

森林防疫

FOREST PESTS

— 森の生物と被害 —



目次

論文

- 京都市近郊林におけるハイロチョッキリのアベマキとコナラ堅果への産卵特性
 [今井龍夫・平山貴美子]・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
- 東海地方の暖温帯二次林におけるカシノナガキクイムシ加害初期の穿入木の
 経年変化と空間分布
 [澤田晴雄・平尾聡秀・鎌田直人]・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 10
- 島根県におけるクマハギの発生動向と生分解性ネットによる被害回避試験
 [澤田誠吾・金澤紀幸・静野誠子・堂山宗一郎]・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16

解説

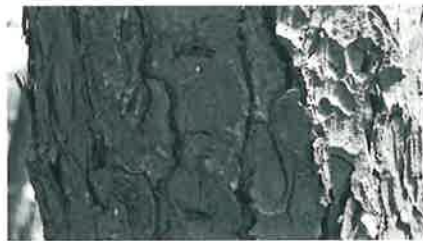
- マツ材線虫病北限付近における枯死木発生の季節的傾向
 —伐倒駆除の優先順位を統計的に導く—
 [星崎和彦・太田和誠]・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22
- 日本産カシノナガキクイムシの地域変異について
 [濱口京子]・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 29

訃報

- 故佐藤邦彦さんを偲んで
 [庄司次男]・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37
- 都道府県だより：高知県・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 38
- 森林病虫獣害発生情報：平成25年3月・4月受理分・・・・・・・・・・・・・・ 40
- 林野庁だより：人事異動（平成25年4月1日）・・・・・・・・・・・・・・ 40
- 森林防疫ジャーナル：(独)森林総合研究所生物関連人事異動（平成25年4月1日）・・ 41



A



B



C

[表紙写真] 寒冷地のマツ材線虫病の実態（秋田県秋田市）

写真A：マツ材線虫病の被害を受けたアカマツ林冠木。寒冷地では一年を通して変色・枯死が発生し、6月が最も多い。写真中右側の1本が下枝から変色し始めたところ、左隣にはすでに落葉した枯死木がある。左の木は6月上旬に変色、程なく全身症状に至ったいわゆる「年越し枯れ」である。右の木は8月中旬以降に変色が始まったが、当年枯れなのか年越し枯れなのかは判断しにくい。（2007年8月30日撮影）

写真B：クロマツの幹につけられたマツノマダラカミキリの産卵噛み跡。2008年の調査における初認時のもの。産卵噛み痕3個が確認できる。産卵行動は当地では8月中旬以降に本格化する。（2008年7月26日撮影）

写真C：枯死木に登って産卵噛み跡を数えている様子。枝打ち用のステップと登攀用具を組み合わせれば、一本梯子や伐倒よりも安全かつ楽に、広域的な樹上調査を行うことができる。

いずれの写真も詳細は本文22ページを参照。

（秋田県立大学 星崎和彦）

京都市近郊林におけるハイイロチョッキリの アベマキとコナラ堅果への産卵特性

今井龍夫¹・平山貴美子²

1. はじめに

ブナ科は森林を構成する重要な樹種であり、その種子は堅果とよばれ、大型で養分が豊富なため、多くの昆虫に被害されることが知られている。ブナではブナヒメシクイの被害率が高く、その被害が種子生産に大きな影響を与えていることが報告されている(五十嵐・鎌田 1990)。前藤(1993)は北海道の天然林におけるミズナラにおいて、成熟堅果の72.2%が散布前の虫害により発芽力を失っていることを報告している。福本(2000)は名古屋市内のアベマキにおいて、シギゾウムシ類や鱗翅目の被害が多く、その被害が種子生産に大きな影響を及ぼしていることを報告している。これらのことから、種子食昆虫はブナ科樹木の種子生産や樹木の定着に大きな影響を与えていると考えられる。

オトシブミ科のハイイロチョッキリはブナ科コナラ属堅果の代表的な種子食昆虫として知られている。まず、ハイイロチョッキリは7月から8月にかけて羽化し、羽化した成虫はコナラ属の堅果を吸汁する(Fukumoto and Kajimura 1999)。コナラでは、ハイイロチョッキリの吸汁による虫害堅果が多数落下することが観察されている(Fukumoto and Kajimura 1999)。さらに、8月から9月にかけてコナラ属の未熟な果実の殻斗上から堅果に達する産卵孔を開け、1卵産下したのち、枝を咬み落とす(在原 2001; Fujii 1993)。Matsuda(1982)は、東京都三鷹市のコナラ二次林において、ハイイロチョッキリの吸汁および産卵によるコナラ堅果の落下が多く、ハイイロチョッキリはコナラ堅果の成長段階での落下を発生させる最も重要な加害昆虫であることを報告している。

著者らは京都市市街地北部に位置する宝ヶ池丘陵において、2010年8月末にハイイロチョッキリによ

て咬み落とされたと考えられるコナラ属アベマキの堅果の付着する枝が、林床に多数みられることを発見した。これまで、アベマキの厚くて棘のある殻斗はハイイロチョッキリの産卵行動を妨げると考えられてきた(福本 2000; Fukumoto and Kajimura 1999)。上田・大住(2003)は滋賀県の落葉広葉樹林においてコナラ、ナラガシワ、クヌギ、アベマキの種子散布前の昆虫による加害の調査を行い、ハイイロチョッキリの産卵による加害がコナラ節のコナラやナラガシワで多かったが、クヌギ節のアベマキは僅かであり、クヌギでは見られなかったことを報告している。また彼らはアベマキからのハイイロチョッキリの成虫の羽化は確認していない。本研究はアベマキ堅果へのハイイロチョッキリの産卵の実態を明らかにするため、ハイイロチョッキリの産卵により咬み落とされたと考えられるアベマキの枝に付着する堅果、そしてその対比としてこれまで先行研究が行われてきたコナラの枝に付着する同様の堅果内の卵の有無を調べた。またアベマキおよびコナラの殻斗を含む堅果の形状が産卵に及ぼす影響を評価するため、堅果および殻斗サイズと産卵の有無との関係性を調べた。さらにアベマキ堅果へのハイイロチョッキリの産卵が次世代の生産に貢献するかを知るために飼育を行った。なお本研究では、殻斗を含む種子を果実、種子を堅果と定義する。

2. 調査地と方法

(1) 調査地

調査は京都市市街地北部に位置する宝ヶ池丘陵の林山(35°3' N, 135°46' E, 標高174m)で行った。調査地の潜在植生はヤブツバキクラスのカナメモチーコジイ群集に属するとされる(宮脇 1984)。林山の

Oviposition characteristics of *Mechoris ursulus* Roelofs on acorns of *Quercus variabilis* and *Quercus serrata* in a secondary urban forest, Kyoto City

¹IMAI, Tatsuo, 京都府立大学大学院生命環境科学研究科; ²HIRAYAMA, Kimiko, 京都府立大学大学院生命環境科学研究科

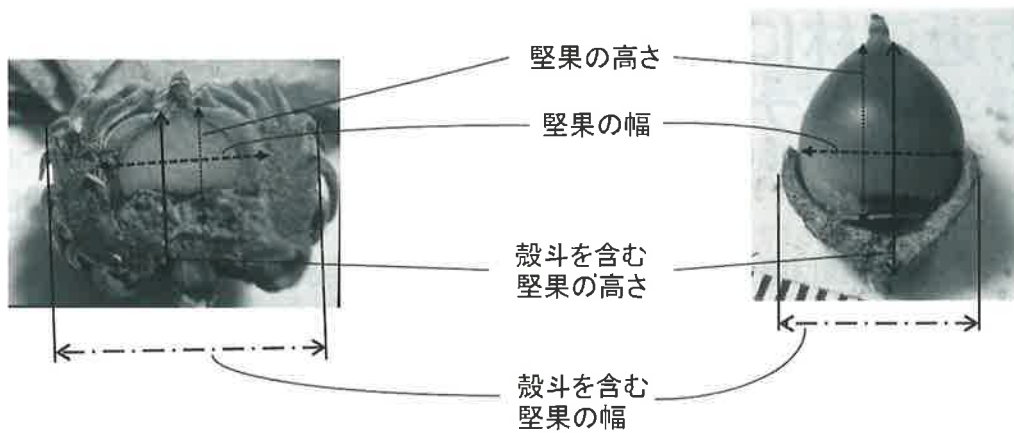


図-1 果実のサイズ測定箇所

南西斜面下および南東斜面下には、それぞれ新宮神社および七面の祠と呼ばれる社があり、その周辺はコジイが優占している。しかしながら、人為的攪乱等の影響により、大部分はアベマキ、コナラを中心とする森林に覆われている。環境省の自然環境基礎調査（2004）によると、調査地はヤブツバキクラス域代償植生のアベマキ-コナラ群集となっている。

(2) 方法

アベマキとコナラそれぞれ5本ずつ選定し、それぞれの樹冠下周辺の林床で、2、3日以内にハイロチョッキリに咬み落とされたと考えられる新鮮かつ切り口が平面でなめらかな枝を、2010年8月24日から9月9日の2、3日毎に各日合計約20本ずつ採集した。採集した枝は実験室に持ち帰り、枝についてすべての果実の殻斗および堅果について、幅および高さをデジタルノギスで測定した（図-1）。また殻斗の横の分厚さ＝（殻斗を含む堅果の幅－堅果の幅）×1/2、殻斗の縦の分厚さ＝（殻斗を含めた堅果の高さ－堅果の高さ）として求めた。さらに果実をカッターナイフで割り内部の観察を行い、ハイロチョッキリの卵が果実のどこに産み付けられたのかを記録した。その後、変質している果実や発育不全の果実を除いて飼育した。また、アベマキはサイズおよび産卵場所の調査を行った果実に加えて、59個の切開をしていない果実を飼育に用いた。

飼育方法は切開した果実をビニールテープで留めて、プラスチックカップにイオン交換水で湿らせた

キムワイプを敷き詰めその上に置き、乾燥しないように数日毎に霧吹きでイオン交換水を吹きかけ、実験室（室温約25℃）で飼育することによって行った。その後、老熟幼虫は土中で越冬するため、11月11日から屋外で飼育した。屋外での飼育は、9号もしくは10号の素焼きの植木鉢にナイロンメッシュを敷いた後、赤玉土を敷き詰め、アベマキの果実を106個と111個に分け、コナラの果実も73個と93個に分けて地表に置き、上部はナイロンメッシュで覆い、大学構内のコナラ、クヌギが植えられている苗畑の林床に埋めた。成虫の羽化の確認は翌2011年6月中旬から7月中旬まで毎日行った。羽化した成虫は体長と口吻の長さをデジタルノギスで測定した。

2011年はコナラにおいて8月30日から9月14日の3～5日毎に2010年と同様のサンプリングを各日30～33本ずつ行った。アベマキは咬み落とした枝がほとんどなく、採集できなかった。それぞれの採集日において採集したコナラ果実枝のうち10本は、2010年と同様に産卵箇所を調べた。残りの枝は、羽化率を調べるために枝から果実をはずし、屋外で2010年11月11日以降の飼育方法と同様に飼育した。成虫の羽化の確認は、翌2012年6月中旬から7月中旬まで3日から7日おきに行った。羽化した成虫は体長と口吻の長さをデジタルノギスで測定した。

3. 結果

(1) アベマキおよびコナラの産卵箇所の違い

表-1 は果実および堅果サイズの測定と産卵場所の調査に用いた枝数、1枝あたりに付着していた果実数、ハイイロチョッキリの卵が堅果内に見られた1枝あたりの果実数を示したものである。アベマキの果実数はすべて、その年の秋に成熟する2年生のもののみを示した。アベマキにおいて、2010年は151枝を採集した。採集した枝に付着していた果実数の平均±SE（以下同じ）は1.19±0.03個であり、ハイイロチョッキリの卵が堅果内で見られた果実数は0.21±0.03個であった。2011年はハイイロチョッキリに咬み落とされたアベマキの果実枝は殆んど見られなかった。コナラにおいて、2010年は139枝を採集した。採集した枝に付着していた果実数は1.35±0.05個であり、ハイイロチョッキリの卵が堅果内で見られた果実数は0.95±0.04個であった。2011年は158本の枝を採集し、そのうち50本を産卵箇所の調査に用いた。産卵箇所の調査に用いた枝に付着していた果実数は1.48±0.08個であり、ハイイロチョッ

キリの卵が堅果内に見られた果実数は1.32±0.06個であった。

図-2 はアベマキおよびコナラの採集日と1枝あたりの果実のうち堅果内に卵が産みつけられていた割合の関係を示したものである。アベマキにおいて、枝のうち堅果内に卵が見られた割合は9.1±5.1~27.5±9.9%で推移しており全体では17.8%，コナラでは2010年は55.9±10.4~92.5±4.5%で推移しており全体で70.4%，2011年では86.7±6.9~100%で推移しており、全体で89.2%であった。2010年に採集した枝に付着していたすべての果実のうちハイイロチョッキリの産卵が堅果内で行われている割合をアベマキとコナラで比較したところ、コナラでその割合が有意に高かった ($P=3.10 \times 10^{-24}$, χ^2 -検定)。両種とも堅果内に卵が見られた割合と採取日との間に明確な関係はみられなかった。

(2) アベマキおよびコナラの殻斗および堅果サイズの違いと産卵場所の関係

表-1 ハイイロチョッキリに咬み落とされた枝のうち、堅果サイズの測定と産卵箇所調査に用いた枝数および1枝あたりの平均果実数(±SE)と平均産卵果実数(±SE)

		枝数	平均果実数	堅果内に卵が見られた平均果実数
2010年	アベマキ*	151	1.19±0.03	0.21±0.03
	コナラ	139	1.35±0.05	0.95±0.04
2011年	コナラ	50	1.48±0.08	1.32±0.06

* アベマキの果実数はその年の秋に成熟する2年生のもののみ示す

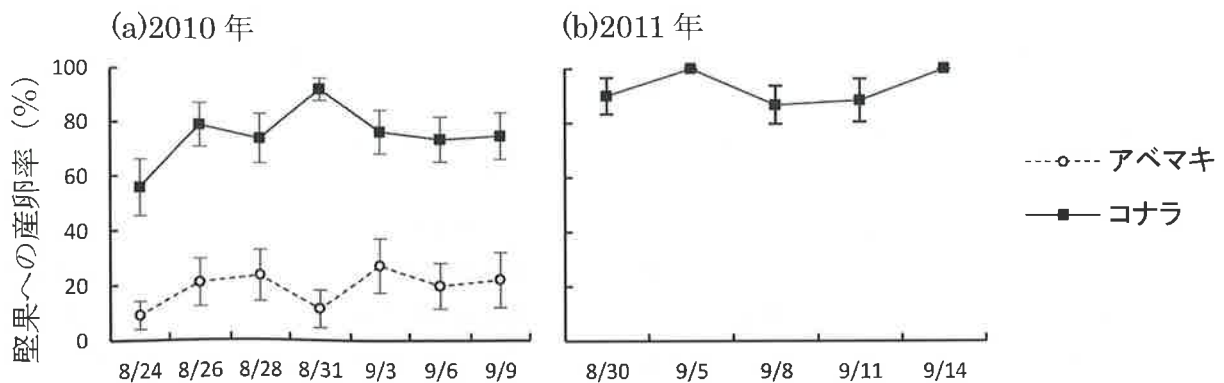


図-2 (a)2010年, (b)2011年におけるアベマキおよびコナラの採集日と1枝あたりの果実のうち堅果内に卵が産みつけられている割合の関係

バーは標準誤差を示す。

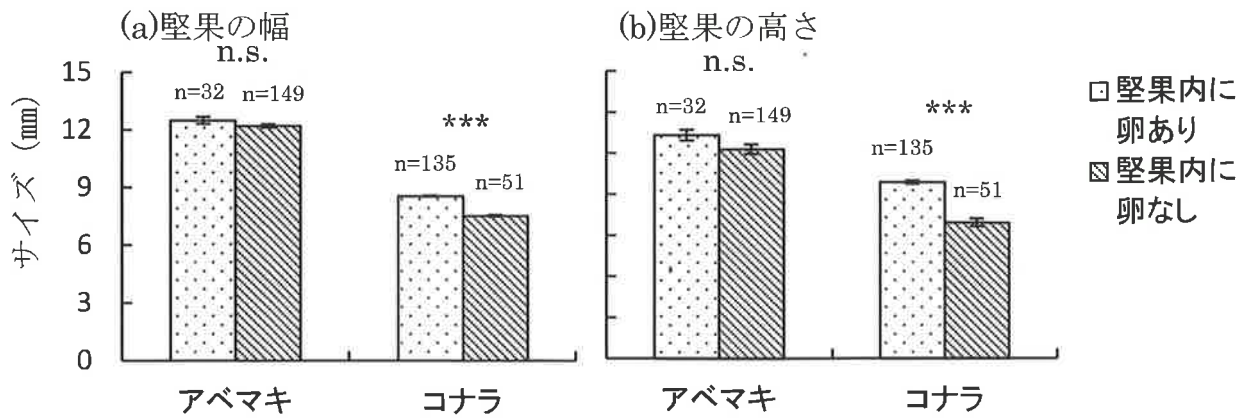


図-3 アベマキおよびコナラの(a)堅果の幅, (b)堅果の高さの平均値 (t-test, *** $p < 0.001$; n.s. not significant) ヒストグラム上のバーは標準誤差を示す。

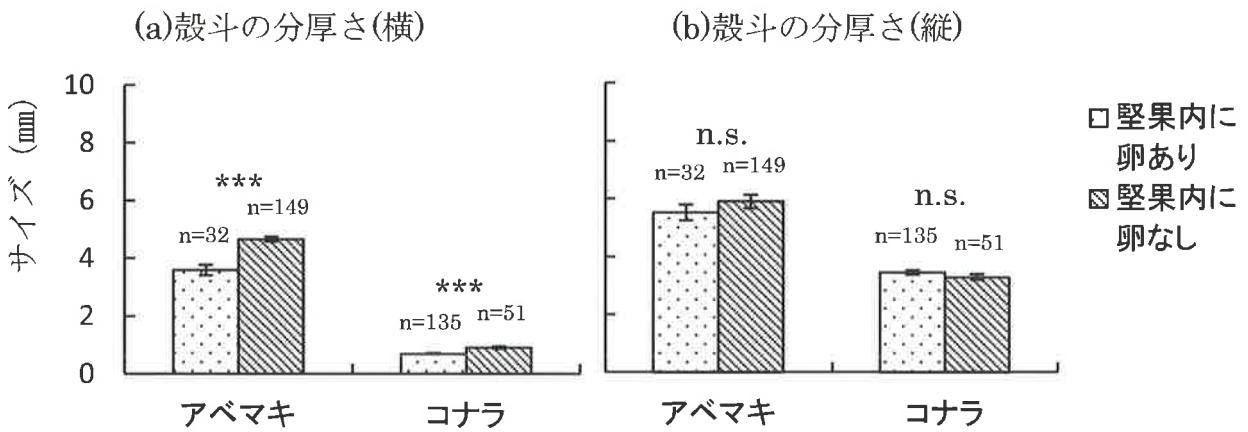


図-4 アベマキおよびコナラにおける(a)殻斗の分厚さ(横), (b)殻斗の分厚さ(縦)の平均値 (t-test, *** $p < 0.001$; n.s. not significant) ヒストグラム上のバーは標準誤差を示す。

図-3はアベマキおよびコナラにおける堅果幅と高さの平均を堅果内のハイロチョッキリの卵の有無別に示したものである。アベマキについて、堅果内にハイロチョッキリの卵が見られた堅果の平均サイズ±SE(以下同じ)は幅 $12.50 \pm 0.50\text{mm}$ 、高さ $10.89 \pm 0.53\text{mm}$ 、卵が見られなかった堅果ではそれぞれ $12.20 \pm 0.25\text{mm}$ 、 $10.19 \pm 0.30\text{mm}$ であり、有意な差が見られなかった($P > 0.05$, t-検定)。コナラについて、堅果内にハイロチョッキリの卵が見られた堅果の幅は $8.54 \pm 0.07\text{mm}$ 、高さ $8.58 \pm 0.15\text{mm}$ 、卵が見られなかった堅果ではそれぞれ $7.52 \pm 0.20\text{mm}$ 、 $6.62 \pm 0.28\text{mm}$ であり、堅果内にハイロチョッキリ

の卵に見られた堅果の幅および高さは有意に大きかった($P < 0.001$, t-検定)。

図-4はアベマキおよびコナラにおける堅果に付属する殻斗の分厚さを堅果内のハイロチョッキリの卵の有無別に示したものである。アベマキについて、堅果内にハイロチョッキリの卵が見られた堅果に付属していた殻斗の分厚さは横 $3.60 \pm 0.18\text{mm}$ 、縦 $5.52 \pm 0.27\text{mm}$ 、卵が見られなかった堅果ではそれぞれ $4.66 \pm 0.08\text{mm}$ 、 $5.90 \pm 0.23\text{mm}$ であり、堅果内にハイロチョッキリの卵が見られた堅果に付属していた殻斗の横の分厚さは有意に薄かった($P < 0.001$, t-検定)。コナラについても、堅果内にハイロチョッ

キリの卵が見られた堅果に付属していた殻斗の分厚さは横 0.70 ± 0.02 mm, 縦 3.45 ± 0.08 mm, 卵が見られなかった堅果ではそれぞれ 0.91 ± 0.04 mm, 3.28 ± 0.10 mmであり, 堅果内にハイイロチョッキリの卵が見られた堅果に付属していた殻斗の横の分厚さは有意に薄かった ($P < 0.001$, t -検定)。

(3) アベマキおよびコナラ果実からのハイイロチョッキリの羽化

表-2は2010年および2011年に採集し, 飼育に供した堅果数と翌年のハイイロチョッキリの羽化数を樹種別に示したものである。2010年に飼育に供したアベマキ堅果217個のうち158個, コナラ堅果166個全てで産卵場所の確認のために堅果を1度切開している。2010年に採集した堅果では, 翌年の6月28日から7月9日にかけて, アベマキで7頭, コナラで3頭のハイイロチョッキリの羽化が見られた。2011年に採集したコナラの堅果では, 翌年の6月26日から7月13日にかけて, 33頭のハイイロチョッキリの羽化が見られた。

図-5はアベマキおよびコナラから羽化したハイイロチョッキリの体長および口吻の長さを示したものである。羽化したハイイロチョッキリの体長はアベマキから脱出した個体の平均 \pm SEが 10.63 ± 0.76 mm, コナラから脱出した個体で 9.19 ± 0.19 mmであり, アベマキから脱出したハイイロチョッキリの方が有意に大きかった ($P < 0.05$, t -検定)。また, 口吻の長さは, アベマキから脱出して羽化した個体で 4.23

表-2 アベマキおよびコナラにおける飼育後の羽化個体数

		飼育に供した堅果数	羽化個体数
2010年	アベマキ	217	7
	コナラ	166	3
2011年	コナラ	135	33

± 0.33 mm, コナラから脱出して羽化した個体で 3.58 ± 0.08 mmであり, アベマキから脱出して羽化したハイイロチョッキリの方が有意に長い口吻を持っていた ($P < 0.01$, t -検定)。

4. 考察

ハイイロチョッキリの産卵行動として, 産卵した果実の付着する枝のみを切り落とすことが報告されている (Koo *et al.* 2003)。コナラでは, 1枝あたりに堅果内にハイイロチョッキリの卵が見られた果実数は2010年, 2011年ともに約1個であり, ハイイロチョッキリの卵が見られなかった果実の多くは1枝に複数の果実がついていた枝で見られた。例外として, 2010年において, 果実に産卵のために穿ったと思われる加害痕はあるものの, 堅果内にハイイロチョッキリの卵が見られなかった果実のみ付着している枝が僅かに見られた。しかしながら, その原因はわからなかった。

コナラにおいて, 堅果内にハイイロチョッキリの卵が見られた果実と見られなかった果実の堅果サイ

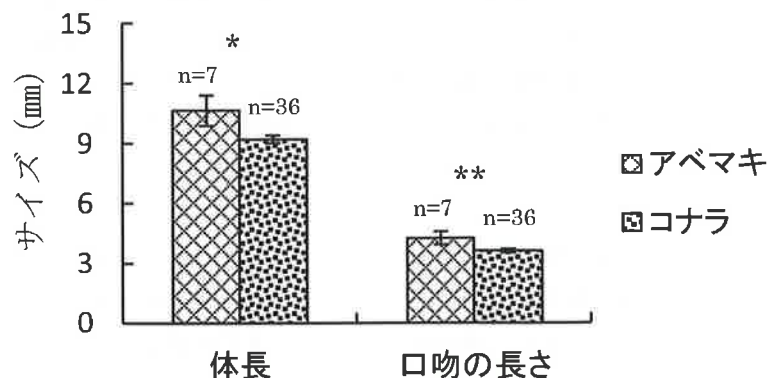


図-5 羽化実験でアベマキおよびコナラから脱出して羽化したハイイロチョッキリの体長と口吻の長さの平均値 (t -test, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

ヒストグラム上のバーは標準誤差を示す。

ズを比較すると、より大きいものにハイイロチョッキリの卵が見られた。ハイイロチョッキリが属すオトシブミ科のゾウムシの多くは産卵前に宿主を歩き、サイズを評価する行動をとることが知られている (Sakurai 1988a, 1988b, 1990)。ソウル大学内のコナラにおいて、産卵を受けた堅果は加害を受けなかった堅果よりサイズが大きかったことが報告されている (Koo *et al.* 2003)。本調査地においても、ハイイロチョッキリが大きなコナラ堅果を選好して産卵を行っていると考えられた。

これに対しアベマキでは、1枝あたり堅果内に卵が見られた果実数は、0.21個とコナラに比べて低下していた。堅果内にハイイロチョッキリの卵が見られた果実と見られなかった果実の堅果サイズを比較すると、コナラと異なり有意な差が認められなかった。一方、殻斗の横の分厚さは、堅果内にハイイロチョッキリの卵が見られた方が有意に薄かった。コナラも同様の傾向が見られたが、アベマキの方が差は大きかった。ハイイロチョッキリと同様に口吻で果実を穿ち産卵を行うシギゾウムシ類において、ブナ科樹木の殻斗の形質は産卵の成功に強く影響を及ぼしていると考えられている (福本 2000; 岡本 1987)。シギゾウムシ類のクリシギゾウムシ (*Curculio sikkimensis*) はアベマキやクヌギなどでは厚い殻斗を持っているため、うまく産卵できないと考えられている (福本 2000)。ハイイロチョッキリにおいても、アベマキの厚く棘のある殻斗は、産卵行動を妨げると考えられてきた (福本 2000; Fukumoto and Kajimura 1999; 上田・大住 2003)。本調査地ではハイイロチョッキリに産卵されているであろうアベマキの果実枝が数多く見られたが、殻斗が厚いものでは卵が堅果内に見られず、これまでの論文で指摘されているように殻斗が産卵を妨げている可能性が指摘された。

羽化実験を行ったところ、2010年度に飼育に供したアベマキ、コナラ、2011年度に飼育に供したコナラとも成虫の羽化が認められた。しかし、2010年はアベマキ、コナラとも羽化率が低く、産卵場所の調査のために果実を切開したことが影響している可能性が考えられた。羽化率については再試験を行う必

要があるものの、アベマキへの産卵でも次世代の生産に貢献していることが明らかとなった。また、アベマキとコナラの間で脱出して羽化したハイイロチョッキリのサイズを比較すると、アベマキからの個体の方が有意に大きかった。宿主内で成長を終える種にとって、宿主のサイズは餌資源量でもあるため、幼虫の発育に大きな影響を与えるとされている (McClure *et al.* 1998; Mitchell 1975)。コナラおよびモンゴリナラにおいて、サイズの大きな堅果から脱出したハイイロチョッキリの老熟幼虫は、サイズの小さな堅果から脱出したものより大きいことが報告されている (Koo *et al.* 2003)。本研究により、厚く棘のある殻斗を持つアベマキへの産卵は堅果内に届き難く不成功に終わる傾向があるものの、堅果内産卵に成功し、幼虫がうまく育てば、その堅果の大きさから体長や口吻の大きい次世代の子孫を残せる可能性が示された。

調査地において、アベマキのハイイロチョッキリの産卵による落下果実数は2010年で多く見られ、2011年では殆んど見られなかった。なお、2012年は多く見られた。一方、コナラは2011年には成熟堅果の落下が多く見られたが、アベマキにおいてハイイロチョッキリの産卵による果実落下が多く見られた2010年、2012年は、未熟サイズでの虫害果実が多く、8月まで健全な状態で枝に付着している果実は殆んど無かった (今井ら 未発表)。これらにより、ハイイロチョッキリは産卵可能なコナラ果実がある場合には、まずそれを利用し、それが少なくなるとアベマキへ宿主を転換している可能性が考えられた。また、調査地にはアラカシ (*Quercus glauca*) も見られ、コナラやアベマキに比べ果実の成熟期が遅いアラカシでは、数は僅かであったが果実の成長の早いもので産卵が見られた。本調査地はコナラ、アベマキ、アラカシそしてコジイといったブナ科樹木が混交する林となっている (平山ら 2011)。本調査地において、ハイイロチョッキリはコナラだけでなくアベマキそしてアラカシの中で成長の早い堅果といった他のブナ科樹木の堅果に宿主を転換できることにより、コナラを含めたブナ科樹木で見られる種子生産の年変

動による個体数の減少を免れ、ある一定の個体数が常に維持されている可能性が指摘された。

謝辞

本研究の宝ヶ池丘陵林山での調査は、京都市から許可をいただいて行った。また調査を行うにあたっては、京都府立大学森林植生学研究室の皆様にご協力にいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 在原登志男 (2001) 突発性病虫獣害の防除—コナラ堅果に産卵するハイロチョッキリの生態と防除期間—。福島県林業報告 34 : 185~189
- Fujii S (1993) Studies on acorn production and seed predation in *Quercus serrata* -Growth, falling phenology, estimation of production, and insect seed predators-. 大阪自然史博研報 47 : 1~17
- 福本浩士 (2000) コナラ属における種子食昆虫の資源利用様式とその食害が寄主植物の種子生産と発芽に及ぼす影響。名古屋大学森林科学研究 19 : 101~144
- Fukumoto H, Kajimura H (1999) Seed-insect fauna of pre-dispersal acorns and acorn seasonal fall patterns of *Quercus variabilis* and *Q. serrata* in central Japan. Entomol Sci 2: 197~203
- 平山貴美子・山田勝俊・西村辰也・河村翔太・高原光 (2011) 京都市近郊二次林における遷移進行に伴う木本種構成および種多様性の変化。日林誌 93 : 21~28
- 五十嵐豊・鎌田直人 (1990) ブナ種子害虫に関する研究(I)—青森県八甲田山におけるブナ種子の被害—。日林論 101 : 521~522
- Koo JW, Roh HC, Choe JC (2003) Oviposition preference and offspring performance in *Mechoris ursulus* Roelofs (Coleoptera: Attelabidae). J Ethol 21: 37~43
- 環境省自然保護局 (2004) 第6回・第7回自然環境保全基礎調査 <http://www.vegetation.jp/miru/images/5235/523546.jpg>, 2012.12.18ダウンロード
- 前藤 薫 (1993) 羊ヶ丘天然林のミズナラ種子食昆虫—主要樹種の生活史と発芽能力への影響—。日林北支論 41 : 88~90
- Matsuda K (1982) Studies on the early phase of the regeneration of a konara oak (*Quercus serrata* Thunb.) secondary forest, I. Development and premature abscissions of konara oak acorns. 日生誌 35 : 293~302.
- McClure M, Quiring DT, Turgeon JJ (1998) Proximate and ultimate factors influencing oviposition site selection by endoparasites on conifer seed cones: two sympatric dipteran species on larch. Entomol. Exp Appl 87: 1~13
- Mitchell R (1975) The evolution of oviposition tactics in the bean weevil *Callosobruchus maculatus*. Ecology 56: 696~702
- 宮脇 昭 (1984) : 近畿地方の潜在自然植生図 付表。日本植生誌[5] 近畿。(宮脇 昭編), 学研, 東京
- 岡本素治 (1987) 口ばして孔をあけ甘い汁を吸うゾウムシ。甲虫—その繁栄のナゾをさぐる—(宮武頼夫ら共著), pp.57~59, 大阪自然史博物館, 大阪
- Sakurai K (1988a) Leaf size recognition and evaluation of some attelabid weevils (1). *Chonostrophus chujoi*. Behaviour 106: 279~300
- Sakurai K (1988b) Leaf size recognition and evaluation of some attelabid weevils (2). *Apoderus balteatus*. Behaviour 106: 301~307
- Sakurai K (1990) Leaf size recognition and evaluation of some attelabid weevils (3). *Deporaus* sp. Behaviour 115: 348~370
- 上田明良・大住克博 (2003) 同一林内のコナラ, ナラガシワ, クヌギおよびアバマキの堅果への虫害。森林応用研究 12 : 129~135
(2012. 12. 26 受付, 2013. 2. 4 掲載決定)

論文

東海地方の暖温帯二次林におけるカシノナガキクイムシ加害初期の穿入木の経年変化と空間分布

澤田晴雄¹・平尾聡秀²・鎌田直人³

1. はじめに

本州・九州では、カシノナガキクイムシ（以下、カシナガ）が媒介する *Raffaella quercivora* によってブナ科の樹木が枯れるナラ枯れが流行し、1990年頃から被害地の拡大と（伊藤・山田 1998）、被害量の増加が続いている（林野庁 2012）。被害が発生してからの林分レベルでの被害の拡大パターンについてはこれまでも多くの研究が行われてきた。林分の被害初期には、立木の分布に比べると穿入木の分布の集中性が高く、その結果、林分に被害が発生するようになった直後は穿入木・枯死木の分布集中度も高いが、年ごとに寄主木の分布に近づくために、集中度が低くなる（鎌田ら 2000）。京都府のミズナラで調べた結果では、周辺0.09haのミズナラ密度がカシナガの穿孔を受ける確率に影響していることから、カシナガは、集中分布しているミズナラの「かたまり」のサイズをなんらかの方法で検出しているものと推測されている（Yamasaki and Sakimoto 2009）。また、被害の発生初期には、東向き斜面に被害が多いことが複数の研究で報告されている（小林・上田 2002；佐藤ほか 2004；Komura *et al.* 2006）。カシナガ成虫は正の走光性をもち（Igeta *et al.* 2003）、林縁部で密度が高くなる性質を持つ（Igeta *et al.* 2004）。正の走光性に加えて、夜明け前に羽化して主に午前中に飛翔するカシナガ成虫の行動の日周性（上田・小林 2001）によって、午前中に日射があたりやすい東向き斜面に昆虫が集まるために、東向き斜面で初期に被害が多くなると推測されている（鎌田 2005）。

しかし、従来のナラ枯れに関する空間解析においては、ほとんどが空間自己相関を考慮に入れないまま解析が行われていた。空間的自己相関とは、空間

的に近い点において似た値を示す現象である。空間的自己相関が発生する原因としては、独立でないサンプルの多重カウント、生物の移動や繁殖、距離が近い地点間における環境の類似性があげられる。ナラ枯れの場合、カシナガが正の走光性を持つこと（Igeta *et al.* 2003）、集合フェロモンにより雄が両性を誘引すること（Kamata *et al.* 2008）、寄主であるブナ科樹種が集中分布していること（Yamasaki and Sakimoto 2009）などの理由から、カシナガ穿入木やナラ枯れの枯死木に空間的自己相関が発生することが推測される。生物や生物害の空間解析を行う際には、空間的自己相関を除いたうえで、要因の影響を解析しなければ、誤った結論を導き出す可能性がある（Dormann *et al.* 2007）。

本論文では、東京大学農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所の赤津研究林に設定された長期生態系（以下、LTER）プロットにおいて、2007年に最初にカシナガの穿孔が発見されてから2011年までの5年間に穿入を受けたコナラ本数の経年変化と空間分布を調査し、空間自己相関を考慮してカシナガ穿入木の発生に影響する要因を解析した結果について報告する。

なお本研究の一部は、環境省モニタリングサイト1000による補助金を受けて行った。

2. 調査地と方法

調査は、愛知県瀬戸市の北東部に位置する生態水文学研究所のLTERプロットで行った。LTERプロットは面積が2.67haで、東西に最大280m、南北に最大170m、10m×10mの小区画267個からなる固定試験地である（図-1）。LTERプロットの植生は、ヒノキ・コナラ・アカマツ・コハウチワカエデを主

Annual increase of infestation by *Platypus quercivorus* (Murayama) and its spatial distribution in a warm-temperate secondary forest stand in Tokai District

¹SAWADA, Haruo, 東京大学演習林生態水文学研究所；²HIRAO, Toshihide, 東京大学秩父演習林；

³KAMATA, Naoto, 東京大学秩父演習林

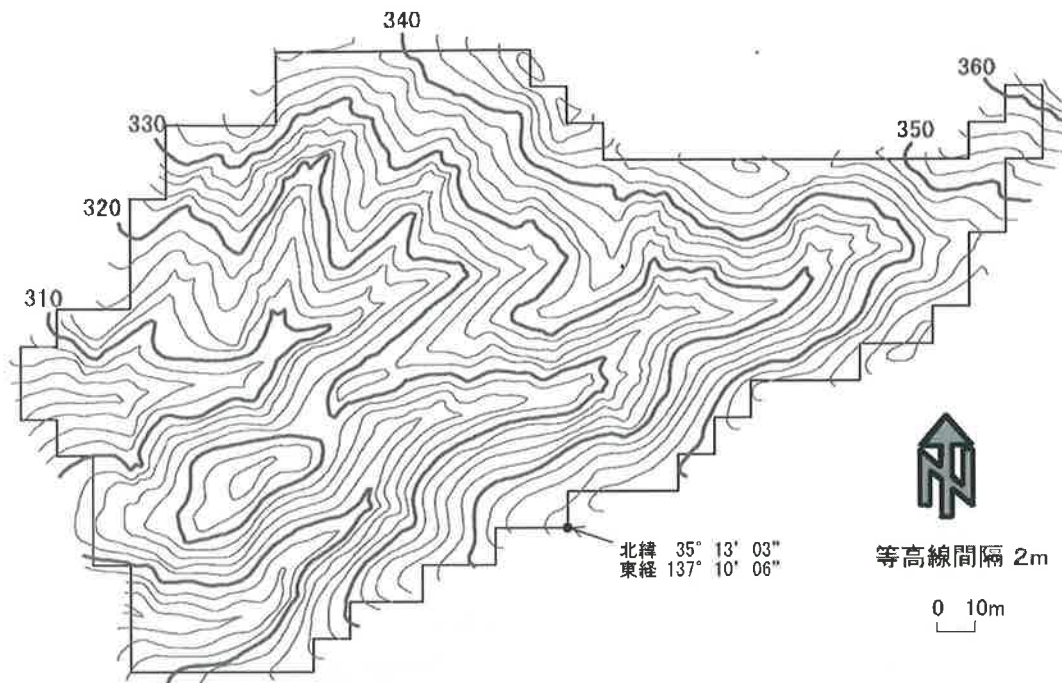


図-1 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所長期生態系プロットの地形図（等高線間隔2m）
面積2.67ha。東西最大280m、南北最大170m。10m×10mの小区画267個からなる。

な上層木とし、中下層にヤブツバキ・ヒサカキ・サカキ等の常緑広葉樹類がみられる。1980年代以降、マツ材線虫病で多数のアカマツが枯死し、現在でも毎年数本ずつ枯死している。その一方で、ナラ枯れに関しては、カシナガの穿孔が2007年に初めてみつき、コナラを中心としたブナ科樹木の枯死が拡大しつつある。

毎木調査は2007年11～12月に行った。胸高部の幹外周長を巻尺により0.1cm単位で測定して、胸高直径（cm）と胸高断面積（ m^2 ）（以下、BA）を求めた。胸高直径5.0cm以上の幹を調査対象木とした。毎年11～12月に、ブナ科樹木を対象として当年のカシナガ穿孔の有無と生死を調査した。本種の穿孔が樹幹の下部に多いことから、地際から高さ2mまでのカシナガの穿孔を目視で確認した。

GISソフトウェア（ArcGIS Ver. 9.3, ESRIジャパン株式会社）を用い、10m×10mのDEMから、各小区画の凹凸度、斜面傾斜角、斜面方位角、7月1日の6:00から19:00の毎時の日射量（ WH/m^2 ）を計算した。

これらの環境要因を説明変数とし、近傍距離を15mとして空間自己相関の影響を含め、カシナガ穿孔木と環境要因との関係を解析した。なお、10m四方の区画を単位として解析を行ったため、周囲8つの区画を近傍として含むように、近傍距離は15mに設定した。

地理空間相関分析を行うための空間回帰モデルにはさまざまなものがあり、それぞれに長所と短所がある。たとえば、近隣地点の従属変数の値を距離などで重み付けし、説明変数（自己共変量autocovariate）として加える自己共変量モデル（autocovariate model）は、GLMに自己共変量項を簡単に追加して解析できるという長所がある一方で、推定誤差が大きいという問題がある（Dormann *et al.* 2007）。同時自己回帰モデル（simultaneous autoregressive model）は、近隣地点との類似性を表す分散共分散行列を用いて、空間的な構造を持った誤差を考慮するモデルであるが、二項分布やポアソン分布を考慮した自己ロジスティックモデル（autologistic model）や autopoission modelは解析的に解くことは不可能で、

ベイズ法のマルコフチェーン・モンテカルロ・シミュレーションでしか計算することはできない(条件付き自己回帰モデル: conditional autoregressive model)。また、条件付き自己回帰モデルで使う空間重み行列は対称行列でなければならないが、本データのように方向を考慮しなければならないデータの場合は、空間重み行列を対称にすることはできないため不適当である。

そこで、本研究では、コナラの穿入木本数率(穿入木数をコナラの全本数で除した値、正弦逆変換)を目的変数として同時自己回帰誤差モデル(simultaneous autoregressive error model)により解析を行った。また、解析の際、モデルに組み込む日射量の時刻を変えてAICを比較することによって、穿入木の空間分布をよく説明できる時刻の日射量を選択し、当該時刻が選択された生態的背景についても考察を行った。解析には、フリーソフトウェアR(ver. 2.13.1)(R Development Core Team 2011)とライブラリspdep(ver. 0.5-56)(Bivand 2013)を用いた。

3. 結果と考察

(1) LTERプロットの概況

2007年の調査時において、本数密度2,045本/ha, BA合計36.4m², 樹種数49種であった。BA割合では、ヒノキが30%で最も大きく、コナラ25%, アカマツ

14%で、4位以下の樹種は5.0%未満であった(表-1)。これらのうちカシナガの寄主であるブナ科樹木は7種で、本数の合計は749本, 全体の13.7%であった。ブナ科樹種の中ではコナラが占める割合が高く、本数では72.9%, BAでは85.7%であった。

表-2にカシナガの被害を示す。2007年には、穿入木が1本発生したが枯死木は発生しなかった。2008年は被害が認められなかった。しかし、2009年以降、被害が急激に増加した。樹種で比較すると、コナラの被害木が多く、本数割合で、穿入生存木では89.7%, 穿入枯死木では98.3%を占めていた(表-2)。穿入木本数(穿入生存木と穿入枯死木の和)では、コナラの本数割合は91.2%(310/340)であった。アカガシがそれに次いだ。本研究では、コナラのみを解析の対象とした。

(2) 同時自己回帰誤差モデル

正弦逆変換したコナラの穿入木本数率を目的変数として空間同時自己回帰誤差モデルによる解析を行った結果、日射量は複数よりも一つだけの場合にAICが小さく、なかでも午前11時の日射量のときに最もAICが小さくなった(表-3)。コナラの穿入木本数率と午前11時の日射量の空間分布を図-2に示す。コナラの穿入木本数率は有意な空間自己相関構造をもっており($\lambda=0.402$, $p<0.0001$), 空間自己相関の影響を考慮しても、日射量, 傾斜, 斜面方位の影響はすべて有意($p<0.05$)で、凹凸度もほぼ有意

表-1 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所長期生態系プロットにおける胸高直径5cm以上の樹木全体の木数と胸高断面積およびブナ科樹種の構成

樹種	本数	本数/ha	本数率	BA(m ²)	BA(m ²)/ha	BA率
コナラ	546	204.5	10.00	24.151	9.05	24.86
アカガシ	76	28.5	1.39	2.713	1.02	2.79
ツクバネガシ	58	21.7	1.06	0.683	0.26	0.70
アラカシ	42	15.7	0.77	0.346	0.13	0.36
ウラジロガシ	19	7.1	0.35	0.163	0.06	0.17
ツブラジイ	6	2.2	0.11	0.089	0.03	0.09
シラカシ	2	0.7	0.04	0.031	0.01	0.03
ヒノキ	1,076	403.0	19.70	29.394	11.01	30.26
アカマツ	204	76.4	3.74	13.925	5.22	14.34
その他	3,432	1285.4	62.85	25.646	9.61	26.40
調査木の合計	5,461	2045.3	100.00	97.141	36.38	100.00

表-2 調査地におけるブナ科樹種に対するカシノナガキクイムシの穿孔による穿孔生存木と枯死木の発生経過

	5年間総数						2007年		2008年		2009年		2010年		2011年											
	初期総数		穿孔生存木		穿孔枯死木		穿孔生存木	穿孔枯死木	穿孔生存木	穿孔枯死木	穿孔生存木	穿孔枯死木	穿孔生存木	穿孔枯死木	穿孔生存木	穿孔枯死木										
	本数	BA	本数	BA	本数	BA	本数	BA	本数	BA	本数	BA	本数	BA	本数	BA										
コナラ	546	24.15	253	11.78	57	3.08	1	0.08	0	0.00	0	0.00	19	1.03	2	0.05	111	5.29	20	1.18	122	5.39	35	1.85		
アカガシ	76	2.71	21	1.16	1	0.02	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	4	0.30	0	0.00	11	0.60	1	0.02	6	0.26	0	0.00
ツクバネガシ	58	0.68	5	0.18	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	0.13	0	0.00	2	0.04	0	0.00		
アラカシ	42	0.35	2	0.04	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.03	0	0.00	1	0.02	0	0.00		
ウラジログシ	19	0.16	1	0.02	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.02	0	0.00	0	0.00	0	0.00		
ツブラジイ	6	0.09	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00		
シラカシ	2	0.03	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00		
合計	749	28.18	282	13.18	58	3.09	1	0.08	0	0.00	0	0.00	23	1.33	2	0.05	127	6.06	21	1.19	131	5.71	35	1.85		
コナラ%	72.9	85.7	89.7	89.41	98.3	99.48	100.0	100.0					82.6	77.6	100.0	100.0	87.4	87.1	95.2	98.7	93.1	94.4	100.0	100.0		

但し、再穿孔木は除いた。
BAは2007年の測定値から計算した

表-3 使った日射データの時刻と空間同時自己回帰誤差モデルのAIC

時刻	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
AIC	372.8	372.1	370.5	371.1	369.5	367.2	367.9	371.9	373.0	372.7	372.0	371.1	369.9	371.0

Arcsin (コナラの穿孔本数/コナラの本数) ~ 日射 + 凹凸度 + 傾斜 + 斜面方位

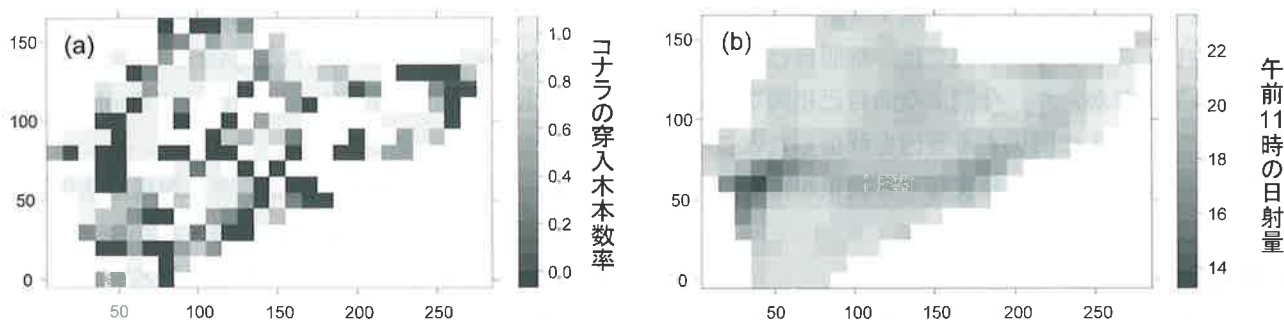


図-2 ベストモデルに使われたコナラの穿孔木本数率と午前11時の日射量の空間分布

($p=0.052$)であった(表-4)。日射と正の相関がみられたのは、カシナガ成虫が正の走光性を持つことが原因と考えられた。カシナガ成虫は薄明から羽化が始まり、午前中に飛翔個体数のピークがあることが、午前11時の日射量でもっともよいあてはまりを示した原因と考えられた。急傾斜、凸地形で、被害が多い傾向が認められた。これらはこれまでの知見と合致するものである。しかし、斜面方位については、西から北にかけて被害が多い結果が得られ、東向き(北東~南東)斜面で被害が多いとする従来の報告

と異なるものであった。本調査地では、方位角が 100° 未満の斜面は存在せず、 180° まで含めても調査地全体の方形区数の3.0%にすぎなかった(図-3)。ほぼ西向き($180\sim 360^\circ$)の斜面を対象に調査を行ったことが、従来の報告と異なる原因と考えられた。石川県加賀地方で被害発生と日射の空間分布を解析した研究では、空間自己相関を考慮していないが、午前9時の日射の空間分布がもっとも被害との相関が高い結果が得られている(Komura *et al.* 2006)。カシノナガキクイムシ成虫の飛翔開始には温度だけ

表-4 午前11時の日射量を使った空間同時自己回帰誤差モデルのベストモデル

	係数	p-値
(切片)	-6.51×10^0	0.018
11時日射	2.50×10^{-1}	0.015
凹凸度	4.44×10^{-2}	0.052
傾斜	4.62×10^{-2}	0.003
斜面方位	5.83×10^{-3}	0.006

Arcsin (コナラの穿孔本数/コナラの本数) ~ 11時日射 + 凹凸度 + 傾斜 + 斜面方位
 AIC: 368.46
 空間自己相関: $\lambda = 0.402$ ($p < 0.0001$)

ではなく日射が関係していることが知られており(上田・小林 2000), 本研究で, 被害発生にもっとも密接に関係する日射の空間分布の時刻が2時間遅れたのも, 西向きの斜面で調査したことが関係しているものと考えられた。

4. おわりに

これまでにカシナガの穿孔やナラ枯れ枯死木を対象に, 発生環境を解析した研究は少なからずみられた。しかし, これまでの研究では, 空間自己相関が考慮されていなかった。今回, 空間自己相関を考慮したうえで, 穿孔に関係する要因を解析したところ, これまでの結果をおおむね支持する結果が得られた。

引用文献

Bivand R (2013) Spatial dependence: weighting schemes, statistics and models. <http://cran.r-project.org/web/packages/spdep/spdep.pdf> 2013.2.4ダウンロード

Dormann CF, McPherson JM, Araújo MB, Bivand R, Bolliger J, Carl G, Davies RG, Hirzel A, Jetz W, Kissling WD, Kühn I, Ohlemüller R, Peres-Neto PR, Reineking B, Schröder B, Schurr FM, Wilson R (2007) Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. *Ecography* 30: 609~628

Igeta Y, Esaki K, Kato K, Kamata N (2003) In-

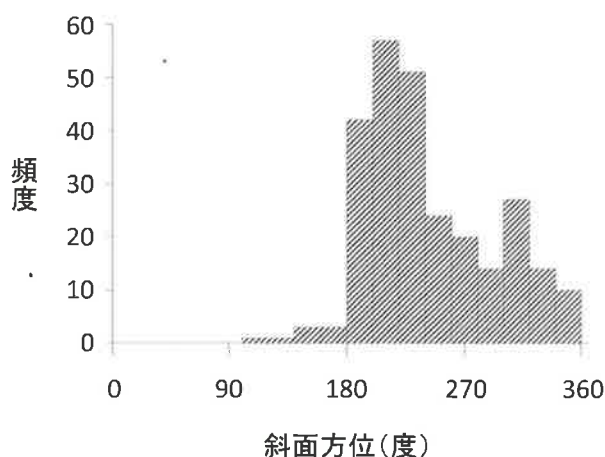


図-3 解析区域の斜面方位の分布

原点は北で, 角度は時計回り。東が90°, 南が180°, 西が270°, ヒストグラムは20°括約。

fluence of light condition on the stand-level distribution and movement of the ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae). *Appl Entomol Zool* 38: 167~175

Igeta Y, Esaki K, Kato K, Kamata N (2004) Spatial distribution of a flying ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae) at the stand level. *Appl Entomol Zool* 39: 583~589

伊藤進一郎・山田利博 (1998) ナラ類集団枯損被害の分布と拡大. *日林誌* 80: 229~232

鎌田直人 (2005) 昆虫たちの森. 東海大学出版会, 秦野

鎌田直人・江崎功二郎・加藤賢隆 (2000) 林分内におけるナラ枯れとカシノナガキクイムシ個体群の時間的空間的動態. III. 立木枯死に関係する要因の解析. 第111回日本林学会大会講演要旨集 307~308

Kamata N, Esaki K, Mori K, Takemoto H, Mitsu-naga T, Honda H (2008) Field trap test for bioassay of synthetic (1S, 4R)-4-isopropyl-1-methyl-2-cyclohexen-1-ol as an aggregation pheromone of *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platipodidae). *J For Res* 13: 22~126

小林正秀, 上田明良 (2002) 京都府内におけるナラ類

- 集団枯損の発生要因解析. 森林防疫 51:62~71
- Komura R, Liebhold AM, Esaki K, Igeta Y, Muramoto K, Kamata N (2006) Incidence of Japanese oak wilt in relation to topography and sunshine. Proceedings: 2004-05 International Symposium on Environmental Monitoring in East Asia -Utilization of remote sensing for monitoring of vegetation change-, Kanazawa University, Kanazawa, Japan, pp.33~38
- R Development Core Team (2011) R: a language and environment for statistical computing (v2.13.1). The R foundation for statistical computing, Vienna
- 林野庁 (2012) ナラ枯れ発生状況. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/higai/naragare.html>
2013.2.4ダウンロード
- 佐藤 明・野堀嘉裕・高橋教夫・斉藤正一 (2004) GISを用いた山形県朝日村におけるナラ類集団枯損の地理的特徴解析. 東北森林科学会誌 19:13~20
- 上田明良・小林正秀 (2001) カシノナガキクイムシの飛翔と気温・日照の関係. 森林応用研究 9:93~97
- Yamasaki M, Sakimoto M (2009) Predicting oak tree mortality caused by the ambrosia beetle *Platypus quercivorus* in a cool-temperate forest. J Appl Entomol 133: 673~681
(2013. 1. 21 受付, 2013. 2. 8 掲載決定)

島根県におけるクマハギの発生動向と生分解性ネットによる被害回避試験

澤田誠吾¹・金澤紀幸²・静野誠子³・堂山宗一郎⁴

1. はじめに

ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*, 以下「クマ」と略記) は、春～夏季にスギ、ヒノキの樹皮を剥皮する「クマハギ」被害を引き起こす。西中国地域では、2006年に初めて島根県西部の9林分において、クマハギの発生が確認された。その多くは2006年の初夏に発生した被害であったが、伐倒調査によって、少なくとも1989年頃からクマハギが発生していたことが明らかとなった(澤田ら 2010)。筆者らは、2007年以降のクマハギの発生動向を把握するための調査を2006年にクマハギが発生した3林分と周辺地域において行った。また、クマハギを防ぐための生分解性ネットによる被害回避試験を実施した。

2. 調査林分と調査方法

(1) 2007年以降のクマハギの発生動向調査

2006年にクマハギの被害実態を詳細に調査(澤田ら 2010)した益田市の3林分(益田, 匹見および美都)で実施した。益田は標高約250mの谷状にくぼんだ山腹斜面にある18年生のスギ・ヒノキ林, 匹見は標高約750mの林道に近接する急峻な東斜面にある22年生のヒノキ林であり, いずれも間伐は未実施であった。また, 美都は標高約600mの尾根から北東斜面にある2004年に間伐を実施した35年生のスギ・ヒノキ林であった(図-1, 表-1, 2)。2006年の被害実態を調査したプロットを中心から半径約50mの円状のプロットを新たに設定した。2007～2012年の毎年8～11月にプロットに含まれる約1,000～1,500本の林木について被害発生の有無を調査した。なお, 美都は調査林が2011年に間伐されたためにこの年で調査を終了した。

(2) 周辺地域で発生したクマハギの実態調査

2011年6月に吉賀町六日市の1林分, また2012年6月に浜田市弥栄町の2林分において, 本県西部農林振興センターの鳥獣専門指導員がクマハギの発生を確認した。吉賀町六日市では造林木の枝葉の褐変によって, 浜田市弥栄町ではクマの越冬穴の調査時に発見した。(図-1)。この3林分のうち, 被害木が比較的多かった六日市の林分で発生したクマハギの被害実態を調査した。六日市は, 標高約900mの林道に隣接する北西斜面にある2000年に間伐を実施した45年生のスギ林である(表-1)。2011年11月28日, 澤田ら(2010)と同様に, すべての被害木を含む長方形の調査プロット(0.2ha)を設定して調査した。調査プロット内のすべての林木の胸高直径を計測し, 被害発生の有無を確認した。被害木は, 加害年を剥皮部分のゆ合状態や樹液の粘度などから判断し, 加害方向, 剥皮高, 剥皮幅を記録した。加害方向は斜面の山側, 谷側, 斜面上方から左右に区分した。剥皮幅は樹幹全周に対して, 1/4周末満, 1/4周～1/2周末満, 1/2周～全周末満および全周の4段階に分けた。樹幹に複数の剥皮部を認めた場合は加害方向, 剥皮高および剥皮幅を剥皮部毎に記録した。また, 弥栄のヒノキ2林分については, 加害年, 被害本数, 加害方向などの概要を林内を踏査して把握した。

なお, 益田市の森林面積は63,698haで, 人工林率は32%, 吉賀町の森林面積は30,972haで, 人工林率は33%, 浜田市の森林面積は56,014haで, 人工林率は26%である(島根県農林水産部森林整備課 2011)。この地域の広葉樹林は, 益田はコナラ (*Quercus serrata*) 群落, 美都はコナラ, クリ (*Castanea crenata*) - ミズナラ (*Q. crispula*) 群落, 匹見と六日市はコナラ, クリーミズナラ, ブナ (*Fagus crenata*) - ミ

Occurrence of the bark stripping by the Japanese Black Bear and its control with biodegradable net in Shimane Prefecture.

¹SAWADA, Seigo, 島根県中山間地域研究センター; ²KANAZAWA, Noriyuki, 島根県西部農林振興センター益田事務所;

³SHIZUNO, Tomoko, 島根県西部農林振興センター; ⁴DOYAMA, Soichiro, 島根県西部農林振興センター県央事務所

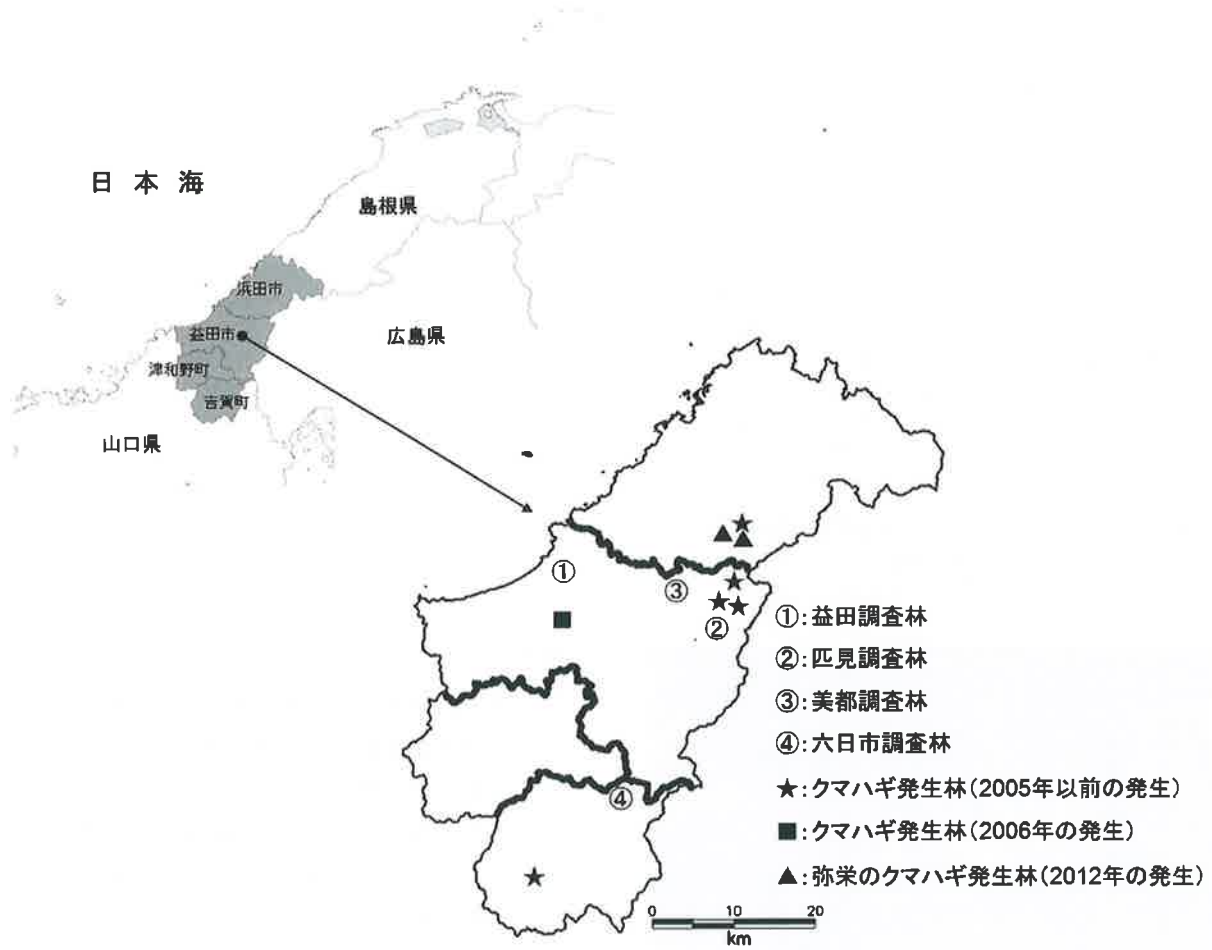


図-1 調査林の位置

表-1 調査林の概況

	益 田	匹 見	美 都	六 日 市
場所	益田市左ヶ山	益田市匹見町	益田市美都町	吉賀町六日市
林分面積	1 ha	10ha	8 ha	10ha
標高 (m)	240~270	700~770	580~620	900~990
樹種	スギ・ヒノキ	ヒノキ	スギ・ヒノキ	スギ
林齢	18	22	35	45
傾斜方向	北	東	北東	北西
平均傾斜度	26	35	33	28
平均胸高直径 (cm)*	10.0±2.5	11.6±3.2	19.0±4.2	19.5±4.3
間伐	未実施	未実施	2004年に実施	2000年に実施

* 平均値±標準偏差, 益田は2006年, 匹見と美都は2007年, 六日市は2011年に計測

ズナラ群落, 弥栄はコナラ, クリーミズナラ, ブナ・ミズナラ群落である (環境庁 2001)。

(3) 生分解性ネットによるクマハギの回避試験

クマハギの被害回避ネットは, 林内に長期間残存し, 使用後の撤去・処理が問題になることから, 石

川県が開発した生分解性ネット (商品名: アミティー剥皮防止ネット, 以下「ネット」と略記; 八神ら 2006) を選んだ。ネットによる被害回避試験は, 被害発生動向を調査した益田と匹見で実施した。益田は, 被害動向調査のプロットに隣接した同一林分

表-2 クマハギの発生状況

	益 田*		匹 見*	美 都*		六 日 市
	スギ	ヒノキ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ
調査プロット面積 (ha)	0.1		0.4	0.2		0.2
調査本数	49	72	1027	44	246	289
被害本数 (被害率)	16 (33%)	27 (39%)	324 (32%)	9 (19%)	47 (19%)	77 (27%)
無被害木の平均胸高直径 (cm)**	9.4±2.1	9.1±2.3	10.4±2.9	20.1±5.2	17.8±3.1	19.2±4.4
被害木の平均胸高直径 (cm)**	13.2±2.1	10.1±2.2	14.1±2.0	28.2±3.5	21.5±4.2	20.5±3.9
被害発生年月	2006年6月頃	2006年6月頃	2006年初夏	2006年初夏	2006年初夏	2010年初夏
発生状況	一部に集中	一部に集中	一部に集中	一部に集中	一部に集中	一部に集中
Mann-Whitney's U-test***	U=471, P=0.001	U=748, P=0.099	U=2,004, P=0.001	U=292, P=0.001	U=7,082, P=0.001	U=6,899, P=0.043

* 澤田ら (2010) で報告済

** 平均値±標準偏差, 益田は2006年, 匹見と美都は2007年, 六日市は2011年に計測

*** 被害木と無被害木の胸高直径の比較



写真-1 生分解性ネットの試験林 (益田)

のスギ・ヒノキに, 匹見は被害動向調査のプロット内のヒノキに設置した。また, ネットのずり落ちを防止するために最上部を麻縄で固定し, 地際部から樹幹に巻いたネットの両端は結束バンドで3~4か所を止めた。しかし, 設置して3年半後にはネットを固定していた麻縄が樹幹の肥大成長によって樹皮に食い込んだため, すべての麻縄を取り外した。なお, 益田ではネットを設置するために試験区内の林木の枯枝落としを行い, 間伐予定の約20%の林木にはネットを設置しなかった。設置部位の樹幹に枯枝のなかった匹見では, 設置区内の被害木 (約22%) を除いたすべての林木にネットを設置した。ネットは幅100cmで, 長さは100cm, 120cmおよび150cmの3

種類を各100本ずつ設置した (写真-1)。斜面上部から下方に向かって100cm区, 120cm区, 150cm区および対照区を配置し, 2008~2012年9~11月に各年の被害発生の有無を調査した。なお, 匹見は調査プロット内の無設置木 (約1,200本) を対照区として扱った。ネットの設置は, 益田が2008年4月22日, 匹見が2008年4月21日に行った。なお, ネットの設置労力 (各300枚) は, 益田では2人・日, 匹見では3人・日であった。

3. 調査結果

(1) 2007年以降のクマハギの発生動向調査

3調査林における2007年以降のクマハギの発生動向を表-3に示した。匹見では2009年に1本と2012年に2本, 美都では2008年にヒノキ2本にクマハギの発生を認めた。益田では, いずれの年もクマハギの発生は認めなかった。5本の被害木の剥皮部の下端は, 地際部~10 (平均4) cm, 上端は80~110 (平均96) cmの高さに認め, 上下の長さは80~100 (平均94) cmであった。また, 剥皮部の幅はいずれも1/4周未満, 加害方向はいずれも山側からであった。

(2) 周辺地域で発生したクマハギの実態調査

六日市のスギ林に発生したすべてのクマハギは, 2010年の初夏に加害されたと判断した (写真-2)。調査プロット内の被害率は27%であったが, クマハギは林分の一部に集中して発生しており, 林分全体

表-3 2007年以降のクマハギの発生本数

	益 田		匹 見	美 都	
	スギ	ヒノキ	ヒノキ	スギ	ヒノキ
2007年	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	2
2009	0	0	1	0	0
2010	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0
2012	0	0	2	—*	—*

* 間伐によって調査木が伐採されたために未調査

では1%以下の被害であった。胸高直径は被害木が無被害木よりも有意に太かった (Mann-Whitney's U-test, $U=6,899$, $P=0.043$) (表-2, 図-2)。被害木の剥皮部の下端は、地際部~50 (平均9) cmの高さに認められたが、このうち70%は地際部であった。剥皮部の上端は、60~270 (平均128) cmの高さに認め、上下の長さは30~240 (平均119) cmであった。加害方向は山側から加害されたものが60%を占めて多かった。剥皮幅は、全周は17%, 1/2周~全周末満は21%, 1/4周~1/2周末満は35%, 1/4周末満は27%であった。また、被害木77本のうち、樹幹の2か所に加害を受けていたのは2本 (3%) と少なかった。なお、調査時には、全周剥皮を受けた13本のうち6本は枯死していたが、他の7本は枝葉の一部の



写真-2 全周を剥皮されたスギ (六日市)

みが褐変 (半枯木) していた。

弥栄のヒノキ2林分で発生したすべてのクマハギは、2012年の初夏に加害されたと判断した。各20~30本の被害木が林分の一部に集中して発生しており、各林分での被害率は1%程度であった。また、被害木は山側から加害されたものが多かった。

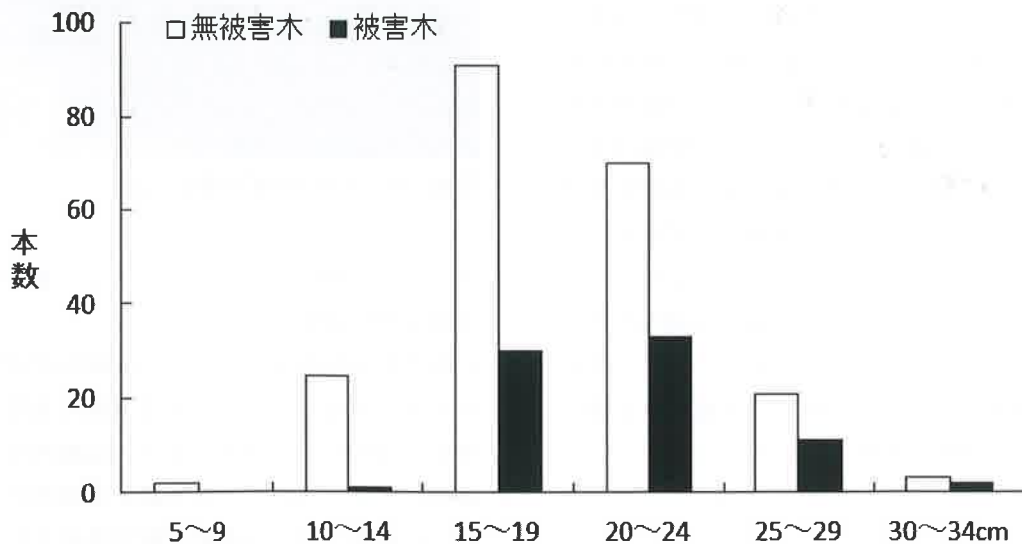


図-2 無被害木と被害木の胸高直径の比較

表-4 益田での生分解性ネットの状態

	100cm		120cm		150cm	
	切断	ずり落ち	切断	ずり落ち	切断	ずり落ち
2008年	1	0	1	0	1	0
2009	3	0	2	0	2	0
2010	3	2	2	4	2	5
2011	3	3	2	8	3	11
2012	3	3	2	8	3	11

注) ネットの切断とずり落ちは発生年からの累積本数

表-5 匹見での生分解性ネットの状態

	100cm		120cm		150cm	
	切断	ずり落ち	切断	ずり落ち	切断	ずり落ち
2008年	2	0	0	0	0	0
2009	5	0	2	0	0	0
2010	5	0	2	0	0	0
2011	6	11	3	6	8	1
2012	6	11	3	6	8	1

注) ネットの切断とずり落ちは発生年からの累積本数

(3) 生分解性ネットによるクマハギの回避試験

益田ではクマハギはまったく発生しなかった。また、匹見でも対照木に2009年に1本、2012年に2本の被害発生を認めたに留まって、ネットによる被害回避効果を判定することはできなかった。設置4年半後のネットの状態をみると、益田ではネットの切断8本とネットのずり落ち22本を、匹見ではネットの切断17本とネットのずり落ち18本を認めた(表-4, 5, 写真-3, 4)。ネットの切断は、両試験地で設置して半年後から認めた。ネットの切断面は刃物で切ったような状態であったが、その原因は不明であった。また、ネットのずり落ちは、益田では設置して2年半後、匹見では3年半後から認めた。切断やずり落ちにネットの長さによる差は認めなかった。なお、切断やずり落ちによって林床に落ちたネットは落下後の1年間でわずかに分解していた。落ちたネットは放置したが、落下から2年後には土壤に接した部分から分解は進行していた。

4. 考察

本県西部地域では、2006年に多数のクマハギが発



写真-3 ネットの切断 (匹見)



写真-4 ネットのずり落ち (益田)

生したが、2007年以降継続的に発生動向を観察した3林分ではわずかな発生に留まった。一方、2010年にはこれらの地域から17~23km離れた吉賀町六日市のスギ1林分において数十本規模の発生があった。また、2012年にも同様に6~20km離れた浜田市弥栄町のヒノキ2林分において数十本規模の発生があった。石川県では、本格的な被害発生が始まる5~10年前には、前兆ともいえる軽度な剥皮を認めた場合

が多かったが、前兆的な被害がなくても短期的に大量に発生した場合もあったと報告している（八神 2003）。

2010年に六日市の1林分で発生したクマハギは、2006年の被害実態（澤田ら 2010）とほぼ同様の傾向であった（表-2）。すなわち、林内の胸高直径の太い立木が選択的に剥皮され、加害部は斜面山側に多く認められた。剥皮部の下端の多くは地際部であり、剥皮部の長さは平均120cmであった。これは、他の発生地域でのクマハギの特徴とも類似した（山田ら 1990；斉藤 1995；八神 2000）。

ネットによるクマハギの回避試験では、いずれの試験地でも被害発生が少なかったために効果を判定することはできなかった。石川県での同様の試験では、ネットは横方向への引っ張り強度を3年間は保った（八神 2007）が、本試験地では設置して半年後には切断したものを認めた。原因は不明である。石川県では、設置2年後からネットのずり落ちを認めて、3年後にはほとんどのネットがずり落ちた。そのため、ネットの最上部をロープ等で樹幹に固定する必要があるとした（八神ら 2006）。そこで、本試験では麻縄でネットの上部を固定したが、設置3年半後から麻縄が樹皮に食い込んだ。したがって、固定するロープは伸縮性の素材である必要がある。いずれの試験地でも設置して4年半後からのずり落ちは麻縄を外した影響であると考えられる。ずり落ちたネットは、地表へ落ちて1年後から分解を認めたが、2年後にはさらに分解が進行していた。なお、ネットは加水分解し、高温多湿条件下では分解は進むが、軽く埋土すればさらに進行するという（八神ら 2006）。

筆者らは、これまでに島根県西部地域の12林分においてクマハギの発生を認めたが、市町からの被害報告は無かった。クマハギは林分の一部に集中して発生していたが、林分全体で見るとわずかな被害であったことから、現在の被害量は山林所有者の許容範囲内かもしれない。また、山林所有者がクマハギ

を知らない可能性もある。今後は、林業関係者へクマハギについて周知し、クマハギの発生動向も継続して把握していきたい。

謝辞

調査を許可して頂いた益田市、(独)緑資源機構（現森林総合研究所 森林農地整備センター）、(株)日本製紙、近畿中国森林管理局島根森林管理署、また調査に協力を頂いた川合 努氏、植田晃広氏、河本 忍氏、永富 聡氏、中山間地域研究センター鳥獣対策グループの各位に厚くお礼を申し上げます。

引用文献

- 環境庁（2001）現存植生図．第5回自然環境基礎調査
- 斉藤正一（1995）ツキノワグマによるスギ剥皮被害発生林分の立地環境と林分構造について．日林東北支誌 47：93～95
- 澤田誠吾・金森弘樹・山川 渉・藤田 曜・金子 愛（2010）島根県西部において初確認したスギ・ヒノキのクマハギ被害．森林防疫 59：128～134
- 島根県農林水産部森林整備課（2012）森林資源関係資料．pp.28～35，島根県
- 八神徳彦（2000）石川県におけるクマ剥ぎ被害の現状（第1報）．石川県林試研報 31：1～9
- 八神徳彦（2003）石川県におけるクマ剥ぎ被害軽減に向けたとりくみ．石川県林試研報 34：36～41
- 八神徳彦（2007）クマ剥ぎ防護ネットの効果と特性．森林防疫 56：85～89
- 八神徳彦・山本 孝・奥村 航（2006）生分解性クマ剥ぎ防護ネットの分解性．石川県林試研報 38：1～4
- 山田文雄・小泉 透・北原英治（1990）京都市におけるニホンツキノワグマによる林木剥皮と捕獲状況．第101回日林学術講：569～570
（2013. 2. 4 受付，2013. 2. 21 掲載決定）

解説

マツ材線虫病北限付近における枯死木発生の季節的傾向 —伐倒駆除の優先順位を統計的に導く—

星崎和彦¹・太田和誠²

1. はじめに

近年のマツ材線虫病は、東北地方や本州中部の高標高地など気候の冷涼な地域での被害が多く、東北地方の被害量は全国の約4分の1を占めている。本病の北限は2009年に青森県蓬田村となったが（木村ら 2011）、それまでの約25年、秋田県内に北限があった。被害の恒常性や発生分布の連続性を鑑みれば、秋田県は現在も防除上重要な先端地域といっている。国外では、東アジアの各地域のほか、1999年にはポルトガルに、その後スペインでも本病の被害が確認され、現在ヨーロッパでは、気候がより冷涼な大陸内部への被害拡大が懸念されている（Braasch and Enzian 2003）。

これまでの研究から気候の冷涼な地域では、被害の発生傾向が温暖な地域とはかなり異なっていることが知られている。温暖地では茨城（岸 1988）、石川（Togashi 1989）等で被害の発生パターンが詳しく調べられており、そこでは被害木の発生が夏に集中し、またほとんどの被害木がマツノマダラカミキリの産卵対象に含まれる（Nakamura-Matori 2008）。これに対し寒冷地では、低温のために病徴の進展が遅れ、その結果一年を通して衰弱するマツが発生する（陣野ら 1987；Nakamura-Matori 2008）。また温量不足のためにマツノマダラカミキリの成虫活動期間も制限され、産卵期も短くなる。これらのことから、マツノマダラカミキリが産卵する被害木は年間に発生する被害木の一部に限られると言われてきた（陣野ら 1987；小林 2005；星崎ら 2005）。

秋田県では、これらの特徴を考慮して、駆除対象とすべき被害木を選別する防除戦略（秋田方式）を導入している（秋田県森林整備課 2005）。この方式はマツノマダラカミキリの産卵期に衰弱したマツ

（夏枯れ木）を重点的かつ確実に伐倒処理するもので、北日本や高標高地など気候の冷涼な地域で被害状態の維持を目標にする際に可能な防除戦略である（小林 2004；星崎ら 2005）。伐倒後の処理の若干の注意点があるものの（星崎・小林 2007）、駆除費用・時間観点からは効率的に被害拡大を防止できる（秋田県森林整備課 2005）。

しかしながら我々が集めた情報では、寒冷地のマツ材線虫病の被害におけるこれらの特徴の根拠となるデータは、それほど網羅的・徹底的に調べられてきたわけではなく、定性的な情報のままであった。寒冷地での被害木の季節的な発生傾向とマツノマダラカミキリ産卵木の割合に関する定量的かつ詳細なデータを蓄積することは、国内外を問わず重要な情報となるはずである。

そこで我々の研究グループは、寒冷地でのマツ材線虫病被害の発生状況やマツノマダラカミキリの産卵実態を明らかにするために、被害の最北端に近い秋田市の海岸マツ林で被害木の発生パターンとマツノマダラカミキリの寄生状況を調べた（Ohta *et al.* 2012）。この小論ではその概要を紹介しつつ、防除対象を絞り込む際に用いた統計的手法について詳しい解説を試みたい。

2. 秋田市における被害木の発生傾向

この論文（Ohta *et al.* 2012）で具体的に検討された主な問いは次の3つである。(1)被害木の発生ピークは何月にあるのか？(2)年間に発生する被害木のうち、何割にマツノマダラカミキリが寄生するのか？(3)いつ発生する被害木がマツノマダラカミキリに寄生されやすいか？ 野外調査は、秋田市下新城の海岸マツ林に設置した84.7haの調査地で行われた。こ

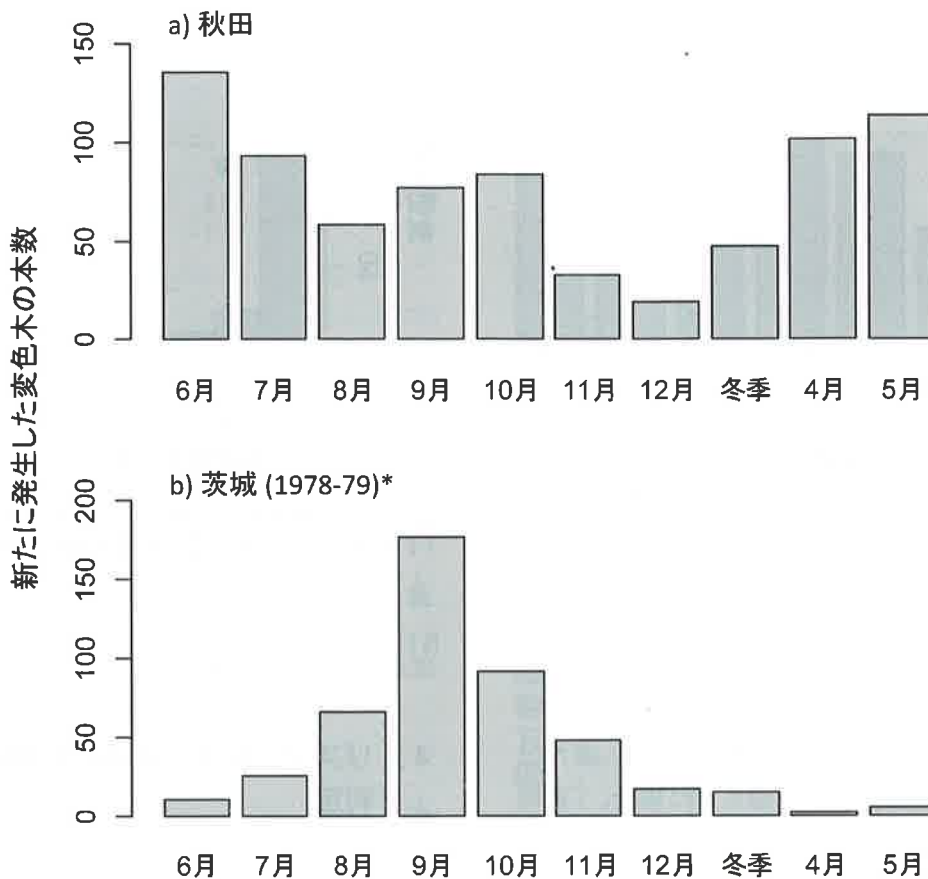


図-1 秋田 (a, クロマツとアカマツを合算) と茨城 (b, クロマツ林) における針葉変色木の発生パターン
 茨城については岸 (1988) のデータを再集計して作図。秋田, 茨城ともに2年間を合算して示す。

こはマツ材線虫病の2009年までの北限（秋田県八峰町）から約60km南に位置し、年平均気温11.4℃、降水量は1713mm/年である。調査地はクロマツの優占林であるがアカマツも混生する。マツの立木密度は800~2000本/ha、樹高は8~22mで、毎年の被害発生率は0.1~2.4%とかなり軽微な状態が維持されている。

2007年4月から2008年12月まで毎月下旬に、調査地全域を踏査して763本の被害木を記録した（2007年6月からの1年間に379本、2008年6月からの1年間に384本）。本研究では直径5cm以上のマツを対象に、針葉変色が確認された木を被害木として記録した。この際、旧葉変色から当年葉の黄変のような初期的な変化を発見するよう努めた。以下、これらの被害木を単に「変色木」と呼ぶ。

変色木は年間を通して発生し、両年とも6月に発生ピークがみられた（図-1 a）。クロマツでは春のほか秋にも小さなピークが認められたが、アカマツでは春に明瞭なピークを持つ発生傾向を示した。2年間の発生傾向に有意な差はなかった。これらの変色木の発生傾向は、これまでの温暖地でのパターン（図-1 bに例として茨城の調査結果（岸 1988）を示す）とははっきり異なっていた。

3. マツノマダラカミキリの寄生状況

変色木へのマツノマダラカミキリの寄生と変色開始時期との関係を検討すべく、6~11月に初めて確認された変色木を対象に、すべての変色木でマツノマダラカミキリの寄生状況を調査した。秋田県でのマツノマダラカミキリの産卵期間が終了する10月か

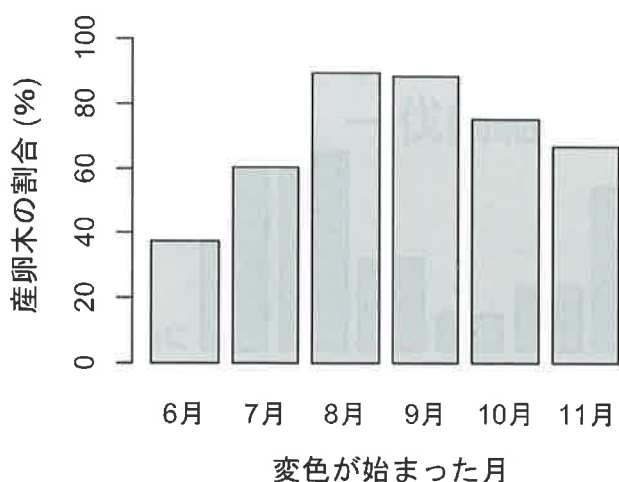


図-2 マツノマダラカミキリの産卵痕を有する変色木の割合
2年間の調査データを合算して示す。

ら11月にかけて変色木の状況を木登り（表紙写真）および伐倒により調べた。ここでは、マツノマダラカミキリによる産卵噛み跡（以降、産卵痕）または同種幼虫の食痕・フラスが確認された場合、「産卵木」とみなした。

さらに、樹高1～2mと4.5～5.5mの2箇所において産卵痕の数を数え、あわせてそれぞれの高さでの幹直径を測定した。

調査した変色木（n=763）のうちマツノマダラカミキリの産卵痕を有していたのは325本で、産卵木の割合は2007年が44.9%、2008年が40.4%であった。クロマツのほうがアカマツよりも産卵木の割合が高かった（44.2 vs. 33.6%）。

産卵痕は6月変色開始木から11月変色開始木まで広く認められた。8月変色木（89.7%）と9月変色木（88.3%）が非常に高い割合で産卵木を含み、5～6月の変色木では低かった（図-2）。変色木1本あたりの産卵痕密度（各調査木の樹幹表面積あたりの産卵痕数）は概して小さく（平均5.7±11.2個/cm²）、月ごとの平均は3.2～13.5個/cm²であった。また非常に大きな個体差が認められ、ほとんどの変色木で産卵痕のカウント数は4未満であったが、最大では80個/cm²を超える変色木も見られた。その中で、6月変色開始木と11月変色開始木では、産卵痕密度

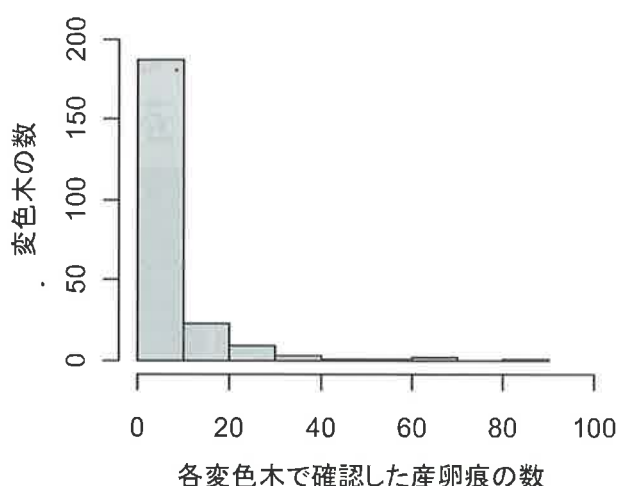


図-3 変色木あたりのマツノマダラカミキリ産卵痕数（2ヶ所の高さにおける測定値の合計）のヒストグラム

はおしなべて低い値であった。

4. リスク分析手法を用いた被害木の重要度判定

これらのデータから、2つの一般化線形モデル（GLM）を用いて各月の変色開始木の重要度を判定した。まず、産卵木割合に関するGLMを構築し、各変色開始月の変色木が産卵を受けるリスクを月間で比較した。モデルの応答変数は産卵痕の有り/無し（有りの場合1、無しの場合0）で、説明変数は変色開始月（尺度変数として指定）である。すなわち、モデルは次の式で表現される；

$$G(y) = a + b \times month$$

左辺G(y)はGLMのリンク関数と呼ばれ、応答変数が従う確率分布（=誤差構造）に応じて異なる関数が与えられる。今考えている産卵痕の有無のモデルでは、応答変数が二値（0か1）なので誤差構造は二項分布を想定するのがふさわしく、その場合リンク関数にはlogitがデフォルトで指定される。（logit(P)=log(P/(1-P)), ここでPはある変色木が産卵痕を有する確率）

このGLMから、任意の月を基準に、他の月の変色開始木の相対的な産卵リスクを月ごとに求めることが出来る*（浜島 1993）。そこで、基準となる月

* これは医学における「たばこを日常的に吸っていると肺がんになるリスクがxx倍になる」という解析と同等である

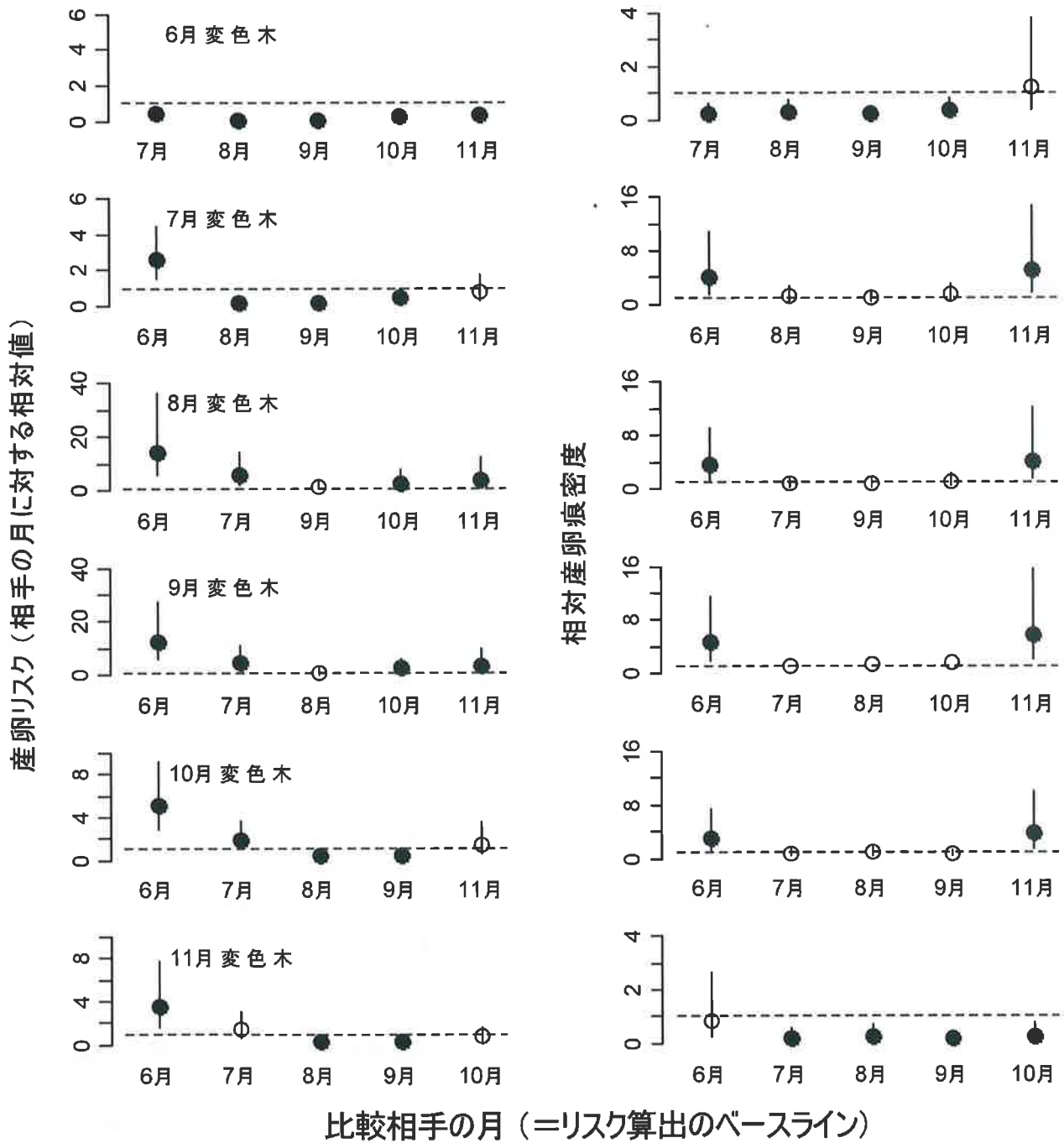


図-4 GLMによる「リスク分析」の手法で評価した、各変色開始月ごとの変色木の産卵リスク (左列: 産卵痕を有するか否か) と産卵痕数の多さ (右列)

左右いずれも、基準の月に対する相対値で表されている。縦棒は産卵リスクまたは相対産卵痕数の95%信頼区間を示し、これが1 (破線) を含まない場合に有意な「リスク」と判断される (黒丸)。例えば6月に初めて確認された変色木の場合、7月以降の他のどの月よりも産卵リスクが有意に低く、産卵痕数では7~10月の変色木より有意に少なく、11月の変色木とは有意な違いはない。

を6月から11月まで変化させて、全てのペアについて相対産卵リスクを算出した。これにより、どの月がどの月に対して有意に産卵されやすいかを詳細に評価することができ、これが同様のデータに対して適用可能な χ^2 検定に対する大きな利点となる。

次に、各変色木への産卵痕数を変色開始月で説明するGLMを構築した。各調査木の産卵痕数（地上高1～2mと4.5～5.5mを合計）を応答変数にして同様のモデルを構築した。応答変数はいわゆる「カウントデータ」であり、必ず0以上の整数をとり、また0に近いところにモードを持つ分布をしていた（図-3）。このような場合は、正規分布を仮定する従来の回帰分析ではなく、ポアソン分布や負の二項分布などカウントデータをうまく説明できる確率分布を扱えるモデルを構築するのが、統計的な処理として正しい。樹幹表面積あたりの産卵痕密度の個体間のばらつきが平均値よりかなり大きかったことから、今回は誤差構造にポアソン分布ではなく負の二項分布を指定した。この場合のリンク関数はデフォルトで自然対数である。また樹木サイズの違いを調整するため、各調査木の調査面積（地上高1～2mと4.5～5.5mの樹幹表面積を合計）をオフセット項に指定した。オフセット項とは回帰係数を1に固定した項のことで、つまりこのモデルは「表面積あたりの産卵痕数」を説明変数である月で説明しようとするのと同義である（このようにする理由は、応答変数で想定した確率分布に少数がなじまないためである）。月間の比較は、産卵有無のモデルと同様に基準月を変化させてすべてのペアについて行った。以上の解析には、統計解析言語RのglmコマンドおよびパッケージMASSのglm.nbコマンドを用いた。

産卵有無のモデルから、8月および9月に初めて確認された変色木の産卵リスクが極めて高く、8月変色木は他の月の2.8～14.6倍の、9月変色木は2.5～12.7倍の産卵リスクを有することがわかった（図-4）。反対に、6月変色木は他のどの月よりも産卵リスクが有意に小さかった。7月と11月の変色開始木の産卵リスクは6月よりも有意に高く、また10月変色木は6月変色木や7月変色木よりも産卵リスク

が高いことがわかった（図-4）。

産卵痕数のモデルからは、7～10月に初めて確認された変色木は他の変色木（6月または11月）よりも産卵痕数が有意に多いことがわかった。相対産卵痕数の多いこれらの月の変色木どうしを比較すると変色開始月による違いは有意ではない、すなわち、7～10月の期間に初めて確認された変色木が持つ産卵痕数に実質的な違いはなかった（図-4）。

5. 考察

秋田での変色木の発生パターンは、冒頭で述べた寒冷地における被害発生の特徴に沿った結果であった。また、年間に発生する変色木のうちマツノマダラカミキリの産卵を受けるのは4割強であることが、大サンプルサイズのデータにもとづいて示された。今回の評価は産卵痕に基づいたものであるが、すべての産卵噛み跡に卵が産み付けられたとは限らないため、真の寄生率をやや過大に評価していると考えられる。とはいえ、この4割という数値は寒冷地でのマツノマダラカミキリの寄生実態の目安となる値であろう。

変色木の発生時期と季節的傾向は、秋田では感染から変色までの期間が非常に長いことを強く示唆する結果である。秋田でのマツノマダラカミキリ成虫の脱出期は6月中旬から7月下旬である（星崎ら 2005）。マツノザイセンチュウの感染から針葉の変色まで1か月前後の時間がかかることから、7月までに変色を開始した被害木のほとんどは前年またはそれより前にマツノザイセンチュウに感染した個体であろう。このような被害の発生の遅れは夏期の気温が低いことで十分に説明可能である（陣野ら 1987）。

これまでの多くの研究において、感染から年を越して枯死する“年越し枯れ”の存在が寒冷地におけるマツ材線虫病の発生の大きな特徴であると指摘され（最近の総説としてはNakamura-Matori 2008）、したがってそれに対する理解が防除の鍵になると考えられてきた（陣野ら 1987；在原 1988など）。今回の結果では、マツノマダラカミキリの羽化脱出期の直前に変色発生のピークがあったことから、7月

に発生する枯死木の大部分や8月以降の新たな変色木に年越し枯れと当年枯れの両方が(毎月異なる割合で)含まれている可能性がある。このように考えると、当年枯れか年越し枯れという区分は、寒冷地での被害発生の実態(図-1)をあまりうまく説明していない。マツノマダラカミキリの産卵にとって衰弱木の感染時期は重要ではないだろうから、むしろ、感染時期を想定しない、単なる病徴の発症時期が寒冷地の被害実態に意味のある指標ではないかと考えられる。

GLMを用いた解析から、9~10月の変色開始木は、産卵有無のモデル、産卵痕数のモデルの両方において、マツノマダラカミキリ成虫のもっとも重要な産卵対象であった。また6月変色開始木は、産卵リスクでは他のどの月よりも、また相対産卵痕数では11月を除く他の月よりも、有意に小さかった。よって6月変色木は産卵対象として重要ではない。ここまでは、はっきりと結論付けられる。では、7月と10月、11月はどうか。7月については、産卵リスクはあまりないものの、相対産卵痕数が8~9月の変色開始木と同等に多い。10月変色木については7月よりも産卵リスクが高く8、9月と同等数の産卵痕を有することから、この2月分は実質的な産卵対象と考えるべきであろう。11月については、7月、10月並みの産卵リスクを有するものの、産卵痕の数は安全な6月変色木を除く他の月と比べて極めて少ない(図-4右下)、発生する変色木の数自体も少ない(図-1)。つまり11月変色はそれほど重要ではないと見なせよう。これらを総合すると、マツノマダラカミキリはおもに7~10月にかけて変色した木に産卵すると考えられる。

上記は、防除の観点からは、次のように言い換えることができる；(1)8~9月変色木は見落としてはならない最優先の処理対象である；(2)変色開始が7月と10月の変色木も、もれなく処理したほうがよい；(3)6月以前および11月以降の変色木については、労力に余裕がなければ無理して処理しなくても大丈夫である。現在秋田県では、5月下旬と9月下旬から10月中旬にかけての2回、同じ松林で枯死木調査を

実施して夏枯れの被害木を特定し、伐倒駆除対象としている(秋田県農林水産部 私信)。これは合理的だといって良い。

一方、この選別基準を生態的な観点から見ると、一見違和感を覚える。マツノマダラカミキリの産卵対象となるマツの変色開始月が、この種の成虫期(主に6月下旬~9月末)や産卵期(当地では主に8月初旬~9月末)よりも広い期間に及ぶからだ。すなわち、産卵対象かどうかと針葉変色時期(=衰弱時期)は必ずしも対応していない。これは、マツの衰弱後しばらくはマツノマダラカミキリをはじめとする二次性昆虫が産卵誘引される状態が続く(7月変色開始)こと、また夏に針葉が緑色であっても人間には見えないレベルで衰弱していることがあり、そのような木をマツノマダラカミキリは探知し産卵している(10月変色開始)ことを示していると解釈できる。

以上、秋田のような寒冷地では様々な季節に発生する被害木の防除対象を統計的に選別できることを述べてきた。被害木処理に軽重をつける秋田方式においては、マツノマダラカミキリ駆除率との関連性、すなわちこれらの基準で被害木を選別した場合にどの程度マツノマダラカミキリを駆除できるか、あるいは少なくとも毎年被害の発生総量の推移にもとづいて秋田方式を評価することが、今後重要な課題であろう。

謝辞

本稿は、多くの共同研究者との研究成果の一端である。また秋田県立大学森林科学研究所の皆さん、とりわけ品川朋仁、福田大地の両氏には野外調査において多大なサポートを頂いた。本研究は、先端技術を活用した農林水産高度化事業研究「航空写真とGISを活用した松くい虫ピンポイント防除法の開発」(代表：中北 理)の成果である。

引用文献

秋田県森林整備課(2005)寒冷地における松くい虫被害の特徴と防除方法。秋田の林業 614:2~3

- 在原登志男 (1988) 林分調査による年越し枯れの実態. 森林防疫 37: 84~87
- Braasch H, Enzian S (2003) The pine wood nematode problem in Europe: present situation and outlook. In: The Pinewood Nematode *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematology Monographs and Perspectives Vol. 1) (ed. by Mota M and Viera P), pp.77~91. Koninklijke Brill, Leiden.
- 浜島信之 (1993) 多変量解析による臨床研究. 名古屋大学出版会, 名古屋
- 星崎和彦・小林一三 (2007) 寒冷地における松くい虫被害の防除法—「秋田方式」の補足. 秋田の林業 627: 8~9
- 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: 媒介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
- 木村公樹・相川拓也・山本貴一・前原紀敏・市原優・今 純一・中村克典 (2011) 青森県蓬田村に発生したマツ材線虫病被害木におけるマツノザイセンチュウの検出および媒介昆虫の加害状況. 東北森林科学会誌 16: 7~11
- 岸 洋一 (1988) マツ材線虫病—松くい虫—精鋭. トーマスカンパニー, 東京
- 小林一三 (2004) 東北寒冷地におけるマツ材線虫病対策. グリーン・エイジ 364: 18~21
- 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
- Nakamura-Matori K (2008) Vector-host tree relationships and the abiotic environment. In: Pine Wilt Disease (eds. by Zhao BG, Futai K, Sutherland JR and Takeuchi Y), pp. 144~161. Springer, Tokyo
- Ohta K, Hoshizaki K, Nakamura K, Nagaki A, Ozawa Y, Nikkeshi A, Makita A, Kobayashi K, Nakakita O (2012) Seasonal variations in the incidence of pine wilt and infestation by its vector, *Monochamus alternatus*, near the northern limit of the disease in Japan. J For Res 17: 360~368
- Togashi K (1989) Temporal pattern of the occurrence of weakend *Pinus thunbergii* trees and causes for mortality. J Jpn For Soc 71: 323~328
- 陣野好之・滝沢幸雄・佐藤平典 (1987) 寒冷・高地地方におけるマツ材線虫病の特徴と防除法. 林業科学技術振興所, 東京
(2012. 11. 27 受付, 2013. 1. 22 掲載決定)

解説

日本産カシノナガキクイムシの地域変異について

濱口京子¹

1. はじめに

近年、シイ、カシ、ナラが大量に枯死する「ナラ枯れ」の被害が本州以南で猛威をふるっている。この被害は、カシノナガキクイムシ（以下、カシナガ）*Platypus quercivorus*という体長5mmほどの甲虫（写真-1）が大発生して病原菌であるナラ菌*Raffaella quercivora*を樹木に感染させることによって引き起こされている（Kubono and Ito 2002; Kinuura and Kobayashi 2006）。

現在のナラ枯れと確実に同じ原因による被害の記録は1930年代からあり（熊本営林局 1941）、ナラ枯れと同じであろうと考えられる被害の記録ならば江戸時代にも見つかっているものの（井田・高橋 2010）、1980年代までの被害は離れた地域でポツポツと発生する小規模なものであった。ところが1980年代半ば頃から本州日本海側を中心に被害は急速かつ連続的

に広がり始め（伊藤・山田 1998）、昨今では太平洋岸に到達した地域もある。また、本州日本海側から広がった被害地とは離れた地域である紀伊半島や九州南部、島嶼部などでの被害が目立つのも近年の大きな特徴である。

このようなナラ枯れ被害の拡大にカシナガの個体群はどのように関わっているのだろうか？言い換えると、本州日本海側から連続的に広がっている被害は、ある地域のカシナガ個体群、あるいはどこから侵入した個体群がどんどん広がりながら引き起こしているのか、それとも隣接する土着個体群が次々と連鎖反動的に大発生して被害を起こしているのだろうか？また紀伊半島や九州、島嶼部で被害を起こしているカシナガ個体群は本州日本海側を中心に被害を起こしている個体群と遺伝的に同質なのか、あるいは遺伝的に分化した全く別の地域個体群なのだろうか？これらの疑問はナラ枯れ問題を考える上ではじめに明らかにしたいことの1つである。ところがカシナガは被害地以外では採集が難しい虫で、国内の分布域は本州、四国、九州、沖縄とされているものの（Nobuchi 1973）、被害未発生地においてどれくらい普遍的に分布する虫かははっきりしていない。そのため、被害地のカシナガの由来も長らくわからないままであった。

しかし、伊藤ら（2002）が本州日本海側（山形県、福井県）と本州太平洋側（三重県）の被害地で採集したカシナガを比較し、体サイズやマイカンギア（共生菌を蓄えるための器官）の数に地域差があることを報告したことから、カシナガは全国的に均一な集団ではなく、何らかの遺伝的な地域差を持っている可能性が出てきた。そこで筆者らは国内のカシナガの地域変異を遺伝的な観点からはっきりさせるために、日本各地の被害地および被害未発生地のカ

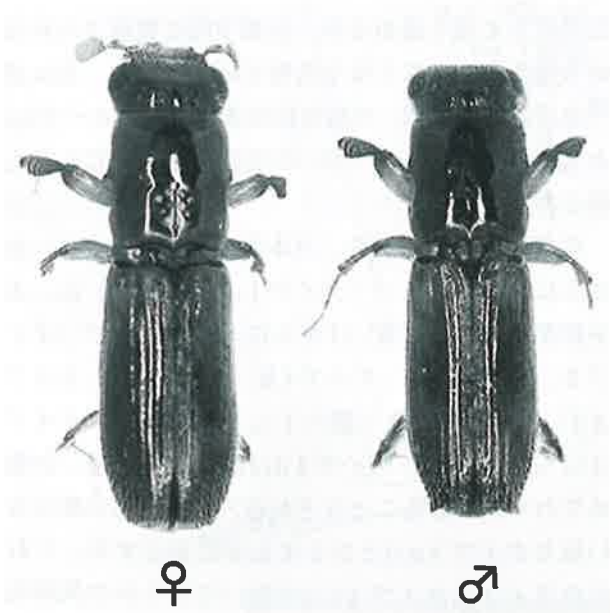


写真-1 カシノナガキクイムシ成虫（採集地：西会津，榎原寛氏撮影）

シナガについてDNAの比較を行った。その結果、国内のカシナガには非常に明瞭な地域変異が存在することが明らかになった (Hamaguchi and Goto 2010)。本稿ではカシナガの地域変異について、Hamaguchi and Goto (2010) では触れなかった周辺事情も合わせて紹介したい。

なお、サンプル収集にあたっては、各府県および各省庁の担当者、森林組合、山林所有者の方々をはじめ、多くの関係者各位にご協力いただいた。あらためて厚く御礼申し上げる。また本稿執筆にあたり、多くの助言を下された後藤秀章氏、衣浦晴生氏、佐藤隆士氏に感謝申し上げます。

2. カシナガDNAの地域変異

本州、九州、三宅島、佐渡島、屋久島、奄美大島、徳之島、沖縄島の合計32地点で採集されたカシナガ成虫をサンプルとし、各地点あたり1~4頭を解析した。採集地点のうち、被害地は25地点、被害未発生地は7地点である。被害未発生地とはここではサンプリング時点までに採集林分および周辺地域にナラ枯れの報告がなかった地域を指す (一部の地域ではサンプリング後~現在までに被害が発生している)。各個体からDNAを抽出し、リボゾームDNAの28S領域 (生物の地域変異の解析や近縁種間の比較によく使われるDNA領域) の塩基配列を個体間で比較した。

比較の結果、日本のカシナガは2つのグループにはっきりと分かれることが明らかになった (図-1)。両グループの塩基配列の隔たりは別種と思えるほどに大きかったが、それだけでは別種かどうかの判定基準にはならないので、現在、形態情報にもとづいた分類学的再検討が行われている。近い将来、これら2グループは別種として分類学的に整理されるであろう。

Hamaguchi and Goto (2010) ではこれら2つのグループを“グループAとグループB”としたが、ナラ枯れ研究者の間では、“日本海型と太平洋型”という通称が定着している。これは図-2を見るとわかるように、グループAの分布域の大半が本州日

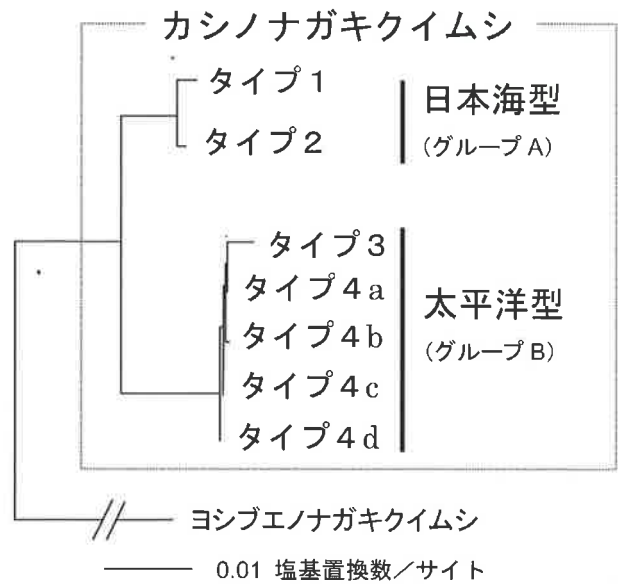


図-1 カシナガの変異タイプの系統関係 (Hamaguchi and Goto 2010より改変)

本海側を中心とした広い地域であるのに対し (ただし琉球列島、九州南部や三宅島などにも分布するので注意が必要)、グループBは日本海側には分布せず、紀伊半島や九州南端などの太平洋側や琉球列島にのみ見つかっているためである。本稿では「日本海型 (グループA)」と「太平洋型 (グループB)」と併記して話を進めるが、分類学的に整理されればどちらも必要のなくなる名称である。なお、先に述べた伊藤ら (2002) の報告は日本海型 (グループA) と太平洋型 (グループB) の形態差を見いだしたものと考えられる。

塩基配列の違いから、日本海型 (グループA) はさらに2つのタイプ (タイプ1, タイプ2) に、太平洋型 (グループB) はさらに5つのタイプ (タイプ3, タイプ4a, タイプ4b, タイプ4c, タイプ4d) に分けられた (図-1)。タイプ4a, タイプ4b, タイプ4c, タイプ4dは塩基配列の違いが極めてわずかであることなどから、以下、特に断らない限りタイプ4a-dとひとまとめに表記する。これらのタイプはタイプ4a-dを除いて明らかな異所的分布傾向を示し (図-2), 日本海型 (グループA) については、タイプ1は九州以北 (本州, 九州南部,

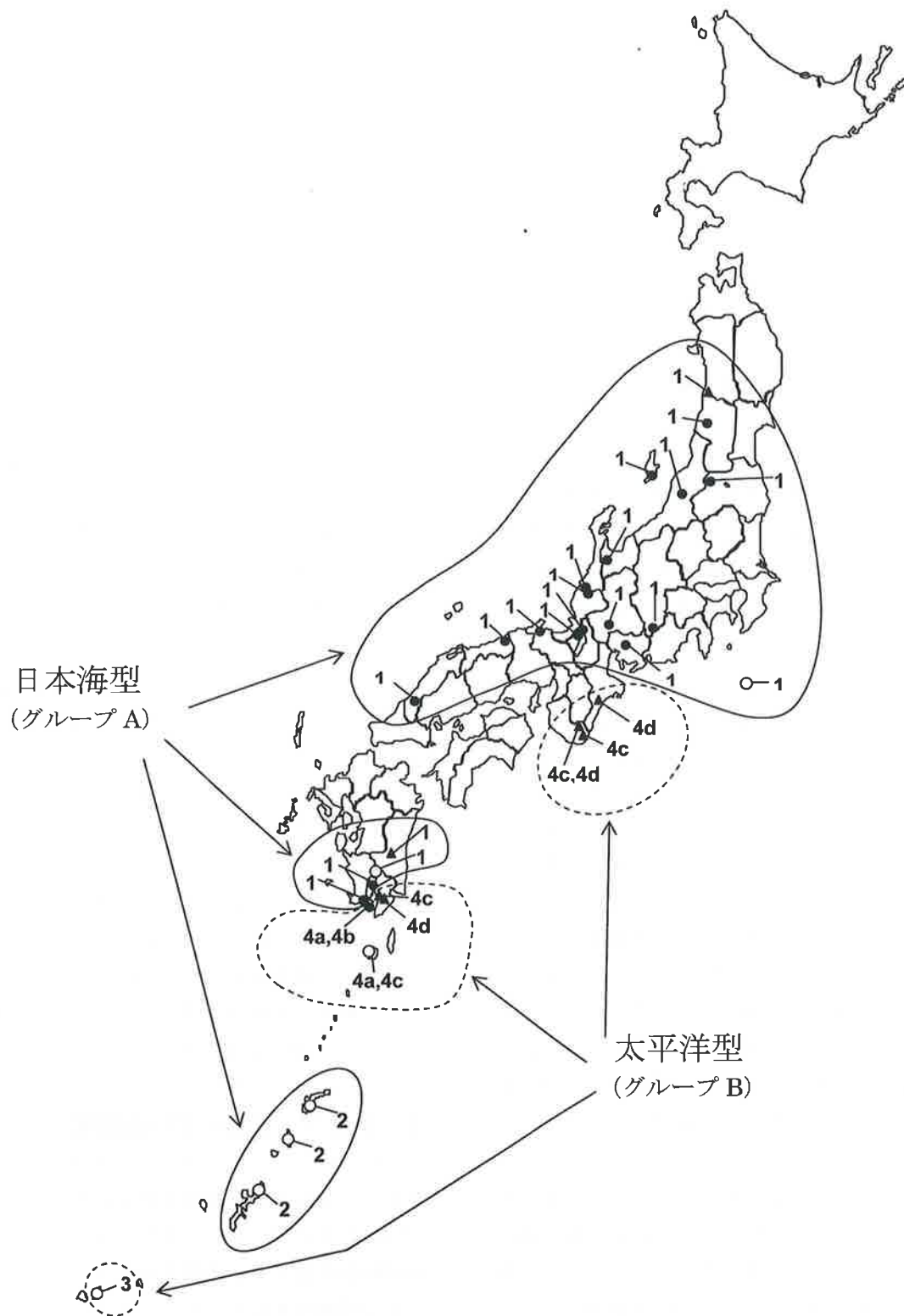


図-2 カシナガの遺伝的地域変異 (Hamaguchi and Goto 2010より改変)

採集地点の傍らの英数字はカシナガの変異タイプを示す。

採集地点の被害状況は、●集団枯損，▲数本の枯れ，○被害未発生地。

佐渡島、三宅島)に、タイプ2は琉球列島(沖縄本島、奄美大島、徳之島)に分布している。また、太平洋型(グループB)については、タイプ3は石垣島のみ分布している。タイプ4 a-dの4タイプは屋久島以北(屋久島、九州南端、紀伊半島南部)に飛び地状に混在して分布している。

以上が今回明らかになった国内のカシナガのDNAの地域変異である。ただし、今後、未解析の地域の解析が進めば、分布域が多少修正されたり、あるいは新たなグループやタイプが見つかったりする可能性は残っている。また今回の調査では、複数のタイプが混在する地域はタイプ4 a-dの分布域だけであったが(図-2)、他の調査でタイプ1とタイプ4 a-dの分布境界線上に両者が混在する林分が九州に見つかっているので(後藤 2007)、タイプ間の異所性がどれほど堅固か、つまり排他的なのか容易に混棲できる関係なのかなど、今後とも調査を進めて行く必要があるだろう。

3. カシナガの地域変異とナラ枯れ

上の結果をもとにカシナガの地域変異と被害との関係を整理したところ、ナラ枯れは遺伝的に同質の個体群が日本中に散らばって引き起こしているのではなく、以下のように遺伝的に異なる複数の集団がそれぞれの分布域で被害を起こしていることが明らかとなった。図-2にはカシナガの変異タイプとともにサンプル採集地点の被害状況を示してある。これを見ると、本州日本海側を中心に広がっている被害地のカシナガは全て日本海型(グループA)のタイプ1である。一方、近年になって被害が目立つようになった紀伊半島や九州、島嶼部などではタイプ1以外のタイプも被害に関与していた。すなわち、紀伊半島の被害地のカシナガは太平洋型(グループB)のタイプ4 c, 4 dであり、九州南部の被害地のカシナガは、タイプ1の場合とタイプ4 c, 4 dの場合があった。奄美大島のカシナガは日本海型(グループA)のタイプ2で、これは被害未発生地から採取されたものだが、後に島内の近隣地域でマテバシイの集団枯損が生じていることから見て(後藤ら 2008)、

おそらくタイプ2は被害にも関与しているものと推察された。つまり、被害未発生地だけで採集され、被害とのつながりが全く見当たらないのは石垣島に分布する太平洋型(グループB)のタイプ3のみである。

別種の可能性が検討されるほど異なる両グループが近年になって相次いで被害を激化させているという事実は、1980年代以降の急速なナラ枯れ被害の広がりにはカシナガ以外の要因、それも国内の広い地域に共通する要因が関わっていることを強く示唆している。そうした要因として有力視されているのが樹木の大径化(小林・上田 2002)という仮説であるが、その他に、温暖化によるブナ科樹木の抵抗力の低下(Kamata *et al.* 2002)、猛暑や乾燥などの気候条件(後藤ら 2008)や病原力の強い菌の侵入(吉田 1994)などの仮説も提案されている。これらの仮説の当否を検討するさいは、各地域の被害状況とカシナガの変異タイプとの関係をふまえる必要があるだろう。

なお、あるタイプの分布域内で被害が拡大している場合に、1つの個体群が急速に広がって被害を起こしているのか、それとも各地域に土着している個体群がその地域で被害を起こしているのかという疑問については、Shoda-Kagaya *et al.* (2010)が本州のタイプ1による被害地域を対象に、マイクロサテライトDNAという今回用いたのとは異なる領域を解析した研究がある。その結果からは、各地域に土着の個体群が被害に関与している可能性が示唆されている(加賀谷 2011も参照のこと)。

4. タイプ1に偏っていた研究

今回の結果から、これまでのナラ枯れ研究の対象がタイプ1のカシナガおよびその被害に著しく偏っていたことに気づく。つまり、少し前までは本州日本海側を中心とする地域のミズナラの被害が特に激しくて問題視されていたので、ナラ枯れに関する研究のほとんどがこの地域、すなわちタイプ1の分布域を対象に行われてきたのである。しかし昨今、タイプ1以外のタイプの分布域でも被害が拡大しつ

ある。はたしてこれらの地域において、タイプ1で得られた知見やそれをベースに構築された防除法は有効なのであろうか？この疑問を明らかにするための研究はまだ端緒についたばかりであり知見はない。ここでは被害や防除という視点から見たときに、グループ間、あるいはタイプ間にどのような違いが見られるか、わかる範囲でまとめておきたい。

(1) 加害樹種の違い

冷涼な地域に広い分布域を持つ日本海型（グループA）はミズナラやコナラなどの落葉樹種を、一方、より温暖な地域に分布する太平洋型（グループB）はウバメガシやマテバシイ、スタジイなどの常緑樹種を多く加害するという印象はあるものの、どちらも常緑樹種と落葉樹種の両方を加害し枯らしている（法眼 2008；野崎ら 2007）。タイプ別に見てもおそらく潜在的な加害樹種の違いはないであろうと筆者は予想しているが、常緑樹種が優占する琉球列島に分布するタイプ2やタイプ3がはたして落葉樹種を加害するのか、またミズナラが無いか少ない地域に分布するタイプ1以外のタイプが、タイプ1同様に激しくミズナラを枯らす力を持つのかに関する研究例はなく、今のところ不明である。

(2) フェロモンの違い

カシナガは同種他個体と呼び集める集合フェロモンを持つことがわかっており、その主成分が同定され（Tokoro *et al.* 2007）、誘引剤として市販されモニタリングや防除法への利用が試みられている。しかしこのフェロモンは、日本海型（グループA）のタイプ1から同定されたものである。フェロモンのように昆虫が交信に利用する物質は、近縁種でも成分が異なるというケースがよくある。これは間違えて他種と呼び集めてしまったりしないためには大切なことである。そしてカシナガの場合もやはり、日本海型（グループA）と太平洋型（グループB）とではフェロモンの組成が異なることが示唆されている（所ら 2012a）。これはタイプ1以外のタイプが生息する地域ではタイプ1由来のフェロモンは効果がないかもしれないことを示唆する結果であり、関連研究の続報が待たれるところである。

(3) 随伴する菌の違い

日本海型（グループA）と太平洋型（グループB）との間で病原菌であるナラ菌に遺伝的な差異は見られていない（升屋 2009）。これは応用上だけでなく、養菌性キクイムシであるカシナガと菌との共進化を考える上でも大変興味深い結果である。カシナガは糸状菌であるナラ菌の他に複数の酵母類とも共生するが、酵母類とカシナガの遺伝的系統との関係についても今後明らかにされていくものと思われる。

(4) その他の違い

生息に適した気候条件や、発生消長、交尾行動など、基礎的な生態についても比較検討が必要であろう。例えば生息に適した気候条件に差異があれば、各タイプの将来的な分布拡大傾向を予測するために重要であるし、発生消長にずれがあれば、防除の実施時期を検討する必要も生じるかもしれない。これらについても徐々に研究が進められつつある。

5. 地域変異はいかにして形成されたのか

日本のカシナガはどのようにして上記のような地域変異を持つに至ったのであろうか？これはナラ枯れ問題からはやや離れるものの、やはり気になることである。残念ながら今回解析したDNA領域はこの疑問に答えるにはあまり適していないので、現段階では想像を巡らすことしかできないが、その特徴的な分布様式からは様々な筋書きが考えられる。

カシナガの属するナガキクイムシ類は、飛翔や流木によって潮流で流されるなどの移動分散の他（Browne 1961）、木材流通に伴って人為的に移動分散することが知られている（野淵 1977）。カシナガの場合、インド、ジャワ、ニューギニア、台湾、タイ（Wood and Bright 1992; Hulcr *et al.* 2008）から採集されており、東南アジア～東アジアに広い分布域を持っている。これらの地域と日本の間には木材流通があり、実際、植物検疫では過去に複数回カシナガが検出されているので（植物防疫所 1999 など）、人為的に国内に移入する機会はゼロではなさそうである。タイプ1、タイプ2、タイプ3、タイプ4 a-dの全てのタイプがそれぞれの分布域に人

為的に持ち込まれたという状況はなかなか考えにくいとしても、一部のタイプが持ち込まれて定着したということはあってもおかしくないと思われる。

一方で、その特徴的な分布様式からは最終氷期以前から続いてきたカシナガの移動分散の流れが強く感じられる。現在解析中のDNAデータから見て、日本海型（グループA）と太平洋型（グループB）が大きく分化したのは日本に辿り着く前、最終氷期よりもはるか昔の東南アジアのようであるが、より細かい各タイプの分化には日本列島の地史が深く関わっているように思われる。例えばタイプ2の分布する奄美大島、沖縄島、徳之島などは、奄美大島のアマミノクロウサギに代表されるように（Yamada and Sugimura 2000）、固有種が多い起源の古い陸地として知られる。また、タイプ3の分布する石垣島は、台湾経由で大陸からわたってきた固有な生物が多い島として知られている（Ota 1998）。一部のカシナガ個体群は、こういった固有な生物達と同じような流れでこれらの地域に辿り着き、長い時間孤立し、各タイプへと分化していったのかもしれない。また、九州南端や紀伊半島南部に飛び地状に分布するタイプ4 a-dの分布様式は、黒潮に乗って漂着する海岸性生物の分布様式とよく似ているので（Koshimizu 1938）、流木によって漂着した可能性も浮かんでくる。

こういった仮説をつなぎ合わせれば、いくつでも考えだすことのできるカシナガの地域変異形成の筋書きのどれが最も確からしいか？これを検証するためには東南アジアから日本に至るカシナガの生息域全域を対象とした生物地理学的検証が必要であり、現在海外のサンプルも加えて解析を進めている。

6. おわりに

ナラ枯れ被害地は拡大し続け、これまでに被害報告がないのは16道県のみである（高畑 2008；林野庁 2009；林野庁 2010）。本州では、タイプ1による被害地が太平洋側へと南下し続ける一方、タイプ4 a-dに属するタイプによる被害地は紀伊半島を北上し、両者の被害地はかなり近接している。2010年

には、これまで被害報告のなかった伊豆七島の複数の島で被害が発生した（所ら 2012b）。また、2010年に大分県で発生したコナラの枯損には、カシナガの近縁種で日本未記録の*P. koryoensis*が関与した可能性が示唆されている（後藤ら 2012）。現在の状況は樹木、昆虫、菌の三者間関係に自然環境の変化や人為的影響が加わって複雑であるが、カシナガの地域変異を軸に被害の地域的な共通点と相違点を比較整理していくことが被害拡大メカニズム解明の一つの糸口になると期待している。

なお、「ナラ枯れ」とはブナ科樹木萎凋病による枯損症状をあらわす通称で、他に「シイ・カシ・ナラ類の集団枯損」と呼んだり、最近では太平洋側や島嶼部の常緑樹種を中心とした被害をナラ枯れと区別して「シイ・カシ枯れ」と呼んだりする場合もある。しかし落葉樹種中心の枯れと常緑樹種中心の枯れを区別する基準は提唱されておらず、またこれらの通称の定義に関する厳密な議論もないので、本稿ではわかりやすさを優先して「ナラ枯れ」を用いた。考えてみると、このような用語の変遷も、“太平洋型”、“日本海型”が分類過渡期の通称であるのと同様、刻々と変わる被害状況とそれを追いかける防除・研究の現場を反映したものと解釈できる。

引用文献

- Browne FG (1961) The biology of Malayan Scolytidae and Platypodidae. *Malayan Forest Records* 22: 1~255
- 後藤秀章 (2007) 薩摩半島におけるカシノナガキクイムシの分布の現況. *九州森林研究* 60: 92~94
- 後藤秀章・住吉博和・穂山浩平・図師朋弘 (2008) 奄美大島におけるカシノナガキクイムシによるスダジイの集団枯損の記録. *九州森林研究* 61: 96~98
- 後藤秀章・高畑義啓・北岡和彦 (2012) 日本未記録のナガキクイムシ *Platypus koryoensis* の発見とコナラの被害. 第123回日本森林学会大会学術講演集 CD-ROM: Pb153
- Hamaguchi K, Goto H (2010) Genetic variation

- among Japanese populations of *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae), an insect vector of Japanese oak wilt disease, based on partial sequence of nuclear 28S rDNA. *Appl Entomol Zool* 45: 319~328
- Hulcr J, Beaver RA, Puranasakul W, Dole SA, Sonthichai S (2008) A comparison of bark and ambrosia beetle communities in two forest types in Northern Thailand (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae and Platypodinae). *Environ Entomol* 37: 1461~1470
- 法眼利幸 (2008) 和歌山県におけるカシノナガキクイムシの被害と調査. *林業と薬剤* 183: 1~7
- 井田秀行・高橋 勸 (2010) ナラ枯れは江戸時代にも発生していた. *日林誌* 92: 115~119
- 伊藤進一郎・山田利博 (1998) ナラ類集団枯損被害の分布と拡大. *日林誌* 80: 229~232
- 伊藤進一郎・杉浦康雄・松田陽介・梶村 恒 (2002) カシノナガキクイムシの形態の地域間変異. *中部森林研究* 50: 87~88
- 加賀谷悦子 (2011) 本州のカシノナガキクイムシの遺伝的構造—ナラ枯れ媒介者とナラ類の地域間における変異分布の一致. *森林防疫* 60: 40~44
- Kamata N, Esaki K, Kato K, Igeta Y, Wada K (2002) Potential impact of global warming on deciduous oak dieback caused by ambrosia fungus *Raffaelea* sp. carried by ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae) in Japan. *Bull Entomol Res* 92: 119~126
- Kinuura H, Kobayashi M (2006) Death of *Quercus crispula* by inoculation with adult *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae). *Appl Entomol Zool* 41: 123~128
- Koshimizu T (1938) On the "Crinum Line" in the Flora of Japan. *Bot Mag Tokyo* 52: 135~139
- 小林正秀・上田明良 (2002) 京都府内におけるナラ類集団枯損の発生要因解析. *森林防疫* 51: 62~71
- Kubono T, Ito S (2002) *Raffaelea quercivora* sp. nov. associated with mass mortality of Japanese oak, and the ambrosia beetle (*Platypus quercivorus*). *Mycoscience* 43: 255~260
- 熊本営林局 (1941) カシ類のシロスジカミキリ及びカシノナガキクイムシの豫防駆除試験の概要. 51pp, 熊本営林局, 熊本
- 升屋勇人 (2009) *Raffaelea* 属菌の多様性と系統地理. 第120回日本森林学会大会学術講演集 CD-ROM: H07
- Nobuchi A (1973) The Platypodidae of Japan (Coleoptera). *Bull Gov For Exp Sta* 256: 1~22
- 野淵 輝 (1977) 南洋輸入材のナガキクイムシ科. *林試研報* 296: 101~155
- 野崎 愛・小林正秀・村上幸一郎 (2007) 爪楊枝を用いたカシノナガキクイムシ脱出防止の試み. 第118回日本森林学会大会学術講演集 CD-ROM: B29
- Ota H (1998) Geographic patterns of endemism and speciation in amphibians and reptiles of the Ryukyu archipelago, Japan, with special reference to their paleogeographical implications. *Res Popul Ecol* 40: 189~204
- 林野庁 編 (2009) 平成21年版森林・林業白書 全国林業普及協会, 東京
- 林野庁 編 (2010) 平成22年版森林・林業白書 全国林業普及協会, 東京
- Shoda-Kagaya E, Saito S, Okada M, Nozaki A, Nunokawa K, Tsuda Y (2010) Genetic structure of the oak wilt vector beetle *Platypus quercivorus*: inferences toward the process of damaged area expansion. *BMC Ecology* 10: 21.
- 植物防疫所 (1999) 植物検疫統計. 66: 330
- 高畑義啓 (2008) 第2章 ナラ枯れとは何か. ナラ枯れと里山の健康 (黒田慶子編著), pp25~44, 全国林業改良普及協会, 東京
- Tokoro M, Kobayashi M, Saito S, Kinuura H, Nakashima T, Shoda-Kagaya E, Kashiwagi T, Tebayashi S, Kim C, Mori K (2007) Novel aggregation pheromone, (1S,4R)-p-menth-2-en-1-ol, of the ambrosia beetle, *Platypus quercivorus*

(Coleoptera: Platypodidae). Bulletin of FFPRI
6: 49~57
所 雅彦・大谷英児・後藤秀章・衣浦晴生・栗生
剛 (2012a) カシノナガキクイムシ太平洋型の化
学生態学的な特徴について. 第2回関東森林学会
大会講演要旨集 37
所 雅彦・衣浦晴生・後藤秀章・濱口京子・加賀谷
悦子・新井一司・中村健一・竹内 純 (2012b)
伊豆諸島のスタジイ被害とカシノナガキクイムシ
について. 第123回日本森林学会大会講演要旨集
CD-ROM: Pb172

Wood SL, Bright DE (1992) A catalog of Sco-
lytidae and Platypodidae (Coleoptera), Part 2:
Taxonomic Index. Great Basin Nat Mem 13: 1
~1553
Yamada F, Sugimura K (2000) Present status
and conservation of the endangered Amami
Rabbit *Pentalagus furnessi*. Tropics 10: 87~92
吉田成章 (1994) シイ・カシ類, ナラ類の枯損. 山
林 1326: 35~40
(2012. 11. 30 受付, 2013. 2. 13 掲載決定)

訃報

故佐藤邦彦さんを偲んで

庄司 次男¹

元林業試験場北海道支場保護部長佐藤邦彦さんが平成25年1月27日永眠されました。享年90歳でした。奥様のふく子さんによれば、なんの苦しみもなく、ほんとうに眠るように旅立たれたと申しております。この年齢は、我が国の平均寿命を大幅に上回り、天壽を全うされたといっても良いでしょう。生前の善行のお導きでしょうか。肖りたいと思います。

佐藤さんは、山形県寒河江市大字田代589番地において、大正11年4月7日に生誕されました。後に盛岡市高松四丁目に本籍を移され、さらに、故郷の寒河江市に移住され現在に至っておられました。

氏の職歴を略記します。昭和10年4月、山形県立寒河江中学校ご卒業後、昭和15年4月、東京高等農林林学科（現東京農工大学）に進学、昭和18年に卒業されました。そして、同年10月、秋田営林局大館営林署に奉職されました。昭和22年、秋田営林局に併設された林業試験場秋田支場（兼秋田営林局勤務を命じられる）に転勤され、昭和33年秋田支場保護研究室長に昇任。昭和35年、東北地方の2支場（秋田、青森）、2分場（山形県釜淵、岩手県好摩）の統合により、新しく盛岡市に建築された林業試験場東北支場保護第一研究室長に配置換えになりました。後に同支場保護部長に昇進され、以来30年以上東北の森林保護に貢献されました。そして、昭和55年林業試験場北海道支場保護部長にご栄転され、同58年に退官されました。この間、一貫して森林保護特に樹病研究に従事され、たくさんの業績を残されたとともに、若手の教育指導にはことのほか熱心でした。昭和43年には、京都大学から農学博士号が授与されました。「針葉樹苗の雪腐病に関する研究」がそのテーマです。

エピソード：まじめというか、これといった思い出は少ない方でしたが、

・中でも得意げに語るのは、大学生時代に、植物学者牧野富太郎の植物採集会に参加したことでしょう。氏は植物分類にことのほか関心が高く、唯一の趣味でした、といえます。これは氏の研究に大変な

武器となり、植物病害と林木病害（同じ植物ですが永年性作物とって分けられていた）の関連を追及するに役立ったようです。昭和30年ころは、営林署苗畑に病害調査と防除指導に行く機会があり、その多くは、街から数キロ先の山里まで歩くのが普通でした。道々植物採集しながら、植物の名前を覚えてもらいました。が、すぐ忘れるので、「ほれほれ、穂先がしっぽに似ているべ」のヒントで「オカトラノオ」。万事こうして覚えた名前は生涯忘れません。



・苦痛げに語るのは、釜淵分場苗畑で試験していたころ、分場長の故伊藤一雄（我が国樹病研究の権威）さん宅に招かれて、「デンエン」を鑑賞させられたことです。有名なクラシック交響曲のあれです。伊藤さんは、佐藤さんに樹病研究を勧められた恩師ですから、断れない事情があるのです。失礼ですが、音に関しては音痴以上でしょうか。

・もっとも苦々しくげに語るのは、昭和19年臨時召集により、津軽要塞重砲兵連隊へ入隊し、例による過酷なシゴキを受けたことでしょう。その頃病気がちで体力がなく、加えて、食糧事情の悪化でやせ衰え、大砲の弾を担げない状態でした。「今、〇〇（シゴキの張本人）に遭ったら何をするか分からない。」と怒りを露わにしていました。上等兵で召集解除されています。

私は、昭和28年、佐藤さんの研究室に配属になり、以来、昭和55年までの27年間様々なことを学びました。同郷で、一回り下の戌年でもあるからでしょうか、弟のように可愛がられました。自称弟子第一号です。また、私たちの仲人でもあります。写真は70歳前半。

生前数え切れないほどお世話になったことに感謝し、ご冥福をお祈りいたします。 合掌

¹SHOJI, Tsugio, 元森林総合研究所

都道府県だより

森林保護関係の技術相談

〇はじめに

高知県立森林技術センターでは、業務の一環として一般県民や普及指導担当職員等からの技術相談・技術指導や研修会の講師等の要請に随時対応しています。最近5年間の技術相談の種類別件数の内訳は図-1のとおりです。

毎年500~900件の技術相談がありますが、その内、森林保護関係のものは約8~17%を占めています。

多くの相談は、電話による口頭説明や既存の資料提供で対応していますが、原因が不明であったり、状況の確認が必要なものについては、現地調査を行っています。

〇森林保護関係の相談について

森林保護関係の相談者の属性についてみると(図-2)、最も多いのが個人の方で42%、次いで高知県の林業関連の課および林業事務所が36%を占めています。林業事務所等からのものも県民の方からの問い合わせによるものが多いので、相談の大部分は県民の方からの相談であると考えられます。団体等で

は、JAや造園業等の緑化関係者の方にもご利用いただいています。また、県外からの相談も多く、約15%を占めています(図-3)。

樹種別の相談数をみると(図-4)、スギ・ヒノキ(13%)、マツ類(26%)、シキミ・サカキ・ヒサカキ(37%)が多くを占めています。

スギ・ヒノキの相談内容は、林地での葉枯症状やキバチの材変色被害、シカ害についての相談で、森林の管理に関わるものです。

マツ類は県内の家庭の庭に多く植えられているため、持ち主や庭師さんからの問い合わせが多いです。マツクイムシに因る被害かどうかの問い合わせが多いのですが、約半数は葉ふるい病や葉枯病でした。マツクイムシ以外の病虫害の場合でも、該当する病虫害の防除方法とともにマツクイムシに対する防除方法も説明しています。

シキミ・サカキ・ヒサカキの相談は、切り枝として生産されている個人の方々やJAなどの団体からでした。相談の83%が高知県内からの相談でした。シキミ・サカキは高知県内の中山間地域における重要な作物で生産者も多く、生産に関するサポートは

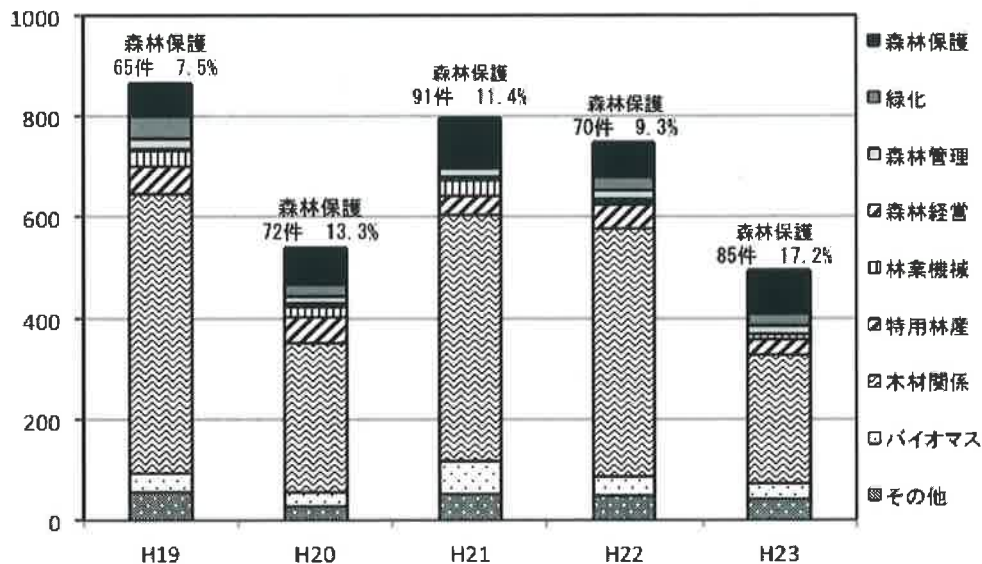


図-1 最近5カ年の技術相談件数の推移

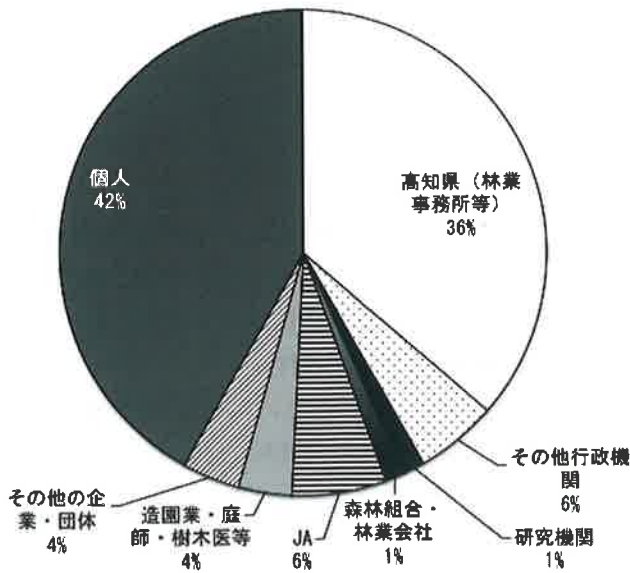


図-2 森林保護に関する相談者の属性

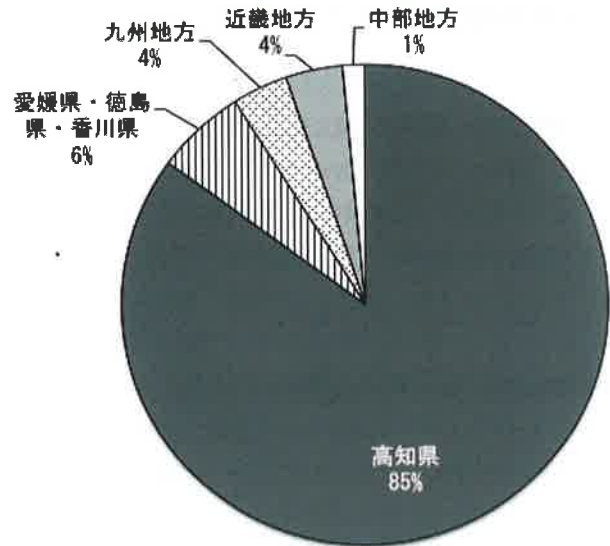


図-3 森林保護に関する相談者の居住地

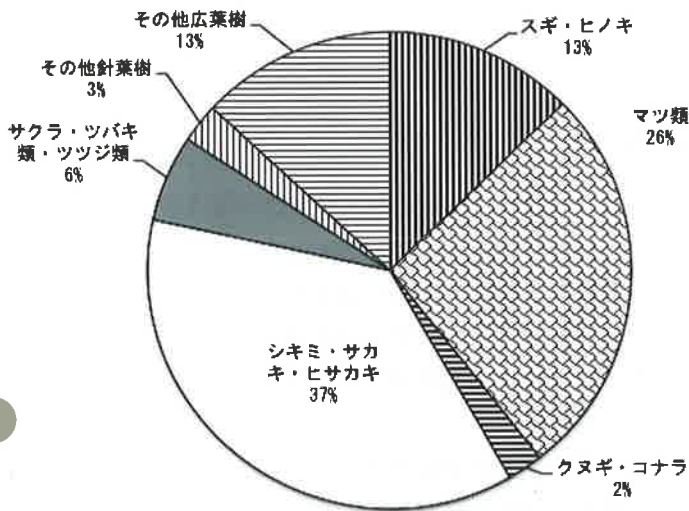


図-4 森林保護関係で相談のあった樹種の割合

県の重要な施策となっています。一方、県外からの相談が17%もあり、これは当センターのホームページ上でシキミ・サカキの防除マニュアルを公開していることから問い合わせが多いと考えられます。

シキミに関する相談内容は主に虫害で、アブラムシ、ゲンバイムシ、フシダニによるものがほとんどを占めます。フシダニ被害については防除方法が確立されていないために研究課題として取り組みました。また、アブラムシ、ゲンバイムシについては、

新たな薬剤の防除試験の依頼を受けて実施しました。成果を相談対応や生産者向け勉強会などで県民への普及活動につなげています。

サカキに関する相談内容は主に病害で、輪紋葉枯病、炭疽病、すす病、赤班性病害です。サカキについては試験研究では取り組んでいませんが、防除事例を収集・整理して相談対応や生産者向け勉強会などで県民への普及活動につなげています。

その他の樹種については個人の庭に植栽されている樹木が多いですが、地域でサクラなどのシンボルツリーを守る取り組みをされている方からも相談をいただくこともあります。

〇おわりに

当センターへ相談をいただくことで、県内でどのような問題が発生しているかを把握することができ、相談対応は県民サービスのニーズ把握に重要な業務となっております。相談内容の中から試験研究の課題化がされることもあります。しかし、相談対応業務は限られた人員で対応をしており、十分満足ができるかどうか不安な面もありますが、少しでも県民のみなさまや県内企業のお役に立てばと考えています。

(高知県立森林技術センター 森林経営課)

森林病虫獣害発生情報：平成25年3～4月受理分

病害

〔マツ材線虫病…新潟県 村上市塩谷〕

121年生アカマツ天然林，2012年12月発見，被害面積0.01ha，被害本数1本（新潟県村上森林事務所・中東敏之）

〔マツ材線虫病…新潟県 村上市岩舟〕

60年生アカマツ人工林，2012年12月発見，被害面積0.03ha，被害本数15本（新潟県村上森林事務所・中東敏之）

〔マツ材線虫病…新潟県 村上市岩舟〕

121年生アカマツ天然林，2013年3月発見，被害面積0.04ha，被害本数19本（新潟県村上森林事務所・中東敏之）

〔シロスジオサソウムシ…沖縄県 うるま市〕

壮齡カナリーヤシ庭木，2013年3月1日発見，被害本数5本（沖縄県森林資源研究センター・喜友名朝次）

〔キムネクロナガハムシ…沖縄県 南城市・宜野湾市・浦添市〕

壮齡ワシントンヤシ人工林，2013年3月4日発見，被害本数30本（沖縄県森林資源研究センター・喜友名朝次）

〔シャクガ…沖縄県 国頭郡 東村〕

壮齡イジュ天然林，2013年3月15日発見，被害本数5本（沖縄県森林資源研究センター・喜友名朝次）

虫害

〔キオビエダシャク…沖縄県 名護市〕

20年生イヌマキ庭木，2013年2月21日発見，被害本数20本（沖縄県森林資源研究センター・喜友名朝次）

獣害

なし

（森林総合研究所 佐橋憲生／伊藤賢介／大井 徹）

林野庁だより

人事異動（平成25年4月1日）

清水俊二（森林整備部研究・保全課課長補佐（保護企画班担当））

→ 独立行政法人森林総合研究所林木育種センター
海外協力部海外協力課長

林さおり（大臣官房環境政策課課長補佐（保全対策班担当））

→ 森林整備部研究指導課課長補佐（保護企画班担当）

岩淵嘉光（森林整備部研究・保全課防除技術専門官）

→ 林政部経営課種菌検査官

米山忠幸（森林整備部治山課訟務官）

→ 森林整備部研究指導課防除技術専門官

高橋 聡（森林整備部研究・保全課保護指導班防除係長）

→ 林政部経営課総務班庶務係長

吉村麻美（林政部林政課）

→ 森林整備部研究指導課

森林防疫ジャーナル

④森林総合研究所生物関連人事異動

(平成25年4月1日)

牧野俊一 (研究コーディネータ (生物多様性・森林被害研究担当))

→ 北海道支所長

小泉 透 (野生動物研究領域長)

→ 研究コーディネータ (生物多様性・森林被害研究担当)

大井 徹 (野生動物研究領域・鳥獣生態研究室長)

→ 野生動物研究領域長 (野生動物研究領域・鳥獣生態研究室長事務取扱)

服部 力 (関西支所生物多様性研究グループ長)

→ 森林微生物研究領域・森林病理研究室長

明間民央 (企画部研究情報科情報管理室長)

→ 森林微生物研究領域主任研究員 (微生物生態研究室) 企画部研究情報科情報管理室併任

大谷英児 (森林昆虫研究領域主任研究員)

→ 森林昆虫研究領域・昆虫生態研究室長

升屋勇人 (森林微生物研究領域主任研究員)

→ 東北支所チーム長 (森林微生物担当)

磯野昌弘 (東北支所生物被害研究グループ長)

→ 東北支所チーム長 (昆虫多様性保全担当)

中村克典 (東北支所チーム長 (松くい虫担当))

→ 東北支所生物被害研究グループ長

市原 優 (東北支所主任研究員 (生物被害研究グループ))

→ 関西支所生物多様性研究グループ長

中下留美子 (新規採用) 野生動物研究領域主任研究員 (鳥獣生態研究室)

お知らせ

森林防疫編集委員は次の通りです (平成25年4月1日現在)。

佐橋憲生 森林総合研究所森林微生物研究領域長

伊藤賢介 森林総合研究所森林昆虫研究領域長

小泉 透 森林総合研究所研究コーディネータ

田端雅進 森林総合研究所微生物生態研究室長

北島 博 森林総合研究所広葉樹害虫担当チーム長

大井 徹 森林総合研究所野生動物研究領域長

島津光明 全国森林病虫獣害防除協会技術顧問

森林防疫 第62巻第3号(通巻第696号)
平成25年5月25日 発行(奇数月25日発行)

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

定価 1,302円(送料共)
年間購読料 6,510円(送料共)

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

〒101-0047 東京都千代田区
内神田 1-1-12(コープビル)

☎ (03) 3294-9719 FAX (03) 3293-4726

振替 00180-9-89156

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