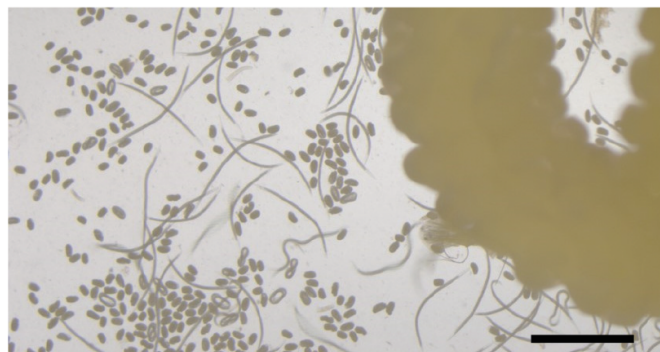
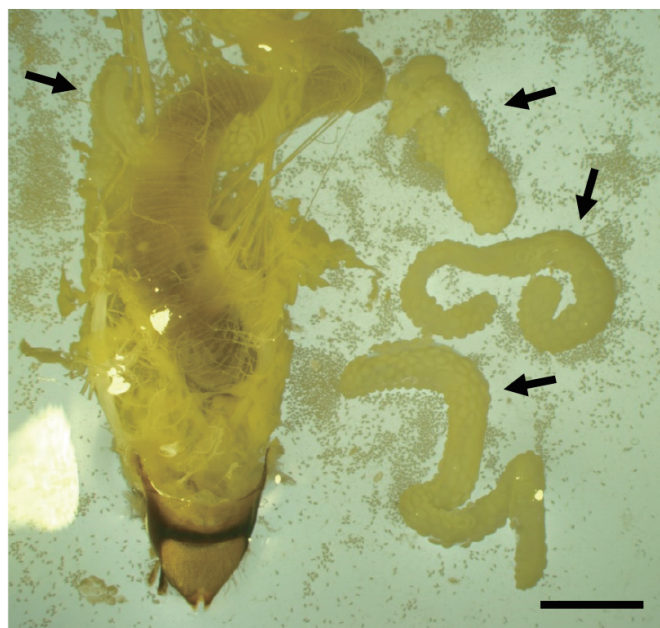


森林防疫

FOREST PESTS

— 森の生物と被害 —



目次

総説

- スズメバチに寄生する線虫，スズメバチタマセンチュウ：その生活史と
応用の可能性
【神崎菜摘】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3

解説

- 潜葉性害虫ヤノナミガタチピタマムシの生態と対策
【大澤正嗣】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 11

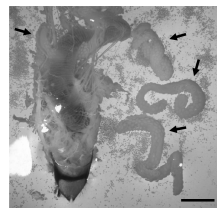
都道府県だより：茨城県・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19

協会だより
どなたでも投稿できます！・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21

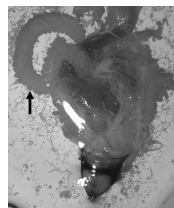
森林病虫獣害発生情報：令和2年7月・8月受理分・・・・・・・・・・・・ 24



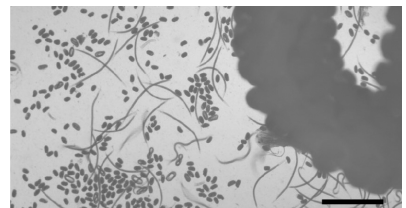
A



B



C



D

【表紙写真】 スズメバチタマセンチュウ

- 写真A：キイロスズメバチ女王（体長約4 cm）
写真B：スズメバチタマセンチュウのウテリウム(1)（バー：2 mm）
写真C：スズメバチタマセンチュウのウテリウム(2)（写真Bと同縮尺）
写真D：スズメバチタマセンチュウの卵と幼虫（バー：1 mm）

キイロスズメバチ女王（写真A，以下，女王）にはスズメバチタマセンチュウ（以下，タマセンチュウ）と呼ばれる線虫の寄生が見られる。タマセンチュウを女王体内から取り出してみるとウテリウム（写真B：矢印）と呼ばれる形態で存在する。ウテリウムとはタマセンチュウの陰門付近の内部生殖器官が陰門から反転するように体外に出て肥大化したもので、その中に卵巣等の生殖器官が入っているものである。表面にある無数のいぼ状突起が特徴的である。この女王には4個体のウテリウムが存在した。雲状に見えるのはウテリウムから産卵されたタマセンチュウの卵である。別個体の女王には1個体のウテリウムが存在した（写真C：矢印）。写真Bのウテリウムより明らかに大きい（太い）ことが分かる。複数のウテリウムが女王内に存在する場合，寄生の場である女王の腹部という資源をめぐりウテリウム間で競合していることを示唆している。この女王の体内ではタマセンチュウの幼虫が孵化していた（写真D）。やがて女王の尾部末端から脱出して雄成虫と感染態雌成虫となり，交尾した感染態雌成虫が越冬中の次世代女王に感染する。雄成虫と感染態雌成虫までのタマセンチュウは，いわゆる線虫形をしている。感染態雌成虫は女王体内でウテリウムへと発育する。写真A，2020年6月15日採集，30日撮影。写真B-D，同年6月16日採集，17日解剖，撮影。

（森林総合研究所 小坂 肇）

総説

スズメバチに寄生する線虫，スズメバチタマセンチュウ：その生活史と応用の可能性

神崎菜摘¹

1. はじめに

スズメバチ類は、幼虫の餌として農林業害虫を含む昆虫などを狩るため、農林生態系ではそれらの捕食性天敵としての役割を果たしている（松浦 1995；小野 1997）。一方、死亡例を含む刺傷被害を引き起こすことから、日本国内で最も危険な昆虫のひとつである。このようなスズメバチ類にも、他の肉食性昆虫、鳥類、昆虫病原糸状菌、寄生虫などといった様々な天敵が知られている（松浦 1995；小野 1997）。本稿では、このスズメバチ類の中でも大型のスズメバチ（*Vespa*属）の女王に寄生し、不妊化する線虫、スズメバチタマセンチュウ（*Sphaerularia vespae*）とそれに関連する線虫について紹介する。

線虫類は、多くの生物を様々な形で利用しているが、特に昆虫の利用様式は多様である。線虫による昆虫の利用には、単純に移動手段としてのみ利用する便乗関係から、強度（宿主の繁殖に対する影響）の異なる寄生、捕食寄生、病原性、死体利用、片害関係などが知られている（たとえば Poinar 1975）。

このうち、スズメバチタマセンチュウは、一般的に、宿主であるスズメバチを殺すという報告はされていないが、女王を不妊化して、コロニー創設を妨げることが知られている（小坂ら 2009）。この点において、宿主の繁殖に影響しない程度に栄養摂取をするもの、たとえばゴキブリ類の寄生線虫など、と比べると、寄生強度の高い「寄生者」といえる。

2. スズメバチタマセンチュウの分類，系統的
位置づけ

この線虫は分類学的には、Tylenchomorpha下目に属する新種として2007年に記載された（Kanzaki *et al.* 2007）。この下目は、ネコブセンチュウやシス

トセンチュウなど土壤中に生息する植物寄生性線虫と、キバチの寄生線虫である*Deladenus*属やタマセンチュウ（*Sphaerularia*）属など、多くの昆虫寄生性線虫を含む多様なグループである（たとえば Siddiqi 2000）。

このグループの大まかな系統樹によると、植物寄生性線虫と昆虫寄生性線虫に大きく分かれる（図-1）。タマセンチュウ属は、他の昆虫寄生性線虫と同じグループに属するものの、系統的には、これらからも明確に区別される。このことは、以下に述べる特殊な寄生様式の一部が、独自に進化してきたものであることを示している。

また、系統樹上に、タマセンチュウ属と比較的近縁なものとして、*Prothallonema* sp. (MK089524) がみられる。キクイムシ類の寄生線虫として知られる*Prothallonema*属は形態的には、タマセンチュウ属と比較的近縁といわれている（たとえば Siddiqi 2000）。しかし、世界的な塩基配列のデータベースであるGenBank上には、この試料の分離元などは明記されていないため、どの程度正確な同定がなされているかは不明である。また、同じ系統群に*Deladenus* sp. (AJ966481) と、植物寄生性線虫である*Nothotylenchus acris* (AY593914) も含まれるが、これらの同定に関しても正確性は不明である。

3. スズメバチタマセンチュウの生活史

スズメバチタマセンチュウの生活史は、宿主であるスズメバチの生活史（松浦1995；小野1997）に適応している。大まかな生活史を図-2に示す。生活史に関しては、Sayama *et al.* (2007, 2013) や佐山 (2017) に詳しく述べられている。

スズメバチは、次世代の新女王が秋に交尾し、越

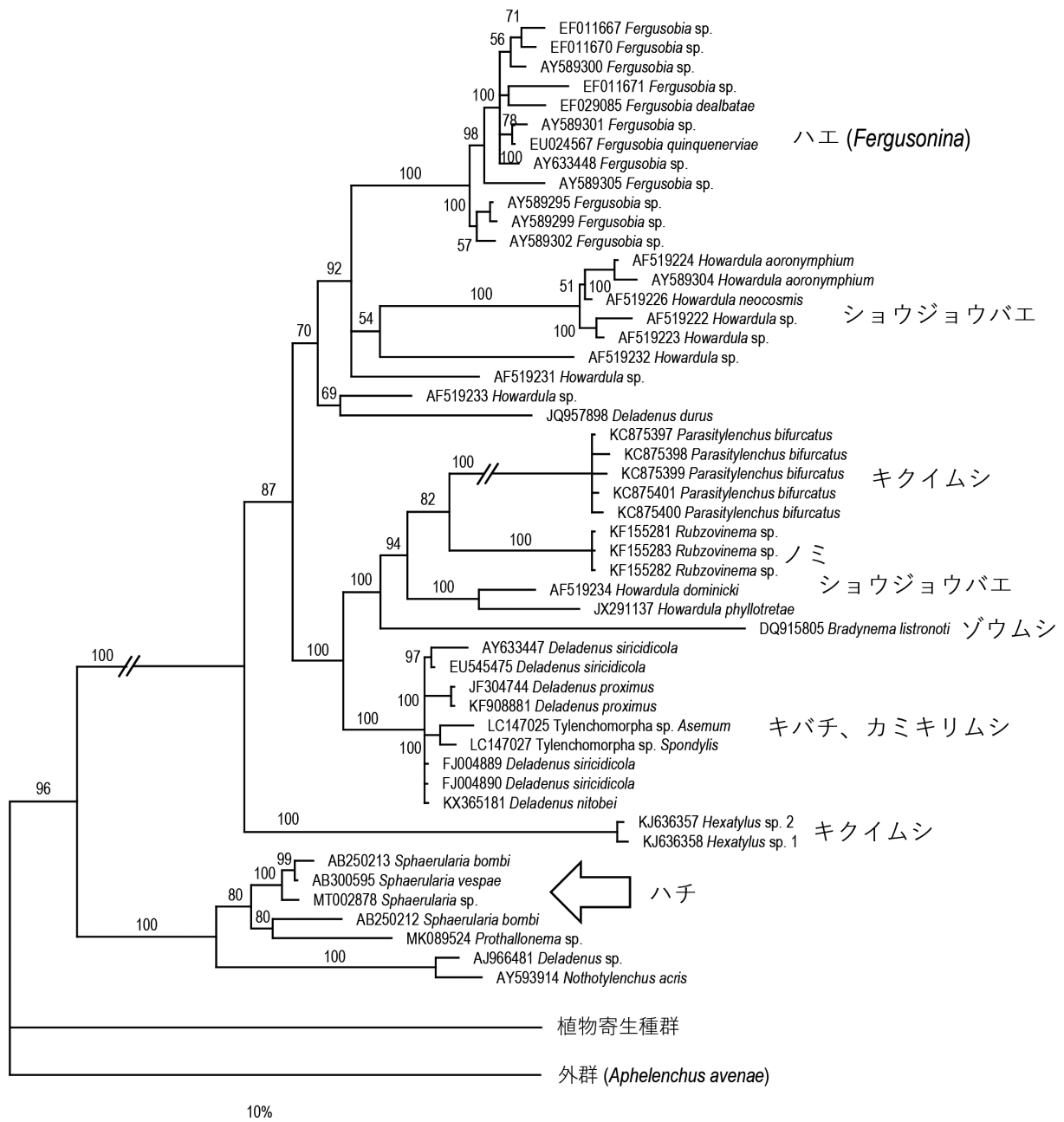


図-1 18S リボソーム RNA 遺伝子の塩基配列に基づく、Tylenchomorpha 下目の系統関係

外群として、土壌に生息する糸状菌食性線虫、ニセネグサレセンチュウ (*Aphelenchus avenae*) を用い、植物寄生性のグループは一つにまとめた。系統樹は、塩基置換モデルGTR + I + Gを用い、ベイズ法で作成した。パラメータは、MEGA6で計算し、InL = -16697.911; freqA = 0.25; freqC = 0.21; freqG = 0.27; freqT = 0.27; R(a) = 1.18; R(b) = 3.42; R(c) = 1.71; R(d) = 0.59; R(e) = 5.79; R(f) = 1.00; Pinva = 0.19; Shape = 0.38) を用いた。事後確率50%以上の分岐を示す。各種名の前の番号は、GenBankの登録番号 (Accession number) を示す。タマセンチュウ属は矢印で示した。

冬する。こののち、春に越冬から目覚めた女王が営巣をはじめ、夏にかけて多数の働きバチを擁するコロニー (巣の中の家族集団) を形成する。そして秋

になると、新女王と雄がコロニー内で生産される。これらの新女王と雄は巣外に出て、交尾後、雄は冬までに死亡し、交尾済みの新女王のみが朽木などで

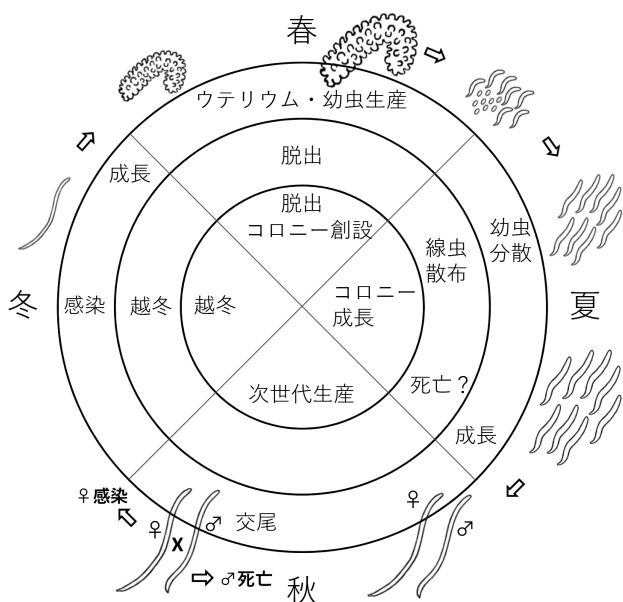


図-2 スズメバチとスズメバチタマセンチュウの生活史の概略

円の内側，中間，外側はそれぞれ，健全女王，被寄生女王，線虫の生活史を示す。健全女王は，越冬場所からの脱出後，営巣（コロニー創設）を行うが，被寄生女王は，線虫を散布したのちに死亡すると考えられる。円の外側に線虫の成長過程を示した。

越冬する。

線虫の感染は，越冬中の女王にのみ起こり，越冬中に感染した女王は，体内（腹部）で成長した線虫の栄養摂取と物理的圧迫により，卵巣が委縮し，営巣（コロニー創設）や産卵が不可能になる。このような女王は，越冬後に営巣を始めることなく，新女王の越冬場所となる朽木に飛来するという特異的な

行動を示し，朽木の穴に潜り込んで，線虫の幼虫を放出する。このように不妊化された女王の寿命などは明らかではないが，夏ごろまでには死亡すると考えられる。

被寄生女王により，新女王の越冬場所に運ばれた線虫幼虫は，その場所で雌雄の成虫に成長し，交尾を行う。交尾後，雄成虫は死亡し，雌成虫のみが，その場に残って，スズメバチの新女王が越冬するまで生存している。スズメバチタマセンチュウの雌雄成虫と幼虫の写真を，図-3に示す。その場所で新女王の越冬が行われない場合，線虫は，宿主にたどり着けずに死亡するが，新女王の越冬が行われた場合，その女王の体内に侵入し感染する。線虫が宿主体表の気門などの開口部から侵入するか，角皮から侵入するかは明らかにされていないが，感染が成立すると，雌線虫は女王の腹部で，「ウテリウム」と呼ばれる特殊な寄生型ステージに成長する。

ウテリウムとは，線虫の雌成虫の生殖器官（子宮，卵巣，輸卵管，貯精囊）が陰門から体外に外反し，巨大化したものである（図-4，5）。形成初期は，線虫の虫体がウテリウムの端に残っているが，徐々に委縮し，生殖器官だけが残る。この生殖器官には，摂食器官は存在しないため，表面から直接栄養吸収を行い，その栄養分を産卵に利用する。ウテリウムから生まれた卵は宿主の腹腔内で孵化し，幼虫へ成長する。そして，線虫に感染した女王によって，新女王の越冬場所となる朽木に放出される。

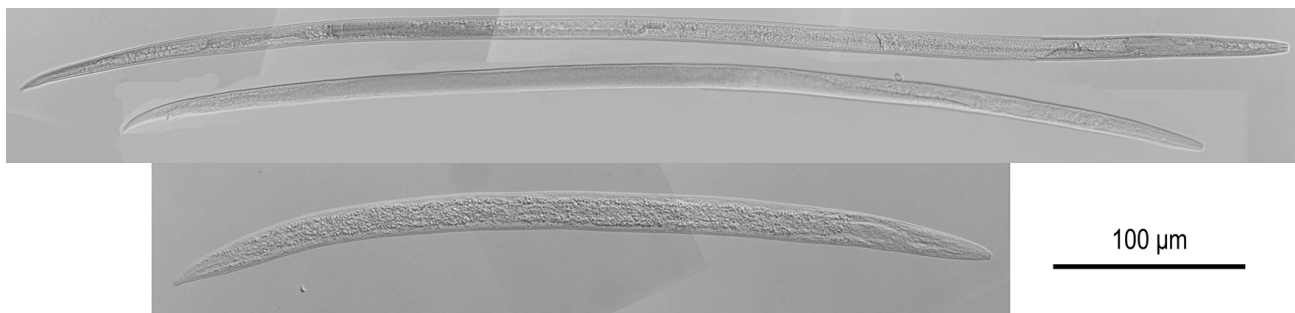


図-3 スズメバチタマセンチュウの雌雄成虫と幼虫
上から雌成虫，雄成虫，幼虫（Kanzaki *et al.*, 2007 を改変）



図-4 被寄生スズメバチ女王の腹部から取り出したスズメバチタマセンチュウ

腹部を解剖すると、ウテリウム (矢印) がみられる。背景の白く濁っている部分は、線虫の幼虫と卵 (Kanzaki *et al.*, 2007 を改変)

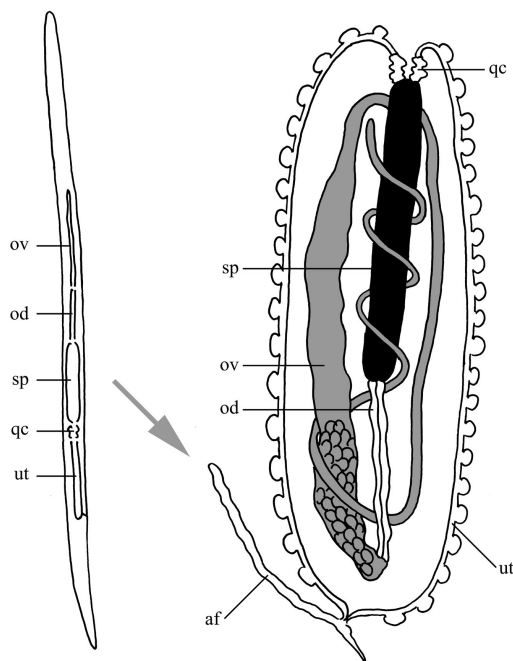


図-5 ウテリウムの概略図

左側が感染直後の雌成虫、右側が成熟したウテリウム。略称は、ov：卵巣、od：輸卵管、sp：貯精嚢、qc：四軸柱（卵殻形成をする器官と考えられる）、ut：子宮、af：雌成虫の痕跡。ウテリウム表面のイボ状の部分は、子宮を形成する細胞の核が肥大化したものである。

4. スズメバチタマセンチュウにみられる特異な生理、生態的現象

スズメバチタマセンチュウには、生理的、生態的に面白い点が多数みられるが、そのひとつが、宿主女王の行動操作である。すなわち、線虫は感染により、女王に営巣（コロニー創設）、産卵などの繁殖行動を行わず、新女王の越冬場所となる朽木で線虫の幼虫を放出させる。

このような宿主の行動操作は、他の寄生生物、たとえばハリガネムシやネジレバネ、昆虫病原菌、昆虫病原ウイルスでも知られている（牧野 2001； Yamazaki *et al.* 2004; Biron *et al.* 2005; Katsuma *et al.* 2012）。線虫類では同属のマルハナバチタマセンチュウ (*S. bombi*) で確認されているが (Lundberg & Svensson 1975; Kadoya & Ishii 2015)、タマセンチュウ属以外の近縁グループでは報告されていない。たとえば、*Deladenus*属の寄生を受けて不妊化されたキバチや、*Ioitonchium*属の寄生により不妊化されたキノコバエの雌成虫は、健全な雌成虫と同様の産卵行動を示し、線虫は、この産卵行動の際に宿主虫体から脱出する (Bedding, 1972; Tsuda *et al.*, 1996)。

このような宿主の行動操作の仕組みは、今のところ明らかになっていないが、スズメバチの被寄生女王は新女王が越冬場所に飛来する時の行動とよく似た行動を示すことから越冬行動の発現に関係しているのではないかと推測されている (佐山 2017)。将来、宿主脳内の発現遺伝子解析や、被寄生女王の生理状態の詳細な調査により、この仕組みが明らかにされる可能性がある。

線虫に着目すると、成虫からウテリウムへの成長過程は非常に特徴的である。交尾直後の雌成虫とウテリウムの大きさは、重量、体積換算で数百倍以上の違いがある。また、この成長は脱皮を伴わない構造的な変化である。他の昆虫寄生性線虫でも、感染態から寄生態への移行により、体サイズの大幅な成長がみられるが (たとえば Kanzaki *et al.*, 2016)、これだけの成長率を示す例は他にない。その理由のひとつには、線虫の形態のままで脱皮を行わずに成長するには、外皮の伸縮率にある程度の限界がある

ということが考えられる。実際に、多くの寄生線虫では、寄生態の外皮は増殖態や感染態に比べて破れやすく、ほぼ限界まで伸長していると考えられる。これに対して、タマセンチュウ属の場合は、生殖器官が外反して体外に出ているため、外皮による伸長制限がなくなっていると考えられる。今後、他の寄生線虫との微細構造レベルの比較を行うことにより、タマセンチュウ属の特徴的な寄生様式がより明確にされると期待される。

5. タマセンチュウ属の分布と多様性

現在までに、タマセンチュウ属には、スズメバチタマセンチュウ以外に、マルハナバチタマセンチュウのみが知られており、この種は、日本国内においても、マルハナバチ類から検出されている（小坂ら 2012）。マルハナバチタマセンチュウは、ヨーロッパや北米を中心に広く分布し、マルハナバチ（*Bombus*属）を主な宿主とする（Macfarlane *et al.* 1996）。本種の生活史は、スズメバチタマセンチュウとほぼ同じであるが、マルハナバチの生活史に適応しているため、宿主から線虫の幼虫が放出される場所は土中である（たとえば Bedding 1984; Poinar & van der Laan 1972）。また、マルハナバチタマセンチュウでは、寄生を受けたマルハナバチ女王が完全には不妊化されず営巣を行った事例（Röseler 2002）や、働きバチに寄生が起こった例（Triggiani & Tarasco 1997）が報告されているが、現在のところ、スズメバチタマセンチュウではこのような報告はない。しかし、今後、観察例が増えればスズメバチタマセンチュウでも同様の事例が見つかる可能性はある。

タマセンチュウ属の種ごうしは形態的によく似ており、形態のみによって種を識別するのは非常に困難である。また、分類や同定には、通常は成虫が用いられるため、ウテリウムが宿主から検出されただけでは、それ以上の詳細な同定はできない。このため、実際にこれまでマルハナバチタマセンチュウとされていた種類が1種なのか、複数の種を含んでいるのかは、不明である。

マルハナバチタマセンチュウとしてGenBankに

登録されている塩基配列を比較すると、いくつかの多型がみられる。たとえば、18S リボソーム RNA 遺伝子を比較すると、イギリス産のマルハナバチタマセンチュウ（AB250213）は、むしろ、スズメバチタマセンチュウ（AB300595）に近く、日本産のマルハナバチタマセンチュウ（AB250212）とは明らかに別種レベルの差異がある。また、28S リボソーム RNA 遺伝子でも、日本産の2株（AB733664, AB733665）と、ロシア産株（DQ328726）の間には若干の差異がみられる。これが種内の変異なのか、種間の違いなのかは不明であるが、タマセンチュウ属に比較的近縁な *Deladenus* 属などでは、近縁種間で、種の識別に用いられるリボソーム RNA 遺伝子の配列が完全に一致する例（たとえば Kanzaki *et al.*, 2016）もみられるため、今後さらに詳細な検討が必要である。また、ヨーロッパでは、クロスズメバチ（*Vespula* 属）からの本種の報告もある（Cobbold 1888）。クロスズメバチはマルハナバチよりもスズメバチに近縁なことから、これが、スズメバチタマセンチュウ、もしくは、その近縁の未記載種である可能性も残る。

一方、スズメバチタマセンチュウに関しては、これまでに国内（北海道、東北、関東、九州）からしか記録がなく（佐山 2017）、一部は、分子同定によって確認されているため、種同定に関しての問題はほぼない。

これら既知種の報告に加えて、タマセンチュウ属線虫の一種が、日本産ホソアシナガバチ（*Parapolybia* 属）から検出されている（Saito-Morooka 2014）。この種に関しては、ウテリウムの形態が他の2種と異なるほか、サイズが、その宿主同様に他の2種より小さいことから、同属の未記載種であると考えられる。また国外では、イランから既知種とは明らかに異なるタマセンチュウ属の種が検出されている。ただし、現在までにGenBankに登録された塩基配列情報しか公表されていないため、その詳細は不明である。

これらのことから、タマセンチュウ属は、これまでに知られている以上に広い分布域と高い多様性を持っているものと考えられる。

しかし、これらを正確に同定し、記載するには、

ウテリウムから雌雄成虫までの形態情報が必要となり、また、塩基配列情報も比較する必要がある。解析技術以上に、試料の採集が困難なため、タマセンチュウ属の多様性を明らかにするには、試料収集の地道な努力が必要となる。

6. タマセンチュウ属以外のハチ目寄生線虫

ハチ目（膜翅目）昆虫の生活史は多様であり、その多様な生活史に対応する形で、関連線虫相が決まる。たとえば、土壌営巣性のハナバチ類には、細菌食性線虫や糸状菌食性線虫が便乗することが知られ（たとえば Giblin & Kaya, 1983, 1984）、イチジクコバチ類からは、多数の便乗性線虫や寄生性線虫が検出されている（たとえば Kanzaki *et al.* 2018; Susoy *et al.* 2016）。

一方、タマセンチュウ属の宿主となる真社会性のスズメバチやマルハナバチからの線虫の検出は意外に少なく、タマセンチュウ属以外では、捕食寄生性のシヘンチュウ類が報告されているのみである（松浦 1995；小野1997；小坂ら 2012; Kubo *et al.* 2016; Tripodi & Strange 2018）。

同じく真社会性のアリ類からは、多くの細菌食性便乗性線虫が検出されており（たとえば Poinar 1975）、この線虫相は、アリ類と生息域の重複する真社会性のシロアリ類の便乗性線虫相と類似している（たとえば Kanzaki *et al.* 2012）。このことから、社会性の程度よりも、それぞれの昆虫種の生活環境が線虫相に大きな影響を与えているものと考えられる。したがって、巣の中や採餌場所が比較的乾燥した条件にあるスズメバチでは、昆虫体外で微生物を食餌源として生活する便乗性線虫の増殖が難しいため、スズメバチを便乗宿主として利用する線虫が少ないのであろう。

7. 生物的防除への応用

線虫類を用いた生物的防除は、比較的広く行われており、最もよく知られている例は、昆虫病原性線虫である *Steinernema* 属や *Heterorhabditis* 属を用いたコガネムシ類の防除である（たとえば Kaya 1983）。

これらの線虫は既に製剤化されており、購入、利用が可能である。また、ハチ目（膜翅目）では、木材害虫であるキバチ類を対象に、その寄生線虫である *Deladenus* 属、特にニュージーランドで発見された *D. siricidicola* によるノクチリオキバチ (*Sirex noctilio*) の防除が実用化されており、国内でも有用種の探索が行われている（田端ら 2015）。

では、刺傷被害を及ぼす害虫としてのスズメバチの防除に、タマセンチュウ属は利用可能であろうか。上述のとおり、スズメバチタマセンチュウは、女王を不妊化することにより、営巣（コロニー創設）を阻害する。このため、スズメバチの営巣数を減少させ、刺傷被害の遭遇率を下げることは可能かもしれない。

しかし、他の昆虫寄生性線虫や昆虫病原性線虫と比較して実用化が技術的に難しい原因に、タマセンチュウ属の絶対寄生性（宿主体内以外では増殖できない）が挙げられる。たとえば、*Deladenus* 属線虫は、キバチの共生菌であるアミロステリウム (*Amylostereum*) 属菌を餌として利用することにより人工培養が可能であり、そのため、培養線虫を樹幹注入することにより、薬剤と同様の利用が可能である。これに対して、タマセンチュウ属では、成虫が宿主体内に侵入し、ウテリウムを形成してからでないと産卵、増殖が行われない。このため、人工培養には、実際に宿主のスズメバチを用いるか、人工的に宿主体内の状態を再現した培養系を確立する必要がある。そして、スズメバチを用いる場合には、越冬状態にある女王を準備する必要がある。このため、実験的に培養を行うことは可能かもしれないが、現状では、培養系を確立し、散布できるほどの線虫数を得るのは、現実的ではない。したがって、詳細な発育過程の観察、遺伝子レベルでの栄養生理の解析といった基礎的研究を今後進めていく必要がある。

8. おわりに

タマセンチュウ属は、高い多様性を持つといわれる線虫全体を見渡しても、非常に特徴的かつ興味深い線虫である。ウテリウムの形成に見られる形態、

構造的特徴、宿主の行動操作を行う分散様式など、他の線虫類では知られていない形質を有する。このため、タマセンチュウ属は、進化生物学、生理学、生態学などの分野において、非常に魅力的な研究材料となりうる。

しかし、現在までに、室内培養系は確立されておらず、また、実際の種多様性や、野外における生理生態、たとえば、宿主範囲とその規定要因などにおいても不明な点が多い。今後、室内実験と、フィールド調査の両面を行っていくことにより、この線虫グループの全体像が明らかにされることが期待される。

引用文献

- Bedding R (1972) Biology of *Deladenus siricidicola* (Neotylenchidae) an entomophagous-mycetophagous nematode parasitic in siricid woodwasps. *Nematologica* 18 : 482 ~ 493
- Bedding RA (1984) Nematode parasites of Hymenoptera. In: Plant and Insect Nematodes. Nickle WR. (ed) Marcel Dekker 755 ~ 795
- Biron DG, Marché L, Ponton F, Loxdale HD, Galéotti N, Renault L, Joly C, Thomas F (2005) Behavioural manipulation in a grasshopper harbouring hairworm: a proteomics approach. *Proc R Soc B* 272 : 2117 ~ 2126
- Cobbold TS (1888) On *Simondsia paradoxa* and on its probable affinity with *Sphaerularia bombi*. *Trans Linn Soc London* 2 : 357 ~ 361
- Giblin RM, Kaya HK (1983) *Bursaphelenchus seani* n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae), a phoretic associate of *Anthophora bomboidea stanfordiana* Cockerell, 1904 (Hymenoptera: Anthophoridae). *Rev Nématol* 6 : 35 ~ 50
- Giblin RM, Kaya HK (1984) *Aduncospiculum halicti* n. gen. n. sp. (Diplogasterida: Diplogasteroididae), an associate of bees in the genus *Halictus* (Hymenoptera: Halictidae). *Rev Nématol* 7 : 189 ~ 197
- Kadoya EZ, Ishii HS (2015) Host manipulation of bumble bee queens by *Sphaerularia nematodes* indirectly affects foraging of non-host workers. *Ecology* 96 : 1361 ~ 1370
- Kanzaki N, Giblin-Davis RM, Scheffrahn RH, Taki H, Esquivel A, Davies KA, Herre EA (2012) Reverse taxonomy for tying diversity of termite-associated nematodes: a practical application of methodology. *PLoS ONE* 7 : e43865
- Kanzaki N, Kosaka H, Sayama K, Takahashi J, Makino S (2007) *Sphaerularia vespae* sp. nov. (Nematoda, Tylenchomorpha, Sphaerularioidae), an endoparasite of a common Japanese hornet *Vespa simillima* Smith (Insecta, Hymenoptera, Vespidae). *Zool Sci* 24 : 1134 ~ 1142
- Kanzaki N, Tanaka SE, Fitza K, Kosaka H, Slippers B, Kimura K, Tsuchiya S, Tabata M (2016) *Deladenus nitobei* n. sp. (Tylenchomorpha: Allantonematidae) isolated from *Sirex nitobei* (Hymenoptera: Siricidae) from Aomori, Japan, a new member of the *siricidicola* superspecies. *Nematology* 18 : 1199 ~ 1217
- Kanzaki N, Tsai IJ, Tanaka R, Hunt VL, Liu D, Tsuyama K, Maeda Y, Namai S, Kumagai R, Tracey A, Holroyd N, Doyle SR, Woodruff GC, Murase K, Kitazume H, Chai C, Akagi A, Panda O, Ke H-M, Schroeder FC, Wang J, Berriman M, Sternberg PW, Sugimoto A, Kikuchi T (2018) Biology and genome of a newly discovered sibling species of *Caenorhabditis elegans*. *Nat Comm* 9 : 3216
- Katsuma S, Koyano Y, Kang W, Kokusho R, Kamita SG, Shimada T (2012) The baculovirus uses a captured host phosphatase to induce enhanced locomotory activity in host caterpillars. *PLoS Pathog* 8 : e1002644
- Kaya HK (1983) Entomopathogenic nematodes. *Ann Rev Entomol* 38 : 181 ~ 206.
- 小坂 肇・佐山勝彦・神崎菜摘・高橋純一・牧野俊一 (2009) スズメバチタマセンチュウ：新たに発見されたスズメバチ女王を不妊にする線虫。森林保護 313 : 1 ~ 3

- 小坂 肇・佐山勝彦・神崎菜摘・牧野俊一・岡部貴美子 (2012) 北海道に定着したセイヨウオオマルハナバチ寄生生物. 地球環境 17 : 135 ~ 141
- Kubo R, Ugajin A, Ono M (2016) Molecular phylogenetic analysis of mermithid nematodes (Mermithida: Mermithidae) discovered from Japanese bumblebee (Hymenoptera: Bombinae) and behavioral observation of an infected bumblebee. Appl Entomol Zool 51 : 549 ~ 554
- Lundberg H, Svensson BG (1975) Studies on the behaviour of *Bombus* Latr. species (Hym., Apidae) parasitized by *Sphaerularia bombi* Durour (Nematoda) in an alpine area. Nor J Entomol 22 : 129 ~ 134
- Macfarlane RP, Lipa JJ, Liu HJ (1996) マルハナバチの病気と体内寄生性害敵. ミツバチ科学17 : 31 ~ 37
- 牧野俊一 (2001) スズメバチネジレバネの生態. ミツバチ科学 22 : 106 ~ 112
- 松浦 誠 (1995) 図説 社会性カリバチの生態と進化. 北海道大学図書刊行会, 札幌
- 小野正人 (1997) スズメバチの科学 海游舎. 東京
- Poinar GO (1975) Entomogenous Nematodes. E. J. Brill. Leiden
- Poinar GO, van der Laan PA (1972) Morphology and life history of *Sphaerularia bombi*. Nematologica 18 : 239 ~ 252
- Röseler P-F (2002) A scientific note on the reproduction of two bumblebee queens (*Bombus hypnorum*) infested by the nematode *Sphaerularia bombi*. Apidologie 33 : 423 ~ 424
- Saito-Morooka F (2014) The prevalence of the parasitic nematode *Sphaerularia* sp. in the overwintering gynes of *Parapolybia* spp. (Hymenoptera, Polistinae). J Hymenoptera Res 38 : 37 ~ 43
- 佐山勝彦 (2017) スズメバチの新たな天敵 : 女王バチを不妊にして操る寄生線虫. 北方林業 68 : 32 ~ 35
- Sayama K, Kosaka H, Makino S (2007) The first record of infection and sterilization by the nematode *Sphaerularia* in hornets (Hymenoptera, Vespi
- dae, *Vespa*). Insectes Soc 54 : 53 ~ 55
- Sayama K, Kosaka H, Makino S (2013) Release of juvenile nematodes at hibernation sites by overwintered queens of the hornet *Vespa simillima*. Insectes Soc 60 : 383 ~ 388
- Siddiqi MR (2000) Tylenchida: Parasites of Plants and Insects 2nd ed. CABI Publishing, Oxon.
- Susoy V, Herrmann M, Kanzaki N, Kruger M, Nguyen CN, Rödelsperger C, Röseler W, Weiler C, Giblin-Davis RM, Ragsdale EJ, Sommer RJ (2016) Large-scale diversification without genetic isolation in nematode symbionts of figs. Sci Adv 2 : e1501031
- 田端雅進・前藤 薫・渡部恭平・梶村 恒・小坂 肇・神崎菜摘 (2015) 日本へのノクチリオキバチに対する潜在生物的抵抗要因としての針葉樹キバチ類の寄生蜂相. 森林防疫 64 : 214 ~ 217
- Triggiani O, Tarasco E (1997) Rilievi sulla presenza e diffusione del nematode *Sphaerularia bombi* Dufour, 1837 (Nematoda, Tylenchida, Allantoniematidae) in Italia meridionale. Entomologica Bari 31 : 77 ~ 97
- Tripodi AD, Strange JP (2018) Rarely reported, widely distributed, and unexpectedly diverse: molecular characterization of mermithid nematodes (Nematoda: Mermithidae) infecting bumblebees (Hymenoptera: Apidae: *Bombus*) in the USA. Parasitology 145 : 1558 ~ 1563
- Tsuda K, Kosaka H, Futai K (1996) The tripartite relationship in gill-knot disease of the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kummer. Can J Zool 74 : 1402 ~ 1408
- Yamazaki K, Sugiura S, Fukasawa Y (2004) Epizootics and behavioral alteration in the arctiid caterpillar *Chionarctia nivea* (Lepidoptera: Arctiidae) caused by an entomopathogenic fungus, *Entomophaga aulicae* (Zygomycetes: Entomophthorales). Entomol Sci 7 : 219 ~ 223

(2020.6.19 受理)

解説

潜葉性害虫ヤノナミガタチビタママシの生態と対策

大澤正嗣¹

1. はじめに

夏遅く、まだ紅葉には早すぎる時期に、ケヤキの葉が褐変して、遠くからでもその異常がわかる程になる…といった現象をご覧になったことがあるだろうか。更に、梅雨時にケヤキの葉がハラハラ落ちるといった現象はどうだろうか。専門誌“森林防疫”の読者である皆様の多くが、恐らくこのような現象を見たことがあるのではないかと、さらに、これはヤノナミガタチビタママシが原因だと知っている方も結構おられるのではないだろうか。更に詳しい人は、このような被害を起こすのは、ヤノナミガタチビタママシとアカアシノミゾウムシ、そして少し生態は違うけれど、ニレハムシもケヤキを食害し…とおっしゃるかもしれない。

そのような人には、この導入部分は釈迦に説法になってしまうかもしれないが、本種の概略を始めに述べておきたい。ヤノナミガタチビタママシは名前の中に“タママシ”とあるように、タママシ科に属している。しかし、本種はタママシの中でも“チビタママシ”と言われる仲間（チビタママシ属）であり、一般的に知られているタママシとはかなり違った形をしている。この仲間が、タママシと違ってするのは形だけではない。一般的な“タママシ”の幼虫世代は食材性のものが多いが、チビタママシの仲間は食葉性で、しかも潜葉性、すなわち“絵描き虫”である。チビタママシの仲間は日本で20種類知られているが、幼虫が葉の中に潜る性質からか、皆体が小さく、体長2～6mm程である（大桃・福富 2013）。地味な体色も手伝って、あまり知られていない“タママシ”の仲間となっている。

このようなチビタママシ属の中で、ヤノナミガタチビタママシ（写真-1）はケヤキの害虫であり、

その被害が目立つことから、林業関係者の間では最も知名度が高いのではないだろうか。本種の成虫はケヤキの葉を外部から（写真-2）、幼虫は内部から（写真-3, 4）食害する。関東から関西にかけて被害は普通に見られ、京都府の嵐山（板谷ら 1981）、東京都の奥多摩（土屋 1980）での詳細な被



写真-1 樹皮下で越冬中のヤノナミガタチビタママシ
上翅の模様が“ナミガタ”となっている。



写真-2 越冬から覚め、食害を始めたヤノナミガタチビタママシ

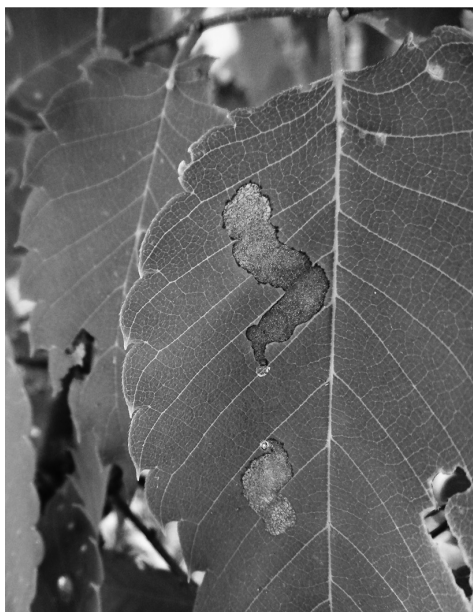


写真-3 ヤノナミガタチビタマムシ幼虫が潜葉するケヤキ葉

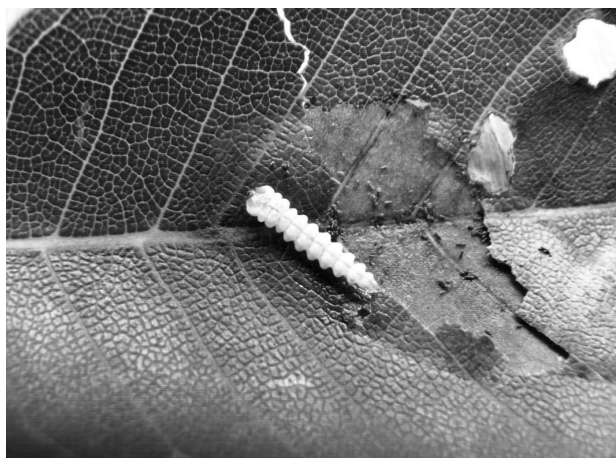


写真-4 ヤノナミガタチビタマムシ幼虫（潜葉している葉から出して撮影）

害報告がある。低山帯では、初夏にケヤキの葉色が変わり始め、やがて多くの葉が早期落葉する。その後、落葉から発生した本種の成虫がケヤキ葉を、外部から葉脈を残して食害し、被害が激しい時には木をほとんど丸坊主にしてしまう（写真-5）。筆者はこの害虫でケヤキが枯死した事例を知らないが、激しい被害を受けると木は衰弱し、成長は鈍化する。

本報では著者が主に科学研究費補助金（No. 25450232）にて行った研究結果を基に、ヤノナミガ



写真-5 激しい被害を受けたケヤキ
まだ9月にもかかわらずほとんどの葉を失っている。

タチビタマムシの生態及び防除について紹介する。なお、本研究の結果の一部は、Ohsawa (2017) 及び Ohsawa and Iijima (2019) に報告したので、詳細はそちらを参照していただきたい。

2. 生活史

ヤノナミガタチビタマムシの生活史については、山梨県森林総合研究所に植栽された樹齢15年生のケヤキ（平均樹高4.1m，平均胸高直径3.7cm）にて選定した6本の枝の葉上に産卵された661個の卵について、産卵時から番号を付け、孵化、幼虫、早期落葉、蛹、羽化、脱出と継続的に観察してその時期を明らかにした。なお、早期落葉が始まる前に枝ごと網をかぶせ、網内に落ちた早期落葉はただちに回収し、シャーレに入れて、実験室内室温で蛹化、羽化、脱出を観察した。葉内部のステージについては、葉を光に透かして観察した。山梨県笛吹市のケヤキ老齢林（稲山の森、面積2.4ha，推定150年生，平均樹高24m，平均胸高直径90cm）でも1年を通して被害葉や早期落葉を採取し、卵からの発達段階とその時



写真-6 ケヤキ葉上のヤノナミガタチビタムシ卵

期を調査した。なお、本調査以外にも生活史等については、これまでに数人の研究者により調査、報告がなされている（土屋 1980；奥田 1983；細田ら 1991）。

(1) 産卵から孵化

春にケヤキが開葉すると同時に本種は越冬から目覚め、葉上に現れて新葉を摂食し、交尾する。野外での産卵は4月～6月で、卵は殻をもたず、葉の表面に楕円形〔およそ 1.4×1.0 mm（周囲の接着部含む）〕に薄く広がる（写真-6）。卵が孵化するまでの期間は平均17日間（気温が上がる5月下旬以降の産卵では6～10日間）であった。孵化した幼虫は、卵から葉の中へ直接侵入する。

産卵数を調べるため、まだ産卵の始まっていない時期に、交尾中の雌雄を捕獲し、それぞれペア毎に容器に入れ室温で飼育した。十分に長生きした8ペアの産卵数は平均で49個だった。

(2) 幼虫

幼虫は潜葉性で、葉の外に出てくることはない。葉の中に残された脱皮殻の数や幼虫の大きさの変化から3齢が終齢と推定される。成虫の密度が高いと、葉1枚当たりの産卵数が増え、1枚のケヤキ葉に2～3頭の幼虫の潜葉が頻繁に見られ、6頭の幼虫が潜葉していたこともある。しかし、幼虫は1枚の葉



写真-7 ケヤキ林内地表に堆積した早期落葉（ヤノナミガタチビタムシ幼虫が潜葉）

の中で最終的には1頭しか育たない（葉が大きい場合には2頭育つこともある）ことから、成虫の密度が高まり葉1枚当たりの産卵数が増えると、幼虫の死亡率が上昇することになる。

(3) 早期落葉

本種に潜葉されたケヤキの葉は、早期に落葉する（写真-7）。関東地方の平野部では、6月中旬から落葉が始まる。本種が潜っている葉の大多数が早期落葉するため、潜葉された葉数が多いとそれらが大量に落下し、地上に堆積する。この時、葉の中の幼虫は終齢で蛹化前の段階となっている。途中で幼虫が死んでしまった葉では早期落葉は起こらない。

(4) 蛹化、羽化脱出

早期落葉した葉内の幼虫はまっすぐに伸びて静止し、既に葉の摂食は終えている。落葉後、4日ほどで幼虫は蛹となる。蛹室は作らない。羽化は蛹化7日後に起こる。羽化後も2日間程葉内に滞在し、やがて葉に楕円形の孔を開け脱出する。卵から羽化脱出まで平均54.2日であった。脱出は山梨県森林総合研究所では6月下旬から、稲山の森では7月中旬から観察された。それぞれ早期落葉が継続する期間は25日程である。稲山の森の調査では、ケヤキ林の林床1平方メートル当たりの落葉から、成虫が平均1,650頭羽化脱出した。

(5) 新成虫

野外に出た成虫は、少しの間ケヤキ周囲の下層植生上で観察されるが、やがて樹冠へと飛翔して行く。成虫は葉を外部から太い葉脈を残して摂食する。秋になり気温が低下し始めると、成虫はケヤキの樹皮下に移動し集団越冬する（写真-1）。成虫は翌年ケヤキの開葉とほぼ同時に活動を開始する。

3. 潜葉性昆虫における早期落葉と昆虫個体数について

(1) 早期落葉時期の雨とヤノナミガタチビタムシの個体数

稲山の森のケヤキ林（山梨県笛吹市）にてヤノナミガタチビタムシの個体数の変動を吊り下げ式マレーズトラップで10年間調査した。その結果、本種は夏に雨が多いと個体数が減少すること、具体的にはケヤキが早期落葉し本種が潜っている葉が地上にあるときに雨が多いと、成虫の個体数が減少することがわかった（図-1）。

そこで、実験室内で早期落葉を容器に入れ、そこに落葉を加湿するよう適度な水を加えた加湿容器と水を加えない乾燥容器（コントロール）を作成し、

羽化脱出してくる成虫数を調べ、発生率〔(脱出した成虫数/調査開始時点での生きた幼虫数)×100〕を比較した。すると加湿容器で成虫の発生率が低く、さらにその中で、最も含水率の高い下部の葉で成虫の発生率が最も低かった（図-2）。また野外で早期落葉を集め、散水区と無散水区（コントロール）を作り比較すると、成虫の発生率は、やはり散水区〔67.1±17.1%（平均±標準偏差）〕で無散布区（92.9±4.2%）より有意（P<0.001）に減少することがわかった。実際に葉の内部を観察すると、湿った状態では羽化前の蛹の段階で多くの個体が死亡していた。

これらのことから、早期落葉内に本種がいる時期に雨が多いと死亡率が高まり、そのため成虫個体数が減少することがわかった。

(2) 早期落葉が潜葉性害虫に与える影響

ヤノナミガタチビタムシのように、潜葉性の害虫の多くが、それぞれの寄主に早期落葉を起こすことは昔から知られており、研究が進められてきた。ある研究者は、潜葉性害虫の入った葉を寄主が落葉させることでその害虫の死亡率が高まり、早期落葉は被害の減少に貢献していると考えた（Owen

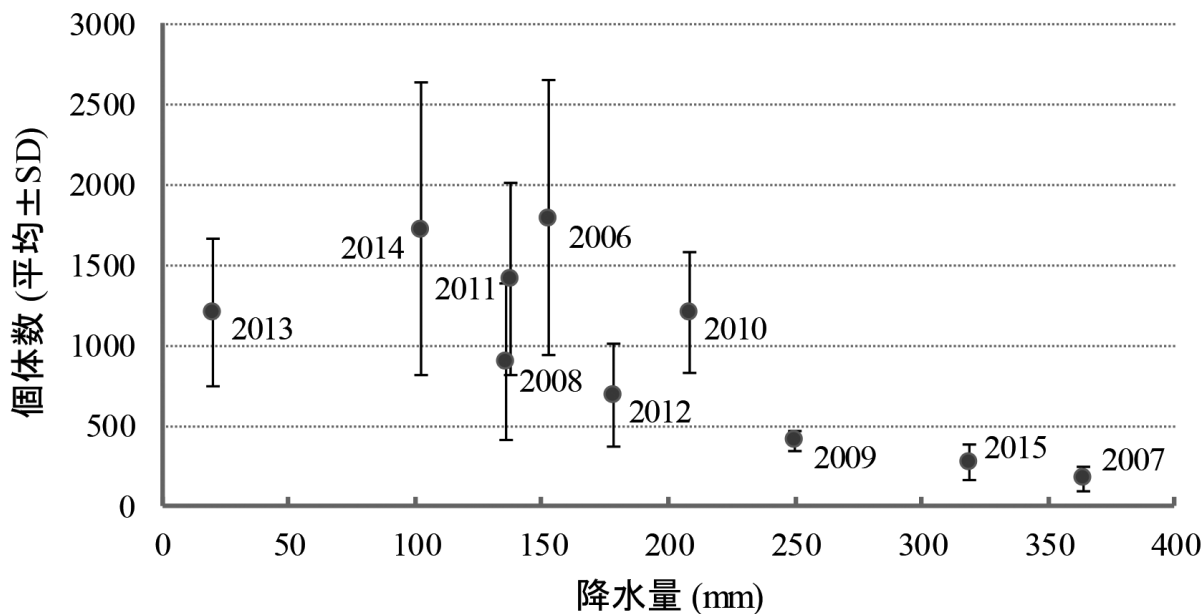


図-1 早期落葉内部にヤノナミガタチビタムシがいる時期の降水量とその後トラップで捕獲されたヤノナミガタチビタムシ成虫数の関係（Ohsawa and Iijima (2019), Fig.1を改変）

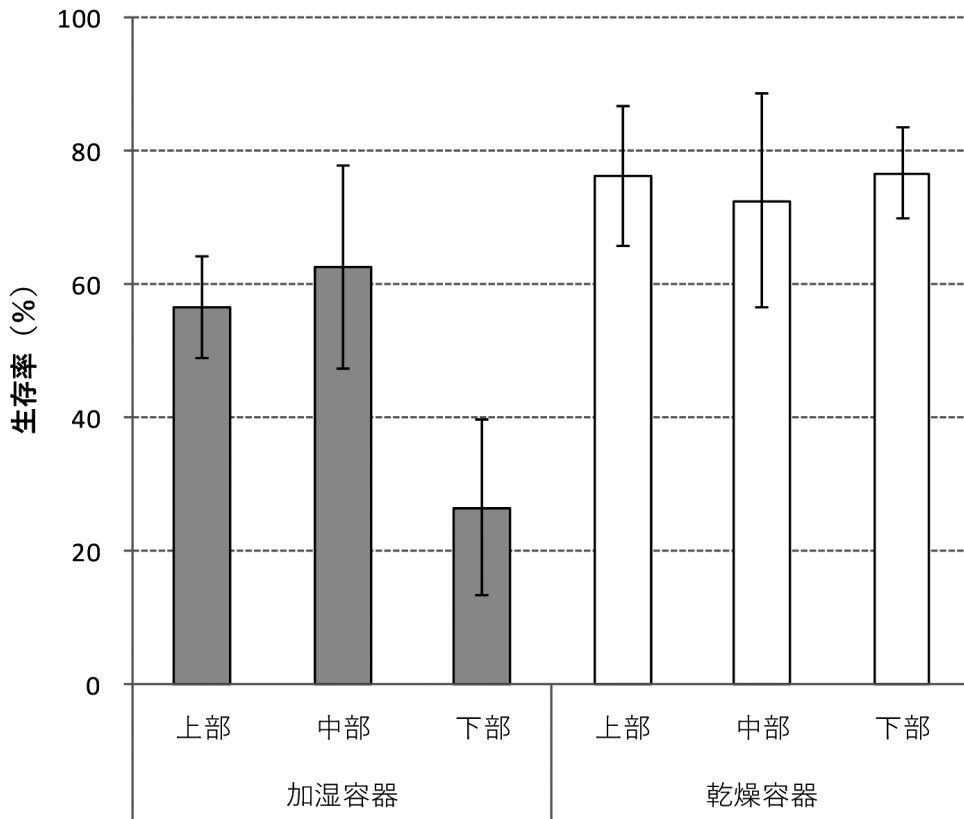


図-2 早期落葉を入れ加湿した容器（加湿容器）と加湿しない容器（乾燥容器）の各部位別のヤノナミガタチビタママシ成虫発生率（Ohsawa and Iijima (2019), Fig.3を改変）

1978; Simberloff and Stiling 1987; Stiling *et al.* 1987; Williams and Whitham 1986; Mopper and Simberloff 1995)。ところが別の研究者は、早期落葉による害虫の死亡率は3%程度で、害虫の密度を下げるには遠く及ばないこと、早期落葉時期には幼虫は終齢末期で既に摂食を終えていることなどから、早期落葉が潜葉性害虫の個体数の増減に影響することはないという結果を報告した (Pritchard and James 1984; Kahn and Cornell 1989; Hileman and Lieto 1981; Stiling and Simberloff 1989)。一方、早期落葉した葉を動物が食べることにより個体数が減少する (Yamazaki and Sugiura 2008)、早期落葉により潜葉害虫の地表性の天敵による捕食が増加する (Waddell *et al.* 2001; Oishi and Sato 2007)、早期落葉により成虫の体が小さくなり産卵数が減少する (Waddell *et al.* 2001) といった、早期落葉が天敵や他の要因を介して害虫の個体数を減少させるという

研究もなされた。

ヤノナミガタチビタママシにおけるケヤキ早期落葉については、早期落葉により本種が潜っている葉が地上にある時期に雨が多いと、それが本種の死亡率を高め、個体数を減少させる効果があること、しかしこの（本種が落葉内にいる）時期に雨が少ないと、この効果が見られなくなることがわかった。すなわち、早期落葉は降水量が多いと本種の発生を抑えるという点でケヤキに有利に働くが、降水量が少ないとその働きが認められなくなるといった結果となった。

(3) 梅雨前線がヤノナミガタチビタママシの個体数や被害程度を決める？

早期落葉により、本種の潜っている葉が地上にある時期が、関東地方や中部地方では6月中旬～8月初旬になり、梅雨と重なる期間がある。我々の調査

していた森林の1つである稲山の森は標高が630mあるため、早期落葉は7月初めから7月下旬まで、本種が落葉内にいる期間は7月初めから8月中旬までとなる。梅雨は7月中旬までのことが多いため、本種が落葉内にいる期間の後半には梅雨が明けることが多い。このことが、稲山の森で被害が多い原因の一つと考えられる。

梅雨は広い範囲で雨を降らせるが、標高が高い程早期落葉が遅くなるため、梅雨期の雨を早期落葉がどの程度受けるかは標高により異なり、このため標高の違いで被害程度に差がでることがあると考えられる。

天然のケヤキは谷筋、沢筋、溪流沿いに分布していることが多い。このような生育場所は集水地形で土壌湿度が高く、ケヤキ落葉が湿りやすいことが想定され、被害軽減にプラスに働いている可能性が考えられる。

4. 被害防除の試み

本害虫に対する防除について、筆者もいくつかの方法を試みたのでその内容と有効性を以下にまとめた。

(1) 落葉への対応

1) 落葉の除去

生きた幼虫の潜む葉はほぼ早期落葉する。早期落葉した葉には1頭生きた幼虫が入っているので、落葉を1枚除去すると幼虫を1頭駆除できることになる。落葉は25日ほど続き、幼虫は落葉内で成虫になり、落葉後平均13.2日で脱出するので、落葉が開始してから38日間ほどが防除期間になる。13日で落葉から脱出してしまうため、落葉開始からおおよそ10日後、20日後、30日後のできれば3回落葉を除去すると高い効果が得られることになる。しかし山林ではなかなか実行できない内容であり、どちらかと言えば、神社、民家敷地内や公園のケヤキへの対策となる。

2) 落葉への薬剤散布

落葉を除去しなくても、落葉への薬剤散布で発生

を減少させ得ることが分かっている（土屋 1980）。しかし、高い効果を上げるためには、やはり10日に1回は薬剤散布をする必要があり、落葉開始後合計3回程度の散布となるだろう。

3) ケヤキ落葉への散水

この研究で、早期に落ちた本種の入った葉が、特に蛹化～羽化の時期に十分に湿った状態が続くと脱出する成虫数が減少することが明らかとなった。このため落葉に水を散布する方法も考えられるが、現実問題として、大量の水を1日に数回散布するのは多くの場所では不可能であろう。しかし、降水量とその時期が本種被害多発の予測に使える可能性がある。

(2) ケヤキへの対策

1) ケヤキ葉への薬剤散布

本調査を行っている時に、被害が全くないケヤキ林を見かけ、不思議に思い公園の管理人に話を伺ったところ、ケムシを防ぐためにケヤキ葉に殺虫剤を散布していることがわかった。適期に散布すれば、葉への薬剤散布でヤノナミガタチビタママシの被害を押さえられる可能性が高い。

2) 殺虫剤の樹幹注入

樹幹内部へ挿入する殺虫剤をケヤキ樹幹に施用した時の、ヤノナミガタチビタママシ幼虫への効果を



写真-8 薬剤を施用したケヤキ（右）とコントロール（左）（2014年7月16日）

薬剤を挿入したケヤキには被害がほとんど出ていない、コントロールは早期落葉によりかなりの葉を失った。

山梨県森林総合研究所内の推定樹齢40年生のケヤキ（平均樹高8.9m, 平均胸高直径24.1cm）にて調査した。2014年5月下旬に8本のケヤキ供試木樹幹下部にアセフェート系薬剤カプセルを挿入し、また同数の対照区を設定した。その結果、薬剤施用木にはほとんど被害は認められなかった（写真-8）。幼虫の潜葉部分を観察したところ、薬剤施用によりすでに潜葉していた幼虫まで死滅させることが明らかになった。しかし翌年には全く効果がなくなり、効果は施用した年のみであった。薬剤の施用には、ケヤキ樹幹に穴を開けなければならないが、毎年穴を開けるのはあまり推奨できないため、今後施用方法の改良が必要と考えられた。

3) ケヤキ樹幹へのこも巻

ケヤキ樹幹へこもを巻くことにより本種が多数捕獲されたという報告があるため（奥田 1983）、この方法による防除試験を稲山の森の12本のケヤキを用いてこの森林の管理担当者で行った。成虫の越冬前（2008年9月中旬）にこも（わらこも、ヤシ殻こも）をそれぞれ6本のケヤキ樹幹に巻き、活動開始前の2009年2月上旬にこもをはずし、防除効果を検証した。その結果、捕獲された成虫は少なく、この方法による防除はかなり難しいことがわかった。マツカレハのように、越冬場所を求めて樹冠から幼虫が幹を伝って下へ降りてくるような場合は、その害虫は途中で幹に巻いたこもの内に入り越冬するため、早春にこもを取り除き焼却することで効率的に防除できるとされている。しかし、ヤノナミガタチビタマムシは樹幹上部から下部まであらゆる高さの樹皮下にて越冬するため、マツカレハのようにこものみに集中的に虫を集めることはできなかった。また、こもの下に入った成虫はこもの裏側ではなく樹幹表面上や（こもの下の）樹皮下に静止しているため、こもを外しても樹幹に残る成虫をいかに効率的に駆除するかが問題である。

(3) 天敵の活用

ヤノナミガタチビタマムシには多くの天敵が観察される。卵の段階では小さな寄生蜂による摂食が認

められた。また終齢幼虫から蛹の段階で、別種の寄生蜂が少なくとも2種類は本種の体内から出てきた。しかしこれらによる寄生率は現在のところ低く（平均3.6%）、個体数の増減に大きな影響は与えてはいないと思われる。この他に、クモが成虫を捕らえて食べることがある。また、樹皮下で越冬している成虫をコゲラ、エナガ等の鳥類が捕食したり、道路に落ちた早期落葉をスズメがつついて、中にいる幼虫あるいは蛹を食べるのを観察した。これらによる捕食の程度は不明であるが、被害を抑えるには程遠いと思われた。病原菌としては、昆虫寄生菌ボーベリア バッシアナによる樹皮下越冬中の成虫への寄生が認められた。ボーベリアによる越冬中の死亡率は43%とかなり高かったことから、一定の密度調節効果を持つと考えられるが、春から一気に個体数を増加させる本種による被害を止めることは難しいようだ。

本研究で使用した薬剤は現在農薬登録されていないため、実際の被害現場において薬剤の散布や樹幹注入を実施することはできない。野外に天敵も認められるが、被害を抑止できるほどの効果は確認されおらず、天敵利用により本種の大発生を抑える方法は見いだされていない。現在のところ、落葉の除去のみが有効な防除方法となっている。

5. おわりに

今回の調査では、ヤノナミガタチビタマムシの生態を再確認し、また早期落葉内に本種がいる時期に降水量が多いと死亡率が高まることを明らかにした。早期落葉時期が梅雨期と重なる部分があることから、梅雨期の雨の量、すなわち梅雨前線の位置や活動状況が本種の被害に大きな影響を与えるということになるだろう。

昔から、早期落葉の害虫への効果の有無について、昆虫学者の間で議論となっていたが、ヤノナミガタチビタマムシについては、早期落葉は内部に本種がいる時期に雨が多いと個体数減少に効果がある一方、この時期に雨が少ないと効果が認められないことが明らかとなった。ケヤキとそれを食べる昆虫との長

い共進化の結果，早期落葉がどちらかに一方的に有利になるのではなく，一定のバランスを保っており，そのバランスに降水量が大きく関与していると考えられた。

最後に，本種に影響を与えるであろう林内環境，ケヤキの防御反応，早期落葉の発生生理など今回調査を十分行っていない事柄についてさらに研究が進み，潜葉性害虫と寄主樹木の相互関係やその他環境との関係が解明されること，そしてそれを基に本種への対策が一層進むことを期待したい。

引用文献

- Hileman DR, Lieto LF (1981) Mortality and area reduction in leaves of the bog shrub *Chamaedaphne calyculata* (Ericaceae) caused by the leaf miner *Coptodisca kalmiella* (Lepidoptera: Heliozelidae). *The American Midland Naturalist* 106: 180 ~ 188
- 細田隆治・五十嵐正俊・伊藤賢介・浦野忠久 (1991) ケヤキの害虫ヤノナミガタチビタマムシ誘引剤捕殺試験. *森林総合研究所関西支所年報* 32 : 27
- 板谷芳隆・佐藤一男・泉水義明・平山久男 (1981) 京都嵐山のヤノナミガタチビタマムシ被害. *森林防疫* 30 : 151 ~ 152
- Kahn DM, Cornell HV (1989) Leafminers, early leaf abscission, and parasitoids: A tritrophic interaction. *Ecology* 70: 1219 ~ 1226
- Mopper S, Simberloff D (1995) Differential herbivory in an oak population: the role of plant phenology and insect performance. *Ecology* 76: 1233 ~ 1241
- 大桃定洋・福富宏和 (2013) 日本産タマムシ大図鑑. 株式会社むし社, 東京
- Ohsawa M (2017) Life cycle, ecological characteristics, and control of *Trachys yanoi* (Coleoptera: Buprestidae), an important pest of *Zelkova serrata*. *Insects* 8, 35. <https://doi.org/10.3390/insects8020035>.
- Ohsawa M, Iijima H (2019) Precipitation on abscised leaves modulates leaf-mining beetle (*Trachys yanoi*) survivorship and population dynamics. *Ecological Entomology* 44: 630 ~ 638
- Oishi M, Sato H (2007) Inhibition of premature leaf abscission by a leafminer and its adaptive significance. *Environmental Entomology* 36: 1504 ~ 1511
- 奥田素男 (1983) ヤノナミガタチビタマムシ *Trachys yanoi* Y. Kurosawaの生活史. *日本林学会関西支部第34回大会講演集* 290 ~ 292
- Owen DF (1978) The effect of a consumer, *Phyto-myza ilicis*, on seasonal leaf-fall in the holly, *Ilex aquifolium*. *Oikos* 31: 268 ~ 271
- Pritchard IM, James R (1984) Leaf fall as a source of leaf miner mortality. *Oecologia* 64: 140 ~ 141
- Simberloff D, Stiling P (1987) Larval dispersion and survivorship in a leaf-mining moth. *Ecology* 68: 1647 ~ 1657
- Stiling P, Simberloff D (1989) Leaf abscission: Induced defense against pests or response to damage? *Oikos* 55: 43 ~ 49
- Stiling PD, Simberloff D, Anderson LC (1987) Non-random distribution patterns of leaf miners on oak trees. *Oecologia* 73: 116 ~ 119
- 土屋大二 (1980) 東京都のケヤキに発生したヤノナミガタチビタマムシの生態とその被害について. *森林防疫* 29 : 144 ~ 148
- Waddell KJ, Fox CW, White KD, Mousseau TA (2001) Leaf abscission phenology of a scrub oak: Consequences for growth and survivorship of a leaf mining beetle. *Oecologia* 127: 251 ~ 258
- Williams AG, Whitham TG (1986) Premature leaf abscission: An induced plant defense against gall aphids. *Ecology* 67: 1619 ~ 1627
- Yamazaki K, Sugiura S (2008) Deer predation on leaf miners via leaf abscission. *Naturwissenschaften* 95: 263 ~ 268

(2020.8.17 受理)

都道府県だより

茨城県における松くい虫被害の状況と対策について

○はじめに

本県は、南北に延びる約190kmの海岸線を有しており、うち約3分の1にあたる61kmにわたって、松林などからなる約1千haの海岸防災林が広がり、飛砂や潮風、津波などの被害から農地や住宅、道路などを保全しています。また、海岸部の松林は日本の白砂青松100選に4箇所が選ばれるなど、観光資源としても重要なものとなっております。

しかしながら、昭和46年度に県の中央部に位置する水戸市において初めて松くい虫被害が確認された後、昭和53年度の約74万1千㎡をピークに、県内の松林は大きな被害を受けました。昭和55年時点での民有林の松林面積は約5万5千ha（民有林面積の34%）でしたが、令和元年度には約1万3千ha（9%）と大きく減少しています。被害量に関しては、ここ20年ほどは3千～8千㎡の間で推移しており（図-1）、内陸部に比べて海岸部の市町村において被害量が多い現状にあります。

○被害対策

こうした被害に対し、茨城県では、県の独自財源である森林湖沼環境税を活用した「海岸防災林機能強化事業」により、予防散布や樹幹注入と伐倒駆除を組み合わせた防除対策を実施するとともに、海岸防災林の再生のために植栽を行っております。

予防散布については、住宅地や農地等から離れた場所では、最も効率的なヘリコプターによる特別防除を、それ以外の場所では周辺への影響を考慮する必要があることから、地上散布を実施しています（写真-1）。また、公園や景勝地などの特に景観上重要なマツに対しては、樹幹注入を行っております。伐倒駆除については、毎年3月末までに被害木の全量を処理できるよう実施しており、伐倒した被害木については生分解性シートを用いた燻蒸処理を行っております。

また、被害跡地や成立本数の少ない松林では、県の試験研究機関による調査結果等に基づき、海岸部でも生育が良い複数の樹種を植栽し、多様な樹種で

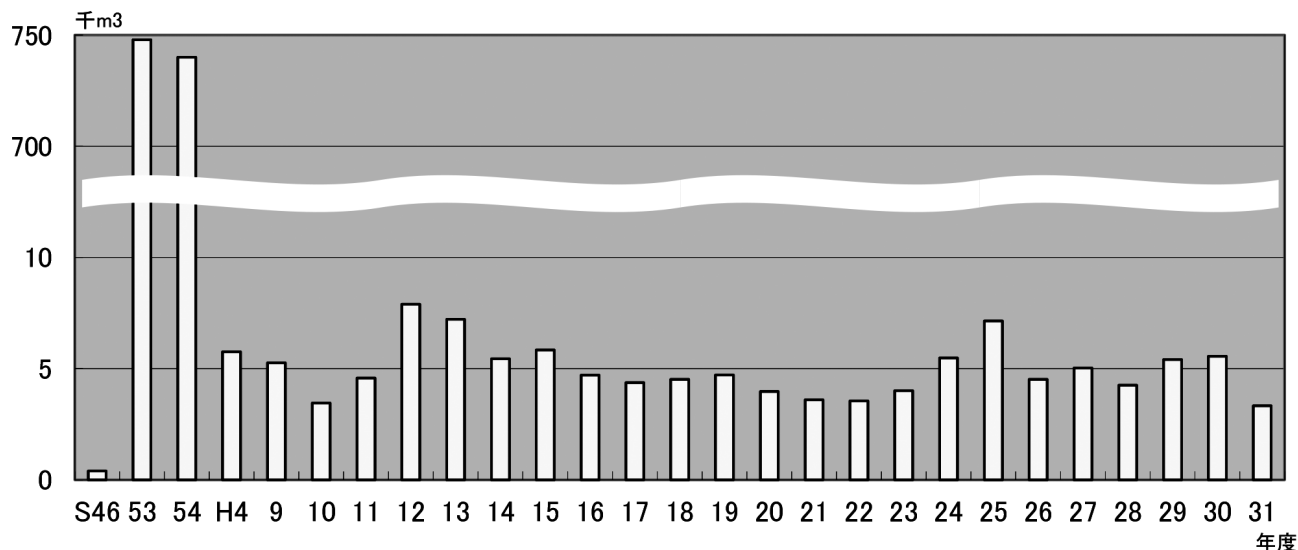


図-1 松くい虫被害の推移



写真-1 松くい虫予防散布（空中散布）



写真-2 裸地化した箇所への植栽

構成される海岸防災林づくりを進めています。例えば、被害が大きく裸地化している箇所にはクロマツ、トベラ、マサキ、カイツカイブキなどを（写真-2）、上層にマツは残っているものの、疎林化し機能の低下が危惧される箇所にはスダジイ、タブノキなどの



写真-3 疎林化した箇所への植栽

高木性常緑樹を主に植栽しております（写真-3）。また、ノウサギによる食害被害が見られるため、防獣ネット（写真-2, 3）を合わせて設置しています。

なお、県の研究機関においてマツノザイセンチュウ抵抗性マツの採種園を造成し、県苗組を通して苗木の生産を行っており、より被害に強い松林の造成に努めています。

○おわりに

海岸防災林は、潮害や飛砂などから住宅や農地を保全するとともに、津波に対して減災効果が期待されており、県民の生活と密接に関係しております。

こうした海岸防災林を健全な状態で将来に引き継いでいけるように、今後とも市町村等関係機関と連携しながら、松くい虫被害対策に継続して取り組んでまいります。

（茨城県農林水産部 林業課）

協会だより

どなたでも投稿できます！本誌に投稿してみませんか？

最近、「森林防疫」への投稿が少なくなっています。何年か前から原稿料を差し上げられなくなってしまい、ご多忙の中、本誌への原稿を書いてくださる執筆者の方々には大変申し訳ない状態です。それが投稿が少ない大きな要因とっております。自分の文が伝統ある雑誌に掲載される喜び、論文は2名のレフェリーによる査読付き、そんなものが執筆される皆様の支えになっているのかもしれませんが。

研究者の皆様にとっては、オリジナリティの高い研究成果を「森林防疫」に掲載するのはもったいない、というお考えもあるかと思えます。それも理解できますが、本誌の読者は研究者だけではありませんし、研究者でも専門から離れた学会の論文を読む機会は少ないのではないのでしょうか？国際誌に英語の論文で出した成果を、一般の読者に分かりやすく解説する日本語の雑誌、また、身近な観察の中から得られた貴重なデータを公表する場にもなります。本誌はそんな役割も果たせると思っております。

記事ばかりでなく、表紙写真の原稿もお待ちしております。

下に投稿規定を掲載しますので、どうぞ皆様、奮ってご投稿をお願いいたします。

森林防疫投稿規定 (2015.3改訂)

本文記事

1. 原稿の種類

本誌記事の原稿の種類には、論文（速報、短報を含む）、総説、解説、学会報告、記録、新刊紹介、読者の広場、病虫獣害発生情報、林野庁だより、および都道府県だより等があります。

2. 審査委員会

各分野8名の専門家よりなる審査委員会を設け、1件の原稿につき原則として2名の審査委員（主1，副1）が審査にあたります。審査委員会の意見により、著者に原稿の変更をお願いする場合があります。

3. 著作権

本誌記事の著作権は、全国森林病虫獣害防除協会に属します。本誌記事の電子ファイルを転載、公開、商用利用、二次情報の作成（データベース化など）などを行う場合には、利用許諾の申請をお願いします。

4. 印刷

本文の印刷は原則として白黒ですが、ご希望の場合は割増料金にてカラー印刷も可能です。別刷をご希望の方は、実費にて100部単位で受け付けます。別刷を御購入の方には、論文のPDFファイルを無償で差し上げますが、PDFファイル単体での分譲はいたしません。

5. 執筆要領

皆様からの投稿を歓迎いたします。執筆に当たっては、幅広い読者に対し、わかりやすく、読みやすく、見やすく記述していただきますようお願いいたします。

- 1) 原稿はできるだけ汎用性のあるソフトを用いて作成した電子ファイルによる投稿をお願いします。本文と図表, 写真は原則として別ファイルとして下さい。
- 2) 本文はできるだけMicrosoft Wordで作成してください。本文の最初の1枚目は, 原稿の種類, 表題(和文と英文), 連絡先住所・所属・氏名(ローマ字つづり), E-mailアドレス(非公開, 著者との連絡用), 別刷希望部数および写真・図表等資料の返送の要・不要, カラー印刷希望の有無について書き, 実際の内容は2枚目から書き始めて下さい。1ページ46字×39行にすると, 本誌の1ページと同じ字数になります。本文ファイルには, 図表の張り付けはせず, 説明文のみを本文末尾に付けて下さい。なお, 本誌誌面は2段組みですが, 原稿は段組みなしに設定して下さい。記事1件の長さは, 通常刷り上り10ページ以内としますが, 短編の記事も歓迎します。
- 3) 写真・図表もできるだけ電子ファイルで作成して下さい。それぞれ本文とは別ファイルで, 望ましいファイル形式は, 表はMicrosoft Excel (.xlsx), 写真はJPEG, 図はイラストであればJPEGまたはPDF, グラフであればMicrosoft Excelのグラフ(.xlsx)です。
- 4) 用語等については, 次の点に留意をお願いします。
 - ①常用漢字, 現代仮名遣いを用いてわかりやすく記述して下さい(ただし専門用語はこの限りではありません)。
 - ②生物の標準和名はカタカナで, 学名はイタリック体で表記します。
 - ③樹齢の表わし方は満年齢です(当年生, 1年生, 2年生, 40年生等)。
 - ④単位は記号を用いて下さい(例:m, cm, mm, ha, %等)。
 - ⑤年の表記は原則として西暦ですが, 行政上の文書や施行に言及するような場合は, 元号で構いません。
- 5) 本文の構成にはとくに既定しませんが, 例えば論文であれば1. はじめに, 2. 材料と方法, 3. 結果, 4. 考察, 等の見出しを付けることをお勧めします。また, 必要に応じてその下に中見出し(1), (2), …, 小見出し1), 2), …を付けて下さい。
- 6) 図表の見出しは, 表-1, 図-1, 写真-1…とします。図表の説明文は, 原稿本文の最後(引用文献の後)にページを改めて付けて下さい。
- 7) 文献は引用個所に「(著者姓 年号)」あるいは複数の場合は「(著者姓 年号; 著者姓 年号; …)」のように記し, 本文末に引用文献リストを付けて下さい。本文中の引用文献の著者名は, 2人までは全員の, また3人以上は筆頭著者の後を「ら」あるいは「*et al.*」として省略します。引用文献リストでは著者名は全員の名前を書きます。引用文献リストの文献の順番は, 著者名のアルファベット順, 同一著者については年代順とします。同一著者で同一年の場合は, 2004a, 2004b, …のように記して下さい。アルファベットの著者名では, イニシャルのピリオドは省略します。また, 誌名の略し方はNLM方式で, 分からない場合は<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog/journals>でお調べ下さい。文献リストは, 次の記載例を参考にしてお書き下さい。

論文引用

清原友也・徳重陽山(1971) マツ生立木に対する線虫*Bursaphelenchus* sp.の接種試験. 日林誌 53: 210
~ 218

Sepideh MA, Clement KM, Colette B (2009) Multigene phylogeny of filamentous ambrosia fungi associated with ambrosia and bark beetles. *Mycol Res* 113: 822 ~ 835

単行本部分引用

吉田成章 (1993) ヤツバキクイムシ. (森林昆虫 総論・各論. 小林富士雄・竹谷昭彦編, 養賢堂). 171 ~ 178

Shimazu M (2008) Biological control of the Japanese pine sawyer beetle, *Monochamus alternatus*. In: Pine wilt disease. Zhao BG, Futai K, Sutherland JR, Takeuchi Y (eds) Springer, 351 ~ 370

単行本全体引用

岸 洋一 (1988) マツ材線虫病-松くい虫-精説. トーマス・カンパニー, 東京 (ページ数記載不要)

ホームページ引用

内閣府 (2004) 森林と生活に関する世論調査. <http://www.cao.go.jp>..., 2004.10.1参照 (閲覧日を記入)

表紙写真

1. 表紙写真の種類

森の生物と被害に関係し, 表紙を飾るにふさわしい写真を募集いたします。カラー写真で, 単写真でも組写真でも結構です。内容は, 本文記事との関連の有無はどちらでも構いません。写真の原画は出来るだけ高解像度・低圧縮率の方が高画質できれいな表紙にできます。写真はJPEG形式のファイルとして下さい。

2. 表紙写真説明文

表紙写真には300 ~ 500字の説明文が必要です。説明文の最後には, 投稿者の所属と氏名をカッコ内に入れて記して下さい。

原稿の送付

本文記事, 表紙とも原稿はなるべくE-mail添付で, boujo@zenmori.org 宛てにお送り下さい。なお, 大きなファイルをメール添付した場合, 稀にトラブルがありますので, 添付ファイル送信時には, 原稿を送付したことを, 別便のメールにてご連絡下さいますようお願いいたします。

ファイルサイズが大きく, 添付が難しい場合は, ファイルをCDあるいはDVDに保存し, 郵便などで次の宛先にお送り下さい。

〒101-0047 東京都千代田区内神田1-1-12 (全森連内)

全国森林病虫獣害防除協会 森林防疫編集担当宛

森林病虫獣害発生情報：令和2年7～8月受理分

病害

なし


獣害

なし

(森林総合研究所 服部 カ/佐藤大樹/岡 輝樹)

虫害

なし

<p>マツクイ虫防除に多目的使用が出来る</p> <p>サンケイ スミパイン[®] 乳剤</p> <p>松枯れ防止樹幹注入剤</p> <p>グリーンガード[®]・NEO</p> <p>少量注入でケムシや吸汁性害虫を防除</p> <p>ウッドスター[®]</p> <p>伐倒木くん蒸用分解性シート</p> <p>ビオフレックス</p>	<p>樹木のケムシ退治に</p> <p>ディプロレックス[®] 乳剤</p> <p>ナラ枯れ予防用樹幹注入剤</p> <p>ウッドキング[®] DASH</p> <p>伐倒木用くん蒸処理剤</p> <p>キルパー40[®]</p> <p>マツクイ虫被害木伐倒駆除に</p> <p>パインサイド[®] S油剤D</p>																
<p> サンケイ化学株式会社 <説明書進呈></p>																	
<table border="0"> <tr> <td>本社</td> <td>〒891-0122</td> <td>鹿児島市南栄2丁目9</td> <td>(099)268-7588</td> </tr> <tr> <td>東京営業部</td> <td>〒366-0032</td> <td>埼玉県深谷市幡羅町1丁目13-1</td> <td>(048)551-2122</td> </tr> <tr> <td>大阪営業所</td> <td>〒532-0011</td> <td>大阪市淀川区西中島2丁目14-6 新大阪第2ト'化'ル3F</td> <td>(06)6305-5871</td> </tr> <tr> <td>九州北部営業所</td> <td>〒841-0025</td> <td>佐賀県鳥栖市曾根崎町1154-3</td> <td>(0942)81-3808</td> </tr> </table>		本社	〒891-0122	鹿児島市南栄2丁目9	(099)268-7588	東京営業部	〒366-0032	埼玉県深谷市幡羅町1丁目13-1	(048)551-2122	大阪営業所	〒532-0011	大阪市淀川区西中島2丁目14-6 新大阪第2ト'化'ル3F	(06)6305-5871	九州北部営業所	〒841-0025	佐賀県鳥栖市曾根崎町1154-3	(0942)81-3808
本社	〒891-0122	鹿児島市南栄2丁目9	(099)268-7588														
東京営業部	〒366-0032	埼玉県深谷市幡羅町1丁目13-1	(048)551-2122														
大阪営業所	〒532-0011	大阪市淀川区西中島2丁目14-6 新大阪第2ト'化'ル3F	(06)6305-5871														
九州北部営業所	〒841-0025	佐賀県鳥栖市曾根崎町1154-3	(0942)81-3808														

森林防疫 第69巻第5号(通巻第740号)
令和2年9月25日 発行(奇数月25日発行)

編集・発行人 村松二郎
印刷所 松尾印刷株式会社
東京都豊島区東池袋5-45-5
ASビル

☎ (03) 5944-9853

定価 1,240円(送料込, 消費税別)
年間購読料 6,200円(送料込, 消費税別)

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

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