

## 解説

## 北海道でのカシノナガキクイムシの発見と今後の影響, 対策, 課題

尾崎研一<sup>1</sup>・上田明良<sup>2</sup>・徳田佐和子<sup>3</sup>・和田尚之<sup>4</sup>・北島 博<sup>5</sup>

## 1. はじめに

ナラ枯れを引き起こす害虫であるカシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus*) は、日本、台湾、インド、インドネシア、ニューギニア、タイ、ベトナムに分布することが知られている (Wood and Bright 1992; 野淵 1993b, Beaver 2016)。つまり日本は世界的な分布の北限にあたる。日本国内では本州、九州、四国と佐渡島、対馬、伊豆諸島、屋久島、琉球諸島といった島しょに生息するが、これまで北海道での生息は確認されていなかった (加辺 1960; 野淵 1993a; Hamaguchi and Goto 2010; 上田 2012)。

ナラ枯れによる全国の被害量 (材積) は2010年度にピークとなった後、減少傾向にあったが、2018年度から再び増加し2020年度には速報値ではあるが18.5万 $\text{m}^3$ に達している (林野庁 2021)。特に東北地方ではナラ枯れの被害地域が北上しており、2019年度には青森県内で被害量が急増した。この年の青森県内での被害は主に秋田県との県境付近で生じたが、2020年度には被害がさらに北上し、津軽半島の中央部にまで達した。津軽半島と北海道南端の渡島半島とは津軽海峡をはさんで約20kmしか離れていないため、被害地の北上に伴うカシノナガキクイムシの北海道への侵入が危惧された。そこで、北海道の最南端地域でフェロモントラップを使ってカシノナガキクイムシの生息状況を調べた結果、少数の成虫が捕獲された (Ozaki *et al.* 2021)。

本稿ではこの調査の概要と、ナラ枯れが北海道で発生した場合の影響、現段階での対策への取組、および今後の課題について述べる。

## 2. 道南での生息調査

調査は北海道松前町、福島町、知内町で行い、ミ

ズナラが生育する森林20カ所を調査地点とした (図-1)。これらの調査地点は北海道の最南端に位置する白神岬から30kmの範囲内にあり、海岸からは5km以内で、それぞれの地点間は700m以上離れていた。各調査地点にカシノナガキクイムシの誘引トラップ (サンケイ式昆虫誘引器 (透明)) を1基ずつ設置した (図-2)。各トラップには合成フェロモン剤 (カシナガコールL, サンケイ化学製) を1個と、フェロモンの誘引効果を増加させる協力剤である50%エタノールが50ml入ったボトルを1個、取り付けた。フェロモントラップの設置は2020年7月初旬に行い、1ヶ月後に回収してカシノナガキクイムシの捕獲状況を調べた。

調査の結果、20カ所の調査地点のうち松前町と福島町の4地点で合計5個体 (雄2個体、雌3個体) のカシノナガキクイムシが捕獲された (図-3)。これらの個体は雌の前胸背の円孔と、雄の上翅後端の突起の形状からカシノナガキクイムシと同定した。これは、北海道でのカシノナガキクイムシの初記録である。捕獲された5個体のうち3個体は海岸から1~2kmの地点で捕獲された。一方、残りの2個体は海岸から5km離れた地点で捕獲された。調査期間中と調査終了後の9月中旬にミズナラの被害状況を調べたが、ナラ枯れによって枯死したミズナラは確認されなかった。

北海道でフェロモントラップを用いたカシノナガキクイムシの調査が行われたのは今回が初めてである。そのため、本種が北海道に侵入した時期は不明である。また、もともと北海道には低密度で生息していたが、発見するのが難しいために確認されていなかった可能性もある。今後、調査地域を広げ、遺伝解析などの方法によって、北海道のカシノナガキ

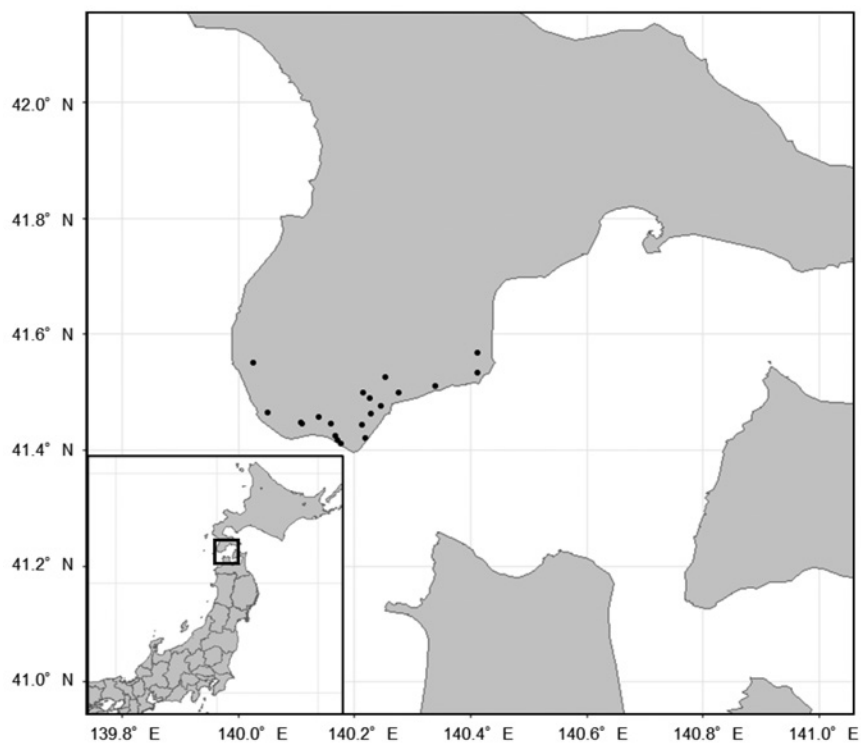


図-1 調査地点の地図

黒点は調査地点を示す.



図-2 カシノナガキイムシの誘引トラップ

屋根からぶら下がっている手前がフェロモン剤(矢印)で、奥が50%エタノールの入ったボトル.



図-3 北海道で捕獲されたカシノナガキクイムシ  
左：オス，右：メス

クイムシの由来を調べる必要がある。

### 3. ナラ枯れが北海道で発生した場合の影響

北海道に生育するナラ類はミズナラ，コナラ，カシワの3種である。この3樹種はいずれもナラ枯れに弱いことが知られている (Murata *et al.* 2005；村田ら 2020)。特にミズナラは枯死率が高く (小林・上田 2005)，ミズナラが優占する林は激害になりやすい (齊藤・柴田 2012；中島・松浦 2015)。

北海道のナラ類の蓄積は約6千万m<sup>3</sup>であり，森林蓄積の7%を占める (北海道水産林務部 2021)。この中でミズナラが最も分布範囲が広く北海道全域に生育し，蓄積も多い。これまで北海道では豊富な広葉樹資源を利用して，突き板や家具等に用いられる広葉樹大径材が生産されてきた。特にミズナラはナラ材として家具やフローリングに用いられており，それに加えて最近ではウイスキー樽用材として，大径材への需要が拡大している (嶋瀬 2020)。大径木ほどカシノナガキクイムシの穿入が多く枯死しやすいことから (衣浦 1994；小林・上田 2002；伊東ら 2009)，今後もし北海道内にナラ枯れ被害が拡大すると，ミズナラ大径材の生産に支障をきたす恐れがある。本

州以南では，薪炭林のような短伐期施業が減少し，ナラ林が放置され高齢化してきたことがナラ枯れを促進する一因と考えられている。そのため高齢化したナラ林を伐採し若返らせることで，被害を受けにくくする施業が推奨，実施されている (日本森林技術協会 2015)。しかし北海道でこのような施業を行うと，長期間をかけて育てるミズナラの大径材が生産できなくなる恐れがある。

また，ミズナラは北海道の森林でドングリを生産する主要な樹種である。ドングリは野生動物や昆虫にとって重要な食物資源であるため，ナラ枯れが拡大した場合には，林業だけでなく森林の生物多様性や生態系に与える影響も大きいと考えられる。以上のことから，もし北海道でナラ枯れが発生し被害が拡大した場合，その影響は大きくなる可能性が高い。

### 4. 対策への取組

現在は北海道でカシノナガキクイムシの生息が確認された段階であり，ミズナラ，コナラ，カシワの3樹種のいずれにおいてもナラ枯れ被害木は確認されていない。しかし，ナラ枯れは被害が拡大し多数の枯死木が発生してからでは，被害を抑えるのが困

難なことがある（日本森林技術協会 2015）。そのためナラ枯れ対策は被害拡大前の初期対応が重要になる。

このことから、これまでに行政（北海道・北海道森林管理局）と研究機関（森林総合研究所北海道支所・道総研林業試験場）で打合せを行い、情報収集、連絡体制を整備するとともに、ナラ枯れが発生した場合は被害木の早期発見と防除を行う実施体制を作りはじめている。そのなかでカシノナガキクイムシの生息状況については、2021年度は渡島半島での生息状況の調査範囲を広げて調査する予定である。また、その後もカシノナガキクイムシの生息状況を継続的に調査することが重要である。

次に、ナラ枯れ被害木の早期発見については、森林所有者や一般住民から情報を提供してもらうためのチラシを北海道水産林務局林務局森林整備課で作成した。このチラシは関係機関を通して配布するとともに、北海道などのホームページに掲載している。

## 5. 今後の課題

以上、北海道の現状を紹介したが、それをふまえて今後の課題だと思われる3つの点について検討する。

### (1) 温暖化にともなう被害発生予測

第一の課題は、北海道内で今後、被害が発生する可能性のある場所を予測することである。カシノナガキクイムシの被害発生予測については、これまでに本州以南でナラ枯れが発生する危険性のある植生分布が地図化されている（近藤・加賀谷 2014）。また、当年の被害発生地と気象、植生データから、翌年の被害発生地を予測する統計モデルが開発されている（山中・近藤 2014；Kondoh *et al.* 2015）。一方、近年の東北地方での被害地の北上には気温の上昇が関係している可能性がある。そのため、温暖化によって気温が上昇した場合、北海道内で潜在的な被害地がどのように広がるのかを予測することが重要だと考えられる。

このような温暖化にともなう将来予測については、

他種の養菌性キクイムシでは、現在の気象データを用いて種の分布適地を推定するモデルを作成し、それに温暖化後の気象データをあてはめることで将来の潜在生息域が予測されている（Ge *et al.* 2017；Urvois *et al.* 2021）。また、北米西海岸のマツ林に甚大な被害を与えている樹皮下穿孔性キクイムシであるアメリカマツノキクイムシ（*Dendroctonus ponderosae*）（加賀谷ら 2016）では、生活環や低温耐性を考慮した気象モデルを作成し、温暖化による被害地の拡大が予測されている（Safranyik *et al.* 2010；Cooke and Carroll 2017）。カシノナガキクイムシにおいても、温暖化の影響を含めた潜在的な被害地の予測が可能になれば、被害の早期発見やリスク評価、今後の対策の策定に役立つだろう。

### (2) 本州からの移入の推定

第二の課題は、本州から移入する成虫の推定である。カシノナガキクイムシ成虫の移動や分散については、これまでに林分内での短距離移動が調べられてきた（Esaki *et al.* 2002；Igeta *et al.* 2003, 2004）。しかし、林冠より高い所を飛翔し、林分間を移動するような長距離移動については調べられておらず、本州から津軽海峡を越えて北海道への移動を推定することは現段階では難しい。

一方、昆虫の長距離移動は近年、レーダーを使って調べられている（Chapman *et al.* 2011）。キクイムシ類に関しては、Jackson *et al.* (2008) はアメリカマツノキクイムシを対象に、気象レーダーと飛行機による昆虫採集を組み合わせ成虫の飛翔時間や飛翔高度を調べた。このような長距離移動では、昆虫は基本的に自力で飛ぶというよりも風に乗って風下の方向に移動する（Jones *et al.* 2019）。そのため飛翔高度での風速と飛翔時間をかけ合わせることで移動距離が推定できる。アメリカマツノキクイムシの場合、この方法によると30～110kmもの長距離を移動すると推定された。さらに飛翔個体数も推定した結果、移入先の面積あたりにすると約5000個体/haとなり、これは移入先で約9本/haのマツを枯死させることができる個体数だと試算している（Jackson

*et al.* 2008)。

一般に脱出直後のキクイムシ類には正の走光性があり、それによって上方に移動して林冠より上に到達した成虫が長距離移動を行う (Jones *et al.* 2019)。長距離移動する成虫の割合について、アメリカマツノキクイムシでは脱出成虫の約2.4%と推定されている (Safranyik *et al.* 1992)。カシノナガキクイムシも脱出直後の成虫は正の走光性をもつため (Igeta *et al.* 2003; Pham *et al.* 2017)、一部の個体は長距離移動を行うと考えられる。その場合の飛翔高度と飛翔時間が分かれば、飛翔高度における脱出日の風向、風速から移動方向と移動距離が推定できるだろう。また、本州の被害林分での脱出成虫数が推定できれば、どれくらいの個体数が津軽海峡を越えて北海道に移入するのかを試算することが可能になるはずである。このような移入個体の推定は、被害の早期発見だけでなく、次に述べる防除対策の検討にも重要な情報をもたらす。

### (3) 現段階で可能な防除対策

第三の課題は、被害発生前の防除である。前述のように、ナラ枯れ対策は被害拡大前の初期対応が重要であり、具体的には枯死木が1～10本/ha程度の微害のあいだに防除を行うことが勧められている (日本森林技術協会 2012)。これをもう一步進めて、カシノナガキクイムシが孤立して低密度で生息しているが被害は未発生段階で、何らかの防除対策を実施することにより被害の発生を未然に阻止することはできないだろうか。ナラ枯れの発生には成虫の樹幹への大量穿孔が必要なため (升屋・山岡 2012)、大量穿孔によって枯死を引き起こす密度以下に個体数を抑制すれば、枯死木の発生を阻止できると考えられる。ただし、この段階での防除はこれまで実施されていないため、従来の防除法の有効性を検討するか、または新たな方法を開発する必要がある。

前述のように北海道の場合、カシノナガキクイムシが侵入害虫である可能性がある。一般に侵入害虫の場合、侵入初期に根絶を目指すのが1つの目標となる (Liebhold *et al.* 2016)。また、根絶が難しい

場合でも、なるべく早期に対策を実施した方が費用対効果が高くなる (Brockerhoff *et al.* 2010)。具体的な防除方法としては薬剤散布、誘引物質を用いた大量捕獲 (もしくは誘引殺虫)、寄主の除去等があげられる (Suckling *et al.* 2014)。その中で誘引物質を用いた大量捕獲は、侵入初期の低密度で孤立した個体群に対して効果的だとされている (Suckling *et al.* 2014; Liebhold *et al.* 2016)。なお、低密度個体群の場合、捕獲される数は大量ではないこともあるが、それでも用語としては「大量捕獲 (mass trapping)」が用いられている。

樹皮下穿孔性キクイムシ類の場合、在来種の大発生に対して、誘引物質として合成フェロモン剤を用いた大規模な大量捕獲が1970年代から欧米で行われてきた。その結果、枯死被害が軽減したという報告と、そうではないという報告がある (El-Sayed *et al.* 2006)。また、トウヒ類の害虫であるヤツバキクイムシ (*Ips typographus*) では、合成フェロモン剤による大量捕獲は、大発生個体群の抑制よりも未被害地での枯損予防に効果的だとみなされている (Wermelinger 2004)。

El-Sayed *et al.* (2006) によると、大量捕獲の効果に影響する要因としては、①誘引物質の誘引力 (天然の誘引源に匹敵するか)、②トラップの配置と数 (十分な数を適切に配置しているか)、③害虫の個体群密度 (低密度ほど効果的)、④害虫の移出入 (孤立個体群ほど効果的) などがあげられる。①の誘引物質の誘引力に関しては、カシノナガキクイムシの合成フェロモン剤の誘引力はあまり高くないとされているが (Kamata *et al.* 2008)、被害が未発生状況では天然の誘引源が少ないため、被害発生後よりも誘引効果が期待できるかもしれない。③の個体群密度については、カシノナガキクイムシの場合でも低密度の方が有効だと考えられる。また、④の害虫の移出入、特に移入個体の数は大量捕獲が効果を発揮するために重要な要因である。そのため、上述の長距離移動の推定の結果、本州から多数の個体が飛来すると考えられる場合には、大量捕獲による個体群の抑制は難しいだろう。

これらの要因の影響も含めて大量捕獲の防除効果

を定量的に評価するには、個体群動態モデルが有効である (El-Sayed *et al.* 2006)。樹皮下穿孔性キクイムシでは、個体の増殖や死亡、分散、寄主木の分布などを取り入れた個体ベースモデルが作成されており、モデルを用いた枯死木分布の計算や、防除効果の推定が行われている (Fahse and Heurich 2011; Bone and Altaweel 2014)。カシノナガキクイムシにおいても、このようなモデルがあれば、個体群の抑制にはどのような対策が有効なのかを検討することができるだろう。

## 6. おわりに

くり返しになるが、現在、北海道ではナラ枯れ被害木は確認されていない。今後、もしナラ枯れが発生・拡大した場合、その影響は大きくなる可能性が高い。また林業や森林生態系に影響を及ぼすため、単木レベルよりも林分レベルでの対策が求められるようになるだろう。本州以南とはこのような違いに加えて、ナラ枯れに弱い樹種の蓄積が大きい、カシノナガキクイムシが侵入害虫である可能性、寒冷地であるといった自然条件にも違いがある。このような地域的な特性を考慮して、それに合った対策を立てて実施していくことが重要だと考えている。

## 謝辞

本研究は国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所交付金プロジェクト (課題番号 202106) により実施した。国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 北海道支所の山中聡氏、地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 林業試験場の小野寺賢介氏、地方独立行政法人 青森県産業技術センター 林業研究所の伊藤昌明氏と2名の査読者には原稿を読んでコメントを頂いた。ここにお礼申し上げる。

## 引用文献

Beaver RA. (2016) The Platypodinae ambrosia beetles of Laos (Coleoptera: Curculionidae: Platypodinae). *Entomol Basiliensia et Collectionis*

Frey 35 : 487 ~ 504

- Bone C, Altaweel M (2014) Modeling micro-scale ecological processes and emergent patterns of mountain pine beetle epidemics. *Ecol Model* 289 : 45 ~ 58
- Brockerhoff EG, Liebhold AM, Richardson B, Suckling DM (2010) Eradication of invasive forest insects: concepts, methods, costs and benefits. *N Z J For Sci* 40(Suppl) : S117-S135
- Chapman JW, Drake VA, Reynolds DR (2011) Recent insights from radar studies of insect flight. *Annu Rev Entomol* 56 : 337 ~ 356
- Cooke BJ, Carroll AL (2017) Predicting the risk of mountain pine beetle spread to eastern pine forests: considering uncertainty in uncertain times. *For Ecol Manage* 396 : 11 ~ 25
- El-Sayed AM, Suckling DM, Wearing CH, Byers JA (2006) Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *J Econ Entomol* 99 : 1550 ~ 1564
- Esaki K, Kamata N, Kato K (2002) A sticky screen trap for surveying aerial populations of the ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera : Platypodidae). *Appl Entomol Zool* 37 : 27 ~ 35
- Fahse L, Heurich M (2011) Simulation and analysis of outbreaks of bark beetle infestations and their management at the stand level. *Ecol Model* 222 : 1833 ~ 1846
- Ge X, Jiang C, Chen L, Qiu S, Zhao Y, Wang T, Zong S (2017) Predicting the potential distribution in China of *Euwallacea fornicates* (Eichhoff) under current and future climate conditions. *Scientific Reports* 7 DOI: 10.1038/s41598-017-01014-w
- Hamaguchi K, Goto H (2010) Genetic variation among Japanese populations of *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae), an insect vector of Japanese oak wilt disease, based on

- partial sequence of nuclear 28S rDNA. Appl Entomol Zool 45 : 319 ~ 328
- 北海道水産林務部 (2021) 平成30年度北海道林業統計. <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/rin-toukei/30rtk.htm>, 2021.03.26ダウンロード
- Igeta Y, Esaki K, Kato K, Kamata N (2003) Influence of light condition on the stand-level distribution and movement of the ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera : Platypodidae). Appl Entomol Zool 38 : 167 ~ 175
- Igeta Y, Esaki K, Kato K, Kamata N (2004) Spatial distribution of a flying ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera : Platypodidae) at the stand level. Appl Entomol Zool 39 : 583 ~ 589
- 伊東宏樹・五十嵐哲也・衣浦晴生 (2009) 京都市京北地域におけるナラ類集団枯損による林分構造の変化. 日林誌 91 : 15 ~ 20
- Jackson PL, Straussfogel D, Lindgren BS, Mitchell S, Murphy B (2008) Radar observation and aerial capture of mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopk. (Coleoptera : Scolytidae) in flight above the forest canopy. Can J For Res 38 : 2313 ~ 2327
- Jones KL, Shegelski VA, Marculis NG, Wijerathna AN, Evenden ML (2019) Factors influencing dispersal by flight in bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): from genes to landscapes. Can J For Res 49 : 1024 ~ 1041
- 加辺正明 (1960) 日本産キクイムシ類の加害樹種と分布. 前橋営林局, 前橋
- 加賀谷悦子・上田明良・升屋勇人・神崎菜摘 (2016) アメリカマツノキクイムシ (コウチュウ目: キクイムシ科) の生態と随伴生物: 日本への侵入リスクの考察のために. 応動昆 60 : 77 ~ 86
- Kamata N, Esaki K, Mori K, Takemoto H, Mitsunaga T, Honda H (2008) Field trap test for bioassay of synthetic (1S,4R)-4-isopropyl-1-methyl-2-cyclohexen-1-ol as an aggregation pheromone of *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae). J For Res 13 : 122 ~ 126
- 衣浦晴生 (1994) ナラ類の集団枯損とカシノナガキクイムシの生態. 林業と薬剤 130 : 11 ~ 20
- 小林正秀・上田明良 (2002) 京都府内におけるナラ類の集団枯損の発生要因解析. 森林防疫 51 : 62 ~ 71
- 小林正秀・上田明良 (2005) カシノナガキ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
- 近藤洋史・加賀谷悦子 (2014) ナラ枯れ被害発生ポテンシャルの広域空間分布. 森林防疫 63 : 221 ~ 224
- Kondoh H, Yamanaka T, Saito S, Shoda-Kagaya E, Makino S (2015) Development of a hazard map for oak wilt disease in Japan. Agric For Entomol 17 : 205 ~ 213
- Liebholt AM, Berec L, Brockerhoff EG, Epanchin-Niell RS, Hastings A, Herms DA, Kean JM, McCullough DG, Suckling DM, Tobin PC, Yamanaka T (2016) Eradication of invading insect populations: from concepts to applications. Annu Rev Entomol 61 : 335 ~ 352
- 升屋勇人・山岡裕一 (2012) キクイムシの加害様式と随伴菌の病原性との関係. 日林誌 94 : 316 ~ 325
- Murata M, Yamada T, Ito S (2005) Changes in water status in seedlings of six species in the Fagaceae after inoculation with *Raffaelea quercivora* Kubono et Shin-Ito. J For Res 10 : 251 ~ 255
- 村田政穂・山田利博・伊藤進一郎 (2020) ブナ科樹木萎凋病菌 *Raffaelea quercivora* に対するブナ科9樹種の感受性. 樹木医学研究 24 : 87 ~ 91
- 中島春樹・松浦崇遠 (2015) 「ナラ枯れ」はその後どうなったのか? . 富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究レポート 10 : 1 ~ 8
- 日本森林技術協会 (2012) ナラ枯れ被害対策マニュアル - 被害対策の体制づくりから実行まで -. 日本森林技術協会, 東京
- 日本森林技術協会 (2015) ナラ枯れ被害対策マニユ

- アル改訂版. 日本森林技術協会, 東京
- 野淵 輝 (1993a) カシノナガキクイムシの被害とナガキクイムシ科の概要(I). 森林防疫 42 : 85 ~ 89
- 野淵 輝 (1993b) カシノナガキクイムシの被害とナガキクイムシ科の概要(II). 森林防疫 42 : 109 ~ 114
- Ozaki K, Ueda A, Tokuda S, Wada H, Kitajima H (2021) First report of an ambrosia beetle, *Platypus quercivorus*, vector of Japanese oak wilt, in Hokkaido, northern Japan. J For Res 26 : 152 ~ 154
- Pham DL, Ito Y, Okada R, Ikeno H, Isagi Y, Yamasaki M (2017) Phototactic behavior of the ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Murayama) (Coleoptera: Platypodidae) before and after flight. J Insect Behav 30 : 318 ~ 330
- 林野庁 (2021) 令和2年度 森林病虫害被害量 (速報値). [https://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/higai/attach/pdf/naragare\\_R2-15.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/higai/attach/pdf/naragare_R2-15.pdf), 2021.03.26ダウンロード
- Safranyik L, Carroll AL, Regniere J, Langor DW, Riel WG, Shore TL, Peter B, Cooke BJ, Nealis VG, Taylor SW (2010) Potential for range expansion of mountain pine beetle into the boreal forest of North America. Can Entomol 142 : 415 ~ 442
- Safranyik L, Linton DA, Silversides R, McMullen LH (1992) Dispersal of released mountain pine beetles under the canopy of a mature lodgepole pine stand. J Appl Entomol 113 : 441 ~ 450
- 斉藤正一・柴田銃江 (2012) 山形県におけるナラ枯れ被害林分での森林構造と枯死木の動態. 日林誌 94 : 223 ~ 228
- 嶋瀬拓也 (2020) 2000年代以降における北海道広葉樹材市場の動きとその背景. 林業経済学会 2020年秋季大会学術講演集 : 118 ~ 121
- Suckling DM, Stringer LD, Stephens AE, Woods B, Williams DG, Baker G, El-Sayed AM (2014) From integrated pest management to integrated pest eradication: technologies and future needs. Pest Manage Sci 70 : 179 ~ 189
- 上田明良 (2012) 総論 : 昆虫とナラ枯れ被害. 昆虫と自然 47 : 2 ~ 4
- Urvois T, Auger-Rozenberg M, Roques A, Rossi JP, Kerdelhue C (2021) Climate change impact on the potential geographical distribution of two invading *Xylosandrus* ambrosia beetles. Scientific Reports 11 DOI: 10.1038/s41598-020-80157-9
- Wermelinger B (2004) Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* - a review of recent research. For Ecol Manage 202 : 67 ~ 82
- Wood SL, Bright DE (1992) A catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera), Part 2: Taxonomic Index. Great Basin Nat Mem 13 : 1 ~ 1553
- 山中武彦・近藤洋史 (2014) 最新ICTを活用したナラ枯れリアルタイム被害発生予測システムの開発. 森林防疫 63 : 253 ~ 256

(2021.6.23 受理)