

森林防疫

FOREST PESTS

— 森の生物と被害 —



目次

年頭所感 国立研究開発法人森林研究・整備機構 沢田治雄・・・・・・・・・・・・・ 3

速報

国内初記録のギンバナスガの1種(*Thecobathra lambda* (Moriuti),フウノキギンバナスガ(新称))によるモミジバフウ(*Liquidambar styraciflua*)の被害について
[柳本和哉・榎崎康二・坂巻祥孝・上田明良・後藤秀章]・・・・・・・・・・・・・ 5

論文

キバチ共生菌キバチウロコタケ接種木に対するオナガキバチの産卵選好性と繁殖成功率
[松本剛史・佐藤重穂]・・・・・・・・・・・・・ 9
“ニホンジカ・カモシカ識別キット”—その使い方と使用例—
[相川拓也]・・・・・・・・・・・・・ 15

解説

航空機熱赤外センサによるシカ調査手法の開発
[田村恵子・宮阪 聡・吉田夏樹・宇野女草太]・・・・・・・・・・・・・ 25

都道府県だより：佐賀県・山形県・・・・・・・・・・・・・ 32
協会だより・・・・・・・・・・・・・ 35
森林病虫獣害発生情報：平成29年11月・12月受理分・・・・・・・・・・・・・ 38



[表紙写真] オナガキバチ *Xeris malaisei* Maa の産卵行動

オナガキバチは近縁他種と異なり、菌嚢(マイカンギア)を持たず、共生菌を保持しないが、材内で幼虫が生育するために、他種キバチ類が産卵と同時に接種したキバチウロコタケ *Amylostereum laevigatum* を利用していることが示唆された(本文9~14ページ参照)。本種の雌成虫は丸太上に着地したのち、触角を激しく叩き付けながら丸太表面を移動し(写真：上から下へ触角の動きに注目)、数分間探索を行ったのちに腹部を屈曲させて産卵する。この探索行動は、幼虫の生育に必要と考えられているキバチウロコタケの存在を認識するためと考えられる。本種雌成虫は、キバチウロコタケの存在を何らかの化学的因子によって検知し、産卵木を選んでいる可能性がある。

(森林総合研究所 森林昆虫研究領域 松本剛史)

平成30年年頭所感

国立研究開発法人森林研究・整備機構理事長 沢田治雄¹



新年を迎え、謹んで年頭のご挨拶を申し上げます。

バブルの終焉期から始まった平成時代は、リーマンショックを経て速くも30年となりました。この30年の間に「Windows」、「インターネット」、「SNS」など、IT分野が急速に発達し、情報流通の著しい発展をもたらしました。一方でアメリカ同時多発テロ事件やアフガニスタン紛争、イラク戦争、さらには北朝鮮問題など不安定な国際社会が続いています。加えて日本では阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震が発生しました。また福島第一原子力発電所の事故は平成時代の負の遺産として長く伝えられることとなりました。

このような状況が続く中で、昨年も日本では長野県南部地震や九州と中国地方の豪雨災害、さらに愛知県と岐阜県での豪雨など、多くの自然災害が発生しました。いまだに渦中におられる方々にはこの場をお借りしてお見舞い申し上げます。

昨年、京都議定書採択から20年になりましたが、世界の異常気象は増加し続けています。しかし、先進国・開発途上国の区別なく気候変動対策の行動を義務付ける画期的なパリ協定は、米国が離脱宣言し、足並みがそろっていません。世界各国の協調活動のベースとなる情報とモデルの質を高めることが求められているとも言えるでしょう。

このように地域から地球規模まで、様々なスケールで社会と自然環境が変わり、森林と人とのかわり方も大きく変わってきています。それでも日本の森林は成長を続け、人々の暮らしを守る国土を築いています。しかし森林の4割を占める人工林はその半分以上が伐期を迎え、森林の多面的機能を維持・増進するためには循環する森林の活用を図ることが急務となっています。そこで森林総合研究所では木材利用を促進する新たな技術開発を進めています。代表的な例はセルロースナノファイバーの利用と改質リグニンの利用です。どちらも木材のマテリアル利用と言えますが、木材から抽出して素材として利用し、フィルムやフィルターなどの製造に使います。石油由来の素材よりも安価で高品質の製品が造れるものもある上に、環境に優しい技術を考案して森林地帯での加工を可能としています。さらにITのように普及される技術となって日本の木材利用の一層の牽引役となることを期待しています。

¹SAWADA, Haruo

放射性能汚染を受けた福島県は住民の生活が戻りつつある地域でも人為的な除染は困難となっています。森林生態系が放射能汚染を受けることは今後あってはならないことですが、正確な情報を積み上げるためにも被災森林における地道な研究を続け、復興を支援してまいります。

さらに、病虫害被害や生物多様性など、森林・林業・木材産業にかかわる問題は多岐にわたりますが、産学官連携と国民の皆様との連携（産学官民連携）を強化して対応する所存です。「国立研究開発法人森林総合研究所」を「国立研究開発法人森林研究・整備機構」と、昨年名称変更した私たちの強みはその構成員が研究所員だけではないことです。民有林における水源林造成業務と森林経営リスク回避のための森林保険業務も行っています。これらの業務を通じて研究成果が実際に森林へもたらされることを目指しています。森林総合研究所は設立されて112年経ち、新潟の十日町試験地は設立100周年を迎え、林木育種センターは60周年、森林保険センターが取り扱う森林保険制度は発足から80年を迎えました。現在の森林状況を造られたこれらの長期の活動にも思いをはせています。

森林管理は数十年を単位とする活動ですから森林の造成や保育をした者が成林した森林の恩恵にあずかれないことは普通です。私も次世代の繁栄を夢見る者達の一員として活動してまいりたいと願っています。

本年もご支援、ご鞭撻のほど、よろしくお願い申し上げます。

速報

国内初記録のギンバナエスガの1種 (*Thecobathra lambda* (Moriuti), フウノキギンバナエスガ(新称)) によるモミジバフウ (*Liquidambar styraciflua*) の被害について

柳本和哉¹・榎崎康二²・坂巻祥孝³・上田明良⁴・後藤秀章⁵

1. はじめに

2017年9月、長崎県諫早市において、街路樹のモミジバフウ (*Liquidambar styraciflua*: 別名アメリカカフウ) の葉が食害を受け、樹木全体の葉が枯れたようになり、その後白い糸で薄く包まれるように見える被害が発生した。

その後の調査で、この被害はフウノキギンバナエスガ(新称) (*Thecobathra lambda* (Moriuti), スガ科) によるものであることが判明したため、この報告では以下にこの和名を使用する。

また、フウノキギンバナエスガは国内初記録であり、モミジバフウを食害することも初記録であった。

さらに本種は福岡県でモミジバフウを食害していることと、鹿児島県にも分布していることが判明した。

2. 長崎県での発見の経緯と被害の発生状況

【フウノキギンバナエスガの発見の経緯】

2017年9月5日、長崎県諫早市内の有明海沿いにある国道207号線で、街路樹であるモミジバフウの葉が食害を受けている、と諫早市役所小長井支所から連絡があり(写真-1)、9月7日に被害葉と食害している幼虫が長崎県農林技術開発センターに持ち込まれた。その後、執筆者の一人、坂巻が交尾器の形態をもとに羽化成虫からフウノキギンバナエスガ *Thecobathra lambda* (Moriuti) であることを同定した(写真-2)。本種はこれまで台湾、中国、タイで確認されている(Moriuti 1963, 1971)が、日本国内では初記録であった。

また、本種の食樹はフウ (*Liquidambar formosana*: 別名台湾フウ) のみしか知られておらず、モミジバフウでの記録ははじめてであった。

【長崎県での被害の発生状況】

2017年9月5日に長崎県諫早市内の国道207号沿線のモミジバフウ約300本で、本種の幼虫による、葉を薄くそぎ取るような食害により、葉が茶色く変色し、枯れたように見える被害が発見された(写真-3)。その後、繭をつくる際に大量に糸を張ると、樹全体が白い糸で薄く包まれたように見える状態となった。このため、9月12日から10月2日にかけて、被害木の枝を剪定し幼虫と繭ごと焼却処分する駆除を行った。

しかし、10月4日に、被害発生地周辺で当初被害



写真-1 長崎県の被害状況(国道207号線沿線)

First record of *Thecobathra lambda* (Moriuti) (Lepidoptera: Yponomeutidae) damaging the American sweetgum, *Liquidambar styraciflua* in Kyushu, Japan

¹YANAGIMOTO, Kazuya, 長崎県農林技術開発センター森林研究部門; ²NARAZAKI, Koji, 福岡県農林業総合試験場資源活用研究センター; ³SAKAMAKI, Yosataka, 鹿児島大学農学部; ⁴UEDA, Akira, 森林総合研究所九州支所; ⁵GOTO, Hideaki, 森林総合研究所九州支所

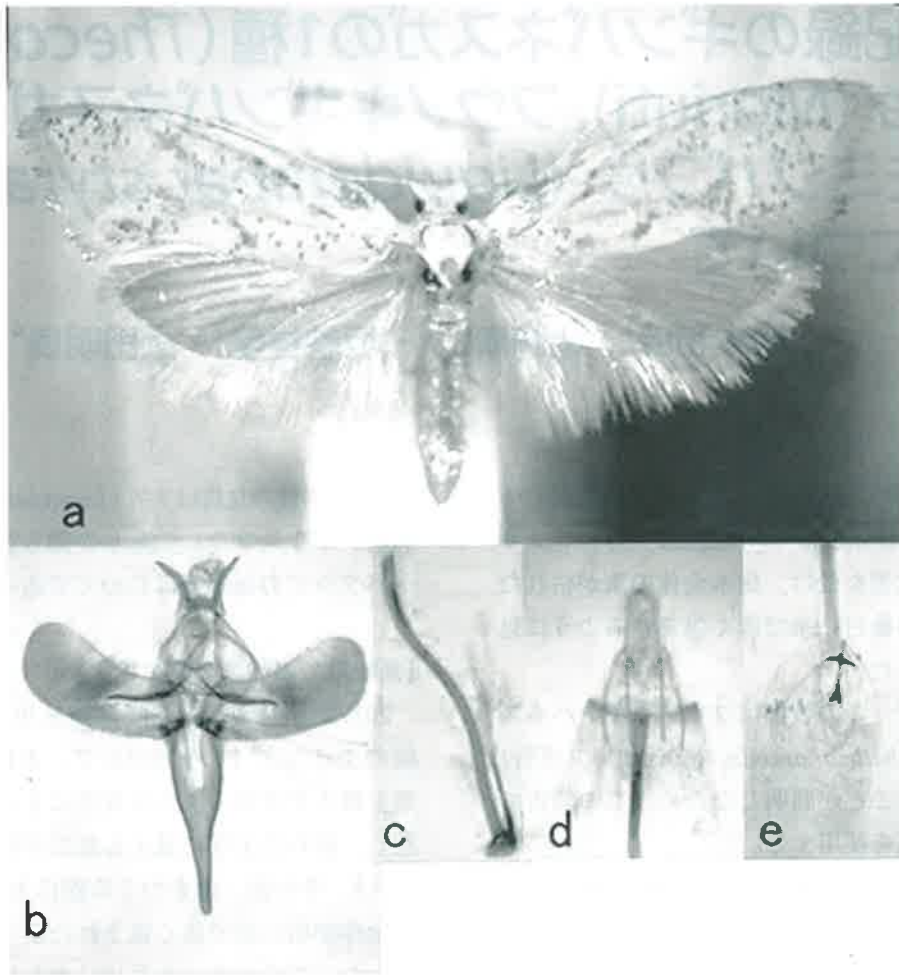


写真-2 フウノキギンバネスガの成虫標本および雌雄交尾器

a : 成虫展翅標本 (鹿児島大学郡元キャンパス産 (鹿児島市), b - c : 雄交尾器 (諫早市産), d - e : 雌交尾器 (諫早市産)。

のなかったモミジバフウの街路樹20本で新たな被害が発見され、本種の幼虫と繭が見つかった。このことから、年に複数回の世代交代を繰り返しながら増殖し、激害をもたらしていると考えられる。

また、本種の食樹としてはフウが知られていたことから、同日に、諫早市内のフウの街路樹を調査してみたが、幼虫・成虫ともに発見することができず、被害も見られなかった。

【フウノキギンバネスガについて】

10月4日にモミジバフウを食害していた本種の幼虫と繭を被害木の枝葉ごと採取し、長崎県農林技術開発センターの空調のない室内で、モミジバフウの

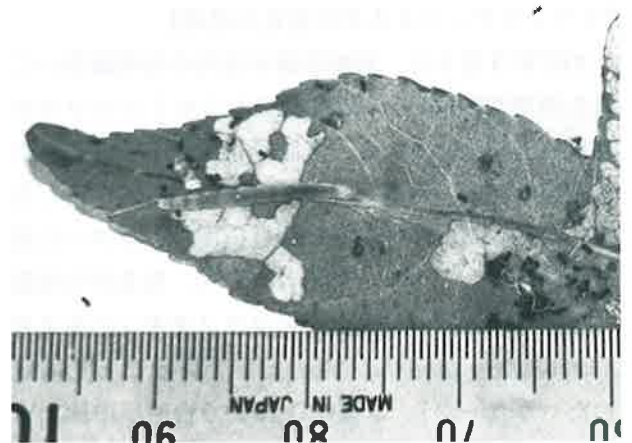


写真-3 葉を食害している幼虫 (諫早市産)

枝葉と一緒に透明のプラスチック製飼育ケース（縦25cm横40cm高さ26cm）に入れ、観察を行った。新しい食葉（モミジバフウ）の追加は3日おきに行った。

採取時には体長15mm程度の終齢幼虫であり、10月5日から葉の裏やケースに白い糸で繭をつくり、その中で蛹化した。

また、繭の状態で採取してきたものは10月10日から羽化が見られ、成虫は10月16日頃から死亡した。この間に飼育ケースには食葉しか置かず、水や餌は与えなかった。

この時に羽化した成虫は体長5mm、開帳13mm程の白い蛾で前翅に小さな斑点が見られた。

3. 長崎県以外の分布および被害の発生状況 【福岡県での被害の発生状況】

2017年10月10日に、久留米市内の福岡県農林業総合試験場資源活用研究センターの敷地内に植栽されているモミジバフウ11本において、本種の幼虫の食害により葉が枯れたように萎れ、樹冠全体が幼虫の出す糸によるネットで覆われている被害が確認され

た（写真-4,5）。被害葉やネットには体長2mmから15mm程度の幼虫が大量に徘徊しており、さらにネットや木の枝から幼虫が糸で垂れ下がる様子も確認された。幼虫のネットは、樹下の低木や草本、落葉層の表面（写真-6）、隣接する建物まで張られていた。繭は葉、枝、樹皮（写真-7）、落葉層、建物の凹凸など幼虫がネット上を移動した先の様々な場所で確認された。

その後、久留米市内の別の2箇所（緑化木、街路樹）、飯塚市内（街路樹）、福岡市内（緑化木）において本種の幼虫によるモミジバフウの被害が確認された。これらの箇所では、樹冠全体がネットで覆われるほどの被害がなかった。

なお、これら3つの市で発生した幼虫すべてが本種であったことを、成虫の交尾器の形態で確認した。

【鹿児島県での捕獲記録】

鹿児島大学郡元キャンパス内（鹿児島市）にもモミジバフウが植栽されており、類似の食痕が一部の葉に認められたことから、10月20日及び11月8日に



写真-4～5 樹冠全体がネットに覆われたモミジバフウ（久留米市）



写真-6 落葉層の表面に張られたネット (久留米市)

構内を調査したところ、本種成虫を3頭採集した(写真-2)。

4. おわりに

どのようにして本種が日本に入り、モミジバフウを食害するようになったかは不明であるが、これまでに長崎県(諫早市)・福岡県(福岡市, 久留米市, 飯塚市)と被害が離れた複数個所で発生し、鹿児島県(鹿児島市)でも分布が確認されていることから、その他の場所でも本種が生息している可能性が高いと考えられる。今後の被害拡大に注意が必要である。



写真-7 樹皮の凹凸に形成されたフウノキギンバネスガの繭 (久留米市)

引用文献

- Moriuti S (1963) Studies on the Yponomeutoidea (II), Two Yponomeutid genera, *Niphonympha* and *Pseudocalantica*, of Japan and Formosa (Lepidoptera). *Kontyu* 31: 215 ~ 233
- Moriuti S (1971) A revision of the world species of *Thecobathra* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Kontyu* 39: 230 ~ 251

(2017.11.30受付, 12.18掲載決定)

論文

キバチ共生菌キバチウロコタケ接種木に対するオナガキバチの産卵選好性と繁殖成功度

松本剛史¹・佐藤重穂²

1. はじめに

キバチ類は幼虫が材を摂食し、しばしば被害を引き起こすことがある。キバチ科Siricidaeの昆虫のうち、キバチ亜科Siricinaeは針葉樹を、ヒラアシキバチ亜科Tremecinaeは広葉樹を寄主植物とする (Smith 1978)。日本においてはキバチ亜科が4属(ルリキバチ属*Sirex*, キバチ属*Urocerus*, オナガキバチ属*Xeris*, マダラキバチ属*Xoanon*) が生息する (九州大学 1999)。四国に分布するキバチ亜科であるニホンキバチ*Urocerus japonicus*, ヒゲジロキバチ*U. antennatus*およびオナガキバチ*Xeris malaisei* (以前は*X. spectrum*とされていた; Goulet *et al.* 2015) は、日本の代表的な造林樹種であるスギ*Cryptomeria japonica*およびヒノキ*Chamaecyparis obtusa*を加害し、材質劣化害虫として問題にされている (奥田 1989a, b; 佐野ら 1995)。

キバチ類雌成虫は腹部に*Amylostereum*属の担子菌類を貯蔵する袋状の器官である菌嚢 (マイカンギア) を有しており (福田 1997; 福田・前藤 2001), その菌を産卵時に材内に接種する。材内で孵化した幼虫は成虫が接種した菌が分解した材を摂食していると考えられている (Morgan 1968; Kukor and Martin 1983)。この*Amylostereum*属菌の接種によって材変色被害が引き起こされることが明らかとなっている (福田 1997) (写真-1)。

ニホンキバチおよびヒゲジロキバチはキバチウロコタケ*Amylostereum laevigatum*を共生菌として保持している (Tabata and Abe 1997, 1999)。ところがオナガキバチは共生菌や共生菌を保持する器官である菌嚢も有しない (Fukuda and Hijii 1997)。福田 (1997) は、他種由来のキバチウロコタケを人工的にスギ丸太に接種した状態でオナガキバチ雌に強



写真-1 キバチ類によるスギ材変色被害

制産卵試験を行ったところ、キバチウロコタケ接種丸太から成虫の羽化脱出が認められ、オナガキバチは他種キバチが保持するキバチウロコタケを利用する生態をとる、キバチウロコタケを介した労働寄生的生活環を有することを示唆した。

しかし、ニホンキバチおよびヒゲジロキバチが産卵時に接種するキバチウロコタケの生態は詳細には明らかにされていない。ニホンキバチの羽化脱出密度や繁殖成功度は材の含水率 (佐藤ら 2004) や伐倒からの経過時間 (松本・佐藤 2015a) により左右され、これらは材内におけるキバチウロコタケの繁殖状態と関係があると考えられている (松本・佐藤 2015b)。すなわちニホンキバチおよびヒゲジロキバチが産卵時にキバチウロコタケを接種したとしても、キバチウロコタケが十分に繁殖できない場合、オナガキバチが生育できず、オナガキバチの産卵資

Oviposition preference and reproductive success of a horntail, *Xeris malaisei* to the woods inoculated with the symbiont fungus of woodwasps, *Amylostereum laevigatum*.

¹MATSUMOTO, Takeshi, 森林総合研究所森林昆虫研究領域; ²SATO, Shigeho, 森林総合研究所北海道支所

源として利用できない可能性がある。松本・佐藤(2015b)は、ヒノキ丸太に人工的にキバチウロコタケを接種し、接種木を野外に設置したところ、翌年接種木からオナガキバチが羽化脱出してきたことを報告し、オナガキバチの繁殖にキバチウロコタケの存在が必須であることを屋外試験で明らかにしたが、詳細な産卵選好性についてはさらなる試験が必要である。

そこで、本研究では人工的にキバチウロコタケを接種した材を用いて、網室内におけるオナガキバチの産卵選好性およびその繁殖成功率について詳細に調査した。

2. 材料と方法

2.1. キバチウロコタケ人工接種木の作製

高知県高知市の森林総合研究所四国支所(以下四国支所)の実験林のスギ(2013年時点で39年生、平均胸高周囲長39.3cm)を試験木として使用した。キバチウロコタケは高知県産のニホンキバチの菌囊から分離し、四国支所で継代培養してあるFD-375株を用いた。乾熱滅菌した爪楊枝の先端部15mmをPDA培地上に配置し、キバチウロコタケを同時に接種して1か月間暗黒下、25℃で培養して、キバチウロコタケの菌糸を蔓延させたものをキバチウロコタケ種駒とした。2013年6月7日にスギ生立木にキバチウロコタケ種駒を接種した。接種区として6本のスギ生立木の地上高100cm、125cmおよび150cmの部位に、その周囲に5cmおきに直径2mm、深さ15mmの孔を開け、その孔に種駒を接種した。また6本のスギ生立木に無菌種駒(乾熱滅菌を行い無菌のPDA培地に配置した爪楊枝先端部)を同様に接種したものを対照区とした。接種点からの乾燥を防ぐために、伐倒するまで接種点を含む試験木の周囲(地上高100cm、125cmおよび150cmの部位の3か所)を粘着テープで覆った。2014年4月9日に試験木を伐倒し、地上高75cmおよび175cmの部位で玉切りして、1mの試験材12本(接種区6本、対照区6本)を得た。試験材は四国支所の網室(幅1.5m×奥行き3m×高さ2m)に搬入し、接種区と対照区の試験材

が交互になるように立てかけた。

2.2. 産卵選択試験

2014年5月12～13日にオナガキバチ成虫雌雄各15個体を、試験材を配置した網室内に放飼し自由に交尾・産卵させた。2014年11月に試験材の外樹皮を剥皮し、オナガキバチによる産卵孔の数と位置を調査した。調査後の試験材は1本ずつ寒冷紗(1mmメッシュ)で作製した網袋に包み、四国支所構内の網室(上記網室とは異なる網室)に立て掛けた。2015年4～8月に羽化脱出してきたオナガキバチ成虫を、豪雨時を除くほぼ毎日捕獲・記録した。また、2015年9月にオナガキバチ成虫の羽化脱出孔数を調査した。本試験においては試験期間以前のキバチ類による産卵孔も含まれている可能性は否定できないが、対照区での産卵孔数がきわめて少なかったことから(結果参照)、古い産卵孔は無視できると考え、剥皮時に確認された産卵孔は全て本試験におけるものとした。

2.3. 繁殖成功率の算出方法

本試験では、オナガキバチの材内における繁殖成功率を[該当丸太におけるオナガキバチの羽化脱出孔数]/[該当丸太におけるオナガキバチの産卵孔数]×100という式で定義する。しかしオナガキバチは1産卵孔に2～3の卵を産み付けるとされている(金光1978;奥田1989b)。1産卵孔に産下された卵数を非破壊的に調べることは困難であるため、材内におけるオナガキバチの正確な繁殖成功率を示してはいない可能性が高い。すなわち、本試験において繁殖成功率が100%を越える場合があり、実際の材内におけるオナガキバチの繁殖成功率と比較すると過大評価されている可能性がある。

3. 結果

産卵孔数(図-1)は、接種区では1本あたり 11.7 ± 3.3 孔(平均±標準偏差 以下同)であったが、対照区では 0.33 ± 0.52 孔で、雌成虫はキバチウロコタケを接種した材を好んで産卵した(U 検定、 $p=0.0033$)。接種区では全ての材に産卵孔があったが、対照区では2本のみに産卵孔が認められた。翌

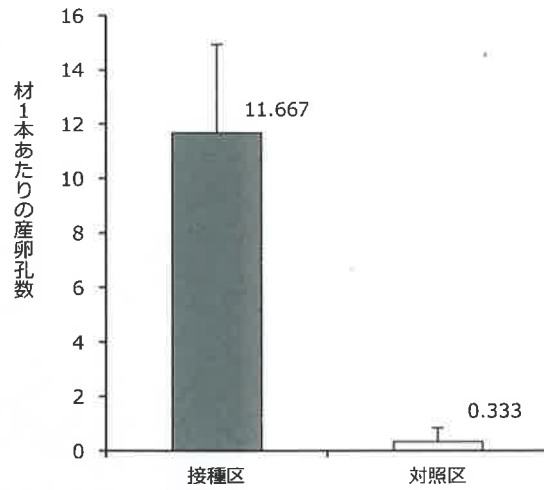


図-1 オナガキバチ雌成虫の産卵選好性比較 (エラーバーは片側の標準偏差)

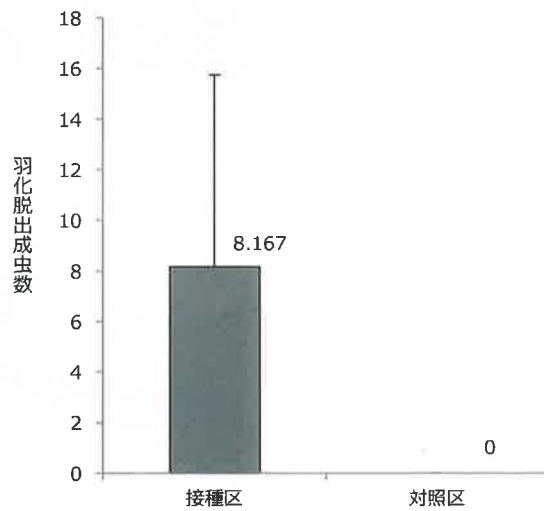


図-2 オナガキバチ羽化脱出数の比較 (エラーバーは片側の標準偏差)

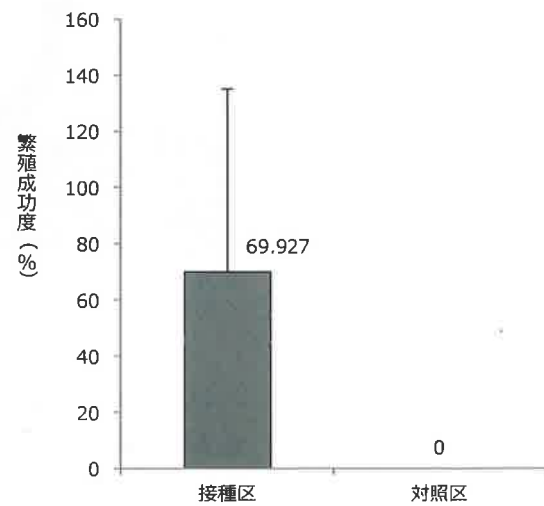


図-3 オナガキバチの材内繁殖成功率の比較 (エラーバーは片側の標準偏差)

年羽化脱出してきたオナガキバチ成虫数(図-2)は、接種区で 8.2 ± 7.6 個体であったが、対照区からは羽化脱出が認められなかった(U 検定, $p=0.0021$)。また接種区6本の材全てから成虫が羽化してきた(1本から1~22個体)。繁殖成功率(図-3)は、接種区で $69.9 \pm 65.1\%$ 、対照区では0%であった(U 検定, $p=0.0021$)。また、本試験ではオナガキバチ以外のキバチ類は羽化脱出しなかった。

4. 考察

本試験において、オナガキバチはキバチウロコタケ接種木と非接種木を区別して産卵し、また材内における発育にキバチウロコタケの存在が必要である可能性が高いことが示され、これは松本・佐藤(2015b)と同様の結果であった。また、スギ生立木にキバチウロコタケを種駒として接種して1年後に伐倒し産卵選好性試験を行った結果から、キバチウロコタケはスギ生立木の中で留まって生存していたことが示唆された。Tabata and Abe (1999)はキバチウロコタケには材腐朽能力はないと報告しているが、松本・佐藤(2014)はキバチウロコタケがスギ・ヒノキに対して腐朽能力を有する白色腐朽菌であることを明らかにしている。しかし本試験においてキバチウロコタケ接種1年後に伐倒処理を行ったところ、接種部は星形の材変色を呈していた(写真-2)ものの、目視で判断できる材の腐朽は認められなかった。このことから、キバチウロコタケはスギ生立木に接種された場合、腐朽を伴う成長はできずに接種点に留まるが、伐倒などでスギの生体防御反応が停止した時に成長を始める、ということが示唆される。堀ら(2001)もスギ生立木へのキバチウロコタケ接種試験において、約7か月間生立木内で定着(生存)していたことを報告しており、本試験ではオナガキバチは、生立木状態でキバチウロコタケを接種されたスギを利用することができることが明らかとなった。

オナガキバチ雌成虫が、1年前に菌を接種された木においても材内のキバチウロコタケの存在を認識して産卵したことは興味深い。オナガキバチ雌成虫



写真-2 キバチウロコタケ接種1年後に伐倒したスギ木口面(接種点に対応して等間隔の変色が認められる)

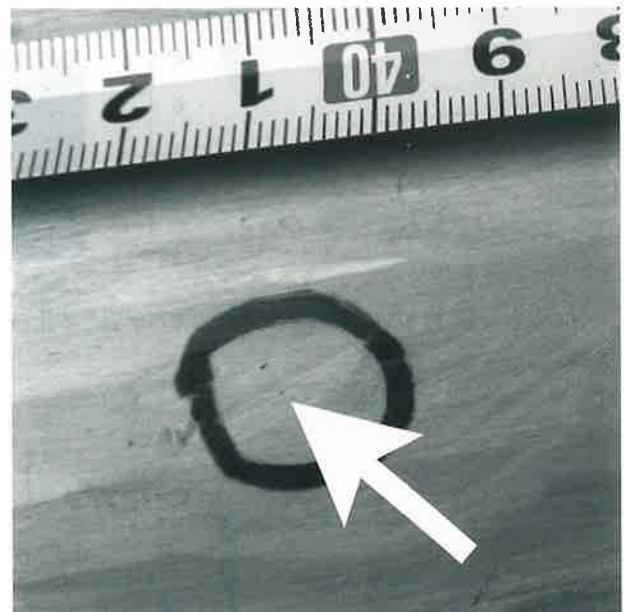


写真-3 オナガキバチの産卵孔(注:産卵孔を矢印で示す)

に対する誘引活性を示す揮発性物質は α -ピネンであることが明らかとなっている(Matsumoto and Sato 2012)が、キバチウロコタケ接種丸太と非接種丸太における α -ピネン揮発量に明確な違いは認

められない (松本 未発表)。本試験で観察の結果、オナガキバチは丸太上に着地したのち、触角を激しく叩き付けながら丸太表面を移動し、数分間探索を行ったのちに腹部を屈曲させて産卵することが確認された (表紙写真参照)。これに対しニホンキバチおよびヒゲジロキバチはオナガキバチと異なり、丸太に着地後まもなく産卵することが多い (松本 未発表)。キバチウロコタケを接種したスギ・ヒノキ丸太から発せられる成分をGC-MSで分析したところ、接種丸太に特異的な成分は認められなかったものの、分子内の炭素数15であるセスキテルペンと呼ばれる一群の化学成分の種類と揮発量のパターンが接種区と非接種区で有意に分かれた (松本 未発表)。セスキテルペン類は揮発性が低く、匂いと味覚 (接触によって認識される化学成分) の中間の特徴を持ち合わせる。オナガキバチ雌成虫が丸太上で触角を激しく叩き付ける行動は、このような揮発しにくい成分を認識するための行動であると考えられる。今後、キバチウロコタケ接種丸太および非接種丸太由来の成分を詳細に分析し、オナガキバチ雌成虫に対する生理活性試験の実施が必要である。

さらに本研究で得られた知見は、キバチ類による材変色被害木の非破壊的判別方法に応用することも期待できる。キバチ類による材変色被害 (写真-1) は木口面で認められるものであり、生立木の状態では判別することができない。また、キバチ類の産卵孔は直径0.1mm程度と小さいため (写真-3)、非破壊的に調査することは困難である。材変色被害は、衰弱・被圧状態にある生立木にキバチ類が産卵と同時に接種するキバチウロコタケによって引き起こされる。松本・佐藤 (2015b) は、オナガキバチはキバチウロコタケ接種材に誘引され産卵することを示し、寄主への誘引および産卵選好に揮発性のある化学的因子が関与している可能性を示したが、本研究の結果からは、オナガキバチ雌成虫がキバチウロコタケ接種木由来の材表面で認識する揮発性の低い、前述とは性質の異なる化学的因子に刺激され産卵している可能性が高いと考えられた。材変色被害は、主伐または間伐時に初めて顕在化し、山主は安い価

格で材を売ることを余儀なくされている。オナガキバチ雌成虫が誘引および材表面において寄主選好に利用しているこれらの化学的因子を明らかにして、生立木の外部から測定する技術が確立されれば、変色被害木か未被害木かを非破壊的に判定することが可能になる。今後、キバチウロコタケ接種木由来の化学的因子の探索およびそれに対するキバチ類の応答に関する研究を進める必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、試験木の運搬および剥皮作業では森林総合研究所四国支所 弘田孝行氏、門田春夫氏および森林総合研究所四国支所 非常勤職員 友村俊一氏、門田 淳氏および山田 茜氏にご助力を頂いた。この場を借りて深く感謝する。本研究の一部は、旧(独)森林総合研究所エンカレッジモデルによる研究支援を受け実施した。

引用文献

- 福田秀志 (1997) キバチ類3種の資源利用様式と繁殖戦略. 名大森研 16 : 23 ~ 73
- Fukuda H, Hiji N (1997) Reproductive strategy of a woodwasp with no fungal symbionts, *Xeris spectrum* (Hymenoptera: Siricidae). *Oecologia* 112: 551 ~ 556
- 福田秀志・前藤 薫 (2001) スギ・ヒノキの材変色被害に関与するキバチ類とその共生菌 - 防除技術の構築を目指して - . 日林誌 83 : 161 ~ 168
- Goulet H, Boudreault C, Schiff NM (2015) Revision of the World species of *Xeris* Costa (Hymenoptera: Siricidae). *Can J Arthropod Identif* 28: 1 ~ 127
- 堀 文子・佐野 明・福田秀志・伊藤進一郎 (2001) 間伐処理がニホンキバチ共生菌 (*Amylostereum* 属菌) のスギ材への定着に及ぼす影響. 中部森林研究 49 : 95 ~ 96
- 金光桂二 (1978) 針葉樹に入るキバチ類とその寄生蜂. 昆虫 46 : 498 ~ 508
- Kukor JJ, Martin MM (1983) Acquisition of digestive enzymes by sirisid woodwasps from their

- fungal symbiont. *Science* 220: 1161 ~ 1163
- 九州大学 (1999) 日本産昆虫目録データベース.
<http://konchudb.agr.agr.kyushu-u.ac.jp/mokuroku/index-j.html> 2017.10.25参照
- Matsumoto T, Sato S (2012) Differential responses to *a*-pinene of two horntail wasps, *Urocerus antennatus* and *Xeris spectrum* (Hymenoptera: Siricidae). *Bulletin of FFPRI* 11: 51 ~ 55
- 松本剛史・佐藤重穂 (2014) キバチ類に共生するキバチウロコタケ *Amylostereum laevigatum* の木材腐朽能力試験. *森林応用研究* 23: 11 ~ 14
- 松本剛史・佐藤重穂 (2015a) スギ伐り捨て間伐施業法の違いからみたキバチ類の発生状況 - 高知県香美市の事例 -. *応用森林研究* 24: 9 ~ 13
- 松本剛史・佐藤重穂 (2015b) キバチ共生菌キバチウロコタケ *Amylostereum laevigatum* を接種した材へのオナガキバチ *Xeris spectrum* の産卵選好度と繁殖成功度. *日林誌* 97: 238 ~ 242
- Morgan FD (1968) Bionomics of Siricidae. *Ann Rev Entomol* 13: 239 ~ 256
- 奥田素男 (1989a) ニホンキバチの生態と加害. *森林防疫* 38: 12 ~ 16
- 奥田素男 (1989b) オナガキバチの生態. 第40回日林関西支講 40: 47 ~ 49
- 佐野 明・三原由美・伊藤進一郎 (1995) キバチ属 (*Urocerus*) 2種の共生菌胞子貯蔵器官から分離された菌類. *日林中支論* 43: 125 ~ 126
- 佐藤重穂・前藤 薫・田端雅進・宮田弘明・稲田哲治 (2004) ニホンキバチの羽化成虫数に影響を及ぼす要因 - 夏季のスギ間伐放置木において樹木個体間で成虫発生数が変動する要因 -. *樹木医学研究* 8: 75 ~ 80
- Smith DR (1978) Hymenoptera Catalogue. In: Pars 14 (Nova ed) Dr Junk W, BV Publishers, The Hague, Holland. 43 ~ 128
- Tabata M, Abe Y (1997) *Amylostereum laevigatum* associated with the Japanese horntail, *Urocerus japonicus*. *Mycoscience* 38: 421 ~ 427
- Tabata M, Abe Y (1999) *Amylostereum laevigatum* associated with a horntail, *Urocerus antennatus*. *Mycoscience* 40: 535 ~ 539
(2017.10.26受付, 2017.11.15掲載決定)

“ニホンジカ・カモシカ識別キット” – その使い方と使用例 –

相川拓也¹・堀野眞一²・市原 優³・高橋裕史⁴

1. はじめに

ニホンジカ（シカ）は鯨偶蹄目－シカ科－シカ属に属する動物で、日本を代表する大型野生動物である。このシカが近年急激な勢いで増えている。最新の資料によると、2015年度末において、北海道を除く本州以南のシカの頭数は約304万頭と推定されており、1989年の30万頭と比較すると、その数は実に10倍以上に膨れ上がっている（環境省自然環境局2017）。このようにシカが過剰に増加したことにより、日本各地で食害による自然植生の崩壊、また、農業や林業への被害が顕著になってきていることから、その対策が急務となっている。

シカの被害対策を講じる上で、分布域や生息密度を把握することは不可欠である。その調査方法のうち、最も安価でかつ有効な方法として、糞粒法あるいは糞塊法といったシカの糞を利用する方法がある（岩本ら 2000；宇野ら 2007；濱崎ら 2013）。ところが、シカの糞粒はカモシカの糞粒とよく似ており、粒の形では区別が付きにくい。近年のシカの急激な増加により、その分布はカモシカが数多く生息している北陸や東北地方にまで拡大してきており、そのようなシカとカモシカの分布が重なる地域では、どちらの糞なのかを正確に特定することが困難であった。

糞に含まれる動物のDNAを利用してその動物種を識別しようとする試みが、これまでに様々な動物を対象に行われている（Kurose *et al.* 2005; Chu *et al.* 2006; Livia *et al.* 2007; Sugimoto *et al.* 2006）。糞由来のDNAを用いて動物を識別することができれば、その動物の分布域や個体群サイズを明らかにする上で大変有効な手段となる。シカとカモシカにおいても例外ではなく、糞に付着しているDNAを解

析することで、両者の識別が可能であることが報告されている（Yamashiro *et al.* 2010）。しかし、いずれの種同定においても、DNAの増幅にはPCR（polymerase chain reaction）法が使われており、分子生物学的手法にある程度精通した人でなければこれらの解析を行うことはできない。また、サーマルサイクラーやトランスイルミネーターなど的高額で複雑な機械が不可欠であるという問題もある。フィールド調査を主体とする人々からは、分子生物学的な知識や技術を身に付けていなくても容易にシカとカモシカの糞を識別できる手法の開発を望む声が上がっていた。

そのような現場サイドからの要望を受け、筆者らは従来の識別法よりも短時間でかつ簡単にシカとカモシカの糞を識別できる技術を開発した（Aikawa *et al.* 2015）。この技術では、LAMP法（Loop-mediated isothermal amplification）というDNA増幅技術を採用していることから（Notomi *et al.* 2000）、一定の温度条件下に保温しておくだけで目的のDNA、すなわちシカあるいはカモシカのDNAを特異的に増幅させることが可能である。高額で専門的な装置を必要としないこと、また、検査液の色の変化でシカかカモシカかを判断するので、誰でも一目で結果を知ることができるのが大きな特徴である。この新しい技術は株式会社ニッポンジーンによって“ニホンジカ・カモシカ識別キット”として2016年9月に製品化された（写真－1）。そこで本稿では、このキットの使い方、特徴、検査する際の注意点などを詳しく解説する。また、実際に野外に存在する様々なタイプの糞を用いた本キットの使用例や、シカあるいはカモシカに食べられた植物の痕（食痕）から、どちらが食べたのかを判定する際の検査方法など、

A new DNA-kit for distinguishing Sika deer and Japanese serow: practices and examples

¹AIKAWA, Takuya, 森林総合研究所東北支所；²HORINO, Shin-ichi, 森林総合研究所；³ICHIHARA, Yu, 森林総合研究所関西支所；

⁴TAKAHASHI, Hiroshi, 森林総合研究所東北支所

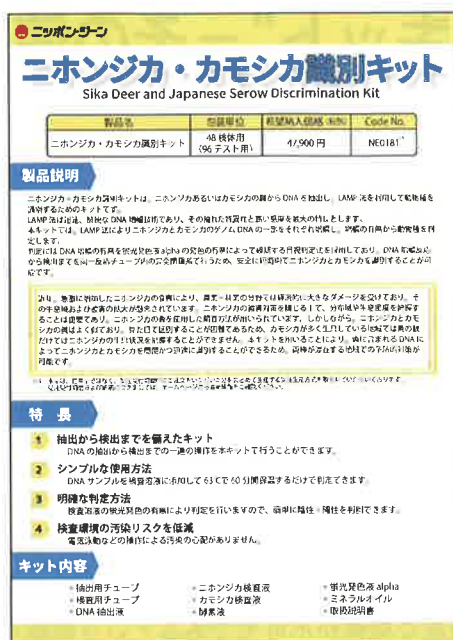


写真-1 ニホンジカ・カモシカ識別キットのパンフレット (A) とキットの中身 (B)

糞以外に応用できる点についても紹介していきたい。

2. ニホンジカ・カモシカ識別キットの使用 方法

本キットによる検査は次の4つの工程で完結する。すなわち(1)野外に落ちている糞の採集、(2)糞からのDNA抽出、(3)シカまたはカモシカのDNA増幅、そして(4)目視によるシカ・カモシカの判定、の4工程である。以下、順を追って説明する。

(1) 野外に落ちている糞の採集

最初に、野外に落ちている糞を拾ってくる。シカあるいはカモシカの糞は、丸くて少し細長い俵状のコロコロとしたものが一般的である(写真-2 A, B)が、まれにそれらの粒が1つにまとまり大きな塊となって落ちていることもある。糞は1糞塊あたり数粒拾う程度でよい。筆者らは使い捨てのプラスチック製ピンセットとチャック付きビニール袋を使って糞を採集している(写真-2 C)。この時、注意しなくてはならないのが、糞塊ごとにピンセットは新しいものと交換するという点である。前の糞塊で使用したピンセットをそのまま次の糞塊でも使用す

ると、前の糞の残骸が次の糞を汚染し誤判定の原因になりかねない。DNAによる汚染は目では決して見えないので、細心の注意を払う必要がある。採集した糞は持ち帰りその日のうちに検査に用いるか、あるいは冷凍庫で保管しておき、検査の直前に解凍して検査に用いる。

(2) 糞からのDNA抽出

この工程から本キットを使用する。本キットはドライアイスとともに梱包された状態で納品されるので、保管は必ず冷凍庫で行う。まず、DNAの抽出であるが、キットに付属のDNA抽出液(5 mlボトル)を室温に置いて完全に溶かし、攪拌後、DNA抽出用のチューブ(抽出用チューブ: 50本入)に100 μl ずつ分注する。毎回検査したい糞の数だけチューブにDNA抽出液を入れるという方法でもよいが、その場合、検査を行うたびにボトル内のDNA抽出液を溶かさなくてはならないので手間と時間がかかる。したがって、最初にキットを使用する際に、溶かしたボトル内のDNA抽出液をすべて抽出用チューブに分注してしまい、そのチューブの状態を冷凍保存しておくことをお勧めする。そうすることで、次回

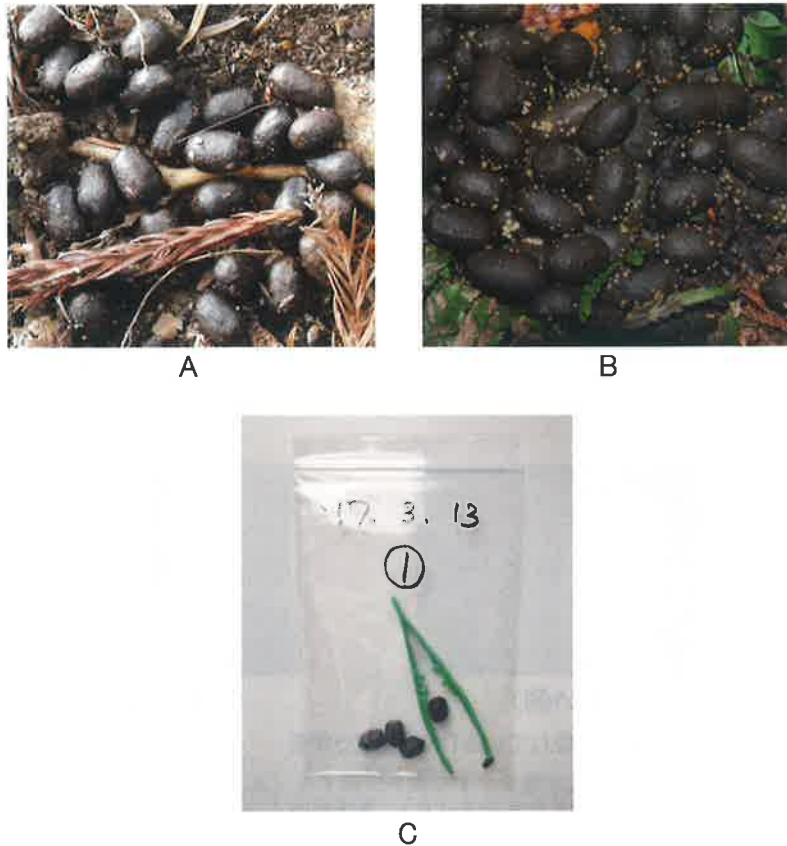


写真-2 シカの糞 (A) とカモシカの糞 (B)
 落ちている糞を数粒ピンセット等で採集する (C).

以降、必要な本数を冷凍庫から取り出すだけで済むので大変便利である。次に拾ってきた糞粒1粒を取り出し、つまようじの先端で糞の表面をこする(写真-3A)。その際、使用する糞はできるだけ表面がツルツとしたきれいな粒を選び、そのきれいな面をこすって糞を採取する。つまようじの先端が一回り黒く色づくまでこするようになるとよい(写真-3C)。力強くこすってつまようじの先に糞を多く付け過ぎると、結果が得られないことが多いので注意する(写真-3D)。その後、その黒ずんだつまようじの先を、先ほど準備したDNA抽出液に浸け、液中にこすり取った糞が広がるように軽くかき回す(写真-3B)。糞を入れた抽出用チューブはしっかりとふたを閉め、約60℃で10分、次いで90℃以上で5分間保温する。この処理によって、糞の中に含まれるシカあるいはカモシカのDNAが液中に溶け出

す。

(3) シカまたはカモシカのDNA増幅

この工程では、最初にキットに付属の4種類の試薬(ニホンジカ検査液、カモシカ検査液、酵素液、蛍光発色液)を用いて、「シカ用反応液」と「カモシカ用反応液」の2種類の反応液を作成する。シカ用反応液は、ニホンジカ検査液、酵素液、蛍光発色液の3種類の試薬を混合して、一方、カモシカ用反応液は、カモシカ検査液、酵素液、蛍光発色液の3種類の試薬をそれぞれ混合して作成する。シカ用反応液はシカに特異的なDNAが増幅するように、一方、カモシカ用反応液はカモシカに特異的なDNAが増幅するように設計されている(Aikawa *et al.* 2015)。1テストあたりの反応液の量は18 μ l(各検査液:16.4 μ l, 酵素液:0.8 μ l, 蛍光発色液:0.8 μ l)である。1.5mlチューブなどの大きめの容器に

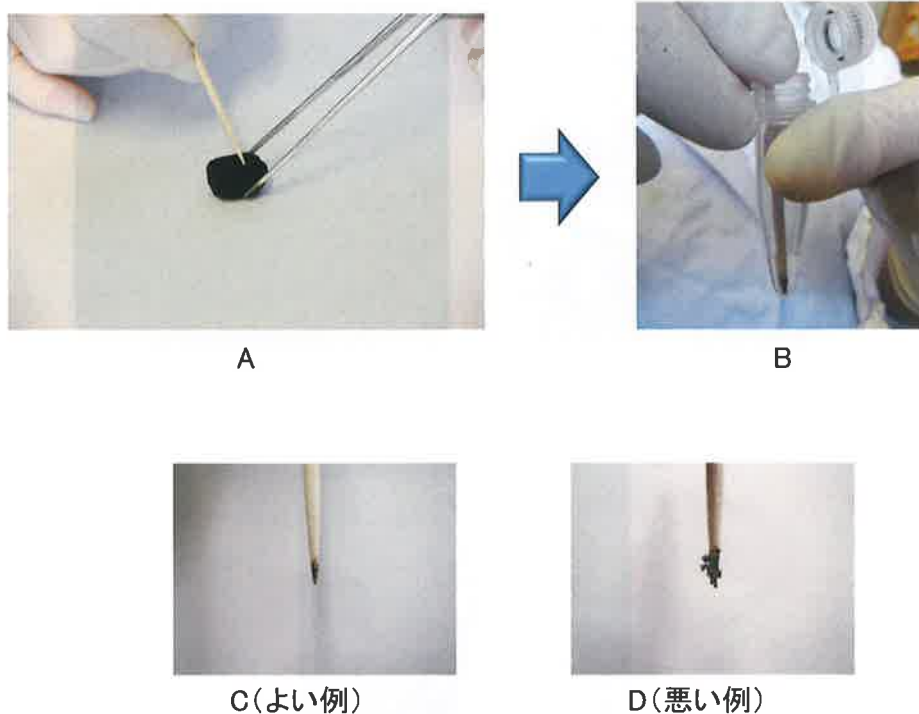


写真-3 糞粒の表面に付着しているDNAの抽出作業

糞の表面をつまようじの先端で軽くこすり糞を採取する (A)。糞が付着したつまようじの先端をDNA抽出液に浸け、軽くかき回す (B)。糞採取のよい例 (C) と悪い例 (D)。つまようじの先端が一回り黒ずむ程度がよい。

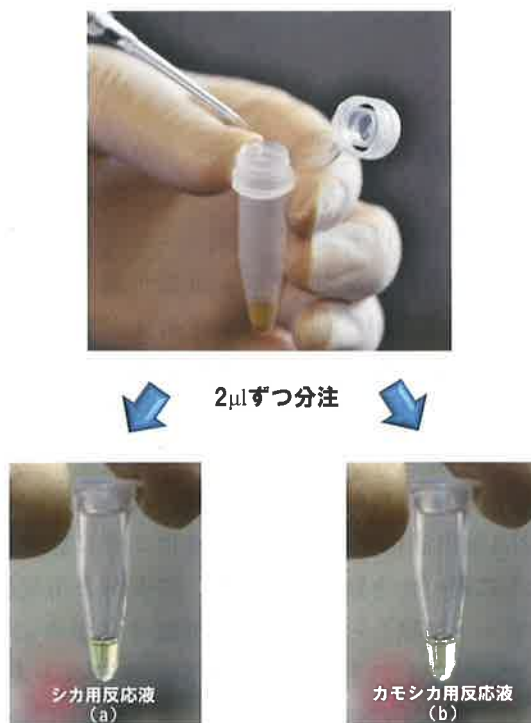


写真-4 処理後のDNA抽出液をシカ用反応液 (a) とカモシカ用反応液 (b) の両方に2 μlずつ加える

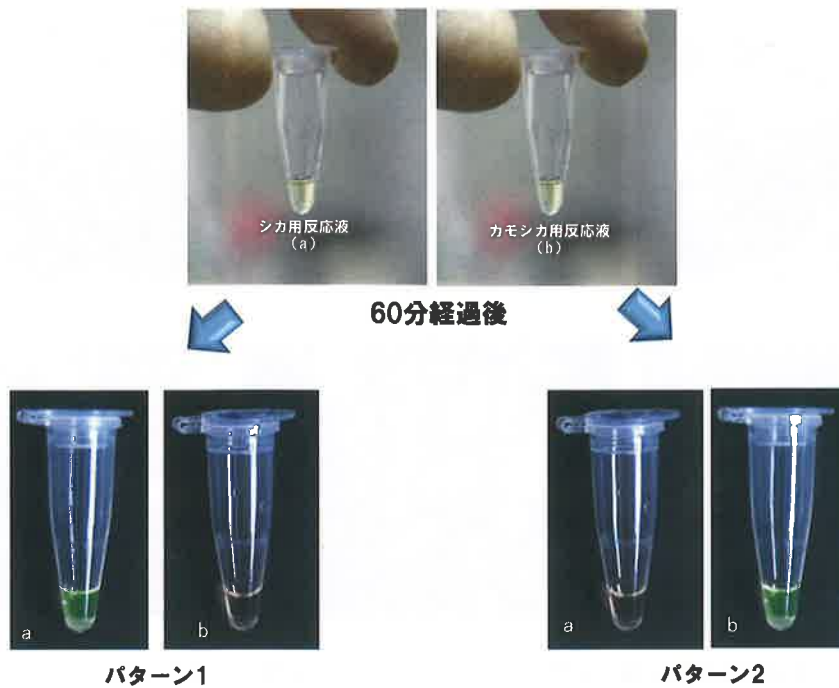


写真-5 シカまたはカモシカの判定

シカ用反応液 (a) が緑色に変化していた場合 (パターン1), この糞はシカの糞だったことを, 一方, カモシカ用反応液 (b) が緑色に変化していた場合 (パターン2) はカモシカの糞だったことを意味する。

必要なテスト分の反応液をまとめて作成し, それをキットに付属の検査用チューブに分注するのがよい。たとえば10テスト行いたい場合は, ニホンジカ検査液164 μ l, 酵素液 8 μ l, 蛍光発色液 8 μ lを混合して, 10テスト分の「シカ用反応液」を作ると同時に, カモシカ検査液164 μ l, 酵素液 8 μ l, 蛍光発色液 8 μ lを混合して, 10テスト分の「カモシカ用反応液」も作成する。その後, それぞれの反応液を18 μ lずつ10個の検査用チューブに分注すればよい。本キットによる検査では, シカ用反応液とカモシカ用反応液の2つを利用するので, どちらか一方が陽性コントロール, そしてもう一方が陰性コントロールとしての役目を成している。したがって, シカ用反応液だけの検査, あるいはカモシカ用反応液だけの検査という使い方はしない方がよい。2種類の反応液を検査用チューブに分注した後, それぞれのチューブに, (2)の工程で得られたDNA抽出液を 2 μ lずつ加えてよく混合する(写真-4)。すべての作業を終えたら, それらのチューブを約63°Cで60分保温する。本キッ

トではLAMP法によるDNA増幅技術を採用していることから, このように, 一定の温度で温めるだけで目的のDNAを特異的に増幅させることができる。液体の蒸発を防ぐ装置がついていない恒温器 (ウォーターバス, プロックインキュベーター, エアインキュベーターなど) で保温する場合は, キットに付属のミネラルオイルを20 μ l, 反応液の上に重層してから恒温器に入れるとよい。この恒温処理により, DNA抽出液に含まれていたシカあるいはカモシカのDNAがそれぞれの反応液の中で増えていく。

(4) 目視によるシカ・カモシカの判定

(3)による60分間の恒温処理の後速やかに判定を行う。検査チューブを黒い紙, あるいは黒い実験台の上に置くなど, 背景を黒くした状態で反応液の色を確認する。シカまたはカモシカのDNAが増幅していると, それぞれの反応液の色が無色透明から緑色の蛍光色に変化している。シカ用反応液が緑色に変化していた場合, その糞はシカの糞だったことを, また, カモシカ用反応液が緑色に変化していた場合,



写真-6 野外で発見された時の糞の状態と本キットによる診断結果

A:脱糞直後と思われる新鮮な糞(カモシカ)。B:比較的新鮮ではあるが、表面にひびが入り始めている糞(シカ)。C:下草が繁茂する高湿度下であり、表面に棘状の白いカビが生えている糞(カモシカ)。D:直射日光が当たる林道上にあり、干からびて硬化してしまった糞(シカ)。E:表面を白いカビが覆い、さらに、その上にオレンジ色のカビも生えている古い糞(カモシカ)。F:糞塊中の半分以上の粒が崩壊しており、触れると壊れてしまうほどの古くて柔らかい糞(カモシカ)。

その糞はカモシカの糞だったことを意味する(写真-5)。どちらの反応液も色の変化がなかった場合は、DNAの抽出に失敗したか、あるいは検査に用いた糞がシカの糞でもカモシカの糞でもなかったことを示している。また、この陽性反応の蛍光色はUVライトまたはブラックライトを照射することでより強く発色する性質を持っている。よって、取扱説明書では240-260nmまたは350-370nmの波長のライトの使用を推奨している。

3. 野外の糞を用いた使用例

ここまで、本キットの使い方について解説してきたが、ここからは、実際に野外で採集した様々なタイプの糞の中から、シカとカモシカを識別できた糞、識別できなかった糞についていくつか例を挙げて紹介する。

糞といっても、糞をした場所や糞をしてからの時間の経過などによって、その状態は変化していく。体外に排出されたばかりの糞は非常にみずみずしく

光沢がある(写真-6A)。このような新鮮な糞の場合は、本キットによりほぼ間違いなく種を判定することができる。しかし、野外で糞探索をしていると、このような新鮮な糞にばかり出会うわけではない。写真-6Bは比較的新鮮な糞であるが、雨に打たれ表面にひびが入り始めている。また、中にはすでに表面が削れてしまった粒もある。このような場合は、糞塊の中でもできるだけ表面がきれいな粒を採集する。そして、検査の際に表面が平らで荒れていない面をつまようじでこすることを心がけると識別は成功するであろう。写真-6Cは鬱蒼としたスギ林の中で、かつ下層植生に覆われる形で、非常に湿度の高い場所に落ちていた糞塊であった。表面はまだきれいに整っているものの、白い棘状のカビが生えている。このようなカビが生えた状態であっても粒の表面がツルリとしていてきれいな状態であれば問題なく識別することはできる。写真-6Dは山中の林道上に転がっていた糞塊で、直射日光がよく当たる場所に落ちていた。そのため非常に硬化して

おり、このような状態になるとつまようじで軽くこすただけではなかなか糞をこそげ取ることができない。そのような場合は、つまようじの先をDNA抽出液に一度浸し、先端を濡らしてから糞の表面をこするとよい。糞の表面をDNA抽出液で濡らしてからこすことで、つまようじの先に糞が付きやすくなる。硬化した糞であっても、このような方法でしっかりとつまようじに糞を付けることができれば検査は可能である。写真-6Eは排出されてからかなり時間が経過していると思われる糞塊で、表面を白いカビが覆い、その上にさらにオレンジ色のカビが生えている状態であった。いくつかの粒では亀裂が入り割れてしまっているものがある。このように複数のカビに覆われ、亀裂が入ってしまった状態であっても、糞粒の表面が崩壊していなければ識別は可能である。ただ、可能な限り形がしっかりとして表面に凹凸がないきれいな粒を選ぶ必要がある。写真-6Fは糞塊の中の半分以上の粒はすでに崩壊して形が残っていない。また楕円形の形状をかくろうじて維持している粒もあるが、つまようじでこすると崩れてしまうような状態であった。これだけもろくなってしまうと表面をこすることができないため、つまようじを使ったDNA抽出法では検査は行えない。このような場合は、市販の「糞便からDNAを抽出する専用のDNA抽出キット」を使用することをお勧めする。糞専用のDNA抽出キットを用いることで、このように非常に古くなった糞であっても糞に残っているわずかなDNAを抽出・精製することができる。そのような方法でDNA抽出をした後、本キットによる検査を行うことで、シカ・カモシカの識別が可能になる場合がある。

以上のように、比較的古く見える糞であっても、本キットによる識別は可能である。最も重要なのは、糞塊の中で少しでもきれいな表面を持つ糞粒を用いることである。排出直後の糞の表面には腸管粘膜由来の細胞が全体に付着していると考えられ、表面には光沢がある(写真-6A)。しかし、時間の経過とともに粒の表面は崩れそこに付着していた細胞も壊れてゆく(写真-6E,F)。よって、少しでも排

出直後の状態に近い表面のなめらかな粒(部分)を選び、しっかりと細胞を採取することが大切である。粒の形はしっかりしていても、表面がささくれて荒れていたり剥がれていたりするような糞では、つまようじでいくらこすってもよい結果は得られないであろう。なめらかできれいな表面をしっかりとこすれたかどうか、それが本キットでの検査の成否を左右する大きなカギになる。

4. 野外植物の食痕を用いた使用例

野外におけるシカやカモシカの糞以外の痕跡として挙げられるのが植物の食痕である。しかし、食痕の形状による両者の区別は不可能といってよい。ところが、最近になって、本キットを使用することにより、食痕から両者を区別できることがわかってきた。すなわち、食痕があった場合、それをシカが食べたのか、あるいはカモシカが食べたのかを特定できるということである。この場合のDNA抽出は、先述した糞の代わりに植物の食痕部位を切り取ってDNA抽出液に浸すという形で行う。その後は糞と同様の方法で検査すればよい。糞の代わりに植物体を入れるだけなので非常に簡単である。この食痕による識別調査はまだ始まったばかりで、これからさらにデータを積み重ねていく必要があるが、これまでに得られている最新の情報について報告する。

(1) 食痕を使った調査方法

近年になってシカが目撃されるようになり、現在はシカとカモシカが同所的に存在すると考えられている。秋田県鹿角市八幡平上平地区と岩手県滝沢市岩手大学滝沢演習林の2箇所に調査地を設け、植物の食痕調査を行った。シカあるいはカモシカに食べられたと思われる植物のうち、鹿角市では草本植物の1種であるアカソ(*Boehmeria silvestrii*)を、また、滝沢市では木本植物の1種であるミツバウツギ(*Staphylea bumalda*)をそれぞれ対象とした(写真-7A,B)。食べられた個体だけでなく、全く食べられていない同種個体も陰性コントロールとして採集した。食痕のある個体についてはその茎の部位を切り取り、食べられた断面がDNA抽出液に浸るよ

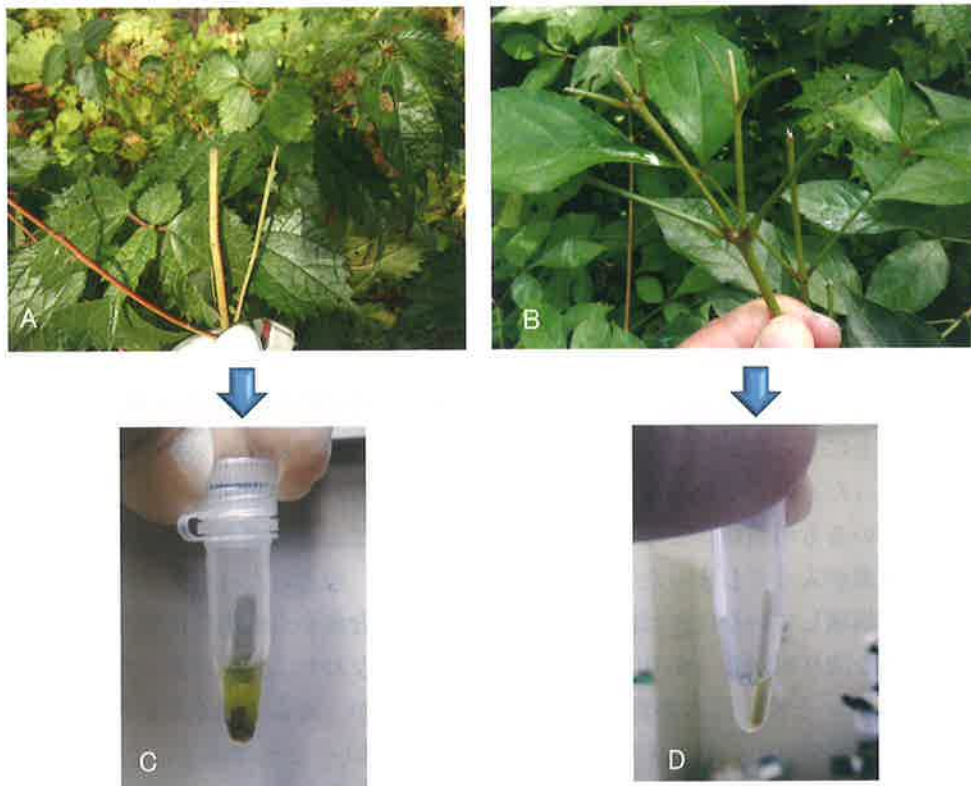


写真-7 シカまたはカモシカに食べられたと思われるアカソ (A) とミツバウツギ (B) の食痕とそれぞれの食痕部位からDNAを抽出している様子 (C, D)

うにして抽出チューブに入れた (写真-7 C, D)。一方、食痕のない無傷の個体については、葉の部分を取り除いた後食べられた個体と同様に茎の部分をDNA抽出液に浸けた。アカソについては食痕部位15箇所、無傷部位を10箇所使用し、ミツバウツギについては食痕部位と無傷部位どちらも10箇所を使用した。その後の操作は糞を用いた検査の時と同様に行った。

(2) 結果および考察

鹿角市八幡平から採集したアカソでは、食痕部位を用いた15検体のうち9検体がシカの陽性反応を示した。一方、無傷部位を用いた10検体ではシカの反応もカモシカの反応も見られなかった。また、岩手大学滝沢演習林から採集したミツバウツギでは、食痕部位10検体のうち4検体がカモシカの陽性反応を、一方、無傷部位10検体ではどちらの反応も見られなかった (表-1)。このように、シカとカモシカ両種が生息する地域において、見た目では決して判断

することができない食痕という痕跡から、シカが食べたのか、あるいはカモシカが食べたのかを判定できることが明らかとなった。この食痕からの識別では、シカとカモシカの唾液由来のDNAを検出することになる。これはあくまでも推測であるが、シカもカモシカもこれらの植物を食べる際は一口で食いちぎってしまうと思われるので、大量のDNAがこの食痕に付着しているとは考えにくい。付着するDNAの量も食べた部位ごとに大きな差があると考えられる。よって、食痕の検査においては、1検体だけでは十分な結果が得られないことが多く、複数の検体を用いて検査する必要がある (表-1)。1株の植物であっても、その個体から複数の食痕部位を用いて検査を行い、そのうちの1つでもシカあるいはカモシカの反応が出た時に、その動物によって食べられたと判断することになるだろう。これまでのところ、本キットを使った食痕調査により、アカソ、ヤマミズ、ブタクサ、ミヤマザクラ、フジウツ

表-1 アカソとミツバウツギの食痕を用いたシカおよびカモシカの識別

採集地	植物	検査部位	N	陽性数	
				シカ	カモシカ
秋田県鹿角市	アカソ	食痕	15	9	0
		無傷	10	0	0
岩手県滝沢市	ミツバウツギ	食痕	10	0	4
		無傷	10	0	0

ギ、クロモジなどでシカの反応が、また、ウワバミソウ、ミツバウツギ、モミジイチゴ、ニワトコ、イタヤカエデなどでカモシカの反応が得られている。草本でも木本でも検査は可能なようであるが、今後さらに多くの植物で食痕の調査を行い、本キットで診断が可能な植物のリストを作る必要がある。

終わりに

本稿では本キットの紹介も兼ね、その使い方と実際に検査をする際に役立つと思われる情報を記述した。先述したように、糞を用いたシカ・カモシカの識別では、糞の粒の形で両者を区別することは極めて難しい。しかし、カモシカはシカと違ってため糞をする習性があるため、非常に大きな糞塊の場合はカモシカと断定してよいかもしれない。その基準はおよそ200粒とされ、それより多い場合はカモシカ、少ない場合はシカと判断されることが多いようである。しかし、その糞粒の数だけですべての糞を正確に判断できるわけではない（大分・熊本・宮崎県教育委員会 2013）。両種が同所的に存在する場所でもより正確にシカあるいはカモシカの個体数を推定したい場合だけでなく、シカの侵入が迫っているような地域で、糞という痕跡を用いてシカの存在をいち早く検知したい場合などは、本キットによる正確な識別が有効であろう。また、シカの存在を検知するという視点でいえば、糞よりも食痕を利用の方が効率的であるかもしれない。事実、春から秋にかけて、野山は木本・草本植物の枝葉で覆われるため、地面に落ちている糞は目に付きにくい。また、暖かい時期は糞虫類の活動も活発になり、短期間で糞が分解・

消失してしまうという問題もある。その点、食痕は大型動物によって下層植生が踏みつけられた跡、いわゆる、けものみちを追跡していけば、比較的目にする機会が多い。しかし、今のところ食痕による検査では検体を複数用いる必要があるため、今後DNA抽出の精度を向上させ、できるだけ少ない検体数で結果が得られるよう技術を改良する余地はある。調査を実施する季節によって、手に入りやすいサンプルは変わるので、糞にしる食痕にしる、その時期に採集しやすい方の痕跡を利用すればよいであろう。これまで「シカだろう」あるいは「カモシカだろう」という曖昧でしかなかった糞あるいは食痕による判断が、本キットを利用することにより、「シカである」あるいは「カモシカである」という確信的判断に変わる。特別な知識や技術、そして機械を必要としない手法であることから、これまでDNA解析とは無縁であったフィールド調査主体の方々にも是非一度試してみたい。

現在のところ、このニホンジカ・カモシカ識別キットの販売は受注受付期間に注文があった分だけを生産する、受注生産方式を取っている。よって、本品の購入に関しては株式会社ニッポンジーンに事前に問い合わせ、注文の時期をご確認いただきたい。参考までに、本キットを紹介したURLサイトを下記に記す。

<http://www.nippongene.com/kensa/products/lamp-kit/sika/sika-kamosika.html>

謝辞

本稿を作成するに当たり、森林総合研究所東北支

所の上川原直子氏にご協力をいただいた。また、本研究の一部は、農林水産技術会議平成28年度委託プロジェクト「野生鳥獣拡大に係る気候変動等の影響評価」の助成を受けて行われたことを申し添える。

引用文献

- Aikawa T, Horino S, Ichihara Y (2015) A novel and rapid diagnostic method for discriminating between feces of sika deer and Japanese serow by loop-mediated isothermal amplification. *Mamm Genome* 26: 355 ~ 363
- Chu JH, Lin YS, Wu HY (2006) Applicability of non-invasive sampling in population genetic study of Taiwanese Macaques (*Macaca cyclopis*). *Taiwania* 51: 258 ~ 265
- 濱崎伸一郎・山内貴義・荒木良太 (2013) ニホンジカの特定期間保護管理計画の現状と課題. *哺乳類科学* 53: 185 ~ 188
- 岩本俊孝・坂田拓司・中園敏之・歌岡宏信・池田浩一・西下勇樹・常田邦彦・土肥昭夫 (2000) 糞粒法によるシカ密度推定式の改良. *哺乳類科学* 40: 1 ~ 17
- 環境省自然環境局 (2017) 統計手法による全国のニホンジカ及びイノシシの個体数推定等について. <http://www.env.go.jp/press/files/jp/106758.pdf>. 2017.11.6ダウンロード
- Kurose N, Masuda R, Tataru M (2005) Fecal DNA analysis for identifying species and sex of sympatric carnivores: a noninvasive method for conservation on the Tsushima islands, Japan. *J Hered* 96: 688 ~ 697
- Livia L, Francesca V, Antonella P, Fausto P, Bernardino R (2007) A PCR-RFLP method on fecal samples to distinguish *Martes martes*, *Martes foina*, *Mustela putorius* and *Vulpes vulpes*. *Conserv Genet* 8: 757 ~ 759
- Notomi T, Okayama H, Masubuchi H, Yonekawa T, Watanabe K, Amino N, Hase T (2000) Loop-mediated isothermal amplification of DNA. *Nucleic Acids Res* 28: e63
- 大分・熊本・宮崎県教育委員会 (2013) 第II章 九州山地カモシカ生息地域の環境とカモシカ生息状況. 平成23・24年度九州山地カモシカ特別調査報告書 pp.7 ~ 116
- Sugimoto T, Nagata J, Aramilev VV, Belozor A, Higashi S, McCullough DR (2006) Species and sex identification from fecal samples of sympatric carnivores, Amur leopard and Siberian tiger, in the Russian Far East. *Conserv Genet* 7: 799 ~ 802
- 宇野裕之・横山真弓・坂田宏志・日本哺乳類学会シカ保護管理検討作業部会 (2007) ニホンジカ個体群の保全管理の現状と課題. *哺乳類科学* 47: 25 ~ 38
- Yamashiro A, Yamashiro T, Baba M, Endo A, Kamada M (2010) Species identification based on the faecal DNA samples of the Japanese serow (*Capricornis crispus*). *Conserv Genet Resour* 2: 409 ~ 414

(2017.11.14受付, 2017.11.22掲載決定)

解説

航空機熱赤外センサによるシカ調査手法の開発

田村恵子¹・宮阪 聡²・吉田夏樹³・宇野女草太⁴

1. はじめに

近年、野生鳥獣による森林被害が全国で問題となっている。特に、ニホンジカ *Cervus nippon* (以下シカ) による枝葉の食害や剥皮の被害は深刻で、野生鳥獣の森林被害面積のおよそ8割を占め、生息分布はこの36年間で約2.5倍にも拡大した(林野庁2017)。このため、シカの数を適切に管理し、広範囲を効率的に調査することが求められており、個体群の動向を的確に把握し、迅速に対策を講じることが重要である。

しかし、現状では、一部の地域を除いて人力による調査が主流であり、広域調査には多くの時間と労力、熟練した調査員が必要となる。ヘリコプターやドローンを使用し、シカを直接視認またはビデオ撮

影してカウントする手法もあるが、騒音の大きい林業用モノレールから目視調査した研究ではシカが逃走したという報告もあり(小山ら2010)、騒音を伴う調査方法はシカの逃走を招き、調査精度を低下させると考えられる。

こうした観点から、本研究では、シカの生息調査の一助とするべく、航空機熱赤外センサによるシカの分布の把握を試みた。なお、本稿は、「平成28年度 測量技術協会 優秀技術論文 会長賞」を受賞した論文(田村ら2016)を編集したものである。

2. 使用機材

リモートセンシングシステム CAST (中日本航空(株)所有)を使用し、調査を行った。このシス

表-1 各センサの仕様

CASTシステム		
	ハイパースペクトルセンサ	熱赤外センサ
機材名称	CAS-1500h (ITRES社)	TABI-1800 (ITRES社)
観測波長帯	380 ~ 1,050nm	3.7 ~ 4.8μm
観測バンド数	最大288バンド	1バンド
観測角	40°	40°
瞬時視野角	0.49mrad	0.405mrad
温度分解能	-	0.05°C以下
温度レンジ	-	-20 ~ 150°C (高温モード切替時: -20 ~ 500°C)
レーザ計測装置		
機材名称	LMS-Q780(RIEGL社)	
レーザ発射回数	100kHz ~ 400kHz	
測距精度	0.02m	
最大スキャン角度	±30°	
計測方式	波形記録方式	
デジタルカメラ		
機材名称	NNK-DCS4F01	
画素数	4,904 × 3,678	
レンズ焦点距離	36.1mm	
フットプリント	62.95° × 49.26°	

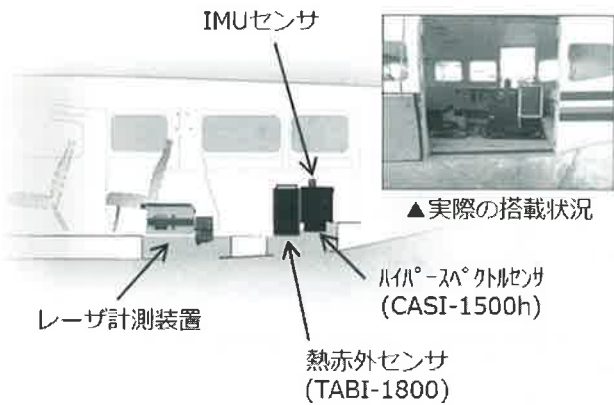


図-1 搭載状況

Development of deer detection method by using airborne thermal sensor system

¹TAMURA, Ayako, 中日本航空株式会社調査測量事業本部技術開発プロジェクト; ²MIYASAKA, Satoshi, 中日本航空株式会社調査測量事業本部空間解析統括; ³YOSHIDA, Natsuki, 中日本航空株式会社調査測量事業本部空間解析統括; ⁴UNOME, Sota, 中日本航空株式会社調査測量事業本部空間解析統括

テムは、航空機（セスナ208）に、①ハイパースペクトルセンサ（CASI-1500h；ITRES社（カナダ））、②熱赤外センサ（TABI-1800；ITRES社（カナダ）、以下「TABI」）、③レーザ計測装置、④デジタルカメラを同時搭載し観測することで、可視～近赤外の領域と、熱赤外域データを同時に取得・解析できる（図-1、表-1）。なお、①および②は静止画を取得し、③は地形や物体の高さを計測できる。また、②TABIは、対地高度1,000mで飛行することにより、40cmの解像度で観測ができ、さらに温度分解能は0.05℃以下と、高精度なデータを取得することができる。また取得画像は、GNSS/IMU（慣性姿勢計測装置）の情報を用いて精密に幾何補正できる。

このシステムは、これまで個別のセンサで別々のフライトにより行ってきた調査を、一回の飛行で同時に効率よく、より発展的に行うために開発されたものである。例えば、森林の病虫害調査では、ハイパースペクトル画像を使用して枯死木調査を行うとともに、レーザ計測データを用いて、樹高や地形、

斜面方位を計測し、被害状況やその要因の把握に役立てることができる。

3. 奈良公園における検証

観測は、2015年9月11日に、奈良公園（奈良県奈良市）を対象として実施した。観測時間帯は、太陽光による影響を避けるため、夜間（19:22～20:22）を選択した。奈良公園内は、上空が開けた広場が点在しており、公園内に生息するほとんどのシカは夜間でも身を隠さず広場に留まっている。毎年、一般財団法人奈良の鹿愛護会による頭数調査が行われており、2015年7月当時は1,191頭のシカが奈良公園内に生息していた（一般財団法人奈良の鹿愛護会2015）。

飛行コースは4コース、観測範囲は約3.8km²、対地高度は約1,000mで、同一範囲を2回観測した（図-2）。隣接コースの観測時間間隔は約10分、同一コースの1回目と2回目の観測時間間隔は約30分であった。また、航空機調査と同日時間帯に、一般

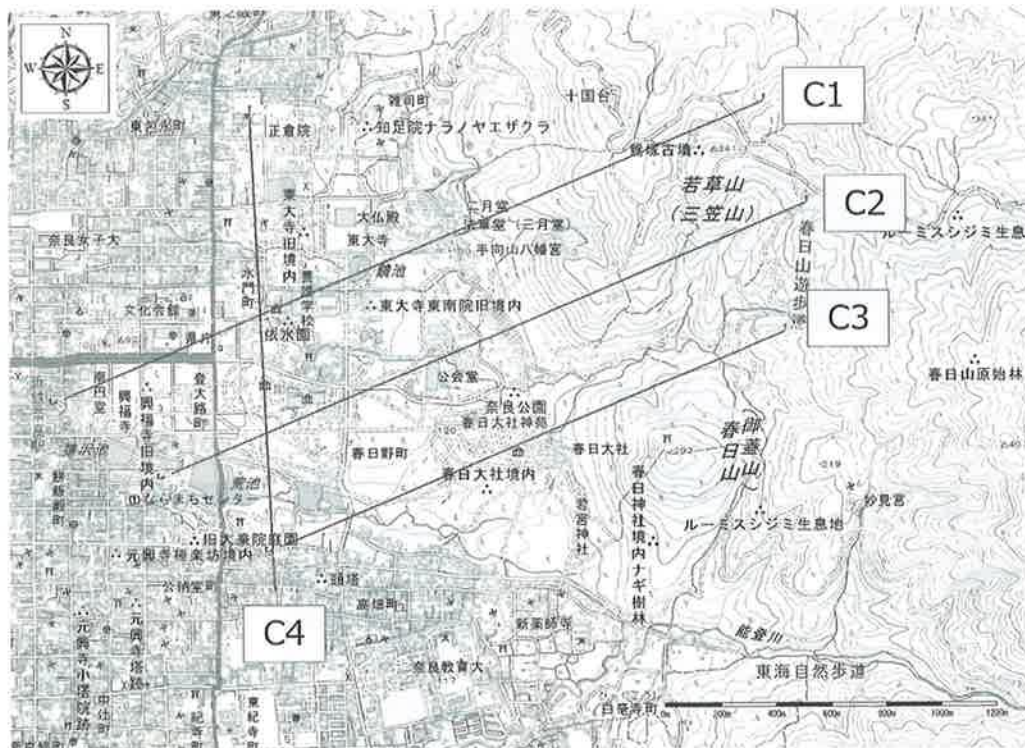


図-2 観測コース図

※背景地図は、国土地理院発行の電子国土基本図（25000）を使用。

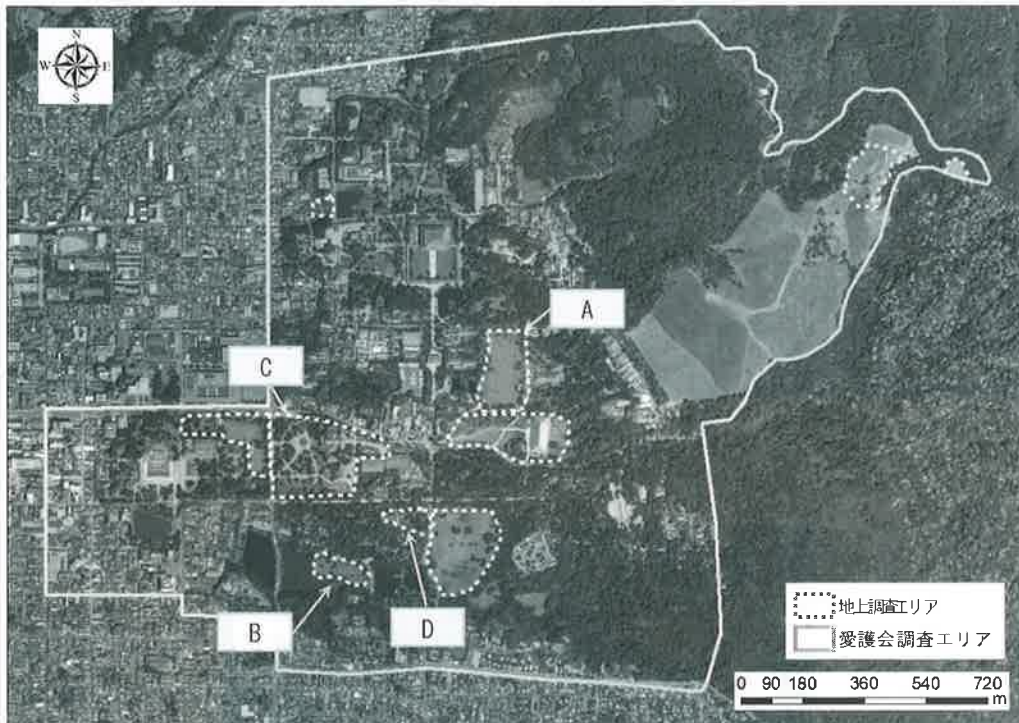


図-3 調査エリア

実線枠は、地上調査を実施したエリア。破線枠は、奈良の鹿愛護会が毎年行っている頭数調査のエリア。A～Dのアルファベットは、表-2に対応している。※背景図は、国土地理院撮影の空中写真（2008年撮影）を使用。



図-4 地上調査風景

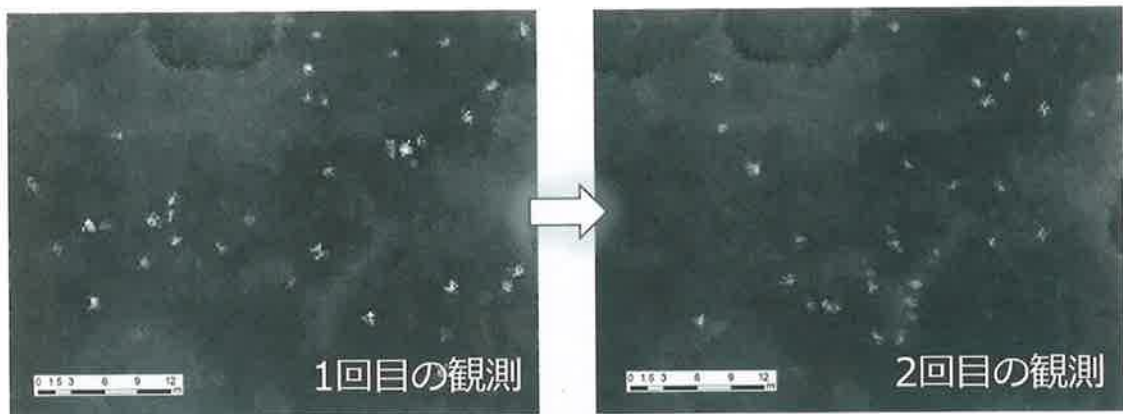


図-5 観測1回目と2回目の比較

1回目と2回目の観測間隔は、約30分。

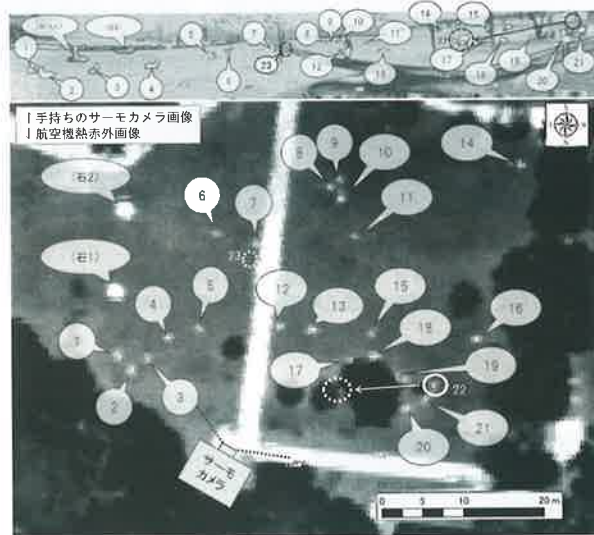


図-6 サーモカメラ画像と熱赤外面像との比較

1～21のシカは、手持ちのサーモカメラ画像でも、熱赤外面像でも、同じ位置に確認できる。

財団法人奈良の鹿愛護会がシカの頭数調査を行っている地域を参考に調査エリアを選定し(図-3)、奈良公園内の上空が開けた数箇所のエリアで地上調査を実施した。地上調査では目視でシカをカウントし、シカがいた場所と頭数を詳細に記録するとともに、手持ちのサーモカメラ(NEC Avio社製;測定波長8~13 μ m)でも撮影を行った(図-4)。ちなみに、地上調査中にシカの様子を観察していたが、飛行機による騒音は僅かで、シカが警戒して逃げるようなことはなかった。

TABIで観測した熱赤外面像(以下、「航空機熱赤外面像」)を1回目と2回目の同一コースで比較

すると、約1mの大きさの動く熱源が多数検出された(図-5)。そこで、まず、調査範囲の一部の航空機熱赤外面像と、地上から手持ちのサーモカメラでシカを撮影した熱赤外面像(以下、「サーモカメラ画像」)とを詳細に比較した(図-6)。航空機観測との時間差は約3分で、サーモカメラ画像は航空機熱赤外面像の下側中央付近に当たる位置から撮影したものである。確認できた熱源に順番に番号を振っていくと、移動したと考えられる22, 23のシカを除いてサーモカメラ画像上のほぼ全頭のシカを航空機熱赤外面像でも正確に捉えられており、図-5のような動く熱源が間違いなくシカであるということ

表-2 航空機熱赤外面像と地上調査の検出頭数比較結果

エリア名	①熱観測 (熱源数)	②地上調査 (頭数)	検出誤差 (①-②)	検出率 (①/②)	時間差 (地上-熱観測)
A	98	96	+ 2	102.1%	- 4分
B	37	38	- 1	97.4%	+ 3分
C	18	22	- 4	81.8%	+14分
D	27	36	- 9	75.0%	+ 6分

エリアの位置は、図-3を参照.



写真-1 現地写真(図-7の画像の左上から撮影)
光っているのはシカの目.



図-7 地上では見通しの悪い場所の航空機熱赤外面像

写真-1の現地写真は、図-7の画像の左上から撮影.

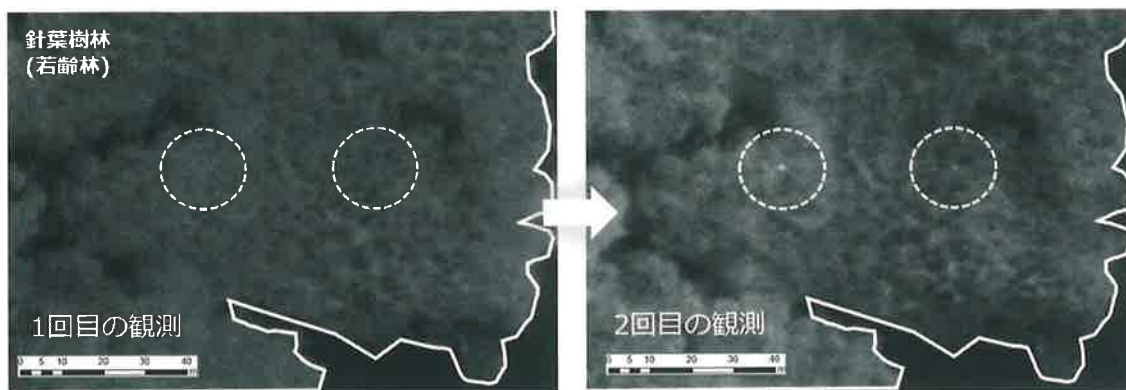


図-8 富士山西麓 熱赤外画像

が確認できた。

次に、エリア毎に航空機熱赤外画像上で確認できた熱源数と、地上調査において目視でカウントしたシカの頭数を比較した。結果の一部を表-2に示す。地上調査全体を通して航空機観測とのタイムラグが最小となるよう計画したが、徒歩で移動したため各エリアにおける航空機熱赤外観測と地上調査の調査時間差は必ずしも一定とならなかった。エリアAとBでは、ほぼ100%の確率でシカを検出できていた。一方、エリアCでは、81%と検出率が低く、これは調査時間のタイムラグが14分と比較的大きかったためにシカが移動してしまい、見かけの精度が下がったと考えられた。さらに、エリアDの検出率が低いのは、このエリア内にはウメの木等の広葉樹が点在しており、樹木下のシカが捉えられなかったためと考えられた。

また、地上調査地には、街灯が無いために見通しが悪く、肉眼ではシカが容易に確認できないような場所もあったが(写真-1)、手持ちのサーモカメラでこの場所を撮影したところ、数十頭のシカが群れを作っていることが確認できた。近い場所にいるシカは、ハイビームの懐中電灯を用いてルートセンサス法の要領で頭数をカウントできたが、広場の奥の方にいるシカを検出することは困難であった。一方、この場所を航空機熱赤外画像で確認すると、地上では十分に確認できなかった場所においてもシカをはっきりと捉えることができた。航空機熱赤外画像上の熱源を目視判読し、シカの頭数をカウントし

たところ、この広場全体では86頭のシカを検出することができ(図-7)、航空機を利用した調査の有効性が確認できた。

最後に、観測した4コースを結合処理した画像上の全ての熱源をカウントしたところ、調査範囲全体では910頭のシカが検出できた。また、航空機熱赤外画像上で確認できた地目毎の温度は、シカが約17~18℃、植生が約15~16℃、アスファルトが約18℃であった。なお、この温度値は、物体による放射率の違いや、赤外線が物体から放射されてからセンサに到達するまでに受ける大気の影響などが無いものとして算出した。

4. 森林域における実証

森林域での本手法の有効性を確認するために、2016年1月14日17:44~18:54に、富士山西麓にて航空機熱赤外観測を行い、シカの判読を試みた。観測した場所は、落葉広葉樹林と常緑針葉樹の植林地がパッチ状に分布しているエリアである。奈良公園と同様に、同一コースを2回計測し、動く熱源を検出したところ、上空から地表が透けて見えているような若齢林ではシカを検出することができた。結果の一部を図-8に示す。1回目(左画像)と2回目(右画像)の観測時間間隔は、約40分であった。図上に示した丸の部分と比較すると、2回目では熱源が現れていたことから、この熱源が動物であると判定できる。この熱源は-5℃前後、周辺の森林の表面温度は-7~-6℃であった。寒冷地に生息する動物

は、断熱効果の高い毛皮に覆われており、冬季には体表温度と周辺との温度差が小さくなる場合があるが（山田ほか 2015）、今回観測された熱源と周辺温度にほとんど差がないのもそのためと考えられる。しかし、本研究で使用したセンサの温度分解能は 0.05℃と高いため、温度差が小さい熱源でも周辺地物との識別が可能であったと考えられる。

5. 結果のまとめと今後の展望

航空機熱赤外観測によるシカ調査の結果、上空が開けていれば、高い精度で地上のシカを捉えられることが分かった。また、これまで人の立ち入りが難しく調査ができなかったような地域でも、昼夜問わず、短時間で調査が可能となり、シカ被害地の現状把握や密度推定をこれまで以上に効率よく行うことが期待できる。具体的には、1回の飛行で調査を完了できる程度の面積であれば、観測から航空機熱赤外画像の熱源カウントまでを、パイロット、観測作業員、画像処理作業員を含め、延べ約5人で完了できる。熱赤外画像上のシカの目視判読に関しては、操作手順さえ覚えれば誰でも簡単に結果を得られることも利点である。

ただし、森林の状態により、検出精度が左右されることも分かった。幼樹林であったり、落葉していたりして、地面が十分に透けている森林帯においては、熱源を捉えることが可能であった。また、樹木が規則正しく並んでいる人工林においても、上空から見える地面の面積が広く、比較的熱源を捉えやすかった。一方、広葉樹は樹冠の並びが不均一で横に広がり地表を広く覆っているため、着葉期には広場やその他の樹林帯に比べて地面が確認しにくかった。

しかし、常緑樹林帯であっても、シカの被害が甚大で、森林が荒廃した結果、成林が見込めず上空が開けてしまったような地域もある。常緑広葉樹林帯には一概に適用できないとするのではなく、事前に対象地域の森林の生育状況や観測時期を検討し、地域特性に応じた季節や時間等の観測条件の選定を行うことが重要である。

今後は検証を重ね、個体数把握の精度向上を図りたい。また、クマやアザラシなど、シカ以外の動物や野鳥の検出も検討し、さらなる野生動物調査への利用の可能性について探ってきたい。

引用文献

- 林野庁 (2015) 野生鳥獣による森林被害. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/higai/tyouju.html>, 2017.11.21参照
- 小山泰弘・岡田充弘・山内仁人 (2010) ニホンジカの食害による森林被害の実態と防除技術の開発. 長野県林業総合センター研究報告 24:1~24
- 田村恵子・宮坂 聡・吉田夏樹・宇野女草太 (2016) 高精度スペクトルセンサによる新たな空間情報の取り組み~熱赤外センサによる野生動物の検出. 先端測量技術 108:38~49
- 一般財団法人奈良の鹿愛護会 (2015) 「奈良のシカ」頭数調査範囲. <http://naradeer.com/common/img/aboutnaradeer/hani.pdf>, 2017.11.21参照
- 山田啓貴・安藤元一 (2015) 「焦電型自動撮影カメラの検知率に背景温度と動物の体表温度が及ぼす影響. 東京農大農学集報 60(1):57~62 (2017.11.30受付, 2017.12.12掲載決定)

都道府県だより

「虹の松原周辺松くい虫被害箇所総点検」の実施について

佐賀県北部に位置する唐津市に、日本三大松原の一つに数えられる虹の松原があります。

虹の松原と周辺の松林では、毎年、「虹の松原周辺松くい虫被害箇所総点検」として、松くい虫による被害木の伐倒駆除などに役立てることを目的に、県内の有識者や関係者で組織している佐賀県森林病虫害等防除連絡協議会（事務局 県林業課）が主催し、被害木調査を実施しています。

虹の松原は、玄界灘に面した玄海国定公園内に位置し、国の特別跡名勝に指定されており、約400年前、初代唐津藩主の寺沢志摩守広高が防風・防潮のために海岸砂丘にクロマツを植栽したことが始まりとされ、地域の貴重な財産となっています。面積は約200haで、100万本のマツがあるといわれており、多くのボランティアによる活動を中心に美しい松林として維持されています。また、松原沿いの海岸は海水浴場となっており、夏の間は県内外から毎年多くの人々が訪れています（写真-1）。

佐賀県森林病虫害等防除連絡協議会は、「虹の松原周辺松くい虫被害箇所総点検」の開催などを通じ、松くい虫被害対策についての地元住民への普及、啓発活動が認められ、平成25年度の森林病虫害等防除活動優良事例コンクールにおいて、全国森林病虫獣

害防除協会会長賞を受賞しています。

平成29年の「虹の松原周辺松くい虫被害箇所総点検」は、ゴールデンウィーク明けの5月11日に開催され、地元のボランティアを中心に行政関係者を含めて総勢約50名の参加により実施されました（写真-2）。

ボランティアの中には毎年参加されている方もおられ、子供のころから慣れ親しんできた虹の松原を子供や孫の世代に引き継ぐために、しっかりと守っていきたく、という思いで協力していると話されていました。

主催者である森林病虫害等防除連絡協議会の吉田会長から、パネルを使って松くい虫の概要についての説明があった後、6班に分かれて松林の中に散り、調査を行いました。

松くい虫による被害木は、通常、秋から冬にかけて枯れるため、秋から春にかけて伐倒し、焼却又はチップ処理により駆除を行いますが、中には駆除を行う時期まで枯れず、冬を越して春に枯れるマツがあります。調査は、このような被害木を見つけることを目的としていますが、松枯れの原因は、松くい虫による被害以外にも、周辺のマツによる被圧や潮風などによるストレスによるものなどがあり、専門



写真-1 虹の松原



写真-2 虹の松原周辺松くい虫被害箇所総点検

家でないと何が原因で枯れたマツか、なかなか見分けがつかないことから、被圧により枯れた小径木のマツを除き枯れたマツすべてを対象としてカウントし、幹にテープを巻いていきます。

この日は、1時間半ほど松林を調査した結果、枯れたマツを約870本確認することができました。

このほか毎年6月頃に、虹の松原と周辺の松林では、地域の方々の協力の下、佐賀森林管理署と佐賀県、唐津市の共同でヘリコプターによる空中散布や

地上散布を行っています。防除対策の効果もあり、これまで大きな松くい虫被害を出すことなく、健全な松林が保たれています。

また、虹の松原では、地域のNPO法人やボランティア、地元住民など多くの方々が松葉かきなどの保全活動に取り組まれています。今後も地域と一体となった取り組みを続けて、貴重な松林を守っていききたいと考えています。

(佐賀県農林水産部林業課)

山形県庄内地方の海岸林における松くい虫被害対策について

○庄内海岸林について

山形県庄内地方には、延長34 km面積2千haを超える規模のクロマツ林「庄内海岸林」が存在します。先人達が砂丘地に植林を行い育ててきた偉大な遺産として引き継がれ、今もなお地域にとって重要な役割を果たしています。

この海岸林が存在しなければ、海からの強い潮風や飛砂により砂嵐が発生し、家屋や田畑、道路などが砂に埋まり、日々の生活や農業等に多大な悪影響

を及ぼします。また、津波や高潮の影響も直接受けることとなるため、庄内海岸林を継続して守り育てていくことが求められています。

かつて、先人達の活動によってその範囲を拡大していった庄内海岸林は、第二次大戦前後の乱伐により衰退し、飛砂の害が再来しましたが、昭和26年から国有林・民有林が連携して植林事業を大規模に展開したことで、庄内海岸林が復元してきました。

ところが、近年は松くい虫被害により、多くのクロマツが枯れ、その生育地が脅かされつつあります。

(単位:㎡)

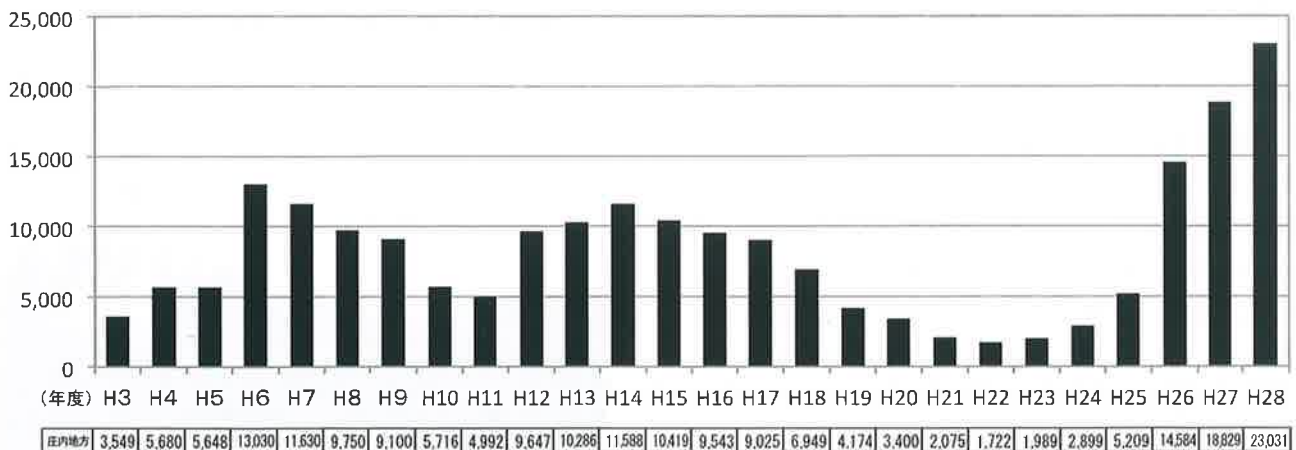


図-1 山形県庄内地方の民有林における松くい虫被害の推移

また、林業経営環境の悪化や、森林所有者の造林意欲の低下等によりクロマツ林の整備が進まず、高齢木や被圧木の増加、竹やニセアカシアの侵入などが見られます。こうした生育環境の悪化が、クロマツの衰弱を促し、松くい虫の被害拡大を助長していると考えられます。

このような状況を打破するためには、庄内海岸林における松くい虫被害対策が急務となっています。

○松くい虫被害の推移

庄内海岸林における松くい虫被害量は、平成14年度に一度ピークを迎え、不断の防除対策によりその後減少傾向にありました(図-1)。

ところが、平成23年度から再び被害が拡大し、平成28年度には約23,000㎡と過去最大の被害量となりました。これは、平成14年度の約2倍であり、かつてない規模の被害となりました。

○防除対策(各事業)

こうした深刻な被害に対処するため、山形県では「山形県松くい虫被害対策推進計画」に定める実施方針に基づき、県内でも特に保全の必要性が高い庄内海岸林に重点を置き、以下の取組を行っています。

1. 各種連絡協議会の開催

(1) 庄内海岸林松くい虫被害対策強化プロジェクト会議

県、庄内地方の市町、森林管理署、森林組合、ボランティア団体等により、被害情報の共有や防除対策の検討を行っています。

平成28年度は3回開催し、会議で出された意見をもとに、効果的な薬剤散布のあり方や発生予察の方法などを検証しているところです。

(2) 庄内地方森林病虫害被害対策検討会

県、市町、森林組合等、防除対策に携わる方々を構成員とし、被害の調査方法や事業の円滑な進め方について話し合ってきました。平成28年度は2回開催しました。

9月、11月に県、市町、森林組合の3者合同で被

害量調査(概況調査、毎木調査)を行いました。検討会の意見を踏まえ円滑に実施することができました。また、被害調査結果のフィードバックや、事業実施にあたっての問題点に関する意見交換を行い、以後の事業実施の際に反映させているところです。

2. 各種事業の実施

防除にあたっては、国庫補助事業を活用し、薬剤散布等の予防措置と被害木の伐倒駆除を徹底的に行ってきました。

国庫補助事業の森林病虫害等防除事業による防除に加え、衛生伐や治山事業の保安林整備等により、駆除対策を補完してきました。さらに、県や市町の単独事業による駆除対策も実施し、広範囲にわたる庄内海岸林の被害対策を行ってきました。

予防措置としては、海岸に近い松林や公園、キャンプ場等人的集まる松林を対象に、ノズルやスプーターを使った地上散布や無人ヘリコプターによる空中散布(写真-1)など、薬剤散布を実施してきました。

駆除措置としては、被害木を伐倒、破砕によりマツノマダラカミキリを駆除する特別伐倒駆除を実施してきました。破砕の方法としては、現地破砕と搬出破砕がありますが、搬出破砕とはチップ化できる工場に搬出して破砕することであり、破砕後はパルプや燃料用ペレット、発電用チップとして有効活用



写真-1 無人ヘリコプターによる空中散布



写真-2 地域の小学校による松林保全活動

してきたところです。

○庄内海岸林を保全するための取組

前述のハード的な対策に加え、ソフト的な取組により、庄内海岸林を地域で守り育てる機運を盛り上

げています。

庄内地方では、地域の小中学校やボランティア団体等による松林の保全活動（写真-2）が盛んに行われていますが、このような活動の際には、国、県、市町の行政機関や森林組合等が連携し、活動場所の提供や機材の貸し出し、活動に対する技術的支援などを行い、地域一体となって保全活動を進めています。

平成29年度、全国森林病虫獣害防除協会が主催する森林病虫獣害防除活動優良事例コンクールにおいて遊佐町立藤崎小学校が林野庁長官賞を受賞したことは、このような地域が連携した取組を継続してきた結果といえます。

今後も、庄内海岸林を保全していくためには、こうした総合的な対策、取組を一過性のものとせず、継続的に行っていくことが大切です。

（山形県農林水産部林業振興課）

協会だより

本誌「森林防疫」は、各都道府県の森林病虫獣害防除協会を中心に、山林所有者をはじめ林業・林産・木材産業関係者・林業技術の指導・研究関係者・学校教職員・学生、行政機関の関係者等、各層の会員を対象として、森林・林業の維持・発展に資するため、森林病虫獣害の防除および森林における生物多様性の保全に関する総合誌となるよう編集に努めています。本誌には、どなたでも投稿できますので、この目標にふさわしい本文記事、表紙写真とその解説の投稿をお待ちしております。投稿規定をお知らせいたします。

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、技術情報、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ファイルが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、図表の貼り付けはせず、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)

ウェブサイト引用

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

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

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所の法人名について

森林防疫編集委員会

森林総合研究所の法人名については、2015年の本誌64巻6号上で、当時の国立研究開発法人森林総合研究所を略して「(研)森林総合研究所」を使用することとしましたが、その後法人の正式名称が「国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所」となりました。これについて、森林総合研究所からは、略称の表記について使用可能な名称が示されており、必ずしも法人名を使う必要のない文書であれば“冠なし、各機関略称”で単に「森林総合研究所」とする略称を使用可としています。そこで本誌では、著者の所属の表記にあたり、これまでも国立大学法人など他の法人は法人名を省略してきたことから、国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所についても、2018年(67巻)から法人名を省略し「森林総合研究所」と表記することにします。

森林病虫獣害発生情報：平成29年11～12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)

森林防疫 第67巻第1号(通巻第724号)
平成30年1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
東京都豊島区東池袋5-45-5
ASビル
☎ (03) 5944-9853

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/>