上田市真田町においては被害側枝をサンプリングし、外観、木口および樹皮下の状態、花粉の状態について調査するとともに、各地域の気象条件を気象観測所のデータ（気象庁HP <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>）から確認した。さらに、松本市四賀の梢端部のサンプルについては、異常部の病原体の有無、加害生物とその痕跡の有無を調査した。梢端枯れで赤変した枝葉上では、病原菌等の子実体、菌糸、節足動物によると思われる食痕の有無を実体顕微鏡（Leica S8APO）で確認した。また枝では、樹皮上の菌糸束の有無、樹皮下、形成層の壊死、加害痕の有無を観察した。

Top end dieback of middle-aged *Cryptomeria japonica* forest in Nagano Prefecture.

¹YANAGISAWA, Kenichi, 長野県林業総合センター；²KOYAMA, Yasuhiro, 長野県林業総合センター

3. 結果

(1) 被害の分布

長野県内で今回確認できたスギ梢端枯れ被害の発生市町村を図-1に、市町村別の被害本数と被害総本数を母数とした本数割合を表-1に示す。被害は県内17市町村の山間部各所で確認された。今回確認できた被害本数は辰野町で362本(56.8%)、松本市で75本(11.8%)、伊那市で56本(8.8%)、塩尻市で55本(8.6%)であり、県中部から南部で多かった。

被害本数の多かった辰野町と松本市の被害発生箇所を図-2に示す。今回の調査は、いずれの地域も斜面全域を見ることが出来る谷底の道路沿いで実施したため、道路から見る事が出来ない奥地の被害は記録されていない。しかし、被害が多かった辰野町および松本市の調査地周辺では、スギ造林地は集落周辺に限定されていることが多く、特に辰野町では遠望の利く地形であるため、全体の被害地分布を表現していると判断した。

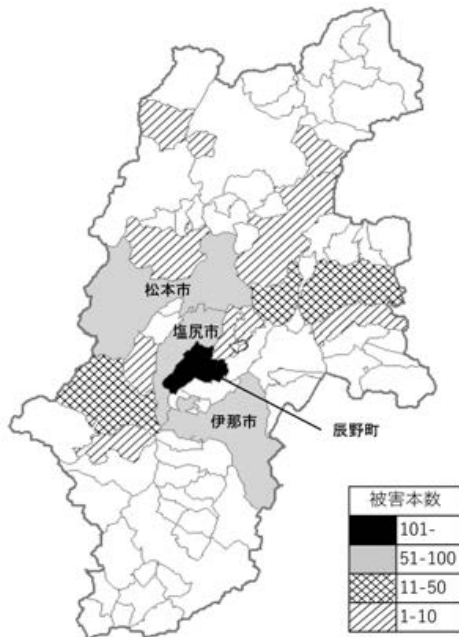


図-1 スギ梢端枯れ被害の発生市町村

辰野町の被害箇所は東方へ流れる横川および小横川により浸食・形成された谷地形内であることが多く、まばらにまたは小集団的に発生していた。いずれも北を中心に北西から北東向き緩傾斜のスギ林の林縁部で被害が目立ち、特に突出した梢端部や林外側の側枝に被害が多かった。一方、対岸の南向き斜面におけるスギ林ではほとんど被害が見られなかった。松本市の被害箇所は、西方へ流れる会田川沿い谷地形内にあり、北向きから北西向き緩傾斜に被害が多く見られた。辰野町同様、林縁部の被害が多く、被害はまばらであるが一部で小集団的に発生していた。いずれの被害木も被害形態はほとんどが梢端部のみの枯れ(84.1%)で、先端が枯れずに側枝のみの枯れ(3.1%)はわずかだった。また梢端枯れ木にクマ剥ぎ等の獣害は見られず、明らかな枯死は見られなかった。植栽初期の幼齢林や、100年を超えるとみられる高齢林には被害が見られず、被害林分は全体として間伐期とみられる50年生前後の林分と

表-1 市町村別被害本数と本数割合

地域	市町村	本数	割合
北部	白馬村	3	0.5%
	須坂市	2	0.3%
	小川村	1	0.2%
中部	松本市	75	11.8%
	塩尻市	55	8.6%
	長和町	13	2.0%
	佐久市	10	1.6%
	下諏訪町	9	1.4%
	上田市	7	1.1%
	岡谷市	5	0.8%
	佐久穂町	3	0.5%
	安曇野市	1	0.2%
南部	辰野町	362	56.8%
	伊那市	56	8.8%
	木曾町	30	4.7%
	上松町	3	0.5%
	木祖村	2	0.3%
計		637	100.0%

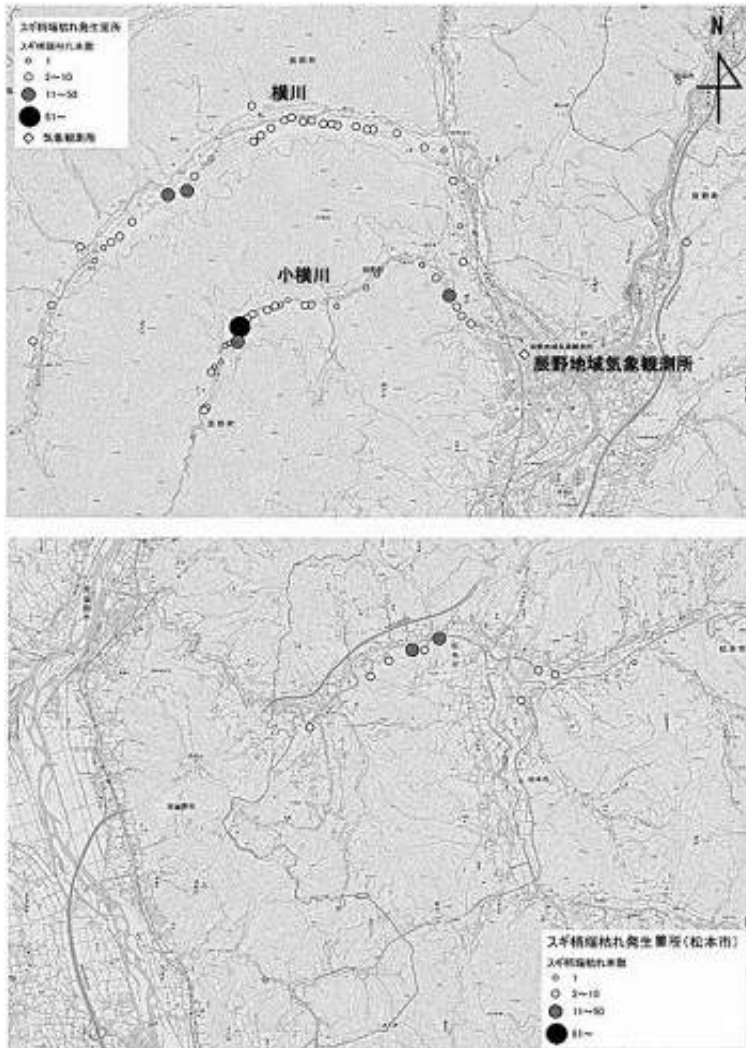


図-2 被害発生位置と被害本数

上：辰野町，下：松本市。

出典：国土地理院ウェブサイト (<https://www.gsi.go.jp/index.html>)、標準地図 (<https://cyberjapandata.gsi.go.jp/xyz/std/{z}/{x}/{y}.png>) をもとに作成。

推定される場所が多かった。なお、筆者が現地調査を行った伊那市、塩尻市、長和町等の現場でもほぼ同様の傾向が観察されており、サンプル採取を行った現場だけが特異な条件ではなかった。

今回データが収集できた長野県下全域の被害木の

斜面方位別被害本数割合を図-3に、標高別被害本数を図-4に示す。斜面方位別被害本数は、北向き斜面 (35.9%)、北西向き斜面 (27.3%)、西向き斜面 (18.7%)、北東向き斜面 (10.7%) の順に多く、東向き斜面や南西向き斜面、傾斜5度以下の平坦地

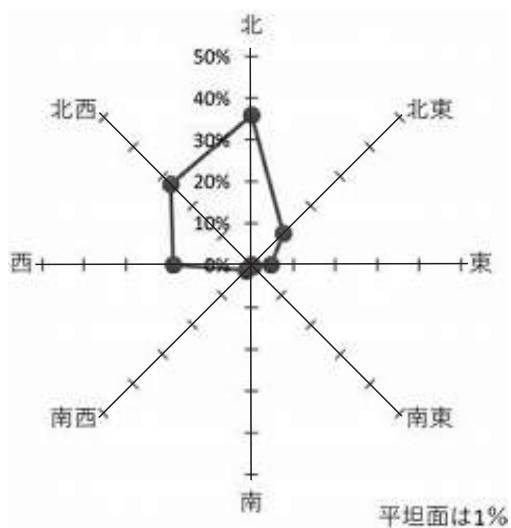


図-3 斜面方位別被害本数割合

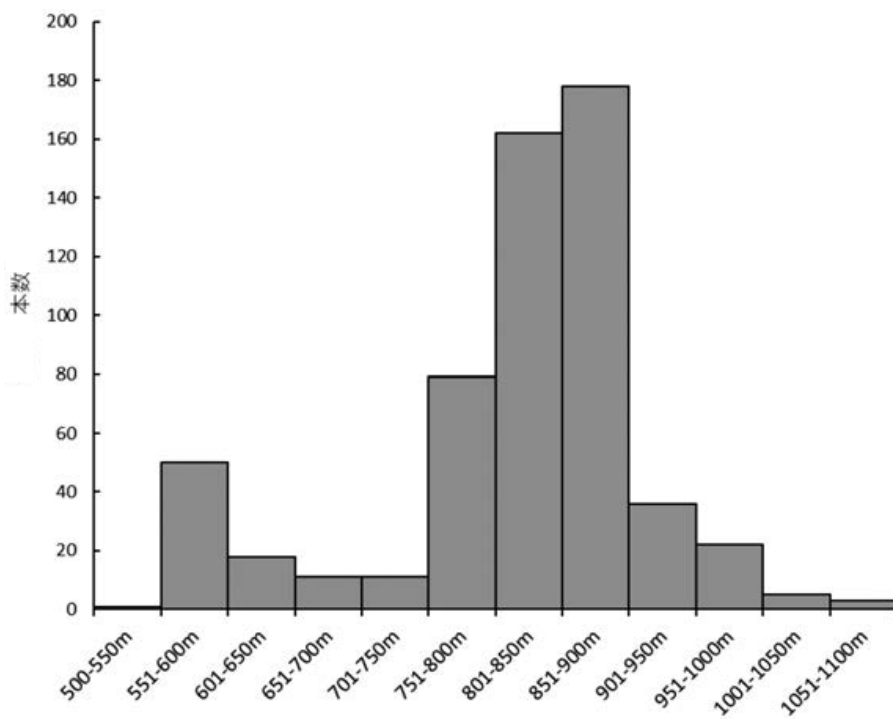


図-4 標高別被害本数

表-2 被害側枝の状態

被害木No.	箇所	サンプル位置	ヤニの滲出	凍傷痕	虫痕跡	病変	雄花	備考
1	辰野町小横川	側枝	無	あり	無	無	無	形成層ヤニあり
2		側枝	無	不明	無	無	無	
3	松本市四賀	主軸	あり	無	あり(キクイムシ類)	無	無	
		側枝	あり	あり	無	無	あり	被害枝の雄花に花粉残る形成層ヤニあり
4	伊那市長谷	側枝	あり	あり	無	無	無	形成層ヤニあり
5		側枝	無	不明	あり(カミキリムシ類)	無	無	
6		側枝	無	不明	無	無	無	
7		側枝	無	不明	無	無	無	
8		側枝	無	不明	無	無	無	
9	上田市真田町	主軸	無	無	無	無	無	
		側枝	無	不明	無	無	あり	被害枝の雄花に花粉残る形成層ヤニあり

では僅かであった。被害は標高500mから1100mの間で発生していた。垂直方向に50m間隔で区分した標高別被害本数は標高750～900m付近が特に多かった。なお、長野県におけるスギの植栽可能標高は、概ね1,000m以下とされており、高標高域で被害が少なかったのは、植栽面積が少ないことによる可能性がある。

(2) 試料として収集した被害木の観察

辰野町小横川、松本市四賀、伊那市長谷、上田市真田町における計9本の被害木の被害側枝の外観、木口および樹皮下の状態、枝葉等の発達状態について調査した結果を表-2に示す。なお、一部の被害側枝について雄花が残っていたため、その雄花について花粉の形成および残存状況を確認した。

被害木No. 1, No. 3, および No. 4の赤変した葉と健全な葉の枝間表皮には、ところどころヤニが滲出し、表皮下部の形成層にヤニが覆うようにして変色していた。また、当該被害側枝の表面には獣害や虫害といった被害痕跡はなく、表皮を剥いで観察したところ、明瞭な境界は認められなかったものの、変色部と健全部が分かれていた。そこで、当該被害側枝を健全な枝分岐部側から変色が見られる先端部側に向かって連続的に切断したところ、分岐部を含む健全部では断面に変色はなく、被害部に到達した付近の断面で変色が見られた(写真-2)。変色の

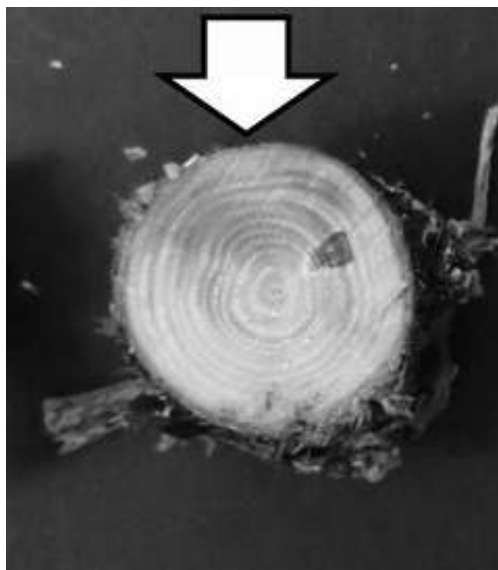


写真-2 被害側枝にみられた凍傷痕
矢印：変色部。

形態は断面の中心付近から広がる扇形で、変色部位は側枝の先端部に近い直立した場所で、側枝ごとに上面や側面など様々な方向で見られたことから、凍傷痕ではないかと判断した。なお、凍傷痕はNo. 3とNo. 9の主軸では観察できず、被害木9個体の被害側枝でも明らかな凍傷痕のある側枝は少なかった。

No. 3と No. 5の樹皮下にキクイムシ類またはカミキリムシ類の痕跡が見られたが、加害痕に樹脂の痕跡がなかったことから、枝が枯死した後の穿孔痕と考えられた。また、黒点枝枯病菌、暗色枝枯病菌等、スギの枯れを引き起こす病原菌の存在を示すような菌糸膜や菌糸束、子実体や分生子は確認されなかった。No. 3とNo. 9の側枝には雄花が付着し、いずれも健全部の雄花は開いており花粉が放出済みだった。一方、被害側枝に付いた雄花の葯の中にはいずれも花粉が残っており、花粉が飛散する前に被害を受けたと推定された。

以上より、病虫害の可能性が小さく、凍傷痕が認められた枝があったことから、気象害の可能性が疑われた。

(3) 被害発生時の気象条件

先に示した被害側枝の観察結果から気象害の可能性が高いと考えられたため、気象害の要因となる気象条件を検討した。サンプリングを行った4箇所被害地に近い気象観測所は、松本、辰野、伊那の気

象観測所であるが、松本と伊那は被害地から距離が離れており、気象条件が異なる可能性がある。辰野町の気象観測所は、サンプリングを行った小横川から直線距離で2.5kmと近く、標高も50m程度しか変わらないことから、被害地の環境条件に近いと推定される。加えて辰野町では、サンプリングを行った小横川とその北にある横川流域で被害本数が最も多かったため、辰野町の気象データで解析を行うこととした。

辰野地域気象観測所の旬別平均気温の平年値(1991～2020年)との比較を図-5に、日気温データを図-6に示す(いずれも2021年11月から2022年5月)。旬別の平均日最高気温・最低気温は、11月上旬から12月下旬までは平年値より高く推移したが、1月上旬から中旬までは低かった。その後、1月下旬から2月上旬までは平年値より高くなったが、2月中旬から再び下がった。旬別平均日最低気温は特に2月下旬で低かった。3月上旬は寒暖差が大きく、その後4月下旬までは平年値より高かったが、5月

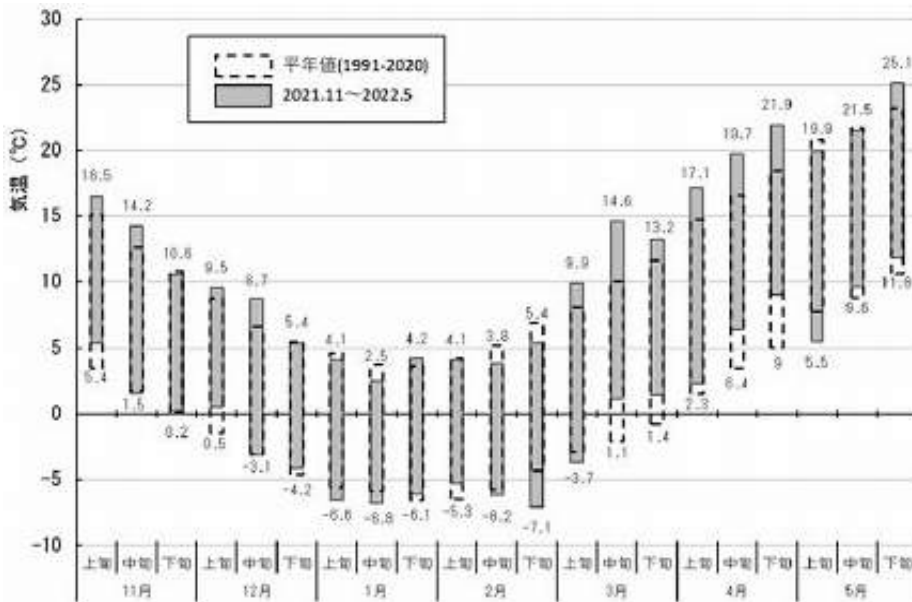


図-5 辰野町の旬別平均気温の平年値との比較

下限：最低気温，上限：最高気温，数値は2021.11～2022.5.

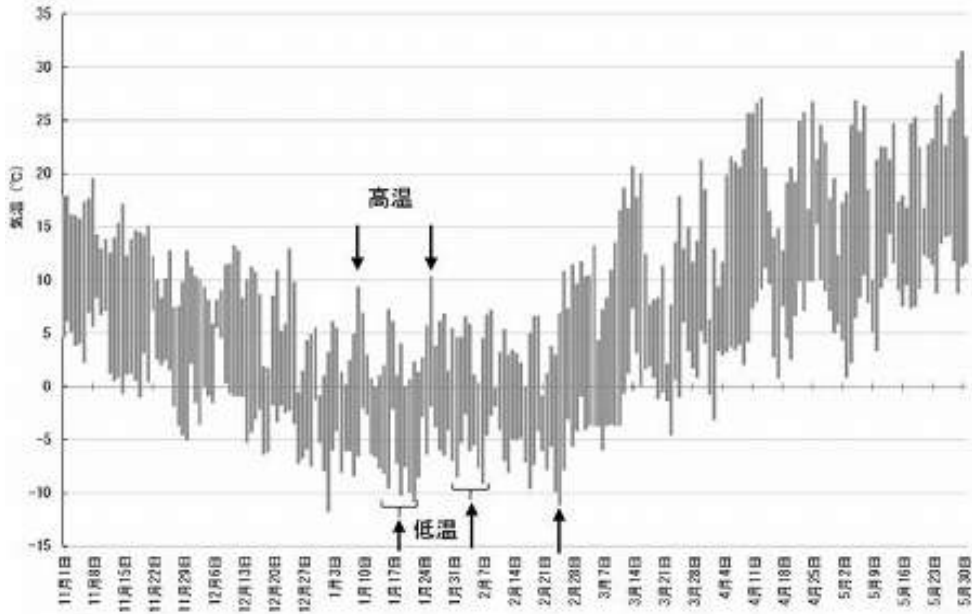


図-6 辰野町の日気温

下限：最低気温，上限：最高気温。

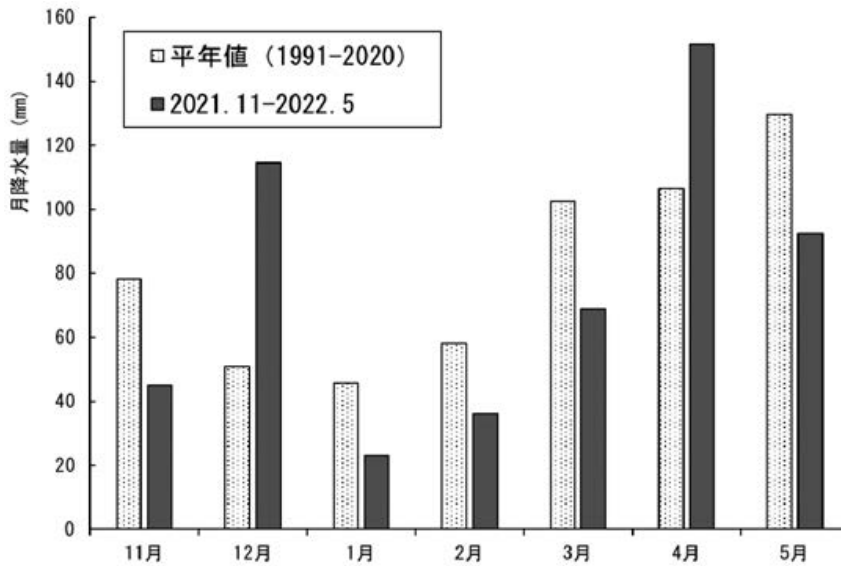


図-7 辰野町の月降水量の平年値との比較

上旬で低かった。旬別の日平均気温と平年値を比較したところ、2月下旬は平年に比べて2.1℃低く、3月中旬と4月下旬はそれぞれ3.9℃と3.2℃高かったが、他の時期は平年値との差は±2.0℃以内に収まっていた。

日気温では、最高気温が1月9日は9.3℃、1月26日は10.3℃となり、この時期としては最高気温が高かった。一方、12月26日、12月31日、1月13日、1月20日、2月10日、2月17日、2月21日は真冬日となり、過去10年の中でも最高気温が氷点下となる日が多かった。さらに、旬別平均日最低気温が特に低かった2月下旬では、最低気温が-10℃前後となる日が多かった。また、3月14日は最高気温が20.6℃と高かったが、3月23日には最低気温が-4.5℃と低く、この期間の寒暖差が特に大きかった。

同期間中の降水量を図-7に示す(2021年11月から5月、辰野地域気象観測所)。月降水量は12月と4月で平年値より多かったが、1月から3月は平年値より少なく乾燥していた。また、期間中の風向は北から北西の風が5割以上と多かった。とはいえ、被害発生時期の風速を日平均風速で見ると平年並みだった。冬季には10mを越えるような最大瞬間風速が観察されたが、20mをこえるような強風はなく、寒風害を誘発するような特定の強風があるとは判断できなかった。

4. 考察

これまでの結果から、今回発生したスギ壮齢林の梢端枯れ被害は、花粉放出前の雄花が被害を受けていたことから花粉放出前に発生したと考えられた。現在、県保健所による花粉の飛散状況調査は行われていないが、松本地域におけるスギ花粉の平均的な飛散状況は、2月下旬から飛散が始まり3月下旬がピーク(下平ら 2017)とされており、この期間までに発生したと推定された。この期間に顕著な低温と寒暖差の大きい気象条件があったこと、また被害は林縁部や突出した梢端部に多く限られた標高帯で広域に発生していたこと、被害の発生方位が北から北西に多いこと、一部の被害側枝には凍傷痕が見ら

れたこと、被害側枝に特異的な菌類や虫害の痕跡がみられなかったことから、被害の原因は気象害と判断した。この時期に壮齢林で起きる主な気象害は凍害、寒風害、凍裂が該当する(森林総研 2019)。今回の調査では凍裂の特徴である幹の裂傷は見られなかったため、凍害または寒風害と考えられた。

サンプリングした被害側枝の多くや松本市四賀と上田市真田町の被害木の梢端部には凍傷痕がなく、北西の風の当たる林縁部で生育していた場合が多いことから、平年より乾燥した気象条件であった1月から3月の間に主に寒風害を受けたことが考えられる。また、辰野町小横川や松本市四賀、伊那市長谷の被害側枝の一部で凍傷痕が見られたことから、凍害の発生も疑われた。凍害は皆伐造林地で厳寒期に氷点下の気温が続くような場所の幼齢木に多いとされる(森林総研 2019)が、スギ壮齢林での被害報告(外館 1985)もあり、今回の被害状況と一致する。また、凍害は陽光により樹温が最も変動する樹木上層あるいは中層に多く、厳寒期における樹幹の凍結と陽光の照射による樹温の急激な変動の繰り返しが主な要因である(岩崎・古川 1970)ことに加え、植物は耐凍性を下回る一時的な低温ストレスでも部分枯れや枯死に結び付く場合がある(丸山 2014)ことから、厳寒期における暖かい日の陽光により耐凍性が一時的に弱まった梢端部や側枝が、再び急激な低温に晒されて部分枯れを引き起こすと推察される。本調査地では、①2022年1月に平年値に比べ暖かかった日があった後に日最低気温が急速に低下した大きな寒暖差が繰り返されたこと、②1月下旬から2月上旬まで平年値に比べ暖かかった日最低気温がその後急激に低下し2月下旬では特に低くなったこと、③3月中旬から下旬に氷点下を伴う大きな寒暖差があったこと、④冬日が多いが真冬日が少ないという県内の特徴(長野地方気象台 1988)において今季は過去10年の中でも真冬日が多かったこと、以上が同時に起きたことが壮齢林の梢端枯れを引き起こす要因となった可能性がある。なお、最高気温が10℃近くを記録した直後に氷点下10℃近くまで下がるような急激な寒暖差が冬季の1月から3月の間

に複数回記録され、かつ真冬日が日立つような気象条件が揃った事例は、過去10年以上見られていない。以上より、花粉が飛散する前の2月下旬から3月下旬までの極端な低温と大きな寒暖差の繰り返しが一地域での凍害発生の要因と考えられた。

一般的に緩傾斜地や寒気溜まりとなりやすい凹地形では凍害、北から北西の寒風の当たる斜面では寒風害が発生しやすい(森林総研 2019)とされる。今回の被害地の多くはどちらの立地条件も当てはまり、梢端部のみの被害が多いこと、被害側枝の一部で凍傷痕がみられたことから、本被害は、全体として見れば、寒風害と凍害の複合被害の可能性が高いと考えられた。被害がまばらである原因は、被害梢端部および被害側枝内の水分状態や遺伝的性質による耐凍性の個体差、微地形など立地条件の違い、梢端部の突出状態による日照条件の違いなどが考えられるが、明確ではなかった。

5. まとめ

2022年春季に長野県中南部を中心にスギ壮齢林の梢端枯れ被害が発生した。被害は北西を中心に北から西向きの緩傾斜地や寒気溜まりとなりやすい凹地形に多く、被害側枝の一部に凍傷痕が見られたことから、原因は気象害であり、寒風害と凍害の複合被害と考えられた。2022年2月下旬から3月下旬までの極端な低温と寒暖差、および乾燥が要因と考えられた。過去に県内のスギの気象害の記録は少ないが、今後も同一箇所でも被害を受ける可能性がある(古武 2018)。また、壮齢林における被害は梢端部で多く発生していたため、今後のスギの生育や材価に影響する可能性がある。今回の調査地内で、ヒノキの幼齢木の枯損が数本見られたがその他の樹種に明確な被害は見られず、被害木はほとんどがスギであった。県内では少雪地で比較的高標高地に植栽されたスギが特に被害に遭いやすいと考えられるが、気象害を防ぐことは困難なため、被害履歴のあるスギ林は再造林の際に植栽樹種の検討が必要である。

6. おわりに

調査を進める中で、関東甲信から東北地域にかけて類似の被害が発生している情報を得た。県内のスギの梢端枯れは気象害が原因であることを考慮すると、同様の立地条件と気象条件が重なる地域で広域的に被害が発生した可能性は十分にあると考えられる。また、被害は梢端部および側枝に集中することから、明らかに梢端枯れが引き金となった枯損木は見られなかったが、一時的な樹勢の衰退や材価への影響が考えられ、今後の被害木の生育状況や材内の状態について更に調査する必要がある。

本調査を進めるにあたり、調査に協力いただいた各地域振興局林務課林業指導普及員、森林保護専門員、またサンプリングに協力いただいた松本広域森林組合および信州上小森林組合の皆様、サンプルの状態を調査いただいた国立研究開発法人 森林研究・整備機構森林総合研究所 微生物生態研究室長の升屋勇人博士にこの場を借りて深く御礼申し上げる。

参考文献

- 長野地方気象台・(財)日本気象協会長野支部(1988) 信州の気候百年誌：63～64
- 岩崎正明・古川 忠(1970) スギ立木の樹体温度変化。日林誌 52(2)：66～68
- 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所(2019) 写真で見る林木の気象害と判定法：44pp
- 丸山 温(2014) 環境ストレスと樹木の応答。樹木医学研究 18(2)：31～34
- 下平奈緒子・山口 蓮・宮島 勲・西村ふさ子・鳥海 宏(2017) 松本地域におけるスギ・ヒノキ花粉飛散状況のまとめ。信州公衆衛生雑誌12(1)：54～55
- 外館聖八朗(1985) スギの寒害による被害状況と上半枯死木の処理方法。岩手県林業試験場成果報告 18：1～12
- 古武 孝(2018) 皆伐造林と凍害のリスク。山林 1613：62～69

(2023.1.24 受理)

論文

‘染井吉野’切枝の樹皮表面の形状や着生植物がクビアカツヤカミキリの産卵選好に与える影響

法眼利幸¹・小田奈津子²

1. はじめに

和歌山県は果実の生産が盛んで、バラ科果実は2020年でウメが全国1位、スモモが4位、モモが5位の生産額を誇っている（和歌山県 2022）。また、県内には染井吉野が植栽されたサクラの名所も多く、県南部には紀伊半島固有種のクマノザクラ自生地がある。一方、隣接する大阪府では特定外来生物であるクビアカツヤカミキリの被害が2015年に確認されて以来、年々被害地域の拡大が続いている（大阪府立環境農林水産総合研究所 2021）。大阪府の被害地域と本県の果実産地は和泉山脈を挟んで隣接していることから、以前より関係機関が連携した定点モニタリングを広域で実施するなど、産地並びにサクラ属樹種の保全に取り組んできた。しかし、2019年に和歌山県かつらぎ町のモモ園地にて県内初の被害が確認され、伐採やネット被覆等の被害対策を行ってきたものの、2021年には紀ノ川流域5市町141園地の果樹（モモ、スモモ、ウメ）459樹でフラスが確認されている（和歌山県 2021）。サクラ属樹種については、2021年7月に和歌山市の‘染井吉野’において県内初の被害が確認され、同年11月時点で3市町の7地点8樹の被害が確認されている。

岩田（2018）はクビアカツヤカミキリの分布拡張の中でもとくに注目すべきは山地への進出であり、山地内では急峻な地形や密な植生などにより、被害木の除去が非常に難しくなるとしている。地形の急峻な本県では、ウメの主産地でありクマノザクラの分布する県南部地域への被害拡大リスク評価のために、山地性バラ科樹種のクビアカツヤカミキリ幼虫の寄主としての適合性を解明しておく必要がある。法眼ら（2019）は、山地性バラ科樹木16種の細枝にクビアカツヤカミキリ孵化幼虫を接種して、一定期

間後の生存と発育状況から評価を行ったところ、カスミザクラを除くサクラ属6樹種とバクチノキが‘染井吉野’と同等かそれ以上に発育が良かったことから、寄主適合性があると考えられた。しかし、昆虫一般に見られるように、クビアカツヤカミキリ成虫の産卵選好性と幼虫の発育適合性は別物であるとされる（岩田 2018）。クビアカツヤカミキリは、樹皮のめくれなどに産卵する（加賀谷 2018）ほか、地衣類下の樹皮にも産卵するとされる（de la Peña *et al.* 2019）。本種と同様に樹皮の隙間などに産卵するスギカミキリにおいては、樹皮の割れ目が多くなる太い樹だと成虫の隠れ場所や産卵場所が多くなることから、被害率が高くなると考えられている（Shibata *et al.* 1994）。クビアカツヤカミキリ成虫においても、樹皮の状態によって産卵選好性が異なる可能性が考えられるため、樹皮の状態が異なる‘染井吉野’の切枝を用いて成虫の産卵選好性を評価した。なお、本試験は本県農業試験場（紀の川市貴志川町）にある環境省の飼養等許可を得た施設で実施した。

2. 材料と方法

(1) 樹皮表面の形状による産卵数の比較

樹皮表面が粗く隙間の多い枝と樹皮表面が滑らかで隙間の少ない枝を、クビアカツヤカミキリ成虫の入った同一の容器内に入れて産卵数を比較した。

2021年6月15日に和歌山県林業試験場（西牟婁郡上富田町）の構内に植栽された‘染井吉野’（約45年生）から、樹皮表面が粗い枝と滑らかな枝を目視によって相対的に選んで採取した。両方の枝ともに樹皮表面に皮目と小枝の脱落跡がみられるが、樹皮表面の粗い枝（以下：粗面枝）は全体的に縦横のひび割れ

Effect of twig surface shape and epiphytes of a cherry tree, *Prunus × yedoensis* on ovipositional preference of red-necked longhorn beetle, *Aromia bungii*.

¹HOUGEN, Toshiyuki, 和歌山県林業試験場；²ODA, Natsuko, 和歌山県林業試験場

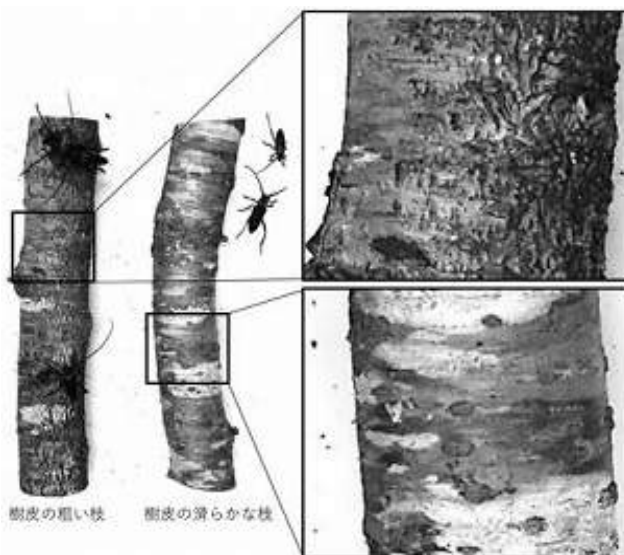


写真-1 クビアカツヤカミキリの‘染井吉野’の樹皮の粗い枝と滑らかな枝への産卵試験実施状況

右上は樹皮の粗い枝、右下は樹皮の滑らかな枝の一部を拡大したもの。
枝は和歌山県林業試験場内に植栽された‘染井吉野’（約45年生）から採取。
樹皮の粗さ、滑らかさは目視により相対的に区分。

がみられ溝やくぼみなどの隙間が多いのに対し、樹皮表面の滑らかな枝（以下：滑面枝）はひび割れがあまりみられず隙間が少ない（写真-1）。供試枝へのコケ類や地衣類といった着生植物の付着は、写真から推定したところ切断面を除く表面積のおよそ10%以内であり、着生植物は除去せずを用いた。枝は長さ30cmに切断後、両端の直径をノギスで測定し平均したものを直径とし、なるべく近い径のものを対にして試験に用いた。クビアカツヤカミキリ成虫は2021年6月21日に大阪府内の‘染井吉野’で捕獲した個体を用いた。捕獲後は直ちに飼育施設に持ち帰り、試験開始まで濾紙を敷いたアイスクリームカップ（直径12.9cm、高さ5.7cm）に1頭ずつ入れ、餌として昆虫ゼリー（株式会社フジコン製高タンパク乳酸ゼリーワイドS）を与えて、23℃で飼育した。

試験は2021年6月24日から7月1日の7日間とし、試験の繰り返し数は5回とした。23℃に調整した部屋で、飼育容器（アステーヂ株式会社製STボックス #45クリア、内計約31cm×44cm×30cm）の底に

A3サイズのコピー用紙を敷き、粗面枝と滑面枝をそれぞれ1本ずつ、接しないように並べた。餌として昆虫ゼリーをそれぞれの枝から等距離に1個ずつ、容器内に2個設置した。その後、容器内にクビアカツヤカミキリのメス成虫3頭と、確実に交尾させる目的でオス成虫2頭を入れた。供試成虫のサイズにより産卵数に大きな違いが生じないよう可能な範囲で体長をそろえた。交尾行動を取り続けると産卵数が少なくなる可能性があるため、試験開始翌日の6月25日にオスを取り出した。その後、試験開始7日後の7月1日にメスを取り出して産下卵数をカウントした。樹皮の隙間に産下されているものは、ナイフで樹皮を除去してカウントした。樹皮表面に付着した着生植物であるコケ類の叢生内や叢生内の樹皮（以下：コケ類内、写真-2）、地衣類の裏面や地衣類下の樹皮（以下：地衣類下）に産下されているものについては（写真-3）、ピンセットやナイフで着生植物と樹皮を除去しながらカウントした。

(2) 樹皮表面の着生植物の有無による産卵数の比較



写真-2 ‘染井吉野’コケ類着生部位に産みつけられたクビアカツヤカミキリの卵
コケ類をある程度除去した状態.

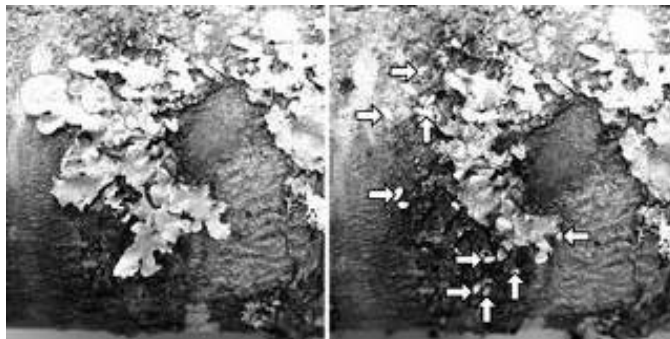


写真-3 ‘染井吉野’に着生した地衣類下の樹皮に産みつけられたクビアカツヤカミキリの卵
左側は地衣類除去前, 右側は地衣類を部分的に除去したもの。
矢印は卵を示す.

クビアカツヤカミキリは樹皮表面の隙間以外にも、地衣類下の樹皮に産卵するとされる (de la Peña *et al.* 2019)。「染井吉野」の枝について樹皮上の着生植物を除去した処理枝と、除去しない枝(無処理枝)を、クビアカツヤカミキリ成虫の入った同一の容器内に入れて産下卵数を比較した。

2021年7月6日に林業試験場の構内に植栽された‘染井吉野’(約45年生)から通直かつ着生植物(コケ類・地衣類)の多い枝1本を目視で選んで採取した。処理枝と無処理枝で枝の太さや樹皮の形状に大きな差が生じないように、枝の基部から1本目は処

理枝、2本目は無処理枝、3本目は処理枝と、交互に振り分け、それぞれ長さ30cmに切断した。その後、切り枝両端の直径をノギスで測定し平均したものを直径とした。処理枝では樹皮を傷つけないように着生植物をピンセットで可能な限り除去した。無処理枝では、切断面を除いた枝表面の着生植物について、1方向から撮影した写真を地衣類、コケ類、樹皮(無附着)の3つに区分し塗り分けたものから目視によりおよその付着割合を推定し、それぞれのおよその表面積を算出した。クビアカツヤカミキリ成虫は2021年6月21日、6月24日、7月5日に大阪府内の

‘染井吉野’で捕獲した個体を用い、(1)と同様に試験開始まで飼育した。

試験は2021年7月7日から7月15日の8日間とした。試験の繰り返し数は5回とし、飼育容器や供試虫数についても(1)と同様とした。7月7日の試験開始翌日の7月8日にオスを、8日後の7月15日にメスを取り出して産下卵数をカウントした。

(3) 樹皮表面に着生植物がみられる枝の産卵場所

樹皮上に着生植物のみられる‘染井吉野’の枝をクビアカツヤカミキリ成虫の入った容器内に入れて、場所別に産みつけられた卵数を比較した。

2022年7月12日に林業試験場の構内に植栽された‘染井吉野’（約45年生）から通直かつ着生植物（コケ類・地衣類）の多い枝を目視で選んで採取した。供試枝（繰り返し数）は7本とし、それぞれ長さ30cmに切断した。その後、切り枝両端の直径をノギスで測定し平均したものを直径とした。切断面を除いた枝表面の着生植物について、表と裏の2方向から撮影した写真を地衣類、コケ類、樹皮（無付着）の3つに区分して塗り分けたものから目視によりおよその付着割合を推定し、それぞれの表面積を算出した。クビアカツヤカミキリ成虫は2022年6月24～30日に大阪府内の‘染井吉野’で捕獲した個体を用い、

(1)と同様に試験開始まで飼育した。

試験は2022年7月27日から8月3日の8日間とした。飼育容器の中央に枝を1本入れるとともに、餌を1個入れた。供試虫数については(1)と同様とした。7月27日の試験開始翌日の7月28日にオスを、8日後の8月3日にメスを取り出して産下卵数を以下に記す位置別にカウントした。すなわち、コケ類の叢生内および叢生下の樹皮に産下された卵は「コケ類内」、地衣類の裏面や地衣類下の樹皮表面および地衣類下に着生しているコケ類内に産下された卵は「地衣類下」、樹皮の表面や隙間に産下された卵は「樹皮」と区分した。

3. 結果

(1) 樹皮表面の形状による産卵数の比較

粗面枝の平均直径（平均±標準偏差）は63.2±4.9mm、滑面枝は62.3±2.9mmであった。容器別の供試枝への総産下卵数は、最も多いもので579個（メス1頭あたり193個）、少ないもので28個（メス1頭あたり9個）とバラツキが大きく、平均（平均±標準偏差）は303±183個となった。産卵数は全ての容器において粗面枝が滑面枝に比べ多かった（図-1）。粗面枝の平均卵数（平均±標準偏差）は248±170個、

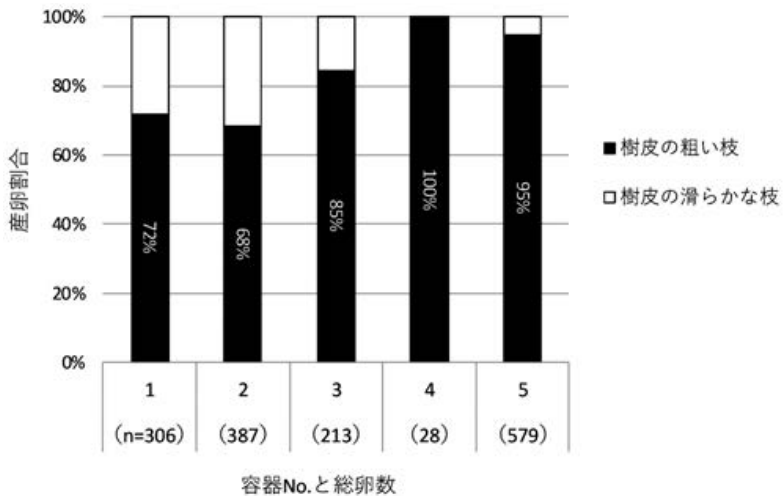


図-1 クビアカツヤカミキリの‘染井吉野’の樹皮の粗い枝と滑らかな枝への産卵割合

滑面枝が 54 ± 44 個、 1 cm^2 あたりの平均卵数は、粗面枝が 0.4 ± 0.3 個、滑面枝が 0.1 ± 0.1 個となった。

産み付けられていた卵の長さはおよそ 2 mm 未満、幅はおよそ 1 mm 未満のごま粒に似た形状で、浦野・加賀谷(2017)の記述とほぼ一致した。卵は白色～黄色～黄緑色のものがみられたが、これについては、産卵直後は白色で、時間の経過とともに黄色～黄緑色に変化することが知られている(浦野 私信)。卵は供試枝全体の樹皮の隙間に満遍なく産下されていた。小さな隙間には卵1個を差し込むように産み付け、大きな隙間には同時に産卵したかどうかは不明だが複数個が産み付けられていた。滑面枝では皮目および細枝の落枝跡への産卵が目立った。一方、表面にそのまま産下されている卵も多少みられた。また、材の腐朽した部分に産下されている事例もみられた。

(2) 樹皮表面の着生植物の有無による産卵数の比較

結果を表-1に示す。処理枝の平均直径(平均±標準偏差)は $63.2 \pm 3.9 \text{ mm}$ 、無処理枝は $64.7 \pm 3.8 \text{ mm}$ とほぼ同じであった。無処理枝の表面積に占める着生植物の割合は、容器ごとに差が認められた。着生植物のうちコケ類では蘚類のサヤゴケ、イトハイゴケ、苔類のフルノコゴケ、地衣類ではマツゲゴケが確認された。

容器別の供試枝への総産下卵数は、最も多いもので 942 個(メス1頭あたり 314 個)、少ないもので 235 個(メス1頭あたり 78 個)、平均±標準偏差は 604 ± 280 個となった。全ての容器において無処理枝が処理枝に比べ産下卵数が多かった。無処理枝では、卵の多くが樹皮表面に付着した着生植物であるコケ類の叢生内や叢生内の樹皮、地衣類の裏面や地衣類下の樹皮表面に産卵されていた。 1 cm^2 あたりの産下卵数の平均(平均±標準偏差)は処理枝が 0.1 ± 0.1 個、無処理枝が 0.8 ± 0.4 個で、無処理枝が処理枝に比べて有意に多かった(対応のあるt検定、 $p < 0.05$)。

(3) 樹皮表面に着生植物がみられる枝の産卵場所

結果を表-2に示す。写真から推算した切断面を除く供試枝表面に占めるおよその割合は、コケ類は平均 21% ($5 \sim 40\%$)、地衣類は 29% ($13 \sim 45\%$)、

着生植物の付着していない樹皮は 50% ($30 \sim 78\%$)であった。

容器別の供試枝への総産下卵数は、最も多いもので $1,356$ 個(メス1頭あたり 452 個)、少ないもので 297 個(メス1頭あたり 99 個)とバラツキがあった。 1 cm^2 あたりの産下卵数の平均(平均±標準偏差)はコケ類内が 1.8 ± 1.1 個、地衣類下が 3.4 ± 1.3 個、樹皮が 0.3 ± 0.1 個となり、地衣類下はコケ類内と樹皮に比べて有意に多く、コケ類内は樹皮に比べて有意に多くなった(Tukeyの多重比較検定)。

4. 考察

樹皮表面の形状による産下卵数の比較では、'染井吉野'供試枝の樹皮表面の粗さや滑らかさについては、あくまで目視による相対的な区分であるものの、樹皮表面の粗さによってクビアカツヤカミキリ成虫の産卵選好性が異なる傾向が認められた(図-1)。クビアカツヤカミキリの被害は'染井吉野'の大径木に多いとされる(石井 2017, 山本・石川 2018)。「染井吉野」は高齢木ほど樹皮が粗くなるとされ(林 2006)、このことが大径木に被害の多い要因の一つである可能性がある。今回の結果は、この考え方を支持するものであった。

次に、樹皮表面の着生植物(コケ類、地衣類)の有無による産下卵数の比較の結果から、クビアカツヤカミキリ成虫が'染井吉野'のコケ類や地衣類といった着生植物のある枝に対して産卵選好性を有すると考えられた(表-1)。また、樹皮表面に着生植物の付着した枝については、樹皮が露出した部分より着生植物が付着した部分に対して産卵選好性があると考えられた(表-1)。さらに着生植物のうちではコケ類より、地衣類を好んで産卵する傾向があると考えられた(表-2)。これは、今回みられた葉状の地衣類下の卵は完全に隠れているのに比べ、コケ類の叢生内の卵は部分的に露出していることが影響している可能性がある。

サクラ属樹種の樹皮の形状は、種、齢、生育環境などによって異なると考えられる。クビアカツヤカミキリの産卵選好性はそうした樹皮の形状に加え、

表-1 クビアカツヤカミキリの‘染井吉野’の着生植物除去枝と無処理枝への産下卵数

容器 No.	供試頭数		処理枝 ^{※1}				無処理枝						
	オス	メス	平均直径 (mm)	表面積 ^{※2} (cm ²)	卵数	1 cmあたり 卵数	平均直径 (mm)	表面積 ^{※2} (cm ²)	表面積に占める割合 ^{※3}			卵数	1 cmあたり 卵数
						樹皮			コケ類	地衣類			
1	2	3	68.1	641.3	127	0.20	64.9	611.3	25%	10%	65%	815	1.33
2	2	3	59.2	557.5	114	0.20	59.3	558.7	70%	5%	25%	121	0.22
3	2	3	59.2	557.3	60	0.11	61.9	583.4	70%	15%	15%	355	0.61
4	2	3	62.2	586.1	75	0.13	67.1	632.4	20%	40%	40%	841	1.33
5	2	3	67.6	660.6	45	0.07	70.1	636.8	40%	30%	30%	468	0.73
平均			63.2	600.6	84	0.14	64.7	604.5	45%	20%	35%	520	0.84

産卵させた期間：令和3年7月7日～7月15日（オスは7月8日に除去）。

供試枝：長さ30cm（‘染井吉野’約45年生の同一枝から採取）。

処理枝と無処理枝の1 cmあたり卵数には有意な差がみられる（対応のある t 検定 p<0.05）。

※1 処理枝：着生するコケ類と地衣類を可能な限り除去したもの。

※2 表面積：切断面を除く枝の表面積。

※3 表面積に占める割合：写真から推定したもの。

表-2 クビアカツヤカミキリの着生植物の付着した‘染井吉野’の枝に対する位置別の産下卵数

容器 No.	供試頭数		平均直径 (mm)	表面積 ^{※1} (cm ²)	表面積に占める割合 ^{※2}			総産下 卵数	位置別の卵数			1 cmあたりの卵数		
	オス	メス			樹皮	地衣類	コケ類		樹皮	地衣類	コケ類	樹皮	地衣類	コケ類
1	2	3	62.3	587.2	40%	25%	35%	1,356	100	917	339	0.4	6.2	1.6
2	2	3	62.3	587.1	48%	13%	40%	482	64	239	179	0.2	3.3	0.8
3	2	3	52.1	490.5	43%	45%	13%	1,014	76	838	100	0.4	3.8	1.6
4	2	3	52.5	495.0	30%	40%	30%	759	81	400	278	0.5	2.0	1.9
5	2	3	61.7	581.5	65%	20%	15%	793	56	367	370	0.1	3.2	4.2
6	2	3	55.2	519.9	78%	15%	8%	297	75	169	53	0.2	2.2	1.4
7	2	3	54.7	515.3	50%	45%	5%	736	34	673	29	0.1	2.9	1.1
平均			57.3	539.5	50%	29%	21%	777	69	515	193	0.3 ^a	3.4 ^b	1.8 ^c

産卵させた期間：令和4年7月7日～7月15日（オスは7月8日に除去）。

供試枝：長さ30cm（‘染井吉野’約45年生から採取）。

異なるアルファベット間には有意な差があることを示す（Tukeyの多重比較検定 p<0.05）。

※1 表面積：切断面以外の枝表面積。

※2 表面積に占める割合：2方向の写真から推定。

着生植物の有無、種、付着状況も加えて総合的に考察する必要があることが明らかとなった。なお、今回得られた知見は、あくまでも‘染井吉野’の切枝を用いた室内試験による結果であるため、今後は野外調査も含めた検討が必要だと思われる。

‘染井吉野’は温暖多雨な地域では蘚苔、地衣類が樹皮に付着するとされ（本田・林 1974）、サクラ類では樹勢の衰えた樹体に対し湿度の高い環境において、地衣類が着生しやすいと考えられる（吉野山「サクラ」対策検討委員会1999）。これらのことと今回

の結果を合わせて考えると、川や池などの水辺の高湿条件に植栽されている高齢の‘染井吉野’は、産卵されやすい可能性が高く、被害発生を注視する必要がある。

今回の結果から、樹皮が粗く、着生植物が付着すると、クビアカツヤカミキリの産卵が行われやすくなることが考えられた。これに対して、コーティング材等で樹皮の隙間を埋めたり、高圧洗浄機等で着生植物を除去することによって産卵抑制ができれば、クビアカツヤカミキリ対策に繋がる可能性がある。ま

た、「こも巻」のような資材で産卵に好適な場所を人為的に作出することで、樹体への産卵を減少させることなども検討すべきだと考える。

謝辞

試験実施にあたり、和歌山県かき・もも研究所の弘岡拓人氏と増田吉彦氏に、とりまとめにあたり、国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所の北島 博氏にご助言頂いた。供試虫捕獲や飼育にあたり、和歌山県林業試験場の大塚康史氏、糸川隆康氏、的場彬通氏、大谷美穂氏、松久保康輔氏、鈴木大輔氏、和歌山県森林整備課の竹内隆介氏、前田周良氏にご協力頂いた。着生植物の同定には、山本好和氏、土永浩史氏、和歌山県自然博物館の川上新一氏にご協力頂いた。この場をお借りして心より御礼申し上げます。本論文は、和歌山県農林水産業競争力アップ技術開発事業「特定外来生物クビアカツヤカミキリの緊急防除技術の開発」における、かき・もも研究所、うめ研究所、林業試験場による共同研究の成果である。

引用文献

- de la Peña Eduardo, Schrader Gritta, Vos Sybren (2019) Pest survey card on *Aromia bungii*. EFSA Supporting publications16, doi:10.2903/sp.efsa.2019.EN-1731
- 林 将之 (2006) 樹皮ハンドブック. 文一総合出版.
- 本田正次・林 弥栄 (1974) 日本のサクラ. 誠文堂新光社.
- 法眼利幸・北島 博・勝木俊雄 (2019) 山地性バラ科樹種の細枝に接種したクビアカツヤカミキリ孵化幼虫の発育. 森林防疫 68 : 99 ~ 103
- 石井 実 (2017) 堺市美原区の公園でクビアカツヤ

カミキリによる桜の被害を確認. 南大阪の昆虫19(2): 14 ~ 16

- 岩田隆太郎 (2018) クビアカツヤカミキリ *Aromia bungii* の現状 : その分類・分布・生態・根絶法. 森林防疫 67 : 189 ~ 216
- 加賀谷悦子 (2018) サクラ・ウメ・モモ等バラ科樹木を加害するクビアカツヤカミキリ *Aromia bungii* の侵入とその防除法. 樹木医学研究 22 : 68 ~ 72
- 大阪府立環境農林水産総合研究所 (2021) クビアカツヤカミキリ被害対策の手引書 (改訂第3版). <https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/21489/00294999/202103tebiki.pdf>, 2022.9.1参照
- Shibata E, Waguchi Y, and Yoneda Y (1994) Role of tree diameter in the damage caused by the sugi bark borer (Coleoptera: Cerambycidae) to the Japanese cedar, *Cryptomeria japonica*. Environ. Entomol. 23(1): 76 ~ 79
- 浦野忠久・加賀谷悦子 (2017) クビアカツヤカミキリ *Aromia bungii* (コウチュウ目: カミキリムシ科) 飼育個体の寿命と生涯産卵数. 関東森林研究 68(1): 25 ~ 28
- 山本優一・石川陽介 (2018) 大阪府におけるクビアカツヤカミキリの発生状況について. 関西病虫研報 60 : 17 ~ 21
- 吉野山「サクラ」対策検討委員会 (1999) 吉野山桜活性化事業追跡調査報告書. 奈良県農林部治山課
- 和歌山県 (2021) クビアカツヤカミキリの侵入防止及び防除対策. <https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070300/d00204085.html>, 2022.3.1参照
- 和歌山県 (2022) 和歌山の果樹 令和4年7月. https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070300/kajupanf/fruit_d/fil/kajyu2022.pdf, 2022.9.1参照 (2023.1.25 受理)

解説

新たな防除マニュアル「マツ材線虫病にどう対処するかー防除対策の考え方と実践ー」について

中村克典¹

1. はじめに

令和4年3月に、マツ材線虫病防除に関する小冊子「マツ材線虫病にどう対処するかー防除対策の考え方と実践ー」が発行された(図-1)。この冊子は、さまざまな立場から松くい虫・マツ材線虫病対策に取り組む実務者の方々に向けて、最近の研究の成果や、マツ材線虫病防除を巡る近年の社会情勢の変化も踏まえつつ、被害対策の基本的な考え方や技術を解説したものである。なお、この小冊子は、国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所交付金プロジェクト「変容する松くい虫対策技術を反映した新たな防除マニュアル」(課題番号201902)により、森林総合研究所、石川県農林総合研究セン

ター林業研究所、山口県農林総合技術センター、鹿児島県森林総合技術センターとの共同研究の成果として作成されたものである。

本稿は、この冊子の内容を簡単に紹介しつつ補足的な情報等を示したものであり、ぜひ冊子本体とあわせてお読みいただきたい。冊子は各都道府県森林保護担当部署ならびに林業研究機関、北海道を除く各森林管理局・森林管理署、マツ材線虫病防除に関わるNPO等に配布済みであり、冊子体ではすでに在庫が切れた状態であるが、森林総合研究所ホームページ(下記)からPDF版が入手可能である。

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/5th-chuukiseika11.html>

2. 本冊子の特徴

マツ材線虫病、すなわち松くい虫被害対策に関するマニュアルと言え、森林総合研究所も含む様々な団体や自治体などから、数多くの種類のものがすでに発行され、普及している。そのような中で本冊子を作成した理由として、ひとつには新たな知見や近年の社会情勢に対応したup-to-dateな情報を提供したいということがあった。また、これまでのマニュアル類で触れられなかった、あるいは具体的には提示されることのなかった、現場の条件に合わせた防除方針の設定という問題に取り組みたいということもあった。地域の実情に合わせた防除方針に基づいて、長期的、広域的な防除の進め方を考えることこそ、防除における「戦略」と言えるのではないかと筆者は考えるのだが、本冊子の中では、多義的で直感的な理解が容易でない「戦略」という言葉の使用はあえて避けた。それはさておき、防除の方針、枠組みといった点に重点を置いて解説をすすめてい



図-1 本冊子の表紙

A newly released booklet titled "Dealing with pine wilt disease - policy-making and implementation of control measures -".

¹ NAKAMURA, Katsunori, 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所東北支所

るところは、本冊子のひとつの特徴と言えるだろう。一方で、個別の防除手法の詳細（たとえば、伐倒くん蒸処理の具体的な手順や、予防散布における適切な散布時期の設定など）については説明しておらず、その点で、本冊子は本来の意味での「マニュアル」とはなっていないかもしれない。しかし、それらの情報は従来のマニュアルや解説本、あるいは薬剤や資材の取扱説明書に詳しく述べられているので、相補的に参照いただければと思う。

そうは言いつつも、冊子後半の各論部分では防除技術に関する網羅的な解説も行っている。この中では、個別の防除手法の解説に先立ち、その前提となる被害木探査や材線虫病の診断といった項目についてもしっかりと記述した（冊子P12～15；以下、引用中の“P”は冊子でのページを示す）。個別防除手法の解説のうち、伐倒くん蒸に関する部分では、現行で主流となっている上面被覆式（かぶせ式）が使えない場所でも適用できる全面被覆式（あめ玉式）の処理方法（P16；江崎 2022）や、農業不使用の代替技術となる成虫逸出抑制法（P18；杉本 2022）を取り上げ、活用を推奨している。予防散布の関連では、防除効果検証のため国内各地で行われた試験の中から詳細な検証に耐えうるデータを3例（長崎県、石川県、山形県）選定し、掲載した（P20）。さらに、直接的な防除手法だけでなく、予防伐採や樹種転換、マツノマダラカミキリ成虫活動期間中のマツ類の伐採やマツ材の移動の制限、監視や防除活動を容易にするための作業道整備、下刈り・落ち葉掻き等の林内整備など、マツ林を守りやすくするための活動や施策の重要性についても解説を加えた（P22～23）。

前述の通り、本冊子では防除の実務者を主な読者層と想定し、必要な情報を過不足なく提供できるよう心がけた。この方針に沿って、冊子には筆者らが日常の業務でよく遭遇する問い合わせ事項も適宜取り込んだ（例えば、「ニセマツノザイセンチュウは問題にならないのか（P4）」、「マツノマダラカミキリの飛翔距離はどれくらいか（P5）」、「材線虫病の早期検出はできないのか（P12）」、「不妊化虫放飼で防除できないのか（P17）」、「被害拡大は温暖化の

影響か（P23）」など）。それらも含め、より発展的な内容や議論を深めたい内容については本文から切り出し、「コラム」という形で囲み記事にまとめて示した。

3. 防除方針検討のためのフローチャート

強力な病害であるマツ材線虫病に対し、被害対策の基本は「徹底防除」に尽きる。それはその通りなのだが、例えば被害が既に周辺に蔓延し、防除のための予算や労力が完全に不足している状況下で、徹底防除の方針を掲げ続けるというのは破綻している。では、どのような状況であればどのように対処すればよいのか、ということになるが、このことについて明確に言及した解説や手引き書は、筆者の知る限り存在しなかった。

そこで、本冊子を作成するに当たって、簡単な4つの質問にイエス・ノーで答えることで、さまざまな状況下で採られるべき防除方針に至るフローチャートを考案し、掲載した（P8；図-2）。4つの質問とは、温度条件（温暖地か、寒冷地か）、周辺被害地の状況、当該マツ林の防除優先度、そして予算に関するものである。温度は変温動物であるマツノザイセンチュウやマツノマダラカミキリの活動を通じて、また周辺被害地は感染源の有無という点でマツ材線虫病の侵入や被害拡大のしやすさに関わる要因である。さらに、防除優先度や予算は実際に防除をすすめる際の順序や規模を規定する要因となっている。いずれも防除方針を検討する際に必ず考慮されるべき条件と言える。ここで、温度条件については10～12℃、周辺感染源からの距離については3～5kmという具体的な判断の基準値を提示した。これらの数値は実験的な事実に基づいたものというよりむしろ、経験論的に設定されたものである。というのも、マツ材線虫病による被害は野外の現象であって、被害発生に関係する要因はあまりに多く、またばらつきも大きいので、単純化された実験系での測定値を直接適応することはむずかしく、全体的な傾向を把握するには経験に頼らざるを得ないと考えたからである。同様の理由で、提示する基準値に

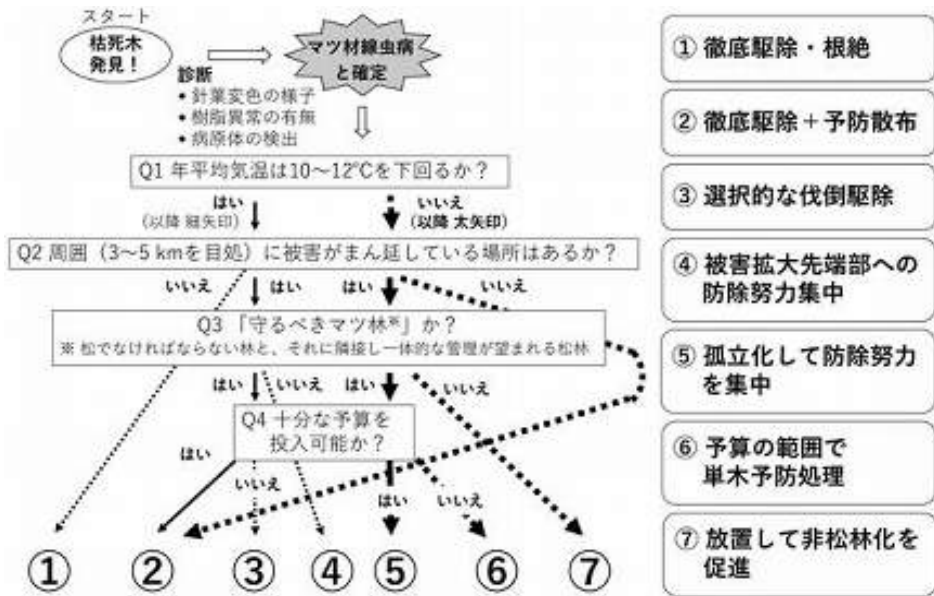


図-2 マツ材線虫病への対応方針を考えるためのフローチャート

は10～12℃、あるいは3～5 kmという幅をもたせざるを得なかった。そして、これらの数値は地域の実情に合わせて「経験的に」調整される必要があるかもしれない。このようなことも含め、このフローチャートは初めての試みとして作成されたものであり、今後改善される余地は多く残されていると考

えている。
4つの質問に基づき、推奨される防除方針を7つに整理して示したところも、本冊子での新たな取り組みである (P 9～10、図-2)。以下、これらの防除方針について説明する

① 徹底駆除・根絶

伐倒駆除を徹底することによりマツ材線虫病の根絶を目指すもので、寒冷地で、かつ周辺に被害の蔓延が見られない場合に推奨される方針である。逆に言えば、伐倒駆除の徹底だけでマツ材線虫病を根絶できるのは、寒冷地でかつ周辺に被害の蔓延が見られない場合だけである、というのが筆者らの見解である。実際に、青森県や岩手県の先端被害地ではこの方針に基づいたマツ材線虫病対策が実施されてい

るが、被害木の見落としや周辺地域での本病の被害拡大により苦戦を強いられている場所も少なくない。

徹底した伐倒駆除を実施するには、高精度な探査により被害木を確実に見つけ出し、その全てを着実に駆除する体制が必要となる。この際、マツノザイセンチュウの検出の有無を駆除対象木選定の必須要件とすべきではない。というのは、伝統的なベールマン法のみならず、高精度な検出キットを適用したとしても、罹病木からのマツノザイセンチュウの検出効率は100%とはならないからである。徹底駆除が求められる現場では、「疑わしきは駆除」を原則として対応すべきである。なお、寒冷地では感染から発症までに時間がかかる木 (潜在感染木；二井2017) が発生しやすく、このような木も可能な限り適期に駆除することが望まれる。具体的には、周辺木を含めて皆伐するか (伐採木は駆除処理または搬出利用)、あるいは周辺木への樹脂滲出調査 (P13) により異常木を選定し駆除することが考えられる。

このように、「徹底駆除でマツ材線虫病を根絶」というのは一見簡単なことに思えるが、実際には高

い技術と相応の予算を要する方策である。被害が一定量を超えたら適用は現実的に不可能であり、別の防除方針を模索すべきである。

② 徹底駆除+予防散布

被害が拡大しにくい寒冷地であるが周辺でそれなりの被害の蔓延が認められる場合、あるいは温暖地であって周辺に被害蔓延地がみられない場合（典型的には、離島で少数の被害木が発生したような場合）等に推奨される方針である。防除の実施手順は①に準じるが、周辺被害地ないし見落とされた被害木などからのマツノマダラカミキリ成虫の飛来が想定されるため、予防散布の導入を推奨している。一方、予防散布の実施にはコストに加えて危被害（人を含めた防除対象以外の生物への被害）への対策や地元の理解など、さまざまな要件をクリアする必要がある、この点も、方針策定の際の重要な検討事項となるだろう。

マツ材線虫病が流行する中で重点的な防除により維持されてきた各地の海岸マツ林などでは、長年にわたる被害により周辺のマツ林が消失し、結果的に「周辺に被害蔓延地がみられない地域」となっている場合があり、このような場所では実際に②の方針に沿った防除によりマツ林が守られている。限定された「守るべきマツ林」の維持・存続に向けて、最終的に目指すべき防除のあり方が示されているものと考えている。

③ 選択的な伐倒駆除

寒冷地で、広いマツ林を守りたいが、被害が一定程度拡大してしまっても全量駆除を行うには予算や労力が不足しているような場合に適用が考えられる方針である。被害木の針葉変色時期を目安に、マツノマダラカミキリが生息している可能性の高い木を選別して、選択的に駆除することで、伐倒駆除作業の効率化が図られる（小林 2005；星崎ら 2005）。この防除方針は秋田県立大学の名誉教授であった小林一三氏が“秋田方式”と命名し、提唱してきたものである。

「低コストな伐倒駆除」としてこの方法の導入を検討したい、というような問い合わせを受けること

があるが、この方法は寒冷地限定のものであり、どこでも適用可能というわけではない。本冊子のフローチャートに従ってもらえば、このような誤った判断は回避される。また、この方法では、少ないながらもマツノマダラカミキリに産卵された木が駆除対象から外れる可能性がある点も強調しておきたい。この方法はそのような「少ない駆除漏れ」を許容することを前提としているものであり、被害先端地等の全量駆除が望まれる地域への適用は推奨しない。

この方法が適用される場面でもマツノマダラカミキリ成虫の飛来が想定されることから、可能であれば予防散布を併用することが望ましい。

④ 被害拡大先端部への防除努力集中

寒冷地でマツ材線虫病の被害拡大が一定程度抑制されているはずであるにも関わらず、全量駆除が困難なレベルの被害が発生している地域は少なくない。「守るべきマツ林」でなければ被害は放置されることが多いが、放置されたマツ林であっても寒冷な気候のためマツ林が壊滅するには至らず、単木、あるいはパッチ状にマツが残存する例もよく見られる。このようにマツ林が壊滅を免れるがために、逆に潜在的な感染源が維持されてしまう、という寒冷地の事情に対処すべく設定したのがこの方針である。ここでは、防除の目標を「守るべき松林（あるいは地域）への被害拡大の抑制」とし、守るべき松林（地域）に面した区域で集中的に防除を実行することが求められている。

具体的な手法としては、②や③に準じた防除活動を被害拡大先端部に限定して展開することが想定されるが、場合によっては⑦にある非マツ林化・樹種転換というオプションの採用が考慮されてもよいだろう。

⑤ 孤立化して防除努力を集中

マツノマダラカミキリやマツノザイセンチュウの活動が活発で被害が拡大しやすい温暖地で、被害蔓延地に近接するマツやマツ林を守り切ることは至難である。このような条件下で「守るべきマツ林」を維持しようとするなら、その周辺数キロの範囲のマツやマツ林で伐採除去・樹種転換をすすめる、ある

いは予防散布を行ってバッファエリアとするなどして(孤立化)、感染源となる被害蔓延地からの影響を受けにくくした上で、域内での防除を徹底する、という方針が推奨される(②での説明も参照)。

⑥ 予算の範囲で単木予防処理

マツ材線虫病被害の抑制が困難な温暖地であって、被害蔓延地またはこれに隣接するような場所で、予算はないがマツ林をまるごと守りたい、というのは実現不可能な願望である。このような場合には、特に重要なマツを選定し、樹幹注入や単木的な予防散布等によって守り切る、という方針が適切で現実的な選択肢となる。

⑦ 放置して非松林化を促進

マツ材線虫病被害の抑制が困難な地域のマツ林で一旦被害が蔓延してしまえば、これを抑制するには莫大な予算と労力が必要となる。努力したにも関わらず材線虫病の勢力にかなわず、結局マツ林が崩壊するという結末も十分に予想される事態である。そこがどうしても守らなければならないマツ林というわけでないなら、無駄な予算や労力をかけるまでもなく、放置してマツ材線虫病でマツが枯れるに任せるというのも、ひとつの有力な選択肢となる。消極的な対応と思われがちだが、結果として一定の範囲にわたってマツ林がなくなれば、そこでマツ材線虫病が発生することはなくなり、さらに守るべきマツ林の孤立化にもつながることから(⑤での説明を参照)、材線虫病対策における有効なオプションと位置付けることができる。チップ化や燃料利用など、駆除処理を兼ねた有効活用が可能であるなら、枯死木・健全木をまとめて皆伐し搬出利用するのものと一つの選択肢である(中村・大塚 2019)。

ここで「放置」としたのは、全く何もしなくてよい、という意味ではない。折損や倒木による危被害が予想される場合には枯死木は適切に処理されるべ

きであるし、マツが枯れた跡地には植栽が必要になる場合もあるだろう。

4. おわりに

繰り返しになるが、本冊子で提示したフローチャートや、それに従って防除方針を7つに整理して示すというやり方は初の試みであり、さまざまな部分でさらなる改良が必要となることは間違いない。そのように初歩的なものではあるが、地域の条件や被害状況に合わせて適切な防除方針を検討するための有用なツールを提供できたものと信じている。本冊子が、各地で行われているマツ材線虫病対策のお役に立つことがあれば幸いです。

引用文献

- 江崎功二郎(2022) あめ玉式伐倒くん蒸処理法の手順と作業時間. 森林防疫 71: 17~22
- 二井一禎(2017) 潜在感染木と松枯れ防除戦略. 森林防疫 66: 48~55
- 星崎和彦・佐野さやか・桜庭秀喜・田淵範子・吉田麻美・及川夕子・蒔田明史・小林一三(2005) 被害木の炭化によるマツ材線虫病の防除: 毎回昆虫抑制のための戦略と秋田の海岸マツ林における取り組み. 東北森林科学会誌 10: 82~89
- 小林一三(2005) 松くい虫被害の研究および対策の今昔物語(2)冷涼な地に適した防除システムの構築に向けて. 林業と薬剤 171: 7~10
- 中村克典・大塚生美(2019) 森林保護と林業のビジネス化: マツ枯れが地域をつなく. 日本林業調査会, 東京
- 杉本博之・渡辺雅治・千葉のぞみ(2022) 環境に配慮した伐倒駆除マツノマダラカミキリ逸出抑制法. グリーン・エージ 580: 20~23
(2022.11.16 受理)

記録

東京大学北海道演習林における虫害の観察記録 —1980年からの43年間—

井口和信¹

1. はじめに

東京大学北海道演習林（以下、北演）では、自然生態系の諸機能を重視した林分施業法によって、持続的な森林経営を目指している。その基本原則として、地力を維持し諸害に抵抗力が高い健全な林を造成していくことが謳われている。

森林被害の一つに虫害がある。通常、森林と昆虫類による食害の間にはバランスが保たれていて被害として認識されるレベルまでは食害されないが、時としてバランスが崩れて被害が発生することがある。著者は43年間、現場での森林管理に従事し、さまざまな虫害を経験してきた。また、北演では2013年からは森林被害巡林調査（以下、巡林調査）として、分担した調査地域において定期的（6月、8月、10月）に森林被害の調査を行っている。本報では、43年間の観察と巡林調査の主な記録を紹介する。

2. 東京大学北海道演習林の概要（東京大学北海道演習林 2021）

北演は北海道中央部、十勝岳連峰の南西に連なり石狩川水系空知川の上流部に位置している。面積は22,717haで天然林が大半を占め、人工林はトドマツを中心に3,300haにおよぶ。標高は190m（北西端）から1,459m（北東端・大麓山）で、地形は概ね緩やかである。気候は内陸性で寒暖の差が大きく、樹木園（標高230m）における年平均気温は6.6℃（最高極値35.9℃、最低極値-25.7℃）、平均年間降水量1,200mmである（2011～2020年の平均）。自然植生は、冷温帯の夏緑広葉樹林から亜寒帯の常緑針葉樹林への移行帯であり、北方針広混交林帯に位置している。自生する維管束植物は、2013年末現在で被子植物806種（うち木本161種）、裸子植物8種、シダ

植物80種の計118科415属894種の分類群が確認されている。主な樹種は、針葉樹ではトドマツ、エゾマツ、アカエゾマツ、広葉樹ではダケカンバ、シナノキ、イタヤカエデ、ウダイカンバ、ミズナラ、ニレ類、ハリギリなどである。

3. 観察記録

(1) キバネセセリによるハリギリ被害

キバネセセリ（*Bibasis aquilina chrysaeglia*）は、セセリチョウ科に属する蝶である。北海道では平地から山地までに広く生息し、幼虫の食樹はハリギリである。幼虫は葉を折り返して綴った簡易な巣を作るため、本種による食害は比較的簡単に識別できる。



写真-1 キバネセセリによるハリギリ被害木

Observational records of insect damages in the University of Tokyo Hokkaido Forest —43 years since 1980—.

¹IGUCHI, Kazunobu, 東京大学北海道演習林

北演における本種の大発生は1980年に起こった。その10年ほど前から局所的な被害が確認されており、本種の加害を受けると枝枯れをおこし、数年のうちに枯死する場合があることがすでに明らかにされていた（写真-1）。そのため、1980年の大発生の際には、樹冠の2/3以上の葉を食害され枯死する可能性が高いと判断された712本（材積：2,130m³）が伐倒処理された（柴田・井口 1981）。この時は、旭川木材市場にハリギリの良質大径材が一度に出回ったため、ハリギリの材価が下落したほどである。枯死しない場合でも、枝枯れした部分から幹部まで、カミキリムシなどの穿孔虫による二次的な加害や腐朽が進み、材質が著しく低下することがあるため注意が必要である。その後、枯死木が大量に発生するような被害は起こっていないが、単木的な被害は時々観察され、2019年の巡林調査では北演全域で食害が確認された。



写真-2 バーナーによるマツカレハ越冬幼虫の焼却

(2) マツカレハによるストロブマツ被害

マツカレハ (*Dendrolimus spectabilis*) は、カレハガ科に属する蛾である。幼虫は主にマツ属の針葉を食害する。北海道での被害発生は少なく、庭木のマツなどで時々食害が確認される程度である。

北演での大発生は、1917年植栽のストロブマツの造林地で1985年に起こった。被害が最も激しかったのは、間伐試験地（面積：約1ha）の無伐採区であった。ここではストロブマツの樹冠の発達が悪く着葉量も少なかったこともあり、ほとんどの個体がマツカレハ幼虫に全葉を食害され、翌年に枯死した（有沢ら 1986）。本種による北海道での大発生例がそれまでに無かったことと、被害地域が見本林に隣接していたことから、北演では防除を実施した。まず、1985年秋には、幹にムシロを巻いて越冬のために幹を降りてきた幼虫を捕獲して殺処理し、さらに樹皮の割れ目に入った幼虫をバーナーで焼却した（写真-2）。翌春には、見本林を含め被害地周辺のマツ類の樹冠全体に地上から殺虫剤散布を実施した。また、激害地（面積：約4ha）については皆伐を実施した。これらに加えて、越冬明け幼虫には寄生

バチや寄生バエが高率で寄生していたこともあり、大発生は1年で終息した。その後、北演内での被害は確認されていない。

(3) コナラシギゾウムシによるミズナラ堅果被害

ミズナラ堅果が発芽不能となる主な原因は、コナラシギゾウムシ (*Curculio dentipes*, 写真-3) 幼虫によって、胚が食害されることである（Ueda 2000; Maeto and Ozaki 2003）。

1990年頃には、北海道各地でミズナラ苗木の生産が積極的に行われ、北演でもミズナラ人工林が各所に造成された。ミズナラの結実量は年次変動が大きいが、堅果の作柄が異なる3年（1987年、1990年、1993年）に採取した堅果の虫害率を母樹単位で調べた。その結果、豊作年には虫害率が低く、また母樹間で虫害率の差が小さかった。逆に、作柄の悪い年には平均虫害率が高いが、母樹間の差も大きく、発芽可能な堅果の割合が高い母樹もみられた（井口 1994）。

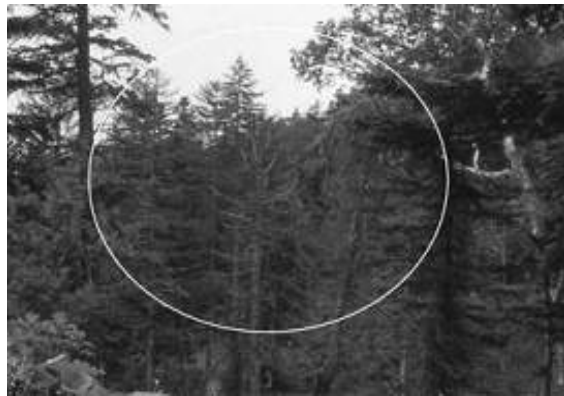


写真-4 ヤツバキクイムシにより集団で枯死したエゾマツ (円内)

(4) ヤツバキクイムシによるエゾマツ被害

ヤツバキクイムシ (*Ips typographus japonicus*) は穿孔性甲虫の1種で、基亜種を含め、ヨーロッパからアジアまでのトウヒ類の代表的な害虫として知られている。

とくに、台風などの大規模な森林攪乱後には、風害を免れたエゾマツ残存木が本種の加害によって大量に枯死する。1981年の台風15号のあとには、北演においても約49,000㎡の虫害木が発生し、伐倒処理を行った。しかし、通常の森林施業でも環境が変化して本種の加害を引き起こし枯死木が発生するため(写真-4)、本種による枯死木の累積量ははるかに甚大である。北演における標高600m以上のエゾマツが優占する天然林で択伐施業を実施すると、その

後3年間ほど被害が発生する。衰退木や老齢木が虫害を受けやすいという傾向は認められないが(井口ら1999)、虫害木は造材作業による環境攪乱が大きい土場周辺に多く発生するため、土場に隣接するエゾマツをあらかじめ伐採しておくことが全体の被害量を抑えるために有効である(井口ら1993)。巡林調査では2019年に小規模ながらエゾマツの集団枯死が各所で確認された。本種はアカエゾマツにおいても同様な被害を発生させることが推測される。北演ではアカエゾマツ造林地が間伐期を迎えるため、虫害の発生に配慮した慎重な取り扱いが必要である。

(5) シナノキハムグリハバチによるシナ類被害

シナノキハムグリハバチ (*Parna kamijoi*) は、

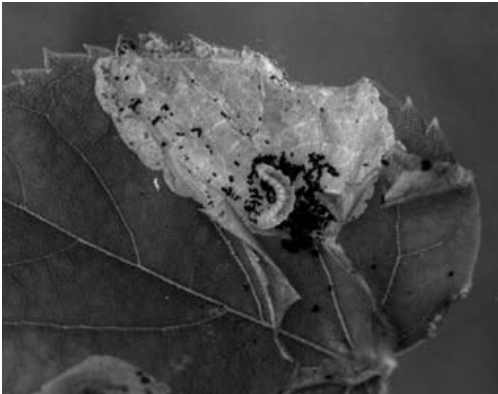


写真-5 シナノキハムグリハバチの幼虫

潜葉性の膜翅目昆虫である（写真-5）。幼虫の摂食期間は5月中旬から6月中旬までの1ヶ月程度である。北演では1988～2003年の間に大発生が3年間隔で6回観察された。本種は蛹の長期休眠により発育に3年を要するが、特定の cohorts（集団）のみ個体数が多く、その結果大発生が3年おきにみられる。しかし、休眠に入った蛹のうち5%前後は3年周期から外れて羽化する（井口ら 1998；井口ら 2000；井口・尾崎 2006）。

シナ類は北演において優占率が高い樹種である。食害が確認された当初は、森林被害というほどの密度ではなかった。しかし、それが3年間隔で繰り返されるたびに、被害地域の拡大、食害程度の増加が続いた。本種の加害による枯死木の発生はこれまで確認されていないが、枝枯れが目立つようになり、蓄積されたストレスは相当大きいものと推察される。巡林調査では、2014年、2015年、2017年、2020年、2022年に食害が記録されている。その中で2017年、2020年の食害は広域にわたり、また激甚であった。今後、適切な対策をとるためにも、食害が樹木の生育に対する影響を調査、解明していく必要がある。

(6) イチイカタカイガラムシによるイチイ被害

イチイカタカイガラムシ (*Parthenolecanium pomericum*, 写真-6) は、もともと日本には分布して

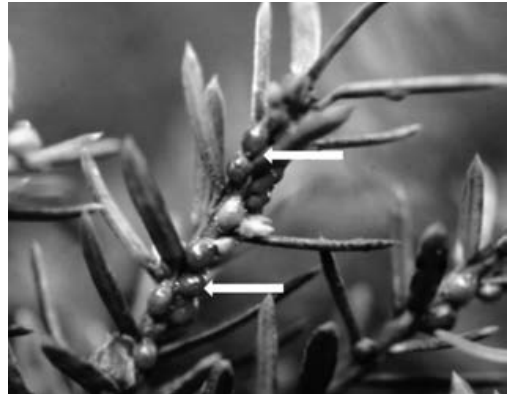


写真-6 イチイカタカイガラムシ (矢印)

いなかったが、1990年頃にヨーロッパから北海道に侵入したものと推測され、被害を受けたイチイの枝は、本種の排出物に繁殖する菌類の影響で煤けたように黒くなる。著しい被害が数年続くと枯死することもある（尾崎 1998）。

富良野地方では、1995年より被害が顕在化した。北演にも庭木のイチイの様子がおかしいと問い合わせが多く寄せられた。しかし、北海道にはイチイカタカイガラムシの天敵がいないため、薬剤防除を行わないと被害がなかなか終息しない。被害が激しかった1996年前後には、市街地にあるほとんどのイチイに本種の加害が確認された。ただ不思議なことに、北演の天然林に生育するイチイでは本種の加害が確認されなかった。その後も庭木での発生は継続しているが、天然林では確認されていない。

(7) カラマツハラアカハバチによるカラマツ被害

北海道では、カラマツハラアカハバチ (*Pristiphora erichsoni*) による被害は1930年代から報告されている。個々の林分における大発生は数年で終息するが、場所を移しながら被害が継続する（鎌田 2005）。全道的には2005年から現在まで被害が継続しているが（北海道水産林務部林務局森林整備課 2022）、北演とその周辺では2009年から2016年頃まで食害が認められた。

2014年の巡林調査で人工林作業級内の8ヶ所のカ



写真-7 カラマツハラアカハバチによるカラマツ被害林（円内）

ラマツ林において葉食被害が記録されている（写真-7）。2014年以降には、集団で枯死するカラマツも散見されたが、連年の食害で衰弱したところに二次的に穿孔虫による加害を受けたことが枯死の原因と推測された。

(8) 山火再生林のウダイカンバに発生した虫害

・シャクガ類

北演で大正から昭和初期に発生した山火事跡地の中には、ウダイカンバを主体とする再生林が約1,500haある。この山火再生林のうち約100haにおいて、1995年6月にナミスジフユナミシャク (*Operophtera brumata*) などのシャクガ類による虫害が発生した。全葉を食害された激害木30本は、翌年に枯死したが、シャク

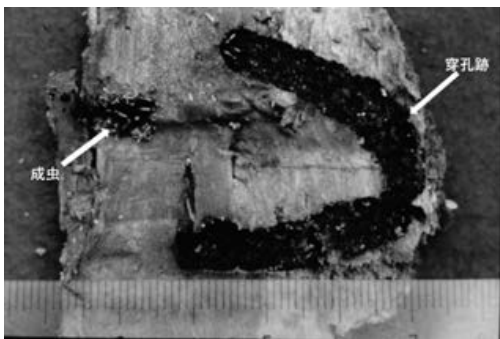


写真-8 ハンノスジキクイムシ成虫とウダイカンバ樹皮下の穿孔跡

ガ類による食害は1年限りで終息した。しかし、1996年5月にハンノスジキクイムシ (*Xyleborus seriatus*) など数種の二次性穿孔虫による被害が発生した。これらの穿孔虫は、どの種も普通に観察されるものであった（写真-8）。穿孔虫の寄生により枯死した約1,100本（材積：435m³）と、被害が著しかった約5,000本（材積：2,500m³）は、その年のうちに伐倒処理された。穿孔虫による加害を受けても着葉量が多かった個体は伐採せずに残したが、そのような個体には材に青変菌による変色が確認された（大野 2011）。その後は、シャクガ類による被害は確認されていない。

・クスサン

クスサン (*Caligula japonica*) は、日本に広く分布する葉食性昆虫でしばしば大発生して各種広葉樹の葉を食い尽くすが、北海道ではウダイカンバに対する選好性が高い。本種による被害の発生は1990年代より報告されるようになり、食害を原因とした枯死木も発生している。

北演でも2010年、2011年に山火再生林のウダイカンバに本種による大規模な食害が、かつてのシャクガ類による被害地も含む広い範囲で発生した。2013年には食害は終息したが、連年の食害を受けたウダイカンバは枝枯れが目立つようになり、穿孔虫類による二次的な被害を受ける個体も現れた（鎌田ら 2014）。ウダイカンバの優良材生産にとって、枝枯れや穿孔虫類による加害は大きな負の要素となる。巡林調査では、2013年以降、本種によるウダイカンバの葉食被害は確認されていない。一方で、本種の成虫は8月下旬から9月上旬に街灯によく集まることから、毎年その期間に大型店舗の街灯下で観察を行っている。その記録によると、2018～2020年は数個体以下、2021年は30個体ほどであったが、2022年は概算で500～1,000個体（写真-9）と爆発的に増えた。2023年以降の被害発生が懸念される。単一樹種の人工林と同様に、これら山火再生林はウダイカンバの一斉林の様相を呈しており、通常の天然林に生育するウダイカンバに比べると葉食性昆虫が

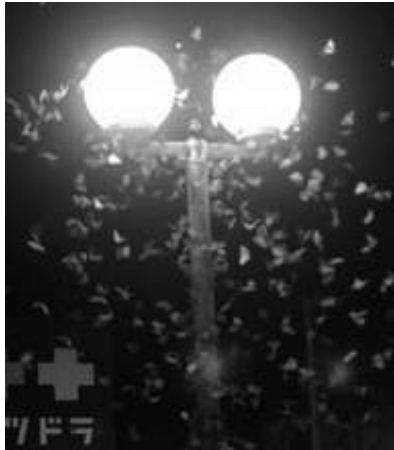


写真-9 街灯に集まったクスのサン

大発生するリスクが高いものと推測される。ウダイカンバの再生林では、単木的な枯死木や枝枯れが進んだ個体をよくみかけるが、これらには穿孔虫の寄生が認められる場合が多い。したがって、葉食性昆虫による一次性的被害が発生した場合には、衰弱木の整理など適切な管理が重要である。

4. おわりに

2020年にカシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus*) が道南で確認された (Ozaki *et al.* 2021)。北海道にはカシノナガキクイムシの被害を受けやすいミズナラ大径木が多く生育しているため注意が必要である。これまで生息していなかった新たな昆虫種の侵入や、森林に被害を与えることの無かった昆虫種が突然、森林害虫になることも十分に考えられる。森林昆虫の個体群動態をモニタリングすることは大変な作業であるが、ひとつひとつのデータの積み重ねが重要であり、組織的な対応が必要と考える。今後の北海道における森林管理において、本報告が何らかの参考となれば幸いである。

謝辞

本報告の執筆にあたり、鎌田直人氏 (東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林) から有益なご

助言を多数頂いた。ここに謝意を表する。

引用文献

- 有沢 浩・芝野伸策・井口和信・仁原勝男・太田重之・古田公人 (1986) 北海道のストロブマツ林に大発生したマツカレハ(予報) - 日林論 97: 493 ~ 494
- 北海道水産林務部林務局森林整備課 (2022) カラマツハラアカハバチ被害分布. <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/new23/hogo.html>, 2022.12.10参照
- 井口和信 (1994) ミズナラ堅果の結実豊凶と虫害. 日林北支論 42: 19 ~ 21
- 井口和信・尾崎研一 (2006) 長期休眠によるシナノキハムグリハバチ 3年周期の大発生. 日林北支論 54: 121 ~ 123
- 井口和信・尾崎研一・磯野昌弘 (2000) 北海道中央部におけるシナノキハムグリハバチの生活史. 日林北支論 49: 96 ~ 98
- 井口和信・高橋康夫・犬飼雅子・梶 幹男 (1998) ハムグリハバチ類の食害によるシナ類の被害状況. 日林北支論 46: 117 ~ 120
- 井口和信・山本博一・古田公人 (1993) エゾマツ天然林の択伐にともなう虫害枯損木の発生経過. 東大演報 90: 1 ~ 15
- 井口和信・山本博一・古田公人 (1999) エゾマツ天然林の択伐にともなう虫害枯損木の樹齢と枯損前の成長. 東大演報 101: 1 ~ 9
- 鎌田直人 (2005) 昆虫たちの森. (日本の森林/多様性の生物学シリーズ⑤, 東海大学出版会, 神奈川): 97
- 鎌田直人・井口和信・サンゲンサップ スニサ・マニーラット テウイー (2014) クスのサンに連年食害されたウダイカンバに寄生する穿孔虫類: とくにハンノスジクイムシの被害について. 森林防疫 63(5): 18 ~ 22
- Maeto K, Ozak K (2003) Prolonged diapause of specialist seed-feeders makes predator satiation unstable in masting of *Quercus crispula*.

- Oecologia 137: 392 ~ 398 DOI 10.1007/s00442-003-1381-6
- 大野泰之 (2011) 落葉広葉樹林におけるウグイカンバ成木の衰退の要因解明に関する研究. 北海道林試研報 48 : 1 ~ 46
- 尾崎研一 (1998) イチイカタカイガラムシの防ぎ方 - 剪定や下草刈りは効果があるのか -. 森林総研北海道支所研究レポート 47 : 1 ~ 4
- Ozaki K, Ueda A, Tokuda S, Wada H, Kitajima H (2021) First report of an ambrosia beetle, *Platypus quercivorus*, vector of Japanese oak wilt, in Hokkaido, northern Japan. J For Res 26 : 152 ~ 154
- 柴田 前・井口和信 (1981) キバネセセリによるハリギリの被害状況. 北方林業 33(4) : 9 ~ 11
- 東京大学北海道演習林 (2021) https://www.ufa.u-tokyo.ac.jp/files/gaiyo_hokkaido.pdf, 2022.12.10 参照
- Ueda A (2000) Pre- and post-dispersal damage to the acorns of two oak species (*Quercus serrata* Thunb. and *Q. mongolica* Fischer) in a species-rich deciduous forest. J For Res 5 : 169 ~ 174 (2023.1.11 受理)

新刊紹介

【電子版】マツ枯れは森の感染症 森林微生物相互関係論ノート

著者：二井一禎

出版社：文一総合出版

発行：2022年12月

入手先サイト：Amazon.co.jp, Rakutenブックス, honto, ヨドバシ.com

価格：2,420～2,450円（入手先による）

マツ枯れ・マツ材線虫病関係者のみならず、森林保護学、樹病学、あるいは生物間総合作用研究に関心をもつ多くの方々へ支持され、愛されてきた名著が、電子版として装いも新たになって帰ってきた。我々の世代にとって本と言えば紙媒体であり、その形態への愛着は深いのだが、紙媒体の本には絶版という宿命がある。マツ材線虫病研究に関わろうとする者には、「マツ材線虫病-松くい虫-精説」（岸 洋一 1988）と本書（二井一禎 2003）は必携の2冊であったが、いずれもすでに絶版で入手困難となっていたところであった。近年の技術革新のおかげをもって、本書が電子化されて再版されたことは喜ばしく、またこのようにして各分野の名著が電子版化され永続化されることを期待して止まない。正直なところ、筆者自身は技術革新に取り残されつつある旧人類で、いまだに「電子書籍って何なの」という有様なのだが、この度の名著復活を期に、電子書籍も使える老人への転身を図りたい。ご同輩の皆さん、一緒にがんばりましょう。

電子版となっても、本体部分は基本的に2003年版のままであり、そこにはマツ材線虫病を題材としつつも、宿主（マツ）-病原生物（マツノザイセンチュウ）-媒介者（マツノマダラカミキリ）の枠にとらわれず、これらを取り巻く多様な生物や環境要因との関わりも含めて解明ないし理解しようとしてきた研究者たちの営みが、生き生きと描き出されている。単なる「マツ枯れ本」ではなく、我々の関わる研究分野がどういふものなのかを知ってもらうための優れた物語として、また研究を志す人への教本として、すでに広く読まれている本であり、今後さらに読まれていって欲しい本である。「2003年版のまま」でない大きな特徴として、図表がカラーになっ

たことという点があり、これはすでに書籍をもっての方にも大きなアピールポイントになるだろう。

電子版発行に際し、追補として「二つの感染症“Covid・19”と“マツ枯れ”」という一節が掲載された。そこでは、今や我々にとって最も身近な感染症となってしまった新型コロナウイルス感染症からの類推で、感染症の拡大メカニズムや対策のあり方が論じられている。マツ材線虫病について十分な知識のある人でも「なるほど」と納得させられる部分は多いはずであり、またマツ材線虫病からの類推で、コロナ感染症に関わる現象や政策について考察を深める機会にもなるかもしれない。ここでの議論で重点的に取り上げられているのが、2000年代以降のマツ材線虫病研究の中で、その普遍性が広く知られるようになった「無病徴感染」（あるいは「潜在感染」）の問題である。材線虫病であれ、コロナであれ、外観的な病徴が表れていないにも関わらず病原体を保持し、感染源となり得る個体が一定数存在し、検疫（防除）の網を逃れて感染拡大に一役買っていることは間違いない。著者がこの議論の中で（あるいは他の著作や講演等で）近年強く主張されている「潜在感染木はこれまでのマツ材線虫病防除の盲点である」とする議論に、筆者は必ずしも全面的に同意するわけではないが、被害が蔓延したマツ林内では多くの木が潜在感染木となっていて防除はこれを前提としたものでなければならぬこと、防除効果の評価は潜在感染木の存在を理解した上でなされるべきことなどは極めて重要な指摘と理解している。そして、マツ材線虫病被害拡大の先端地域である青森県や岩手県では、この考えに沿った防除事業が実際に展開されていることを申し添えておきたい。

書籍をお持ちでない方には、マツ材線虫病研究のあらずじ、あるいはマツ材線虫病を下敷きに生物間相互作用研究の深さ、楽しさを学ぶことのできる本書をご一読いただきたく、また書籍をお持ちの方にはカラー化で一新された図版と示唆に富んだ追補の一節を楽しみに、さらには電子書籍へのチャレンジも兼ねて、ぜひ手に取って（というかアクセスして）いただければと思う。

（国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所東北支所 中村克典）

都道府県だより

群馬県におけるナラ枯れについて

〇はじめに

群馬県のナラ枯れ被害は、現在4市町で確認されています。平成22年8月にみなかみ町で県内初となるナラ枯れが確認されました。その後、10年以上みなかみ町のみで被害発生でしたが、令和4年に3市町で新たに被害が確認され、3月に館林市、8月に太田市、9月に邑楽町で被害が確認されました。

現在は、(国研)森林総合研究所の指導の下、カシノナガキクイムシ(以下、カシナガ)の調査を実施し、国や県、市町の関係機関と協力して防除対策に取り組んでいます。

〇群馬県のナラ枯れ被害と対策

まず、みなかみ町におけるナラ枯れ被害についてです。平成22年に上越線土合駅付近で発見されました。図-1のとおり被害発生後は微減傾向にありま

したが、平成29年から増加傾向となり、令和2年から急激に被害が増加しました。被害エリアは、利根川沿いの広葉樹林を中心に南下傾向にあり、令和4年の調査で後閑駅付近まで拡大していることがわかりました。

現在、みなかみ町が実施しているナラ枯れ対策はおとり丸太法と粘着シートです。そのほかに、群馬県警協力の下、空撮を行い被害状況の把握や翌年の防除事業実施場所の検討などを行っています。

次に、県東部におけるナラ枯れ被害についてです。令和4年に館林市の公園、太田市の里山、邑楽町の施設内で新たに被害が発見されました(写真-1)。館林市は、被害の発見が3月であることから、令和3年の被害木だと考えられました。被害本数は令和4年12月時点で館林市33本、太田市51本、邑楽町1本となっており、かなりの本数が枯死に至っていました。

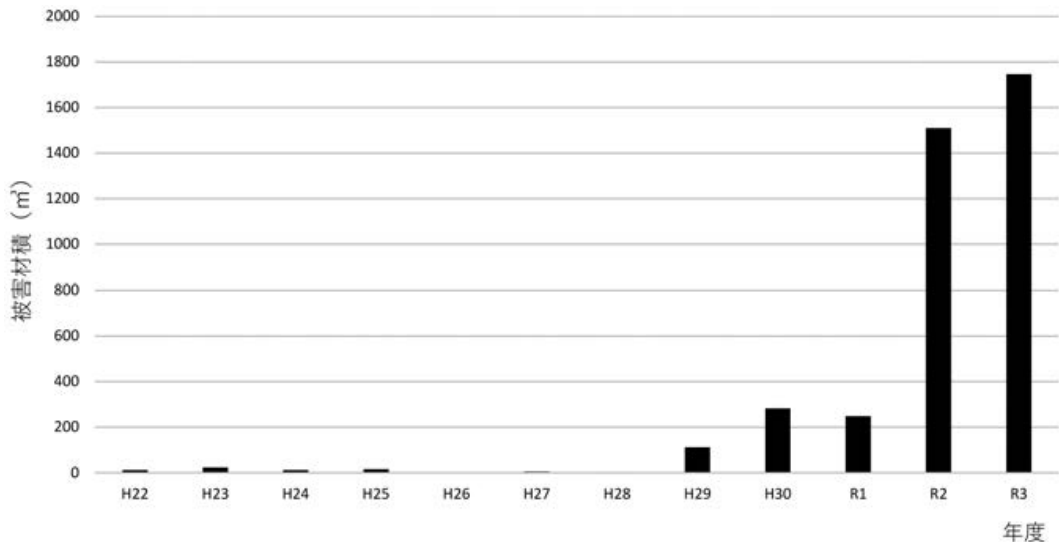


図-1 群馬県におけるナラ枯れ被害材積の推移



写真-1 太田市の被害材から確認されたカンノナガキクイムシ (矢印)

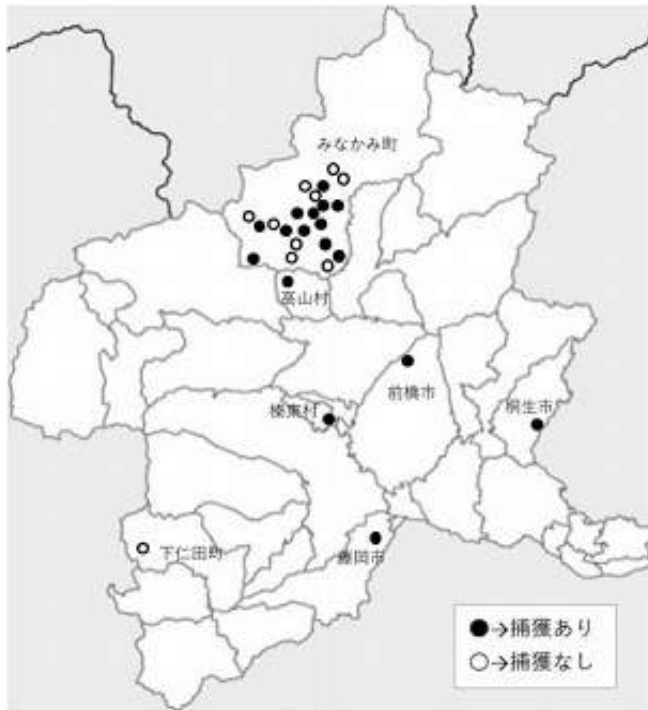


図-2 令和4年度モニタリング調査結果

県東部で実施しているナラ枯れ対策は、館林市では樹幹注入、粘着シート、及び誘引捕殺を実施し、太田市と邑楽町はナラ枯れ発見初年度のため枯死木の全木伐採を実施予定です。

当県における「群馬県ナラ枯れ被害対策の基本方針」と「ナラ枯れ被害対策マニュアル」は平成22年に被害が初確認されてから10年以上みなかみ町のみ被害であったこともあり、見直しが行われていませんでした。そのため新たな被害地発生を受け、人の生活圏におけるナラ枯れ対策も視野に入れた見直しを検討するとともに、国、県、市町村と協力し対策会議や現地検討会、講演会などを通して、ナラ枯れに関する情報の周知に努めたいと考えています。

○モニタリング調査

みなかみ町内21カ所と県内6カ所（前橋市、榛東

村、藤岡市、下仁田町、高山村、桐生市）にてモニタリング調査を実施しています。調査の結果、図-2のとおり県内17カ所でカシナガが捕獲されました。みなかみ町内では被害エリアを中心に12カ所で捕獲されました。未被害エリアでも3カ所で数頭のカシナガが捕獲されました。県内各地では前橋市、榛東村、藤岡市、高山村、桐生市でカシナガが捕獲されました。

○おわりに

生息調査の結果からもわかるように、今後県内各地で新たなナラ枯れ被害の発生が予測されます。被害の早期発見や警戒をするために継続的な調査及び防除対策を実施し、被害拡大の抑止に努めたいと思います。

（群馬県林業試験場 森林科学係）

秋田県における松くい虫及びナラ枯れ被害について

○被害状況

<松くい虫>

本県の松くい虫被害は、昭和57年に沿岸南部に位置する「にかほ市」で初めて確認されて以来、被害区域は拡大を続け、平成24年までに全市町村で確認されています。

被害量は平成14年度にピークとなる約3万9千㎡に達し、その後、薬剤散布と駆除を併用した防除対策を講じた結果、減少傾向に転じ、令和3年度は約7千8百㎡とピーク時の20%にまで減少しました（図-1）。

地域別では、沿岸中央部の秋田地域が被害量の約60%を占め、沿岸北部の能代・山本地域が約22%、沿岸南部の由利地域が約16%となっています。県全体の被害量は減少してきているものの、重要な役割を担う海岸保安林を有している沿岸地域の被害量が

多いことが本県松くい虫の被害の現状です（図-2）。

<ナラ枯れ>

一方、ナラ枯れ被害は、平成18年度に「にかほ市」で初めて確認されて以来、拡大を続け、令和3年度まで鹿角市ほか4市町村を除く20市町村で被害が確認されています。

被害量は拡大傾向にあり、令和2年度には約1万6千㎡と過去最大となりましたが、令和3年には約1万1千㎡と前年度の70%まで減少しました（図-3）。

地域別では、内陸南部の湯沢地域が約32%、横手地域が約35%、仙北地域が約16%と全体の約83%を占めているほか、沿岸地域（能代・山本地域、秋田地域、由利地域）で約16%と内陸北部を除く地域の随所で被害が発生しています（図-4）。

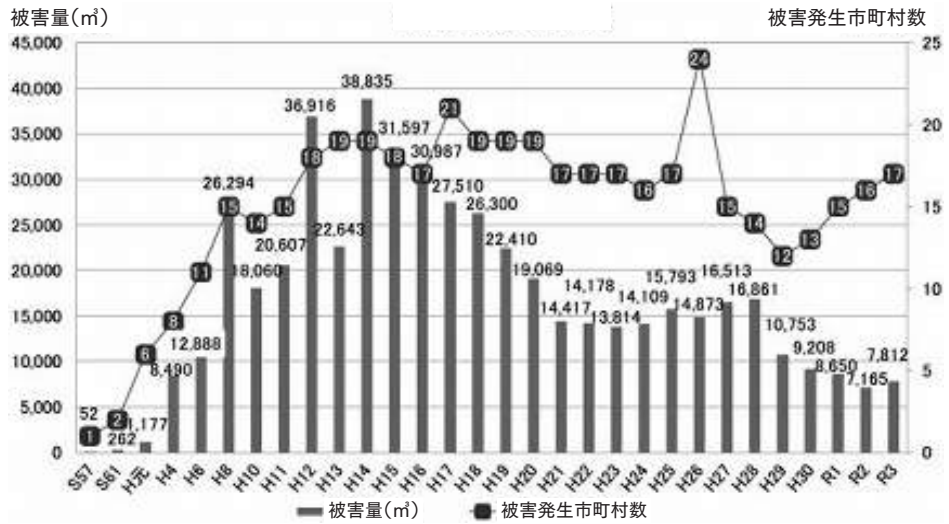


図-1 松くい虫被害量の推移

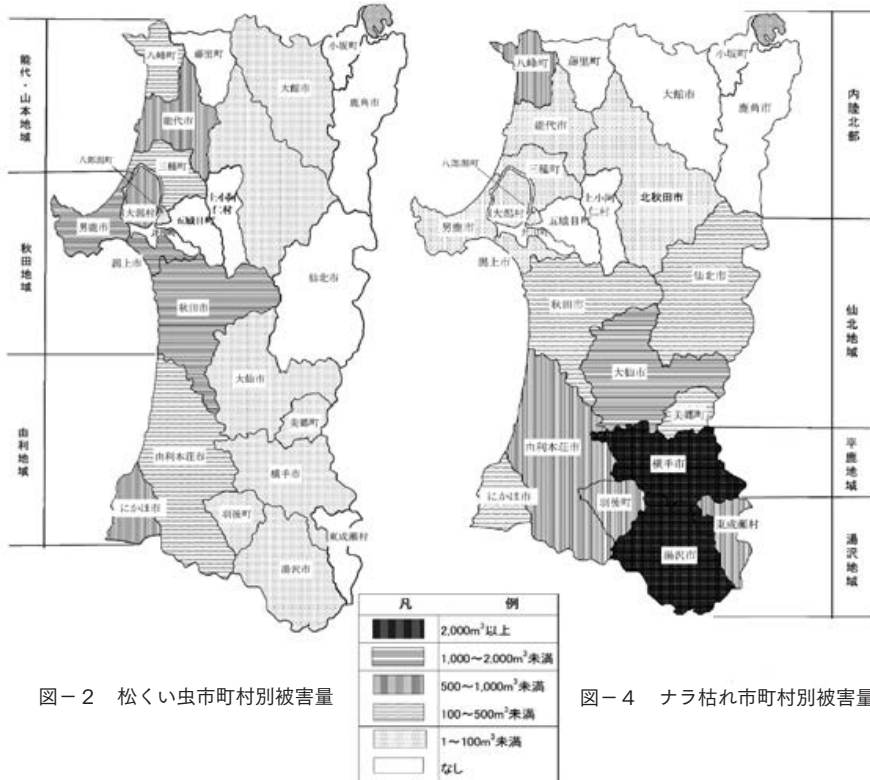


図-2 松くい虫市町村別被害量

図-4 ナラ枯れ市町村別被害量

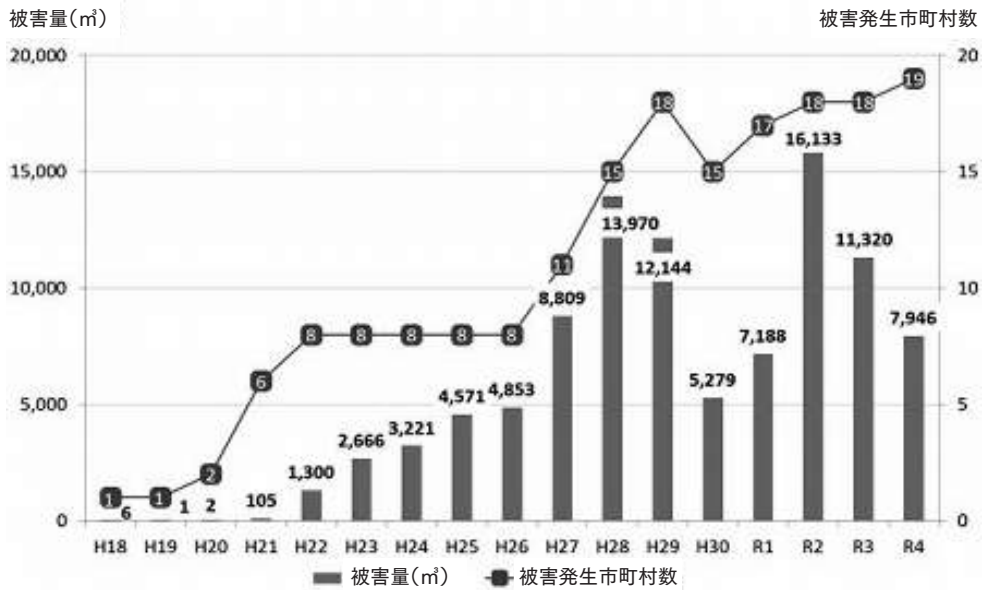


図-3 ナラ枯れ被害量の推移

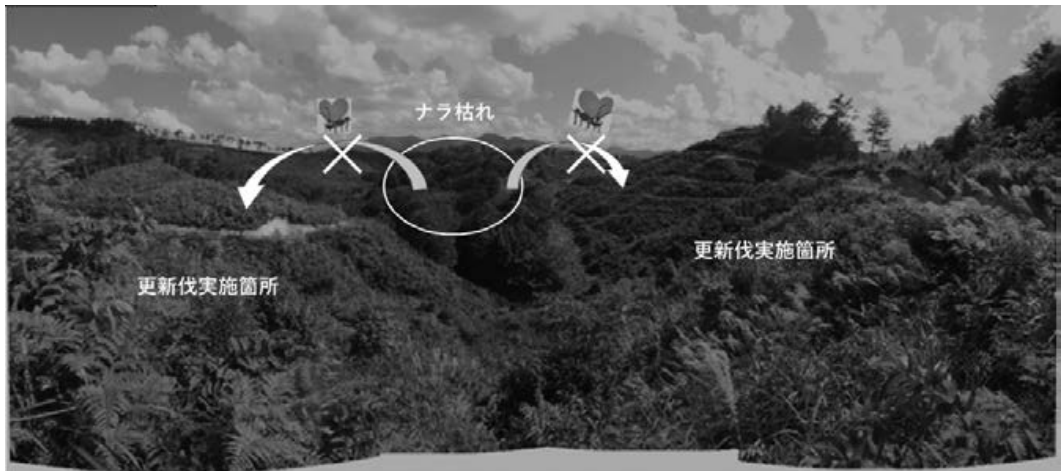


図-5 更新伐による被害拡大の未然防止イメージ写真

(注) ナラ枯れ被害箇所の周辺にあるナラ林を伐採・搬出することで、カシノナガキクイムシが飛び立って繁殖することを防ぐことができる。

○被害対策

<松くい虫>

沿岸部の保安林に指定されているクロマツ林や、自然公園・名木等の県民生活において重要な役割を担っている松林とその周辺に位置する松林を「対策対象松林」に指定し、被害状況や現場状況に応じて、国庫補助事業を活用した薬剤散布（特別防除，地上散布，無人ヘリ），特別伐倒駆除，伐倒駆除（くん蒸），樹幹注入等の防除対策を実施しています。

<ナラ枯れ>

森林公園や景勝地周辺など重要性の高いナラ林を「守るべきナラ林」に指定し、国庫補助事業を活用し、伐倒駆除や樹幹注入など現場状況に応じた対策を実施しています。

また、令和2年度から令和4年度まで被害先端地域を対象に奥地の高齢ナラ林の更新伐を促進するため、集材距離が200m以上となる奥地からの搬出経費に対し県単独の助成を行っており、令和5年度からは、全県の被害地域を対象に被害木とその周辺の枯れる可能性の高いナラの伐採に県単独で取り組む

こととしています（図-5）。

こうした対策により広葉樹林の若返りを促進し、被害の未然防止を図っていきたいと考えています。

○今後の対応

県内には、沿岸北部に位置する能代市の「風の松原」、沿岸中央部に位置する秋田市～潟上市の「夕日の松原」という国内でも有数の松林があります。この海岸林は先人が築き上げてきた歴史的、文化的に優れた「緑の遺産」であり、県民の生活には欠かせない存在としてその重要性はますます高まってきております。

また、里山の広葉樹林は、水源かん養機能や土砂崩壊防止機能ほか、彩りのある景観を形成しているほか、薪やほだ木、チップ原料といった山村地域の貴重な資源となっています。

今後とも、この大切な森林を病虫害被害から保護するため、防災ヘリによる航空探査や森林保全巡視員等による森林病虫害被害の早期発見に努めるとともに、継続的かつ、効果的な防除対策を実施していきたいと考えています。

（秋田県農林水産部 森林整備課 森林管理班）

森林防疫 第72巻第2号(通巻第755号)
令和5年3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/>