

森林防疫

FOREST PESTS

— 森の生物と被害 —



目次

解説

マツノザイセンチュウとその近縁種の耐久型幼虫形態

〔神崎菜摘・前原紀敏・秋庭満輝・田中 克・井手竜也〕 3

密集した木は格好の標的—被害木の解析からカシノナガキクイムシの好みを探る—

〔山崎理正〕 9

ヒメスギカミキリ *Callidiellum rufipenne* (Motschulsky) の集合—性フェロモンと重要な共力成分の同定

〔中牟田潔・Yunfang Zou・Lawerence Hanks・Jocelyn G. Millar〕 16

何故、広島県南部の森林ではマイマイガの卵塊が見つからないのか?: 常緑広葉樹の葉に対する産卵選好性

〔軸丸祥大〕 22

都道府県だより：高知県 31

森林病虫獣害発生情報：平成29年3月・4月受理分 32

林野庁だより：人事異動（平成29年4月1日） 32

森林防疫ジャーナル 33



A



B



C

〔表紙写真〕 京都府東部の二次林で発生したナラ枯れ被害

京都府東部の高層湿原、八丁平の周辺二次林では、2008年に初めてミズナラでナラ枯れの被害が確認された。ミズナラとクリが優占する二次林はカシノナガキクイムシにとって格好の繁殖場所、2008年以降大径のミズナラが次々と枯死し（写真A）、枯死木の地際部には例外なくカシノナガキクイムシが排出したフラスが堆積していた（写真B）。被害量がピークを迎えた2010年夏には、枯死して葉が茶色になった樹冠と、前年までに枯死し枯葉が全て落ちた樹冠が、林内で高頻度に観察された（写真C）。被害発生当初から継続してカシノナガキクイムシの被害木の分布を調査した結果、林内で高密度に生育しているミズナラほどカシノナガキクイムシの攻撃を受けやすく、攻撃を受けた際の枯死率も高いことが明らかとなった。（本文9～15ページ参照）

（京都大学 山崎理正）

解説

マツノザイセンチュウとその近縁種の耐久型幼虫形態

神崎菜摘¹・前原紀敏²・秋庭満輝³・田中 克⁴・井手竜也⁵

マツ材線虫病の病原体であるマツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus xylophilus*) は、ヒゲナガカミキリ属 (*Monochamus*) のカミキリムシ、特にマツノマダラカミキリ (*M. alternatus*) によって、マツ属枯死木から健全木に伝播される (Mamiya and Enda 1972; 森本・岩崎 1972; Mamiya 1983; Kobayashi et al. 1984; Futai 2013)。この際、線虫は、耐久型 (分散型第4期) 幼虫として、カミキリムシの気管内に侵入している (Mamiya and Enda 1972; 森本・岩崎 1972; 真宮 1975)。すなわち、マツノザイセンチュウが媒介昆虫から分離される際には、常にこの耐久型幼虫ステージであり、同定のための試料が耐久型幼虫に限られる。

一般に、線虫の幼虫ステージには成虫に見られるような形態的種間差が少なく、形態によって種の識別をすることは極めて困難である。また、マツノマダラカミキリからは、マツノザイセンチュウの最近縁種であり、カラフトヒゲナガカミキリ (*M. saltuarius*) を主要媒介昆虫とするニセマツノザイセンチュウ (*B. mucronatus*) も分離されることが知られているが (Mamiya and Enda 1979; Jikumaru and Togashi 2001)、その耐久型幼虫形態に関しては情報が非常に少ない。このため、幼虫での同定には、DNA バーコーディングに基づいた分子同定が有力なツールとなる (Kikuchi et al. 2009)。しかし、分子同定には、ある程度の時間、費用がかかり、マイクロピペットやヒートブロックなどの機材が必要となるため、簡易同定で多数の試料を処理することが難しい場合もある。このため、形態的特徴による同定は簡易検出、同定の第一段階として、依然重要な手法である。

本稿では、昆虫虫体からの分離線虫同定の基礎情

報として、Kanzaki et al. (2016) の内容に基づき、マツノザイセンチュウと、これに特に近縁な2種の *Bursaphelenchus* 属線虫、すなわちニセマツノザイセンチュウと、ヒゲナガカミキリ (*M. grandis*) を媒介者とする *B. firmae* (Kanzaki et al. 2012) の耐久型幼虫を比較し、その形態的差異について述べる。*B. firmae* は主にモミ属 (*Abies*) の新鮮な枯死木を利用しており、マツ属に対しては、非常に弱い病原性を示すことが知られている (Kanzaki et al. 2011a, 2012)。

ここでは、マツノザイセンチュウと *B. firmae* の野外個体群、ニセマツノザイセンチュウ (亜種、*B. mucronatus kolymensis*) 実験室個体群 (系統名 "M") を用いた。この、"M" 系統は、1970年代初頭に京都市伏見区においてカラフトヒゲナガカミキリから分離され、系統確立されたものである (細田 1973)。これまでに複数回の接種試験などが行われており、ニセマツノザイセンチュウ標準株のひとつとなっている (e.g., Kanzaki and Futai 2006; Kanzaki et al. 2012)。マツノザイセンチュウと、*B. firmae* はそれぞれ、(研)森林総合研究所千代田試験地 (茨城県かすみがうら市) で採集したアカマツ (*Pinus densiflora*) 枯死木から羽化脱出したマツノマダラカミキリ、(研)森林総合研究所多摩森林科学園 (東京都八王子市) で採集したヤツガタケトウヒ (*Picea koyamae*) 枯死木から羽化脱出したヒゲナガカミキリの気管内から分離した。分離線虫の一部はリボソームDNAの部分配列により、種同定を行った。ニセマツノザイセンチュウは、Maehara et al. (2013) の方法により、マツノマダラカミキリの蛹と共培養することで、耐久型幼虫を誘導した。

分離した線虫は、実体顕微鏡下でステージの確認を

The morphology of dauer juveniles of *Bursaphelenchus xylophilus* and its close relatives

¹KANZAKI, Natsumi, (研)森林総合研究所関西支所; ²MAEHARA, Noritoshi, (研)森林総合研究所東北支所;

³AKIBA, Mitsuteru, (研)森林総合研究所; ⁴TANAKA, E. Suguru, 東京大学農学生命科学研究科; ⁵IDE, Tatsuya, 国立科学博物館

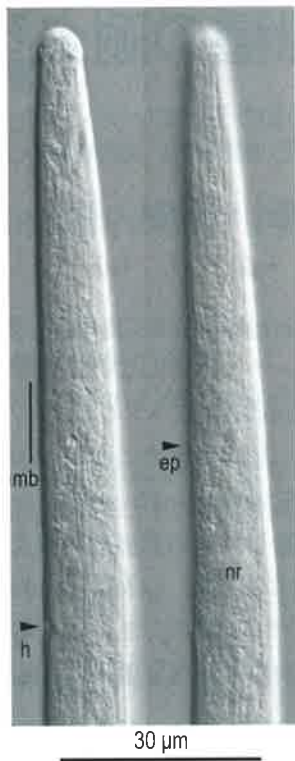


写真-1 マツノザイセンチュウ耐久型幼虫の頭部

左右は同一個体のフォーカスを変えたもの。頭端の口唇が退化してドーム状になり、口針は退化して、ほぼ確認できない。略称は、中部食道球 (mb)、半月体 (h)、分泌孔 (ep)、神経環 (nr) を示す。

行った後、熱殺 (60°C・1分)、TAF固定し、Minagawa and Mizukubo (1994) の方法に従ってグリセリン置換、永久プレパラートマウントし、これを観察に用いた。

光学顕微鏡観察の結果、3種の耐久型幼虫は、いずれも、ドーム状の頭部、退縮した口針、中部食道球、食道腺、神経環といった、典型的な耐久型幼虫の形態的特徴を示した (写真-1)。また、マツノザイセンチュウ近縁種群の耐久型幼虫は分散型第4期幼虫であり、1回の脱皮で成虫になることが知られているが (真宮 1975)、一部の個体では雌雄の生殖腺 (卵巣、精巣) 原器が観察され、このステージでも雌雄の識別は可能であることが確認された (写真-2)。

次に種間での形態比較を行ったところ、体形 (a 値: 体長/最大体幅)、分泌孔 (secretory-excretory pore、もしくは、excretory pore) の位置、尾端形

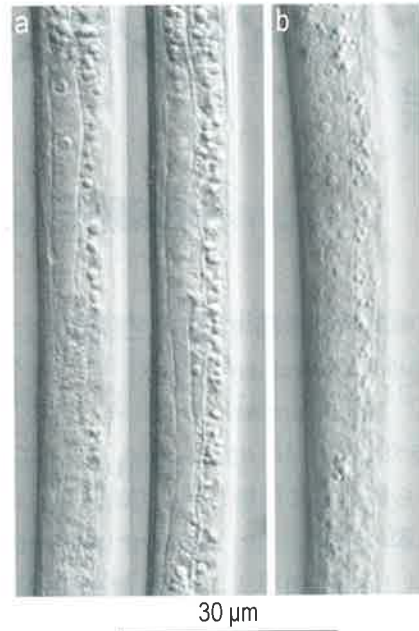


写真-2 耐久型幼虫の生殖腺原器 (a: マツノザイセンチュウ雌; b: *B. firmae*雄)

a は同一個体のフォーカスを変えたもの。

態に違いがあることが明らかになった。

まず、体形ではマツノザイセンチュウが他の2種に比べて若干細長く、形態計測値においても、a 値が、マツノザイセンチュウ、ニセマツノザイセンチュウ、*B. firmae*で、それぞれ、39.4-54.5、29.0-37.0、29.6-34.0 となっていた。成虫の体形においては、*B. firmae*が他2種に比べてやや太短いことが知られているが (Mamiya and Kiyohara 1972; Mamiya and Enda 1979; Korentchenko 1980; Kanzaki *et al.* 2012)、耐久型幼虫に関しても、マツノザイセンチュウと *B. firmae* で体形の特徴が成虫と一致するといえる。

分泌孔は、その正確な機能は明らかになっていないものの、分泌管が分泌細胞と連結していることから、何らかの分泌機能を持つと考えられる。この分泌孔は通常、中部食道球周辺の腹側に開口しているが、この開口位置が、中部食道球に対して、マツノザイセンチュウでは重なり、ニセマツノザイセンチュウではやや後方、*B. firmae*ではやや前方となることが確認された (図-1)。

幼虫の尾端形態は雌成虫の形態と対応することが

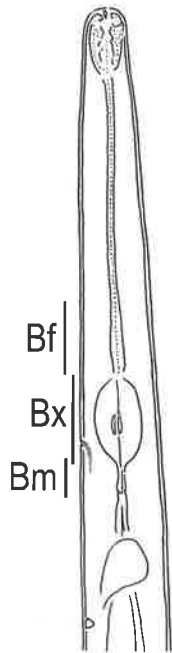


図-1 耐久型幼虫の頭部

マツノザイセンチュウの図に、マツノザイセンチュウ (Bx)、ニセマツノザイセンチュウ (Bm)、*B. firmae* (Bf) の分泌孔開口部の位置する範囲を黒線で示す。

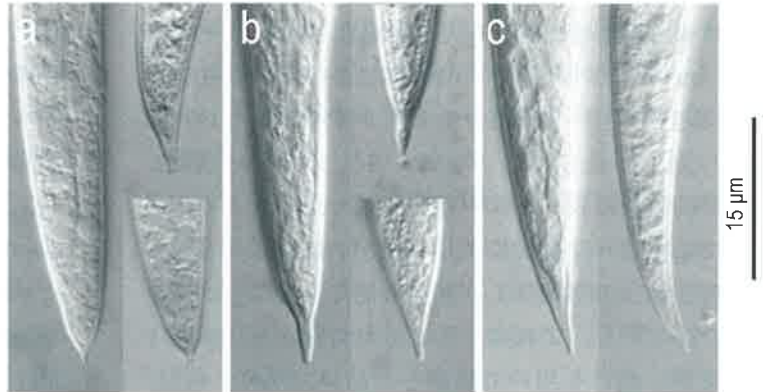


写真-3 耐久型幼虫の尾端 (a: マツノザイセンチュウ; b: ニセマツノザイセンチュウ; c: *B. firmae*)

表-1 マツノザイセンチュウ近縁種の耐久型幼虫の特徴

種名	マツノザイセンチュウ	ニセマツノザイセンチュウ	<i>Bursaphelenchus firmae</i>	<i>Bursaphelenchus doui</i>
媒介昆虫	マツノマダラカミキリ	カラフトヒゲナガカミキリ	ヒゲナガカミキリ	ビロウドカミキリ, ヒメヒゲナガカミキリ
体型 (a 値*)	細い (39.4-54.5)	太い (29.0-37.0)	太い (29.6-34.0)	太い (25.6-36.6)
分泌孔の位置	中部食道球に重なる	中部食道球より後方	中部食道球より前方	中部食道球前半に重なる。 もしくは少し前方
尾部	ほぼまっすぐ、もしくは緩く腹側に湾曲	ほぼまっすぐ、もしくは緩く腹側に湾曲	ほぼまっすぐ、もしくは緩く腹側に湾曲	強く腹側に湾曲
尾端	円錐状、もしくは広い尾端に短い突起	先の緩く尖った円錐状で突起の根元がくびれる	先の緩く尖った円錐状で、先の丸まった突起・表皮(透明部分)がやや厚い	先の緩く尖った円錐状で、先の緩く尖った太い突起・表皮(透明部分)がやや厚い

*: 体長/体幅

多いが (新井ら 2009; Kanzaki *et al.* 2011b), この傾向は、やや不明瞭ながら、耐久型幼虫でも同様であった。マツノザイセンチュウ、ニセマツノザイセンチュウ、*B. firmae* の雌成虫の尾端は丸形 (broadly rounded) であるが、それぞれ、突起なし (rounded)、明瞭な突起を持つ (rounded with mucro /

mucronated), 太く、先の緩くとがった突起を持つ (rounded with thick and blunt mucro) ということが知られている (Steiner and Buhner 1934; Mamiya and Kiyohara 1972; Mamiya and Enda 1979; Korentchenko 1980; Kanzaki *et al.* 2012)。耐久型幼虫の尾端は、それぞれの雌成虫に対応する形

で、マツノザイセンチュウではスムーズな円錐状、もしくはやや広い尾端に非常に短い突起を持つ、ニセマツノザイセンチュウでは円錐状の尾部に先の緩く尖った突起を持つ（円錐の中央部分がくびれることにより、突起と尾端の尖りが識別される）、そして、*B. firmae*では円錐状の尾部に太く、先端の丸まった突起を持ち、先端部分の表皮がやや厚いという形状の違いが見られた（写真-3）。各種の形態的、生態的差異は表-1に一覧表で示した。

ここで述べた変異により、たがいに近縁な3種が耐久型幼虫の形態により識別可能であることが示された。しかし、これは、それぞれの種から1株（1個体群）だけを用いて観察した結果であり、今後、種内変異を明らかにし、それぞれの形質にどの程度の差がみられるのかを検証する必要がある。また、ニセマツノザイセンチュウは2亜種、*B. m. mucronatus*と*B. m. kolymensis*に分けられるが（Braasch *et al.* 2011）、前者についてはいまだ昆虫を用いた便乗実験系が確立されていないため、ここでは後者の分離株のみの観察結果となっている。*B. m. mucronatus*に関しても詳細な調査が望まれる。さらに、日本国内から検出されるマツノザイセンチュウ近縁種群として、*B. doui*が知られる。本種は、ビロウドカミキリ（*Acalolepta fraudatrix*）やヒメヒゲナガカミキリ（*M. subfasciatus*）に便乗し、マツ属枯死木材内で増殖するが、病原性はないと考えられる（Kanzaki *et al.* 2008, 2011a, 2013）。本種は、枯死木内では通常増殖（菌食）型幼虫、成虫ステージで増殖するが、媒介昆虫に伝播される際、通常耐久型幼虫に加えて、「寄生型成虫」という特殊なステージを持つ。「寄生型成虫」は虫体から、耐久型幼虫と同時に分離され、頭部は耐久型幼虫同様に退化した口針、中部食道球を持つが、雌雄の生殖巣は充分に発達しており、雄の交接刺、雌の陰門もはっきりと形成されている（Kanzaki *et al.* 2013）。上記の基準によれば、*B. doui*の耐久型幼虫は、やや太短い体形（ a 値=25.6-36.6）、中部食道球よりやや前方に位置した分泌孔開口部、先の緩くとがった太い尾端突起を持つことから、*B. firmae*のそれと形態

的に近いといえるが、尾部がやや強く腹側に湾曲するという点で、*B. firmae*と識別できる（Kanzaki *et al.* 2013）（表-1）。この種については、マツノマダラカミキリからの分離は知られていないものの、同じマツ属を利用する近縁種として留意する必要がある。

マツノマダラカミキリからは*Bursaphelenchus*属線虫以外に、寄生性の*Contortylenchus genitalicola*（Kosaka and Ogura 1993）、細菌食性線虫である*Diplogasteroides asiaticus*（Kanzaki *et al.* 2015）などの検出が報告されている。*C. genitalicola*は昆虫寄生性と菌食性という2つの生活環を持つ（Kosaka and Ogura 1994, 1995）。昆虫体内では、精巢、卵巣に巨大な寄生態雌成虫が寄生し、それらが産んだ卵から成長した寄生態幼虫が血体腔に寄生している。この寄生態幼虫はマツノマダラカミキリの産卵行動の際に卵と共に材内に侵入する。この幼虫はそこで糸状菌を摂食し、菌食態成虫になり、この卵からは菌食態幼虫が孵化し、増殖を繰り返す。菌食態は通常の細長い線虫型の体型をしているが、昆虫への感染は、菌食態雌成虫の昆虫への侵入によって起こり、虫体内で巨大な寄生態雌成虫へと発達する。これらのうち虫体から分離される寄生態幼虫はサイズ、体形ともにマツノザイセンチュウによく似ている。しかし、寄生態成虫の存在や、寄生態幼虫に明瞭な口針があることなどでマツノザイセンチュウとは識別可能である（Kosaka and Ogura 1993）。むしろ、寄生している場合は寄生態幼虫の個体数が非常に多くなることもあるため、マツノザイセンチュウの方が確認できなくなる可能性もある。*D. asiaticus*は、耐久型幼虫がマツノマダラカミキリの外部生殖器官、交尾器や産卵管に侵入して便乗する。マツノマダラカミキリの個体群によっては、マツノザイセンチュウより保持率が高いことも多い。しかし、他のDiplogastridae科線虫同様、耐久型幼虫の体表面が油滴状の膜で覆われていること、体サイズが明らかに小さいことからマツノザイセンチュウと識別できる（Kanzaki *et al.* 2015）。野外採集のマツノマダラカミキリ個体では、保持線虫が必ずしも1種ではな

いという点にも注意が必要である。

引用文献

新井利行・神崎菜摘・秋庭満輝 (2009) マツノザイセンチュウの尾端突起. 森林防疫 58: 68 ~ 69

Braasch H, Gu J, Burgermeister W (2011) *Bursaphelenchus mucronatus kolymensis* comb. n. - new definition of the "European type" of *B. mucronatus*. J Nematode Morph Syst 14: 77 ~ 90

Futai K (2013) Pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. Ann Rev Phytopathol 51: 61 ~ 83

細田隆治 (1973) マツノザイセンチュウとその近縁種 (*Bursaphelenchus* sp. No.5) の比較試験. 日林関西支講 24: 177 ~ 180

Jikumaru S, Togashi K (2001) Transmission of *Bursaphelenchus mucronatus* (Nematoda: Aphelenchoididae) through feeding wounds by *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae). Nematology 3: 325 ~ 333

Kanzaki N, Aikawa T, Maehara N, Matsumoto K (2008) *Bursaphelenchus doui* Braasch, Gu, Burgermeister & Zhang, 2005 (Aphelenchida: Parasitaphelenchidae), an associate of *Monochamus subfasciatus* Bates (Coleoptera: Cerambycidae) and *Pinus densiflora* Sieb. & Zucc. Nematology 9: 69 ~ 78

Kanzaki N, Aikawa T, Maehara N, Ichihara Y (2011a) An inoculation experiment of Japanese *Bursaphelenchus* nematodes on Japanese black and red pine, *Pinus thunbergii* and *P. densiflora*. J For Res 16: 325 ~ 330

Kanzaki N, Futai K (2006) Is *Bursaphelenchus mucronatus* a weak pathogen to the Japanese red pine? Nematology 8: 485 ~ 489

Kanzaki N, Maehara N, Aikawa T, Masuya H, Giblin-Davis RM (2011b) Description of *Bursaphelenchus kiyoharai* n. sp. (Tylenchina: Aphelenchoididae) with remarks on the taxonomic framework of the Parasitaphelenchinae Rühm, 1956 and

Aphelenchoidinae Fuchs, 1937. Nematology 13: 787 ~ 804

Kanzaki N, Maehara N, Aikawa T, Matsumoto K (2012) *Bursaphelenchus firmae* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae), isolated from *Monochamus grandis* Waterhouse that emerged from dead firs, *Abies firma* Sieb. et Zucc. Nematology 14: 395 ~ 404

Kanzaki N, Maehara N, Aikawa T, Nakamura K (2013) An entomoparasitic adult form in *Bursaphelenchus doui* (Nematoda: Tylenchomorpha) associated with *Acalolepta fraudatrix*. J Parasitol 99: 803 ~ 815

Kanzaki N, Maehara N, Akiba M, Tanaka SE, Ide T (2016) Morphological characters of dauer juveniles of three species of *Bursaphelenchus* Fuchs, 1937. Nematology 18: 209 ~ 220

Kanzaki N, Woodruff GC, Akiba M, Maehara N (2015) *Diplogasteroides asiaticus* n. sp. is associated with *Monochamus alternatus* in Japan. J Nematol 47: 105 ~ 115

Kikuchi T, Aikawa T, Oeda Y, Karim N, Kanzaki N (2009) A rapid and precise diagnostic method for detecting the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* by loop-mediated isothermal amplification (LAMP). Phytopathology 99: 1365 ~ 1369

Kobayashi F, Yamane A, Ikeda T (1984) The Japanese pine sawyer beetle as the vector of pine wilt disease. Ann Rev Entomol 29: 115 ~ 135

Korentchenko EA (1980) New species of nematodes from the family Aphelenchoididae, parasites of stem pests of the Dahurian larch. Zoologicheskyy Zhurnal 59: 1768 ~ 1780

Kosaka H, Ogura N (1993) *Contortylenchus genitalicola* n. sp. (Tylenchida: Allantonematidae) from the Japanese Pine Sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Appl Entomol Zool 28: 423 ~ 432

- Kosaka H, Ogura N (1994) Adult longevity and female reproductive potential of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) parasitized by *Contortylenchus genitalicola* (Tylenchida: Sphaerulariina). Jpn J Nematol 24: 30 ~ 34
- Kosaka H, Ogura N (1995) Propagational characteristics of the entomophagous and mycetophagous nematode, *Contortylenchus genitalicola* (Tylenchida: Allantonematidae), on an unidentified fungus. Jpn J Nematol 25: 77 ~ 84
- Maehara N, Kanzaki N, Aikawa T, Nakamura K (2013) Effects of two species of cerambycid beetles, tribe Lamiini (Coleoptera: Cerambycidae), on the phoretic stage formation of two species of nematodes, genus *Bursaphelenchus* (Nematoda: Aphelenchoididae). Nematol Res 43: 9 ~ 13
- 真宮靖治 (1975) マツノザイセンチュウの発育と生活史. 日本線虫研究会誌 5: 16 ~ 25
- Mamiya Y (1983) Pathology of the pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. Ann Rev Phytopathol 21: 201 ~ 220
- Mamiya Y, Enda, N (1972) Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Nematologica 18: 159 ~ 162
- Mamiya Y, Enda N (1979) *Bursaphelenchus mucronatus* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) from pine wood and its biology and pathogenicity to pine trees. Nematologica 25: 353 ~ 361
- Mamiya Y, Kiyohara T (1972) Description of *Bursaphelenchus lignicolus* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) from pine wood and histopathology of nematode-infested trees. Nematologica 18: 120 ~ 124
- Minagawa N, Mizukubo T (1994) A simplified procedure of transferring nematodes to glycerol for permanent mounts. Jpn J Nematol 24: 75
- 森本 桂・岩崎 厚 (1972) マツノザイセンチュウ伝播者としてのマツノマダラカミキリの役割. 日林誌 54: 177 ~ 183
- Steiner G, Buhner EM (1934) *Aphelenchoides xylophilus* n. sp., a nematode associated with blue-stain and other fungi in timber. J Agric Res 48: 949 ~ 951

(2017.1.27受付, 2017.2.7掲載決定)

解説

密集した木は格好の標的－被害木の解析から カシノナガキクイムシの好みを探る－

山崎理正¹

1. キクイムシの寄主木探索様式

植物を餌としている昆虫を植食性昆虫と呼びます。通常、植食性昆虫は同一種が何世代にもわたって同じ寄主植物個体を利用することはできません。そのため、移動分散してその寄主植物を自然の中で探し出す必要が生じます。寄主植物を探索するために、植食性昆虫は嗅覚・視覚・触覚・味覚を駆使し、様々な刺激に対応できるように適応進化しています (Bernays and Chapman 1994)。日本では現在カシノナガキクイムシが猛威をふるい、各地でナラ枯れの被害が深刻化していますが、本種を含むキクイムシの場合はどうでしょうか。キクイムシは樹木の内樹皮を餌とする樹皮下穿孔性キクイムシと、自分で運搬生育した菌類を餌とする養菌性キクイムシに大別されます。カシノナガキクイムシは後者なのですが、いずれも餌としてあるいは菌を育てる基質として、そしてその生活場所として、寄主木を探し出さなければならないのは同じです。

キクイムシが寄主木探索に利用する物質は、寄主木由来の一次誘引物質と、キクイムシ由来の二次誘引物質に大別されます。一次誘引物質としては幹や葉からの揮発性物質が、二次誘引物質としては性フェロモン、集合フェロモンが知られています。カシノナガキクイムシについては後述する集合フェロモンが二次誘引物質として同定されているのですが、一次誘引物質についてはほとんど分かっていません。しかし、体長5mmの小さな昆虫がフェロモンだけを頼りに広大な森林内で寄主木を探索しているとは到底思えませんし、そもそも初期に穿孔する個体はフェロモンの情報を利用することができません。カシノナガキクイムシも、寄主木からの何かしらの情報をその探索に利用していると思われます。

森の中でどんな木が攻撃されているのか、つまりどんな木が好まれているのかを解析すれば、カシノナガキクイムシが何を手がかりに寄主木を探索しているのかが見えてくるかもしれません。本稿では、筆者が京都の天然林と二次林で行ってきた研究を紹介し、カシノナガキクイムシの寄主木探索様式について考察してみたいと思います。

2. 密度が高いと見つけやすい

京都大学フィールド科学教育研究センターの芦生研究林(図-1)は、冷温帯と暖温帯の境界に位置し植物の多様性が高いことで知られており、この森を利用して今まで様々な研究が行われてきました。その一つが森林動態の長期観測です。一定の面積を調査プロットとして設定し、プロット内の樹木の更新・成長・枯死過程を長期にわたって追うもので、毎木調査ともよばれています。研究林内では2002年に初めてミズナラでナラ枯れの被害が確認されたのですが、丁度その翌年に14haの毎木調査プロットが上谷流域に設定されました。プロット内には219本のミズナラがあり、設定時にはナラ枯れの被害は確認できなかったのですが、2007年の再調査時にはこのうち36本がカシノナガキクイムシの穿孔被害を受けていました。そこで、どのようなミズナラがカシノナガキクイムシによる穿孔被害を受けやすいのかを解析しました。

219本のミズナラについて用意した変数は、胸高直径、周辺ミズナラの胸高断面積合計、周辺のスギの胸高断面積合計、標高、凹凸指数(尾根だと正、谷だと負の値)です。胸高直径については、既に太い木の方がカシノナガキクイムシの穿孔被害を受けやすいという報告があった(赤石ら 2006; Yamasaki

Dense hosts are the easy target for the ambrosia beetle *Platypus quercivorus*

¹YAMASAKI, Michimasa, 京都大学農学研究科森林科学専攻森林生物学分野

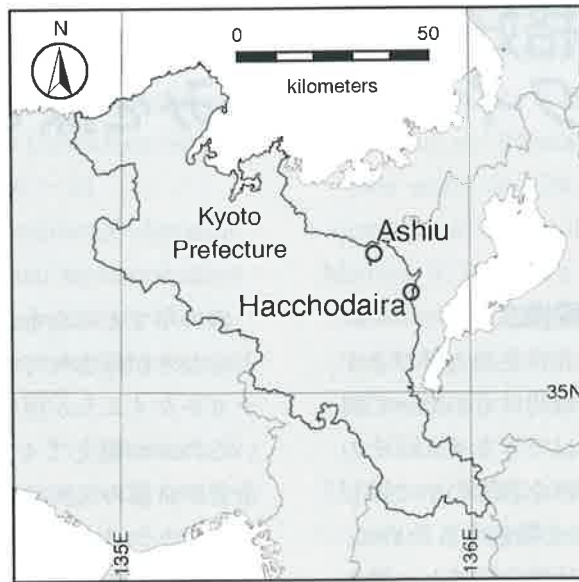


図-1 調査を行った芦生研究林と八丁平の位置図。

and Futai 2008) ので、これを確認するために用意しました。標高と凹凸指数については具体的な仮説はなかったのですが、カシノナガキクイムシの寄主木探索行動に地形も何かしらの影響を及ぼしているかもしれないので用意しました。

調査を行った天然林では、スギとブナが優占しています。大面積の調査をすると、樹木の半分以上はスギ、10分の1程度はブナで占められていることが分かります。これに対してミズナラは、スギとブナほどは多くなく、林内でパッチ状に分布しています。そのため、ミズナラの密度は林内で一様ではなく、場所によって高かったり低かったりします。このように密度に差があると、高密度に分布しているミズナラの方がカシノナガキクイムシに見つけられやすいかもしれません。これを検証するために、219本のミズナラについて周囲のミズナラの胸高断面積合計を計算しました。密度が影響しているといってもどれくらいのスケールで影響しているかは分からないので、胸高断面積合計は10m×10m、30m×30m、50m×50mと3つのスケールで計算しました。また、針葉樹を利用するクイムシでは広葉樹から揮発する物質を忌避することが報告されており、広葉樹を利用するカシノナガキクイムシでは逆のことが起こ

っているかもしれません。そこで、周囲のスギの胸高断面積合計についても同様に計算しました。

解析の結果、胸高直径、周囲30m×30mのミズナラの胸高断面積合計、周囲30m×30mのスギの胸高断面積合計の3変数がカシノナガキクイムシによる穿孔被害の受けやすさに影響を及ぼしていることが分かりました。胸高直径については過去の報告と同様、太い方が被害を受けやすいという結果でした。周囲30m×30mのミズナラとスギの胸高断面積合計については、いずれも密度が高いほど被害を受けやすいという結果でした。周囲にスギが多い方が被害を受けやすいという結果は予想とは逆だったので、何故なのかはよく分からなかったのですが、周囲にミズナラが多い方が被害を受けやすいという結果は納得できるものでした。カシノナガキクイムシは木の太さだけでなく、周囲のミズナラの密度も寄主木選択の判断材料にしていることが示唆されたのです (Yamasaki and Sakimoto 2009)。

ただ、上述の解析は、ミズナラの各個体がどのサブプロット (10m×10m) に属しているかというデータに基づいていて、1本1本のミズナラを正確に測位していませんでした。そこで今度は、対象木をより正確に測位して各個体の相対的位置を明らかに

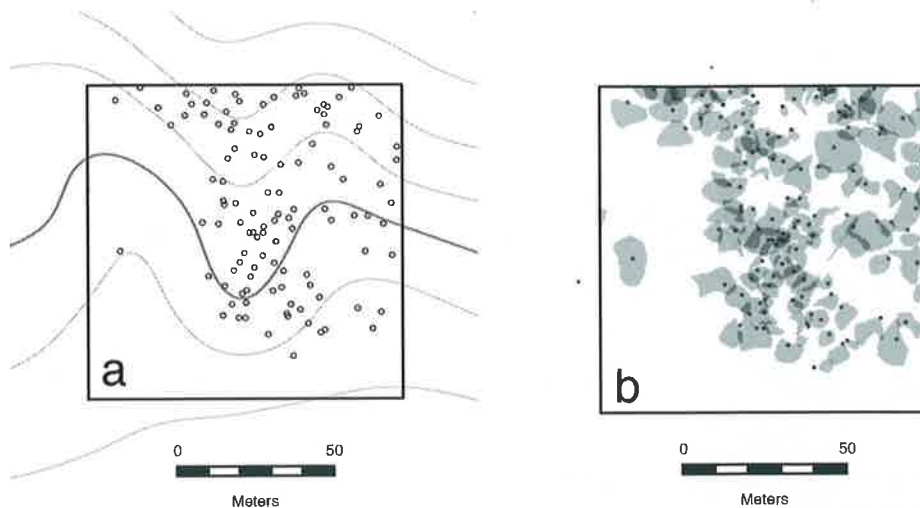


図-2 京都府東部の二次林に設置した1 haの調査プロットにおける (a) ブナ科樹木の位置図と (b) 樹冠投影図
Yamasaki et al. (2014a) を改変。

し、そこから周辺のブナ科樹木の密度をより細かく計算することにしました。

3. 周辺は高密度で外側は低密度

八丁平(図-1)は京都府東部に位置する高層湿原で、その周辺はミズナラとクリが優占する森林で囲まれています。標高は芦生のプロットとほぼ同じなのですが、決定的な違いは二次林だということです。芦生と比べてミズナラの密度が非常に高いです。芦生の天然林ではミズナラの本数密度は1 haあたり15~20本程度ですが、八丁平の二次林の場合、多いところでは1 haあたり100本を超えます。カシノナガキクイムシにとっては、寄主木が選り好みな状態です。

八丁平の二次林では2008年に初めてナラ枯れの被害が確認されました。以降現在に至るまで、93haの区域内で被害木調査を続けているのですが、2015年までの8年間で4000本以上のブナ科樹木がカシノナガキクイムシの穿孔被害を受け、そのうち2000本以上が枯死しました。被害樹種はミズナラとコナラとクリですが、そのほとんどがミズナラです。ここで0.5~1 haのプロットを3個設定し、各プロット内のミズナラとクリをDGPSとレーザー測距器で正確に測位しました。図-2 aに1個の調査プロット

の測位結果を示します。プロット内にミズナラとクリが高密度に分布していることがわかります。

各個体の座標が求まったので、これを利用して各個体の周辺のミズナラとクリの本数密度を細かく計算しました。具体的には、各個体を中心にして2.5 mから25 mまで2.5 m刻みで同心円を描き、各同心円内に含まれる(各個体の周辺に存在する)ミズナラとクリの本数密度を計算しました。加えて、同心円の外側のドーナツ状のエリアについても本数密度を計算しました。対象木直近のブナ科樹木の密度とその外側のブナ科樹木の密度は、それぞれカシノナガキクイムシに異なる影響を及ぼしているかもしれないので、このような計算をしました。

もう一つ準備した変数は、樹冠密度です。各個体の樹冠投影図を作成し(図-2 b)、その重なり具合も考慮して、各個体の直上にブナ科樹木の樹冠がどれくらい存在していたのかを計算しました。ブナ科樹木の密度が高くなればなるほど、その直上の樹冠密度も高くなるから、わざわざこんな変数を用意する必要はないと思われるかもしれませんが、図-2 bで各個体の幹が必ずしも樹冠の真ん中に位置していないことから分かるかと思いますが、樹冠は必ずしも幹の直上にはありません。これは調査地の傾斜が急であることに起因しています。

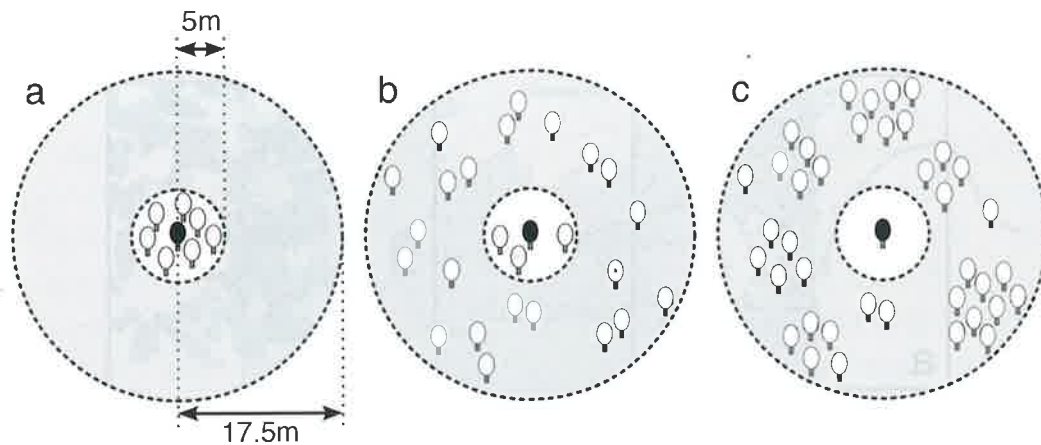


図-3 二次林での調査の結果明らかになった、周辺のブナ科樹木の本数密度がカシノナガキクイムシの穿孔被害を受ける確率に及ぼす影響

各個体（各図の中心の黒い木）の周辺5m圏内（白色のエリア）の密度が高くなればなるほど、また、その外側17.5mまで（灰色のエリア）の密度が低くなればなるほど、カシノナガキクイムシの被害を受ける確率が高くなる。(a)が一番被害確率が高く、(a) (b) (c)の順に被害確率が低くなることを示している。Yamasaki et al. (2014a) を改変。

プロット内では2008年から2011年の4年間で、のべ65本のミズナラ、のべ39本のクリがカシノナガキクイムシの穿孔被害を受けました。上で説明したブナ科樹木の密度と樹冠密度以外に、樹種（ミズナラ・クリ）、個体の胸高断面積合計、被害履歴、地形要素も説明変数の候補とし、カシノナガキクイムシの被害を受ける確率に何が影響を及ぼしているのかを解析したところ、過去の研究（Yamasaki and Futai 2012）が示しているように、クリよりはミズナラの方が、被害履歴がある木よりはない木の方が穿孔被害を受ける確率が高くなっていることが確認されました。ブナ科樹木の密度については、周辺5m圏内の密度が高くなればなるほど、また、その外側17.5mまでの密度が低くなればなるほど、カシノナガキクイムシの被害を受ける確率が高くなっていることが明らかになりました（図-3）。直上の樹冠密度が高くなればなるほど被害確率が高くなる傾向も認められました（Yamasaki et al. 2014a）。

図-3に示したような傾向はどう解釈すればよいのでしょうか。直近の密度に関しては、寄主木が単木よりも集団の方がカシノナガキクイムシにとって発見しやすい、あるいはそのような寄主木をカシノナガキクイムシが好んでいる、と考えることができます。調査地は二次林で、人為的な影響でブナ科樹

木の密度が高くなっている森林です。昔は薪炭林として利用され、太くなる前に伐採されていたのが、燃料革命以降薪炭林が放置され、肥大化したブナ科樹木が高密度で分布するようになったのです。薪炭林の放置とその後のブナ科樹木の肥大化は、カシノナガキクイムシに好適な生息環境を提供し、近年のナラ枯れ被害がなかなか沈静化しない一因になっているのではと考えられています（小林・上田 2005）。調査地の八丁平でも、昔は図-2 aのようにブナ科樹木の密度が高い状態ではなくて、カシノナガキクイムシは単に太い木を好んでアタックしていたのが、現在の二次林ではそれが集団的に分布する寄主木群に置き換わっているのかもしれません。

対象木直近の密度と比較して、外側の密度が高いほど被害確率が低くなるのは何故なのでしょう。これは、動物が群れることで捕食者にやられる確率を下げているのと同じように解釈できるかもしれません。色々な動物を観察すると、群れている種と単独で行動している種がいることが分かります。群れることの適応的意義の一つとして、希釈効果があります。これは、単独で行動していたら捕食者に襲われた際にやられてしまう確率が高いが、群れをなしていたら1個体あたりがやられる確率は低くなる、という効果です（松本 2015）。この動物をブナ

科樹木に置き換えてみると、カシノナガキクイムシが攻撃対象を絞り込んでいく際に、図-3cのように周辺に魅力的な寄主木がたくさんあったらそちらを選択してしまい、結果的に図-3cの真ん中の個体の被害確率は下がるというようなことが起きているのかもしれませんが。動物の群れと似ていると書きましたが、決定的に違うのは、ブナ科樹木はその戦略として“群れ”ているのではなくて、上でも述べたように人為的な影響で“群れ”ができてしまったという点です。

ではカシノナガキクイムシはどんな指標を利用して寄主木の集団を検出しているのでしょうか。一つの可能性は、今回その影響が確認できた樹冠です。カシノナガキクイムシはブナ科樹木の樹冠そのもの、あるいは樹冠から揮発している何らかの物質に誘引されているのかもしれませんが。そうするとカシノナガキクイムシは樹冠より上から寄主木を探していることにはなりますが、カシノナガキクイムシの野外での飛翔生態はほとんど分かっていないのが現状です。それも含めて、樹冠誘引仮説を検証するような調査・実験をいま進めているところです。

4. マスアタックにも密度が影響

上で紹介した研究では、ブナ科樹木が「カシノナガキクイムシの被害を受ける確率」を解析していました。ただ、穿孔被害を受けても、その全てが枯死に至るわけではありません。カシノナガキクイムシの場合、初期に寄主木に飛来した個体が集合フェロモンを分泌し、これに多くの個体が誘引されることで集中的な穿孔（マスアタック）が起こり、寄主木は枯死に至ります。ミズナラで報告されている被害木の枯死率は40%ほどで（Kamata *et al.* 2002）、残りの60%の生存木では、攻撃が始まってからもその後マスアタックまでには至っていないと考えられます。それでは、被害木はどのような状況下でマスアタックを経て枯死に至りやすいのでしょうか。

この点を明らかにするために、つまり「カシノナガキクイムシの被害を受け始めた個体その後枯死に至る確率」には何が影響しているのかを明らかに



写真-1 八丁平の調査地で見られたミズナラの被害木
薪炭林放置二次林ではこのような株立ち個体が多く見られる。

するために、上で紹介した八丁平の二次林で調査を行いました。93haの調査エリアを3年連続で踏査し、カシノナガキクイムシの穿孔は見られるものの生存している木（穿入生存木）とカシノナガキクイムシの穿孔が見られ枯死している木（穿入枯死木）の分布を調べました。被害木の生死に影響を及ぼす要因として、樹種（ミズナラ・クリ）、胸高直径、半径2.5～25m圏内の被害木の胸高断面積合計、地形要素、植生タイプを検討しました。この研究ではブナ科樹木全体の密度ではなく、少しでも被害を受けていたブナ科樹木の密度を計算しました。

調査を行った3年間（2008～2010年）で2130幹（1278個体）のブナ科樹木がカシノナガキクイムシの穿孔を受け、そのうち813幹が枯死しました。個体数と幹数が一致しないのは、調査地が薪炭林放置二次林であるため、株立ちの個体（写真-1）が多いことによるものです。解析の結果、被害木の生死

に影響を及ぼしていたのは、樹種と周辺15mの被害木の胸高断面積合計と標高でした (Yamasaki *et al.* 2014b)。

クリの方がミズナラよりも枯死率が低くなっていた結果は、クリの高い抵抗性を示唆しています。丸太にカシノナガキクイムシの雌雄成虫を人工的に導入した試験によれば、ミズナラでは活発な坑道掘削活動が観察され次世代虫が正常に発育するのに対し、クリでは坑道が伸長されず産卵さえ確認されていません (Tarno *et al.* 2011)。クリでは穿入の早い段階から抵抗性が機能していると考えられます。周辺の被害木の胸高断面積合計は大きければ大きいほど枯死率が高くなっていたのですが、これは単木的に攻撃されるよりも周辺の他の個体と一緒に攻撃された方が枯死率が高くなる、すなわちマスアタックが単木レベルだけでなく半径15mくらいのブナ科樹木の集団レベルでも起こっていることを示しています。つまり、二次林でブナ科樹木が集团的に分布していることは、カシノナガキクイムシにとって見つけやすいし、見つかったあと仲間を呼び寄せる時にも好都合、というわけです。

標高については、低いほど枯死率が高いという結果が得られました。他種のキクイムシでは、標高の負の効果は温度差に起因するキクイムシの繁殖成功度の差で説明されていますが、本研究の調査地の標高は800～970mで、これくらいの高低差でカシノナガキクイムシの行動や繁殖に影響が出るような温度差が生じているとは思えません。粘着トラップを用いた研究では、カシノナガキクイムシが斜面の下方から上方に向かって飛翔することが示されています (Esaki *et al.* 2004)。カシノナガキクイムシは低標高から先に寄主木選択を行い、その結果長期間攻撃にさらされる低標高で枯死率が高くなっているのかもしれない。

5. 防除の可能性と研究の発展性

被害がなかなか終息しないナラ枯れですが、有効な防除方法はないのでしょうか。一つには、寄主木を管理する方法が考えられます。本稿で紹介した一

連の研究で、樹種や胸高直径など樹木個体の特性だけでなく、その周辺のブナ科樹木の密度もカシノナガキクイムシの行動を大きく左右していることが示唆されました。ブナ科樹木の密度を下げればナラ枯れ被害を軽減する効果があると考えられ、実際このような森林管理方法も提唱されています (日本森林技術協会 2015)。伐採した後の利用まで含めて管理できれば有効だと思うのですが、大面積の森林が対象だと難しいのも事実です。

虫を大量に捕獲して森林内での密度を下げる方法も考えられます。カシノナガキクイムシが樹冠から揮発している何らかの物質に誘引されている、という仮説を本稿では紹介しましたが、このような物質を同定できれば防除への応用も期待されます。ただ、これも大面積の森林が対象だと、誘引物質の設置場所や設置方法など検討しなければならないことはたくさんあります。本稿で紹介したようなカシノナガキクイムシとその寄主木に関する基礎的な研究も、防除に関する応用的な研究も、地道に成果を積み上げていくのが重要です。

また上記のような研究は、対象種以外の種も含めた研究に発展する可能性があります。キクイムシは体長が数mmと小さく、広大な森林内でのその飛翔生態はほとんど分かっていません。また、キクイムシの中でも衰弱木しか利用できない二次性の種もいれば、カシノナガキクイムシのように健全木も攻撃できる一次性の種もいます。例えば実験室内での飛翔実験や野外での飛翔虫捕獲試験などを行えば、キクイムシがどれくらいの距離を飛翔するのか、森林内でどこを飛翔しているのか、寄主木を探索する戦略が一次性と二次性と異なるかなど、色々面白いことが見えてくるかもしれません。

謝辞

本稿で紹介した研究のうち、八丁平の二次林で行われた研究は、JSPS科研費22580162「カシノナガキクイムシの寄生木及び穿孔部位選択様式の解明」の助成を受けたものです。

引用文献

- 赤石大輔・鎌田直人・中村浩二 (2006) コナラ・アベマキ二次林におけるカシノナガクイムシの初期被害状況. 日林誌 88: 274 ~ 278
- Bernays EA, Chapman RF (1994) Host-plant selection by phytophagous insects. Chapman & Hall, New York
- Esaki K, Kato K, Kamata N (2004) Stand-level distribution and movement of *Platypus quercivorus* adults and patterns of incidence of new infestation. Agric For Entomol 6: 71 ~ 82
- Kamata N, Esaki K, Kato K, Igeta Y, Wada N (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
- 小林正秀・上田明良 (2005) カシノナガクイムシとその共生菌が関与するブナ科樹木の萎凋枯死 - 被害発生要因の解明を目指して -. 日林誌 87: 435 ~ 450
- 松本忠夫 (2015) 動物の生態 - 脊椎動物の進化生態を中心に -. 裳華房, 東京
- 日本森林技術協会編 (2015) ナラ枯れ被害対策マニュアル改訂版. 林野庁
- Tarno H, Qi HY, Endoh R, Kobayashi M, Goto H, Futai, K (2011) Types of frass produced by the ambrosia beetle *Platypus quercivorus* during gallery construction, and host suitability of five tree species for the beetle. J For Res 16: 68 ~ 75
- Yamasaki M, Futai K (2008) Host selection by *Platypus quercivorus* (Murayama) (Coleoptera: Platypodidae) before and after flying to trees. Appl Entomol Zool 43: 249 ~ 257
- Yamasaki M, Futai K (2012) Discrimination among host tree species by the ambrosia beetle *Platypus quercivorus*. J For Res 17: 149 ~ 155
- Yamasaki M, Ito Y, Ando M (2014a) The effect of stem density on the probability of attack by the ambrosia beetle *Platypus quercivorus* varies with spatial scale. Agric For Entomol 16: 54 ~ 62
- Yamasaki M, Ito Y, Ando M (2014b) Mass attack by the ambrosia beetle *Platypus quercivorus* occurs in single trees and in groups of trees. Can J For Res 44: 243 ~ 249
- 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

(2017.2.14受付, 2017.3.2掲載決定)

解説

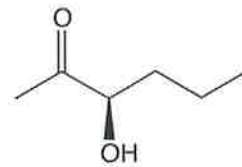
ヒメスギカミキリ *Callidiellum rufipenne* (Motschulsky) の集合-性フェロモンと重要な共力成分の同定

中牟田潔¹・Yunfang ZOU²・Lawrence HANKS³・Jocelyn G. MILLAR⁴

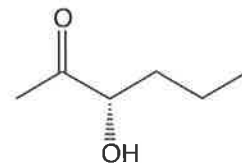
1. はじめに

カミキリムシ類は森林・林木へ経済的被害をもたらす、あるいは侵入種として世界的に問題となる割にはフェロモンに関する研究が少なく、2004年時点では誘引性の性フェロモンが10種、接触あるいは近距離で働くフェロモンが15種ほど知られているのみであった (Allison *et al.* 2004)。しかし、ここ10年の間に研究が進み、フェロモンあるいはフェロモン様物質が100以上の種から同定されてきた (Hanks and Millar 2016)。カミキリムシの揮発性を有する誘引性のフェロモンは大きく2つのタイプに分けられ、ひとつは雄が生産し、雌雄両性を誘引する集合-性フェロモンであり、もうひとつは雌が生産して、雄のみを誘引する性フェロモンである。集合-性フェロモンは、雌雄両性が放出し両性が誘引される集合フェロモンと区別すべく定義されたフェロモンであり、何れかの性が放出し両性が誘引され交尾相手の獲得に至るフェロモンである (Cardé 2014)。この2つのタイプのフェロモンの利用はカミキリムシの亜科レベルで分かれており、集合-性フェロモンは、カミキリ亜科、フトカミキリ亜科、クロカミキリ亜科にみられ、性フェロモンはノコギリカミキリ亜科とハナカミキリ亜科にみられる (Hanks and Millar 2016)。

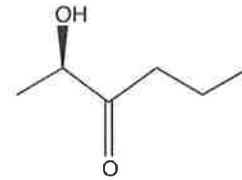
ヒメスギカミキリ *Callidiellum rufipenne* (Motschulsky) は、日本では春先に成虫がスギやヒノキなどの新鮮な皮付き丸太に集まり、雌成虫が樹皮の割れ目に産卵する (楨原 1994) が、健全な生立木はほとんど加害しないので経済的な被害が問



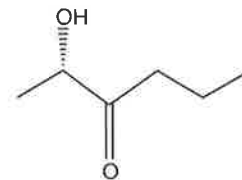
(R)-3-hydroxyhexan-2-one



(S)-3-hydroxyhexan-2-one



(R)-2-hydroxyhexan-3-one



(S)-2-hydroxyhexan-3-one

図-1 ヒメスギカミキリ雄成虫から検出されたケトン類の化学構造

題になることは少ない。ただ、近年木造構築物の増加に伴って材料として用いられた材からヒメスギカミキリが脱出する家屋害虫としての被害が時折みら

Identification of an aggregation-sex pheromone component and a critical synergist for the smaller Japanese cedar longicorn, *Callidiellum rufipenne* (Coleoptera: Cerambycidae)

¹NAKMUTA, Kiyoshi, 千葉大学大学院園芸学研究所; ²Department of Entomology, University of California, Riverside, CA 92421, USA;

³Department of Entomology, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801, USA;

⁴Department of Entomology, University of California, Riverside, CA 92421, USA

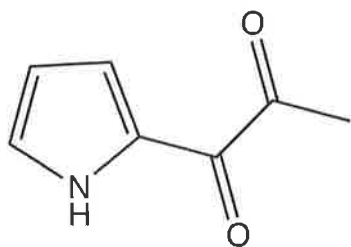


図-2 1-(1H-pyrrol-2-yl)-1,2-propanedioneの化学構造

れる(齊藤 私信)。一方、米国では1997年にノースカロライナ州で最初に発見されて(Hoebeke 1999)以降、東北部の諸州に分布が拡大しており(Maier 2007; Maier and Graney 2012)、侵入害虫として問題になっている。しかし有効なモニタリング方法がないため、その分布の詳細は不明である。

われわれは以前より本種のフェロモンの解明を行っており、雌雄成虫の放出する揮発成分の分析により雄のみが(R)-3-hydroxyhexan-2-oneと微量の(S)-3-hydroxyhexan-2-one、(R)-2-hydroxyhexan-3-one、(S)-2-hydroxyhexan-3-one(図-1)を放出することを確認していた。これらの化合物は、ヒメスギカミキリが属するカミキリ亜科の多くのカミキリムシ種が用いるフェロモンである(Hanks and Millar 2013)。しかし、野外にて色々な組成比のルアーをこれまで試してきたが、ヒメスギカミキリに対する誘引性を確認できていなかった。

ところが、カミキリ亜科の*Dryobius sexnotatus* Linsleyほか数種から単離された1-(1H-pyrrol-2-yl)-1,2-propanedione(Hanks *et al.* 準備中、図-2)と3-hydroxyhexan-2-oneを組み合わせたルアーには、予想外に多数のヒメスギカミキリ雌雄成虫が誘引された。本稿ではこの結果を紹介する。

2. フェロモンと共力成分の化学構造

ヒメスギカミキリ成虫が放出する揮発成分を、成虫をガラス容器に閉じ込め、容器内の気体を捕集する、ヘッドスペース法により集めた。具体的には、米国コネチカット州Middlesex County内にて2004年春にヒメスギカミキリ雌成虫が産卵したエンピツ

ビヤクシン*Junipers virginiana* L.を2005年3月に伐倒し、被害丸太を得た。被害丸太はプラスチックバケツに入れ、丸太より新しく羽化して来た成虫を捕獲した。成虫は水を含浸した綿とともに、ガラスシャーレに1頭ずつ入れて、15°Cで7日間おいた。その後、成虫を1頭ずつ容量0.3Lの真空トラップに入れて、内部の気体をポンプで吸引し、気体を吸着剤(Super Q)に吸着させた。吸着した成分は0.5mlの塩化メチレンにて溶出した後、ガスクロマトグラフにて分析した。分析は異なる3個体由来の揮発成分を用いて3回反復した。

その結果、雄特異的な化合物として、(R)-3-hydroxyhexan-2-oneとその鏡像異性体(エナンチオマー)である(S)-3-hydroxyhexan-2-one、さらに(R)-2-hydroxyhexan-3-oneとそのエナンチオマーである(S)-2-hydroxyhexan-3-oneが100:8.9:7.8:19.2の比率で検出された。

1-(1H-pyrrol-2-yl)-1,2-propanedioneはこれまで天然化合物としての報告がなく、カミキリ亜科の*Dryobius sexnotatus*より初めて同定されている(図-2, Hanks *et al.* 準備中)。

3. フェロモンと共力成分の誘引性

千葉県木更津市内にある千葉県農林総合研究センター森林研究所上総試験地内のスギ林(樹齢21年)に黒色水盤トラップ(サンケイ化学製マダラコール®のトラップ)を滑車で高さ約2mに設置した。ルアーには、25mgのラセミ体3-hydroxyhexan-2-one [(R)-3-hydroxyhexan-2-oneと(S)-3-hydroxyhexan-2-oneの混合物、以下ケトン]、12.5mgの1-(1H-pyrrol-2-yl)-1,2-propanedione(以下ピロール)、それらを混合したものを0.5mlのイソプロパノールに溶かした後、ファスナー付きのビニル袋に入れたカットメンに含浸させ、袋を閉じた。コントロールには溶媒のイソプロパノール0.5mlのみ含浸したカットメンを用いた。なお、ラセミ体の3-hydroxyhexan-2-oneはBedoukian Research(コネチカット州ダンベリー)より購入し、ピロールはZou *et al.* (2016)の方法で合成した。トラップはそれぞれ4反復とし、15m以

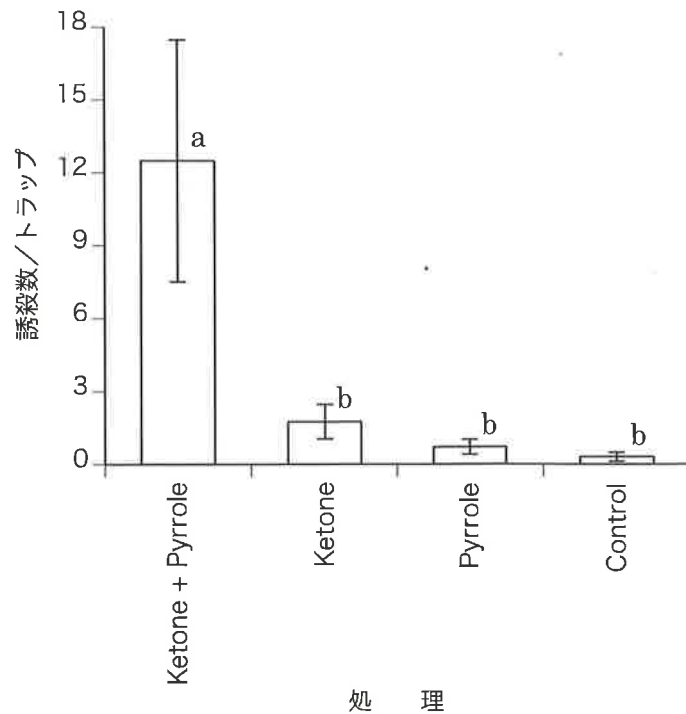


図-3 千葉県内スギ林におけるヒメスギカミキリ誘引実験の結果 (Zou et al. 2016を改変)

異なるアルファベットを付した処理区間にはNemenyi検定により有意差がある ($p < 0.05$)。

上の距離を空けて設置した。2015年4月2日から5月1日までの間に捕獲された成虫を数えた。

トラップの設置期間に全部で120頭の成虫が捕獲された。そのうち83%にあたる100頭がケトンとピロールの組合せに誘引され、他のルアーや無処理よりも有意に多く誘引された (図-3)。ケトンとピロールの組合せには雌雄両性が誘引されたが、雌が60%を占めており雄より有意に多く誘引された (χ^2 -検定, $p=0.046$)。

千葉での結果を受けて、米国に侵入したヒメスギカミキリも同様にケトン+ピロールに誘引されるかどうかを明らかにするために、コネチカット州内の林にて誘引実験を行った。New Haven County内にて4反復、New London County内にて2反復、Middlesex County内にて1反復のトラップを設置した。いずれの林もコナラ *Quercus* 属の樹木が優先するが、ヒメスギカミキリの寄主であるエンピツビャクシンやニオイヒバ *Thuja occidentalis* L.も混じっている林である。トラップはパネルトラップ (写



写真-1 Alphascents社製パネルトラップ

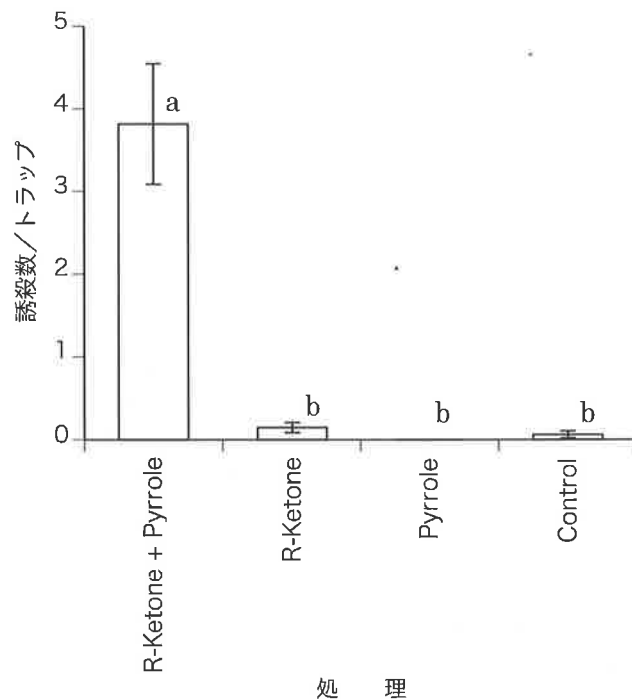


図-4 米国コネチカット州における誘引実験の結果 (Zou *et al.* 2016を改変)

異なるアルファベットを付した処理区間にはNemenyi検定により有意差がある ($p < 0.05$).

真-1, AlphaScents社, オレゴン州ポートランド) を用い, 最下部のボトルには界面活性作用と保存液を兼ねてプロピレングリコールをボトルの半分ほどまで注いだ。トラップはL字型のポール, あるいは木から吊すことにより, 高さ1 m程の位置に設置した。ルアーには, 25mgの(R)-3-hydroxyhexan-2-one (以下 R-ケトン), 25mgのピロール, それらを混合したものを1 mlのイソプロパノールに溶かした後, ファスナー付きのビニル袋に入れた綿に含浸させ, 袋を閉じた。コントロールには溶媒のイソプロパノール1 mlのみ含浸した綿を用いた。なお, (R)-3-hydroxyhexan-2-oneはLacey *et al.* (2007) の方法で合成し, ピロールはZou *et al.* (2016) の方法で合成した。トラップは2015年5月下旬より6月中旬まで設置し, 捕獲されたカミキリを3~7日おきに回収し, その都度反復内でトラップのローテーションを行った。

トラップの設置期間に全部で63頭の成虫が捕獲され, そのうち95%にあたる60頭がケトンとピロール

の組合せに誘引され, 他のルアーや無処理よりも有意に多く誘引された (図-4)。日本における結果と同様に雌雄両性が誘引されたが, 雌が63%を占めており雄より有意に多く誘引された (χ^2 -検定, $p=0.014$)。

4. 考察

ヒメスギカミキリが(R)-3-hydroxyhexan-2-oneあるいはラセミ体の3-hydroxyhexan-2-oneに誘引されないのは不思議である。なぜなら, (R)-3-hydroxyhexan-2-oneやそのC8, C10 類縁体は, ヒメスギカミキリが属するCallidiini族を含むカミキリ亜科の多くのカミキリ種においてフェロモンとしてすでに知られており, 誘引性が確認されている種も数多く存在するからである (例えば, Hanks *et al.* 2007; Mitchell *et al.* 2013, 2015; Sweeney *et al.* 2014; Wickham *et al.* 2014; Ray *et al.* 2015)。

もっと不思議なのは, これまで試みた幾多の化学分析においてヒメスギカミキリからはまったく検出

されていないピロールが、ケトンとブレンドすることにより、雌雄成虫を強く誘引することである。これまでにカミキリムシにおいて自身は生産しない化合物への誘引が複数例知られている。すなわち他種フェロモンへの誘引である。これは一種の「化学的な盗み聞き」と示唆され、幼虫の餌資源を見つける手段になっていると推察される。例えば、ヒメスギカミキリと同じ族の *Phymatodes grandis* Casey の雌雄成虫は雄が生産するフェロモン成分である (R)-2-methylbutan-1-ol に誘引されるが、同じ寄主植物を利用する他のカミキリ種が生産する (R)-3-hydroxyhexan-2-one にも誘引される (Hanks *et al.* 2007)。しかしながら、これまでピロールが検出されているカミキリはヒノキ科を寄主とはしていないので、ヒメスギカミキリが幼虫の餌資源探索のためにピロールを利用しているとは考えにくい。

自身は放出せず他の雄が放出した集合-性フェロモンに反応して、誘引された雌を横取りする「サテライト雄」(Moore *et al.* 1995) がヒメスギカミキリに存在すれば、雄の放出したフェロモンに雄が誘引されることが起こりうる。しかし、その場合にも交尾相手の探索・発見を、ピロールのように他種が生産する決定的な共力成分に依存するようにフェロモンへの反応が進化してきたとは想像し難い。

ピロールがフェロモン共力成分としてなぜ機能しているかは不明であるが、ヒメスギカミキリ成虫がケトンとピロールの混合物に誘引されるという偶然の予期せぬ発見は、現在強く求められている北アメリカにおけるヒメスギカミキリのモニタリングに大変有効な方法である。また、同時に、ヒメスギカミキリが世界の他の場所へ新たに侵入した際に、その検出に使える有効な方法を提供するものである。

引用文献

- Allison JD, Borden JH, Seybold SJ (2004) A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera). *Chemoecol* 14: 123 ~ 150
- Cardé RT (2014) Defining attraction and aggregation pheromones: Teleological versus functional perspectives. *J Chem Ecol* 40: 519 ~ 520
- Hanks LM, Millar JG (2013) Field bioassays of cerambycid pheromones reveal widespread parsimony of pheromone structures, enhancement by host plant volatiles, and antagonism by components from heterospecifics. *Chemoecol* 23: 21 ~ 44
- Hanks LM, Millar JG (2016) Sex and aggregation-sex pheromones of cerambycid beetles: Basic science and practical applications. *J Chem Ecol* 42: 631 ~ 654
- Hanks LM, Millar JG, Moreira JA, Barbour JD, Lacey ES, McElfresh JS, Reuter FR, Ray AM (2007) Using generic pheromone lures to expedite identification of aggregation pheromones for the cerambycid beetles *Xylotrechus nauticus*, *Phymatodes lecontei*, and *Neoclytus modestus modestus*. *J Chem Ecol* 33: 889 ~ 907
- Hoebeke ER (1999) Japanese cedar longhorned beetle in the eastern United States. USDA-APHIS Pest Alert 81-35-004. 2 pp
- Lacey ES, Moreira JA, Millar JG, Ray AM, Hanks LM (2007) Male-produced aggregation pheromone of the cerambycid beetle *Neoclytus mucronatus mucronatus*. *Entomol Exp Appl* 122: 171 ~ 179
- Maier CT (2007) Distribution and hosts of *Callidiellum rufipenne* (Coleoptera: Cerambycidae), an Asian cedar borer established in the eastern United States. *J Econ Entomol* 100: 1291 ~ 1297
- Maier CT, Graney L (2012) Japanese cedar longhorned beetles, *Callidiellum rufipenne* (Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae), in Delaware and Pennsylvania. *Proc Entomol Soc Wash* 114: 417 ~ 418
- 榎原 寛 (1994) ヒメスギカミキリ. (森林昆虫 総論・各論. 小林富士雄・竹谷昭彦編, 養賢堂). 187 ~ 188
- Mitchell, RF, Millar, JG, Hanks, LM (2013) Blends of (R)-3-hydroxyhexan-2-one and alkan-2-ones identified as potential pheromones produced by

- three species of cerambycid beetles. *Chemoecol* 23: 121 ~ 127
- Mitchell, RF, Reagel PF, Wong JCH, Meier, LR, Dias da Silva W, Mongold-Diers J, Millar JG, Hanks LM (2015) Cerambycid beetle species with similar pheromones are segregated by phenology and minor pheromone components. *J Chem Ecol* 41: 431 ~ 440
- Moore AJ, Reagan NL, Haynes KF (1995) Conditional signaling strategies: effects of ontogeny, social experience and social status on the pheromonal signal of male cockroaches. *Anim Behav* 50: 191 ~ 202
- Ray AM, Millar JG, Moreira JA, McElfresh JS, Mitchell RF, Barbour JD, Hanks LM (2015) North American species of cerambycid beetles in the genus *Neoclytus* share a common hydroxyhexanone-hexanediol pheromone structural motif. *J Econ Entomol* 108: 1860 ~ 1868
- Sweeney JD, Silk PJ, Grebennikov V (2014) Efficacy of semiochemicals baited traps for detection of longhorned beetles (Coleoptera: Cerambycidae) in the Russian Far East. *Eur J Entomol* 111: 397 ~ 406
- Wickham JD, Harrison RD, Lu W, Guo Z, Millar JG, Hanks LM, Chen Y (2014) Generic lures attract cerambycid beetles in a tropical montane rain forest in southern China. *J Econ Entomol* 107: 259 ~ 267
- Zou Y, Rutledge CE, Nakamura K, Maier CT, Hanks LM, Richards AB, Lacey ES, Millar JG (2016) Identification of a pheromone component and a critical synergist for the invasive beetle *Callidieillum rufipenne* (Coleoptera: Cerambycidae). *Environ. Entomol.* 45: 216 ~ 222
(2017.3.6受付, 2017.4.13掲載決定)

解説

何故、広島県南部の森林ではマイマイガの卵塊が見つからないのか？：常緑広葉樹の葉に対する産卵選好性

軸丸祥大¹

1. はじめに

2008～2010年に農林水産省の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「ハイリスク港指定解除に向けたマイマイガ密度管理方法の開発」が行われた（島津ら 2012）。本事業は（独）森林総合研究所が代表となり、東京農工大学、東京薬科大学、北海道立林業試験場および広島県立総合技術研究所（林業技術センター・農業技術センター）の分担・協力で実施された（組織名は事業採択時の表記）。

マイマイガは北アフリカ、ヨーロッパおよび日本を含むアジアに分布し、一年一化の生活史を持つ。夏に産み付けられた卵塊から翌春に幼虫が孵化し、樹木の葉を食べて成育する。時折、大発生して幼虫による林木や果樹の被害をもたらす、照明に群がる成虫は衛生害虫や不快害虫にもなっている。最近では、本種はいくつかの亜種と近縁種に細分されることが多い（Pogue and Schaefer 2007）。大別すると、日本をはじめとしてロシアを含むアジアに生息するアジア型マイマイガ（Asian gypsy moth, 略してAGM）とヨーロッパに生息するヨーロッパ型マイマイガ（European gypsy moth, 略してEGM）に分けられる。北米大陸では、人為的に持ち込まれたEGMが分布を広げ、その防除にアメリカ・カナダ両政府は手を焼いている。AGMの幼虫はEGMに比べてより多くの種類の樹木を食害する。また、EGMの雌成虫は飛翔能力が無いもしくは極めて低いとされているのに対して、AGMの雌成虫は比較的高い飛翔能力を有している。これらのことからAGMが船舶を介して侵入・定着することを両国は警戒している。両国の要請に従い、我が国の主要な港湾で実施された雄成虫対象のフェロモントラップ

調査の結果から、広島港を含む6港が2007年に「ハイリスク港」に指定された。当時、AGMの発生期間にハイリスク港を経由してアメリカ・カナダの港に入る船舶には、「マイマイガの不在証明（船舶に卵塊が付着していない事を示す）」の提出が義務付けられていた。この証明はアメリカ・カナダ両政府が認めた機関でのみ実施でき、当然ながら証明には費用が必要になる。このため、ハイリスク港は国内外の他の港に比べて不利益を被る。上記の事業では雌雄の成虫の飛翔距離から港湾周辺の防除すべき範囲を確定し、環境負荷の少ない防除法を開発することでハイリスク港指定解除の方策を提示することを目指していた。

本事業で私は、「環境負荷の少ない防除法の開発」を分担し、その中の小課題「物理的な防除方法の開発」に関する卵塊調査を行った。北海道に分布するマイマイガについては、森林内において食樹となる様々な樹種が存在しても、シラカンバの樹幹を産卵場所としてとくに好んで選択する（写真-1, Schaefer 1978; Higashiura 1987）。これはマイマイガ雌成虫がシラカンバ樹幹の色を識別して選択している可能性が考えられたため、この性質を利用して、白色の不織布をシラカンバ以外の樹種の幹に巻き、そこに産卵を集中させて本種を防除する方法の有効性が示唆された（原 2013）。しかし、広島県でこの方法を踏襲するためには、まず雌成虫の産卵場所選択を明らかにする必要がある。

マイマイガは卵越冬するため、卵塊が孵化する前の2009年1月に広島県南部の竹原市、三原市および尾道市の広葉樹林でマイマイガの卵塊調査を実施した。なお、2000年に広島県南部で本種の密度が上昇



写真-1 シラカンバの樹幹の卵塊 (2013年4月23日 北海道厚沢部町)



写真-2 ヤシャブシの葉を食害する幼虫 (2009年6月3日広島県三原市)

表-1 2009年1月に実施した広島県南部の森林における樹幹(胸高直径5cm以上)を対象とした卵塊調査の結果

樹種 ^a	竹原市			三原市			尾道市		
	調査樹数 ^b	胸高直径(cm) ^c	卵塊が確認された樹数 ^d	調査樹数 ^b	胸高直径(cm) ^c	卵塊が確認された樹数 ^d	調査樹数 ^b	胸高直径(cm) ^c	卵塊が確認された樹数 ^d
アベマキ	-	-	-	27	15.8±4.2	0	29	23.7±7.3	0
アラカシ	-	-	-	20	9.4±2.5	0	4	5.3±1.6	0
コナラ	14	18.0±7.7	0	1	6.1	0	3	21.4±10.1	0
リョウブ	27	10.6±2.5	0	-	-	-	-	-	-
ネジキ	-	-	-	11	7.2±1.4	0	1	10.2	0
ナナミノキ	-	-	-	5	12.3±4.9	0	4	8.9±5.3	1 ^e
ソヨゴ	2	19.9	0	-	-	-	1	5.7	1 ^e
ヤマザクラ	-	-	-	6	9.7±2.4	0	1	28.6	0
ネズ	-	-	-	5	7.0±2.2	0	-	-	-
カスミザクラ	-	-	-	-	-	-	4	12.4±5.5	0
アカマツ	1	35.2	0	3	23.5±10.0	0	-	-	-
クスノキ	-	-	-	-	-	-	2	22.6	0
ヤブツバキ	2	10.1	0	-	-	-	-	-	-
シリブカカガシ	2	15.7	0	-	-	-	-	-	-
タムシバ	2	14.0	0	-	-	-	-	-	-
ヌルデ	-	-	-	2	7.5	0	-	-	-
ハゼノキ	-	-	-	2	14.6	0	-	-	-
ネムノキ	-	-	-	-	-	-	1	14.3	0
オオバヤシャブシ	1	17.7	0	-	-	-	-	-	-
ヤマモモ	-	-	-	-	-	-	1	17.8	0

^a下線を付けた樹種は常緑広葉樹を示す。

^b15m×15mのプロットを2個設置し、両プロット内の樹種を調査した上でまとめて表記した(尾道市は30×30mの1プロットを調査対象とした)。

^c平均値 ± 標準偏差。

^d梯子を用いて各樹種の地上約12mの部位までの樹幹や枝にある卵塊を調査した。

^e2008年産よりも古い卵塊。



写真-3 アラカシの葉で確認された卵塊 (2009年6月8日広島県三原市)



写真-4 アラカシの葉裏で産卵中の雌成虫 (2009年6月25日広島県東広島市)

した際に (Jikumaru and Sano 2007; 軸丸 2008), 地上から樹幹を観察してもまったく卵塊が発見できなかったため (東浦康友 私信; 軸丸 未発表), 本調査では6mの梯子を用いて胸高直径5cm以上の樹の幹および枝を地上約12mの部位まで調べた。この調査の結果を表-1に示す。3箇所合計約180本の樹を調べたが、尾道市の広葉樹林で古い卵塊の痕跡が二つ見つかったのみであった。

ところが調査直後の2009年5月には、冬にほとんど卵塊が見つからなかった竹原市、三原市および尾道市で幼虫の大発生が認められた (写真-2)。すなわち、幼虫の食害により葉がほとんどなくなる樹が認められ、多数の幼虫が道路を徘徊していた。このことから、2009年1月の調査地にも多数の卵塊が存在していた可能性が示唆されたが、産卵場所はしばらく特定できなかった。

その後、本事業の柱の一つである「ハイリスク港指定解除のために防除すべき範囲の確定」の中の小課題「雌成虫の飛翔距離の推定」のため、放飼した雌成虫を森林内で捜索する機会があった。翅にマークしたマイマイガの雌成虫を森林内で再捕獲することは容易でなかった。しかし、その調査の際、たまたまアラカシの葉にマイマイガの卵塊が付着しているのを発見した (写真-3)。通常、北海道のシラカンバをはじめ、国内のマイマイガの卵塊は森林内

では樹幹や枝に産下されるといわれている (Higashiura 1989)。この傾向は海外でも一般的であるため、それ以外の場所に卵塊があることなどまったく想定していなかった。この偶然の発見の後、広島県内の広葉樹林で予備的な調査をしたところ、アラカシの葉裏に産卵中の雌成虫を発見した (写真-4)。

そこで、「広島県南部の森林では卵塊は樹幹や枝ではなく、アラカシなど常緑広葉樹の葉に産下される」という仮説をたて、その検証のための詳細な調査を行なった。なお、この本稿の主要なデータについてはJikumaru (2013) として既に報告している。

2. 材料と方法

東広島市にある広島県立総合技術研究所農業技術センター果樹研究部、(独)農研機構果樹研究所ブドウ・カキ研究拠点 (事業採択時の名称) および尾道市の広葉樹林で、各樹種の地上部全てを対象とした卵塊調査を行なった (尾道については表-1の調査を行ったものと同じの広葉樹林)。調査時期はその年のマイマイガの産卵が終了し、広葉樹が落葉する前の2009年7月31日から9月14日であった。各調査地の広葉樹林内に15m×15mのプロットを2個設定し、プロット内の樹高120cm以上の全木本について、樹種、胸高直径および卵塊の有無を記録した。なお、

表-2 2009年7月31日から9月14日に広島県南部の広葉樹林で実施した樹高120cm以上の木本の地上部全てを対象としたマイマイガ卵塊調査の結果

樹種 ^a	ブドウ・カキ研究拠点 ^b			果樹研究部 ^c			尾道		
	調査樹数 ^d	胸高直径(cm) ^e	卵塊が確認された樹数 ^f	調査樹数 ^d	胸高直径(cm) ^e	卵塊が確認された樹数 ^f	調査樹数 ^d	胸高直径(cm) ^e	卵塊が確認された樹数 ^f
ヒサカキ	111	2.8±1.0	0	102	3.0±1.5	1(1 ^g)	145	2.7 ± 1.1	1(1)
アラカシ	32	4.6±5.1	13(31)	186	5.3±5.3	23(30)	35	4.2 ± 3.6	15(50)
アベマキ	47	16.7±6.8	0	9	28.8±7.3	0	30	15.4 ± 10.0	0
コナラ	20	10.1±5.2	0	8	22.7±9.1	0	7	8.1 ± 5.7	0
コバノミツバツツジ	41	1.7±0.5	0	-	-	-	69	1.7 ± 0.6	0
ネジキ	23	4.4±1.4	0	-	-	-	25	4.4 ± 1.7	0
ヤブツバキ	-	-	-	8	5.1±3.9	1(1)	22	3.2 ± 1.5	8(11 ^h)
ガマズミ	-	-	-	-	-	-	29	1.6 ± 0.5	0
ナワシログミ	11	3.8±0.9	0	-	-	-	12	2.1 ± 1.1	0
クロキ	8	6.5±2.4	0	11	9.7±3.7	0	-	-	-
ナナミノキ	-	-	-	-	-	-	16	8.9 ± 5.8	1(1)
他樹種 ⁱ	17(10)		0	46(10)		0	45(14)		0

^a下線を付けた樹種は常緑広葉樹を示す。

^b農研機構 果樹研究所 ブドウ・カキ研究拠点。

^c広島県立総合技術研究所農業技術センター果樹研究部。

^d15×15mの二つのコドラートの調査結果をまとめて表記。

^e平均値±標準偏差。

^f括弧内の数値は各樹種の葉裏で確認された卵塊の総数を示す。

^gこの卵塊は樹幹で確認された。

^h内1卵塊は葉表で確認された。

ⁱ括弧内の数値はこのカテゴリーに分類した種数の合計を示す。

本研究では複数の幹を持つ株についてはそれぞれの幹を独立に扱った。各樹木個体について2名以上で異なる方向から目視により卵塊を探した。卵塊およびその痕跡が発見された場合には、産卵部位および産卵年（卵塊表面の形状や触感から、2008年の産卵と2009年の産卵に区分）を記録した。

3. 結果

全調査地の合計で1,115本（26属の36種）の木本を調べた結果、2008年に産み付けられた卵塊の痕跡がアラカシ、ヤブツバキ、ナナミノキおよびヒサカキで、2009年に産み付けられた卵塊がアラカシおよびヤブツバキで発見された（表-2）。これらは全て常緑広葉樹であった。全調査地で126個の卵塊およびその痕跡を確認したが、その88.1%にあたる111個がアラカシの葉裏に産み付けられていたことから、アラカシの葉裏がこの地域におけるマイマイガの主たる産卵場所と考えられた。その他、14卵塊がヤブ

ツバキ、ナナミノキおよびヒサカキの葉で見つかり、1卵塊がヒサカキの樹幹で見つかった（表-2および表-3）。

卵塊を産卵年で区分すると、2008年産は91卵塊で、これらの84.6%および12.1%がそれぞれアラカシおよびヤブツバキの葉で発見された（表-3）。2009年産は23卵塊で、これらの95.7%および4.3%がそれぞれアラカシおよびヤブツバキの葉で発見された（表-3）。これらの卵塊の他に、アラカシの葉で発見された12卵塊は手が届かない高所に存在したため、産卵年が推定出来なかった。各樹種について平均卵塊数を比較すると2008年はヤブツバキとアラカシが多く、ナナミノキおよびヒサカキは少なかった（表-3）。2009年はアラカシの平均卵塊数がヤブツバキよりも多かった（表-3）。全ての調査地のデータを合計し、調査本数が上位の11樹種を対象を絞って胸高断面積合計と卵塊数の関係を調べた（表-4）。最も卵塊数が多かったアラカシの調査本数と

表-3 4種類の常緑広葉樹において確認されたマイマイガの卵塊数

樹種	各年に産み付けられた卵塊数			
	2008 ^a	2009 ^a	産卵年不明 ^b	合計 ^a
ヒサカキ	2(0.01±0.07)	0	0	2(0.01±0.07)
アラカシ	77(0.30±0.91)	22(0.09±0.91)	12	111(0.44±1.27)
ヤブツバキ	11(0.37±0.61)	1(0.03±0.91)	0	12(0.40±0.67)
ナナミノキ	1(0.06±0.25)	0	0	1(0.06±0.25)
合計	91	23	12	126

^a括弧内の数値は各樹種における平均卵塊数(±標準偏差)を示す。

^bこれらの卵塊は手で触ることができないような高所にあったため、産卵年が推定できなかった。

表-4 広島県南部で実施したマイマイガ卵塊の調査場所における各樹種の出現本数と胸高断面積合計

樹種	出現本数 ^a	胸高断面積合計 (m ² /ha) ^a	各年に卵塊が確認された本数 ^b	
			2008	2009 ^c
ヒサカキ	358(32.1)	1.9(4.8)	2	0
アカシ	253(22.7)	7.5(18.6)	40	18
コバノミツバツツジ	110(9.9)	0.2(0.5)	0	0
アベマキ	86(7.7)	19.3(47.6)	0	0
ネジキ	48(4.3)	0.6(1.5)	0	0
コナラ	35(3.1)	4.7(11.7)	0	0
ヤブツバキ	30(2.7)	0.3(0.8)	9	1
ガマズミ	29(2.6)	0.4(1.0)	0	0
ナワシログミ	23(2.1)	0.1(0.3)	0	0
クロキ	19(1.7)	0.9(2.2)	0	0
ナナミノキ	16(1.4)	1.0(2.5)	1	0
他樹種 ^d	108(9.7)	3.4(8.4)	0	0

^a括弧内の数値は相対割合を示す。

^b産卵年が不明の卵塊があったため、1本のアカシはここに含めていない。

^c両年に渡り産卵された8本のアカシと1本のヤブツバキがここに含まれる。

^d他樹種には出現本数が11以下の25種が含まれる。

表-5 アラカシに対する前年の産卵が翌年の産卵に及ぼす影響

	2009年	
	産卵有	産卵無
2008年に産卵された樹	8	32
2008年に産卵されなかった樹	10	203

胸高断面積合計はいずれも11樹種中2番目であった(表-4)。

2008年にアラカシに産み付けられた卵塊は77個存在し、2009年にアラカシに産み付けられた卵塊は22個存在した。8個体のアラカシが2008年と2009年とも産卵に利用されていた。2008年の卵塊があるアラカシは卵塊がないアラカシに比べて、2009年に産卵されやすい傾向が認められた(表-5, $\chi^2=11.9$, $p<0.01$)。なお、ほとんどの卵塊は産卵年に展開した当年葉に存在した。

4. 考察

今回の調査から、仮説どおり広島県南部の森林ではアラカシなど常緑広葉樹の葉裏がマイマイガの産卵部位として選択されていることが明らかになった。葉裏に卵塊が認められたアラカシ、ヤブツバキおよびヒサカキは西日本の常緑広葉樹林において特徴的な樹種として知られている(宮脇 1977)。2009年1月に梯子を使って樹幹や枝を対象に調査を行なったが卵塊が見つからなかった竹原市や三原市の広葉樹林で2009年10月に再調査をしたところ、アラカシなど常緑広葉樹の葉裏に多数の卵塊が存在していたことが確認された(軸丸 未発表)。これらの結果から、2009年1月の調査で卵塊が見つからなかったのは、従来の常識にとらわれて、樹幹や枝の表面を対象に調査をおこなったことが原因と考えられた。

北海道、富山県および京都府・奈良県では、マイマイガの卵塊は樹木の樹幹に産下される(Higashiura 1989)。ヨーロッパや北米に分布するEGMも、一般的に森林内で羽化した場所の近くの樹幹に産卵することが知られている(例えば Liebholt *et al.* 1994; Villemant and Andrei-Ruiz 1999; Camerini 2009; Pogue and Schaefer 2007)。今回の事例と類似した産卵場所として宮崎県のマイマイガがビロウの葉裏に産卵することが報告されている(中島・古川 1933)。いずれにしても本研究で明らかになった常緑広葉樹葉裏への産卵はこれまでまったく報告が見られなかったが、今後調査を進めると常緑広葉樹が分布する地域に広く認められる可能性がある。

本研究ではアラカシ、ヤブツバキ、ナナミノキおよびヒサカキの4種類の常緑広葉樹に卵塊が確認された。全樹種の中でアラカシは本数および胸高断面積合計ともに2番目に多い樹種であったが、2008年と2009年に産卵された卵塊の84.6%および95.6%がアラカシの葉で確認された。2008年の尾道市では比較的多くの卵塊がヤブツバキで確認されたが、2009年にはヤブツバキは産卵場所としてあまり選択されていなかった。ナナミノキとヒサカキではごく少数の卵塊しか確認されなかった。このように、アラカシに対する産卵選好性が高いものと考えられたため、以降の議論はアラカシに産み付けられた卵塊に限定する。

アラカシの葉の平均寿命は3年以上と見積もられている(菊澤 2005)。また、本研究では、当年生葉に産卵する傾向が認められた。その結果、2009年秋の調査においても2008年産卵の卵塊を発見することができた。2008年に産卵に利用されたアラカシは、2008年に利用されなかったアラカシに比べて、2009年にも産卵されやすい傾向があった。このことは特定のアラカシ個体がマイマイガの産卵に適していたか、もしくは森林内で産卵されやすい場所に位置していた可能性を示唆している。これらの結果から、アラカシが分布する森林において卵塊を捜索する場合にはまず本樹種を調査するべきであり、古い卵塊が見つかった個体についてはより綿密に調べることが効率的といえる。

アラカシは我が国の東北以南、中国および韓国の済州島に分布している(伊藤 2009)。それゆえ、日本だけでなく中国および韓国についても、マイマイガとアラカシが同所的に分布する地域では、アラカシの葉裏について卵塊の有無を調査する必要がある。さらに、アラカシが分布する地域における産卵場所選択のメカニズムやアラカシ葉裏に産卵することの適応的意義を明らかにすることも望まれる。水田(1960)は、本種の幼虫がアラカシの新葉で飼育できることを示している。本研究で卵塊が葉裏に産下されていたその他の樹種を含めて、食樹としての嗜好性を評価することも有意義であろう。

5. おわりに

「北海道の知見（原 2013）に基づき、マイマイガの産卵場所選択を利用して白色のシートなどを用いた物理的な防除方法を開発する」との目論見で樹幹や枝を調査したにもかかわらず、広島県南部では卵塊そのものを発見できなかったため、この方法は広島県では確立することができなかった（軸丸 未発表）。その代わりに「広島県南部の森林において、マイマイガは常緑広葉樹の葉裏を産卵場所として選択している」との知見が新たに得られた。森林害虫や果樹害虫として有名なマイマイガの生態的な情報は既に調べつくされているという先入観があり、Higashiura (1989) などに基づき卵塊は樹幹にあると信じて疑わなかった。このような思い込みが無ければ、もう少し早く広島県南部の森林における本種の産卵場所を明らかにできたかもしれない。改めて、「先入観にとらわれず、自分の目で研究対象を観察することの重要性」を痛感した。

AGMに対する規制は2010年に大きく変更され、不在証明を求められるのは「AGM成虫の発生時期にハイリスク港を経由した船舶」から、「AGM成虫の発生時期に我が国の港を経由した船舶」となった。その結果、本事業の目的であった「特定のハイリスク港の指定解除」自体が意味をもたなくなった。しかしながら、本稿で紹介した「常緑広葉樹葉裏へのマイマイガの産卵選好性」等、本事業で新たに得られた知見は我が国に分布するAGMの生態を理解する上で有意義なものが多い（島津ら 2012）。アメリカ・カナダに続き、チリやニュージーランドなどもAGM成虫の発生期間に我が国の港を経由した船舶に対して同様の対応を求めるようになった。長期的な視点に立てばAGMの侵入を警戒する諸国と我が国の間の交渉などにこれらの知見が今後活用できるものと考えられる。

謝辞

本事業の予算獲得にあたり、森林総合研究所の島津光明博士には労多い研究総括者を引き受けていただいた。加えて事業のメンバーであった東京農工大

学の国見裕久教授、東京薬科大学の東浦康友教授、森林総合研究所の高務淳博士、北海道立林業試験場の原秀穂博士および広島県立総合技術研究所林業技術センターの亀井幹夫博士にはマイマイガの産卵生態等の調査結果に対して有意義なご助言を賜った。また、本事業の外部評価委員であった東京大学の鎌田直人教授には推進会議等で建設的なご意見をいただいた。また、本事業にオブザーバーとして参加していた農林水産省消費・安全局植物防疫課岡田秀樹氏および横浜植物防疫所の岩泉蓮氏にはAGMをめぐる各国との交渉の結果等の情報を提供していただいた。以上の皆様に、この場をお借りして厚く御礼申し上げる。

引用文献

- Camerini G (2009) Factors affecting *Lymantria dispar* mortality in a willow wood in northern Italy. Bull Insectology 62: 21 ~ 25
- 原 秀穂 (2013) マイマイガ北海道個体群における布バンドの捕獲効果. 北海道林業試験場研究報告 50 : 1 ~ 6
- Higashiura Y (1987) Larval density and a life-table for gypsy moth *Lymantria dispar*, estimated using the head-capsule collection method. Ecol Entomol 12: 25 ~ 30
- Higashiura Y (1989) Survival of eggs in the gypsy moth *Lymantria dispar*. II Oviposition site selection in changing environments. J Anim Ecol 58: 413 ~ 426
- 伊藤宏樹 (2009) アラカシ. (日本樹木誌. 日本樹木誌編集委員会編, (株)日本林業調査会). 61 ~ 72
- 軸丸祥大 (2008) 広島県において約40年ぶりに確認されたマイマイガの大発生とその終息要因について. 林業と薬剤 183 : 8 ~ 13
- Jikumaru S (2013) Oviposition preferences of the Japanese Gypsy moth, *Lymantria dispar japonica* (Motschulsky, 1860) (Insecta: Lepidoptera: Erebidiae: Lymantriinae), on evergreen broad-leafed tree leaves in Hiroshima Prefecture, Japan. Life: The

Excitement of Biology 1: 225 ~ 240

- Jikumaru S, Sano T (2007) Distribution of late instar *Lymantria dispar* cadavers killed by *Entomophaga maimaiga* on trunks of several tree species in southwestern Japan. Can J Bot 85: 25 ~ 30
- 菊澤喜八郎 (2005) 葉の寿命の生態学. 共立出版
- Liebholt A, Thorpe K, Ghent J, Lyons BD (1994) Gypsy moth egg mass sampling for decision-making: a users' guide. USDA, Forest Service, Forest Health Protection. NA-TP-04-94
- 宮脇 昭 (1977) 日本の植生. 学習研究社
- 水田國康 (1960) 集合性の違う2種のドクガ類幼虫の飼育実験. 応動昆 4: 146 ~ 152
- 中島 茂・古川清治 (1933) びらうノ害蟲まひまひがノ形態並ニ生態. 宮崎農林学校学術報告. 5: 1 ~ 12
- Pogue MG, Schaefer PW (2007) A review of selected species of *Lymantria* (Hübner [1819]) (Lepidoptera: Noctuidae: Lymantriinae) from subtropical and

temperate regions of Asia including three new species, some potentially invasive to North America. Publication FHTET-2006-07. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team. Fort Collins, Colorado, USA

- Schaefer, PW (1978) *Betula platyphylla*: the preferred oviposition host of *Lymantria dispar japonica* in Hokkaido, Japan. Environ Entomol 7: 168 ~ 170
- 島津光明・国見裕久・東浦康友・原 秀穂・軸丸祥大・亀井幹夫・高務 淳 (2012) ハイリスク港指定解除に向けたマイマイガ密度管理方法の開発. 森林防疫 61: 99 ~ 106
- Villemant C, Andrei-Ruiz MC (1999) Life-cycles and biological features of eggs predators of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) in the Mamora cork oak forest, Morocco. Eur J Entomol 96: 29 ~ 36

(2016.12.27受付, 2017.4.18掲載決定)

都道府県だより

森林病虫害等防除事業における高知県での取り組み

高知県の海岸部には、公益的機能を維持すべき海岸マツ林が多数ありますが、松くい虫被害は未だ終息しておらず、市町村及び県などにより、地上散布、伐倒駆除や樹幹注入法による防除事業が継続しています。

高知県東部地域でも、公益的な機能を有するマツ林が多く存在しています。

主な例をあげると琴ヶ浜海岸で、安芸郡芸西村から安芸市に及ぶ4kmほどの海岸で、県下でも有数の松原となっており、この美しい松原は、昔から防風・防潮・砂止めの役割も果たし、「日本の白砂青松百選」の一つにも選ばれています（写真-1）。また、安芸郡安田町の唐の浜海岸は、国道55号線に隣接し、背後地の農地や集落などを潮害などの災害から守っています（写真-2）。

その他、室戸市の黒耳海岸、安芸郡東洋町の白浜、生見海岸なども同様に高い公益的機能を有し、地域住民の方の生活に密接に関わり、地域になくてはならないマツ林となっています。

しかしながら、防除事業にあたる県、市町村などの職員は、林業以外にも多くの業務を担当しているほか、若年者も多く数年で異動することも多いため、



写真-1 主な保全マツ林 琴ヶ浜海岸（芸西村西分～安芸市赤野）



写真-2 主な保全マツ林 唐の浜海岸（安田町）

マツ林の状況把握や防除に必要な技術の知識の適切な維持、継承が困難な状況となっています。

森林病虫害防除事業は、適期に的確に行うことで、より大きな効果を期待できるものであり、そのためには、県や市町村などの防除担当職員がその手法や薬剤の知識を正しく習得することが肝要です。

そこで、そのための体制づくりや支援を行うことが、事業の適切な実施だけでなく職員自身の負担軽減にもつながり、公益的機能を有する海岸マツ林の維持に有用であると考え、高知県の東部地域において技術力習得向上のための技術研修に取り組んだ事例を報告します。

まずは、森林病虫害の生態、防除事業の詳細、適正な防除の実施方法を学ぶため、県安芸林業事務所において平成28年10月に「松くい虫防除技術検討会」を開催しました。

受講対象は、森林病虫害防除事業の発注者となる市町村職員及び、防除事業を受注し実際に現場で防除にあたることの多い管内の森林組合の職員を対象としました。

研修会では、高知県立森林技術センターや防除薬剤のメーカーの支援を受け、マツノサイセンチュウの抽出から顕微鏡での観察を行ったほか、松くい虫



写真-3 松くい虫防除技術研修の開催

被害発生の仕組み、防除方法の種類、選択方法、被害調査の方法、適期や気候条件などの防除薬剤の効果的使用方法や、薬剤ボトルの設置方法に至るまでの防除の具体的実施手法などの知識を習得しました(写真-3)。

さらには、被害発生場所の違いによる薬剤運搬方法や、産業廃棄物となる薬剤空き容器処理の方法など細かな部分までの事業設計の流れについても認識を深めるよう研修を実施しました。

また、現地での薬剤必要量の決定のための毎木調査の研修も行い事業実施のための理解を深めました(写真-4)。

松くい虫防除技術検討会の参加者などの実施状況は以下のとおりです。

① 参加者

- ・東洋町、室戸市、安田町、安芸市、芸西村役場の病虫害防除担当者 5名
- ・芸東森林組合、高知東部森林組合 2名
- ・薬剤メーカー 3社 4名
- ・高知県立森林技術センター 1名
- ・中央東林業事務所 2名



写真-4 樹幹注入対象木の毎木調査方法の指導

- ・安芸林業事務所 8名
- ② 内容
 - ・松くい虫被害の発生のしくみ(マツノザイセンチュウ観察)
 - ・防除方法の種類、選択方法
 - ・被害調査の方法(後日、実際の調査を共同で実施)
 - ・防除薬剤の効果的使用方法や薬剤ボトルの設置方法
 - ・事業実施の流れの確認

以上の取り組みを踏まえ、現地調査も円滑に進み、平成28年度は東洋町、室戸市、安田町、安芸市、芸西村の5市町村の市町村管理地において、伐倒駆除126本、樹幹注入1,451本を施工しました。

また、安田町、安芸市、芸西村の県管理地においても伐倒駆除41本、樹幹注入590本を施工しました。

今後においても、防除事業実施者が、最新の技術研修などを通じて防除技術をさらに深めることにより、美しい海岸マツ林を守り続けていきたいと考えています。

(高知県林業振興・環境部木材増産推進課)

森林病虫獣害発生情報：平成29年3～4月受理分

病害

なし

虫害

なし

獣害

なし

(森林総合研究所 山中高史/佐藤大樹/岡 輝樹)

林野庁だより

人事異動（平成29年4月1日）

大場隆也（森林整備部研究指導課課長補佐（保護企画班担当））

→ 森林整備部整備課災害査定官

志磨 克（森林技術総合研修所技術研修課長）

→ 森林整備部研究指導課課長補佐（保護企画班担当）

武部 広（森林整備部研究指導課課長補佐（保護指導班担当））

→ 退職（（研）森林総合研究所林木育種センター育種部指導課長）

幸地 宏（森林整備部研究指導課防除技術専門官）

→ 森林整備部研究指導課課長補佐（保護指導班担当）

佐宗等征（農林水産省大臣官房政策課企画官 食料産業局食文化・市場開拓課付）

→ 森林整備部研究指導課防除技術専門官

森林防疫ジャーナル

名称変更 (平成29年1月1日)

国立研究開発法人森林総合研究所 → 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所
(本誌では、いずれも「(研)森林総合研究所」と略記します)

(研)森林総合研究所生物関連人事異動
(平成29年3月31日)

小泉 透 (研究ディレクター (生物多様性・森林被害研究担当))

→ 退職

窪野高德 (多摩森林科学園長)

→ 退職

堀野真一 (森林研究部門野生動物研究領域長)

→ 退職

伊藤賢介 (北海道支所地域研究監)

→ 退職

鈴木祥悟 (東北支所主任研究員 (生物多様性研究グループ))

→ 退職

(平成29年4月1日)

尾崎研一 (森林研究部門森林昆虫研究領域長)

→ 研究ディレクター (生物多様性・森林被害研究担当)

根田 仁 (森林研究部門きのこ・森林微生物研究領域長)

→ 研究ディレクター (生物機能研究担当)

佐藤大樹 (森林研究部門森林昆虫研究領域昆虫生態研究室長)

→ 森林研究部門森林昆虫研究領域長

岡 輝樹 (森林研究部門野生動物研究領域鳥獣生態研究室長)

→ 森林研究部門野生動物研究領域長

森林研究部門副部門長併任

森林研究部門野生動物研究領域鳥獣生態研究室長事務取扱

山中高史 (森林研究部門きのこ・森林微生物研究領域微生物生態研究室長)

→ 森林研究部門きのこ・森林微生物研究領域長
森林研究部門きのこ・森林微生物研究領域微生物生態研究室長事務取扱

吉村真由美 (関西支所主任研究員 (生物多様性研究グループ))

→ 企画部研究評価科研究評価室長
森林研究部門森林昆虫研究領域昆虫生態研究室併任

加賀谷悦子 (企画部研究企画科企画室長)

→ 森林研究部門森林昆虫研究領域チーム長 (穿孔性昆虫担当)

北島 博 (森林研究部門森林昆虫研究領域チーム長 (広葉樹害虫担当))

→ 森林研究部門森林昆虫研究領域昆虫生態研究室長

赤間慶子 (企画部研究管理科研究安全管理室長)

→ 森林研究部門きのこ・森林微生物研究領域チーム長 (菌培養特性担当)
企画部研究管理科研究安全管理室併任

宮下俊一郎 (関西支所主任研究員 (生物多様性研究))

→ 森林研究部門きのこ・森林微生物研究領域主任研究員 (森林病理研究室)

高橋裕史 (関西支所チーム長 (野生鳥獣類管理担当))

→ 東北支所チーム長 (野生鳥獣類管理担当)

神崎菜摘 (森林研究部門きのこ・森林微生物研究領域主任研究員 (森林病理研究室))

→ 関西支所主任研究員 (生物多様性研究グループ)

林 典子 (多摩森林科学園チーム長 (都市域自然史担当))

→ 多摩森林科学園教育的資源研究グループ長

長谷川絵里 (関西支所主任研究員 (生物被害研究グループ))

→ 多摩森林科学園主任研究員 (教育的資源研究グループ)

牧野俊一（企画部広報普及科）

- 戦略研究部門生物多様性研究拠点 再雇用研究専門員
企画部研究企画科併任

飯島勇人（新規採用）

- 森林研究部門野生動物研究領域主任研究員（鳥獣生態研究室）

高橋由紀子（新規採用）

- 森林研究部門きのこ・森林微生物研究領域主任研究員

山中 聡（新規採用）

- 北海道支所森林生物研究グループ

向井裕美（新規採用）

- 森林研究部門森林昆虫研究領域昆虫生態研究室（任期付研究員）

堀野眞一（再雇用研究専門員）

- 企画部広報普及科
企画部研究情報科併任

窪野高德（再雇用研究専門員）

- 森林研究部門きのこ・森林微生物研究領域
企画部広報普及科併任

伊藤賢介（再雇用研究専門員）

- 北海道支所森林生物研究グループ
北海道支所地域連携推進室併任

小泉 透（再雇用研究専門員）

- 多摩森林科学園教育的資源研究グループ

お知らせ

森林防疫編集委員は次の通りです（平成29年4月1日現在）。

佐橋憲生 森林総合研究所森林病害担当チーム長

服部 力 森林総合研究所森林病理研究室長

浦野忠久 森林総合研究所生物的制御担当チーム長

北島 博 森林総合研究所昆虫生態研究室長

岡 輝樹 森林総合研究所野生動物研究領域長

堀野眞一 森林総合研究所企画部広報普及科

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66巻第3号（通巻第720号）
平成29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 1,339円（送料込，消費税込）
年間購読料 6,696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

〒101-0047 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/>