

ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの生態、被害発生と防除法

江崎功二郎

要旨: クワカミキリ *Apriona japonica* Thomson は、これまでクワ、ビワやイチジクなどの穿孔性害虫として知られてきたが、近年、ケヤキやブナの造林地や緑化木に被害が拡大し問題となっている。そのため、これらの被害地における効果的な管理技術の開発が求められている。本研究では、全国的にも被害が最も深刻なケヤキ植栽地におけるクワカミキリの管理法を提案するために、生態の解明、被害解析および防除法に関する調査を行った。まず、卵および幼虫の発育経過、成虫の産卵および後食習性などについて調査した。次に、成虫による後食被害および幼虫による穿孔被害の特性を解析した。さらに、下刈りによる産卵抑制効果、後食木を利用した成虫の生物学的および化学的防除を検討した。

1. 生態の解明

ケヤキ植栽地においてクワカミキリの産卵は7月下旬から9月上旬まで行われ、卵寄生の影響は小さく、ほとんどの卵は産卵当年にふ化する。卵の発育零点を10℃とすると、278日℃以上ですべての卵がふ化することが示された。ケヤキに穿孔した幼虫は生育期間の長期化が影響して、その生存率が低下することが考えられた。人工飼料で飼育した成熟幼虫に30日以上低温全暗処理を施すと蛹化が促進されたため、冬期の低温は幼虫休眠の覚醒に必要であることが示唆された。ケヤキ植栽地の周辺に自生するクワ樹の後食量はケヤキより160倍大きく、このような後食木の存在は植栽地における成虫の定着に影響していると考えられた。

2. 穿孔および後食被害の解析

ケヤキ植栽地において成虫の産卵選好性は直径10mm以上の幹や枝で高く、後食選好性はその径以下で高くなる傾向が認められた。また、穿孔および後食被害木の立木サイズは無被害木より大きく、さらに累積産卵痕数は立木直径と正の相関を示す傾向が認められた。これらの結果は、クワカミキリ成虫は空間占有率が高いサイズの大きい立木に飛来しやすいため、被害が発生しやすくなることを示唆した。

3. 防除法の検討

ケヤキ植栽地において下草除去区のクワカミキリ産卵数は放置区より少なくなり、放置区の下草に覆われた幹や枝に好んで産卵されている傾向があった。このため、産卵期間中の下刈りは産卵防止効果があることが示唆された。ニセアカシア・エノキ混交林において昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* を培養したシート型不織布製剤をエノキ後食木に設置すると、施用41日後までの平均感染死亡率は55%であり、施用12日後に最大値80%を示した。このため、この製剤を後食木に施用すると高率にクワカミキリ成虫を感染死させることが示された。また、フェニトロチオン乳剤を成虫の発生直前およびその3週間後にエノキ後食木の枝条に散布すると、野外で発生期間を通じて成虫を殺虫することができた。さらに、1回散布したエノキの枝条と3週間隔で2回散布した枝条を成虫に与えて飼育すると、1回散布では散布4週間後まで、2回散布では2回目散布6週間後まで飼育開始後3日以内に死亡した。このため、フェニトロチオン乳剤を後食木に2回散布すると、発生期間を通じた防除が期待できることが示された。

4. ケヤキ植栽地における管理の提案

クワカミキリの産卵選好性は直径10mm以上の枝や幹で高くなるため、ケヤキ植栽地においては植栽直後から警戒が必要である。穿孔被害の初発時は、植栽木の枝基部の周囲にある産卵痕および幼虫のフラスを見つけることによって確認できる。ふ化直後の幼虫を殺虫するためにフェニトロチオン乳剤の樹幹

東京農工大学大学院連合大学研究科博士論文

Life cycle, damage analysis and control of *Apriona japonica* Thomson (Coleoptera, Cerambycidae) in young *Zelkova serrata* plantation

散布、および樹幹に穿孔する幼虫を殺虫するために幼虫の排糞孔にペルメトリン・エアゾールを噴霧する方法は効果が高いと思われる。成虫が集中する後食木を確認し、*B. brongniartii* を培養したシート型不織布製剤、およびフェニトロチオン乳剤を施用すると成虫の高い殺虫効果が期待される。広葉樹林が隣接しているか、低標高の植栽地において被害率が高くなる傾向があるため、このような場所の植栽は避けた方が良い。また、植栽地内で成虫を発生させないために積極的に幼虫を殺虫し、穿孔木を間伐することが重要である。成虫は下草に覆われた幹や枝に好んで産卵する習性があり、産卵期間中の下刈りによって産卵数を軽減できる。

キーワード：クワカミキリ、ケヤキ、生態、被害、防除

第1章 序論

1.1 クワカミキリに関するこれまでの研究

1.1.1 生物学的知見

クワカミキリ属 *Apriona* の種はインドネシアを中心として中国、日本、韓国からパプア・ニューギニアにかけて分布しており (Gilmour, 1958)、一部の種がポプラやクワの害虫として知られている (Singh and Verma, 1998; Yoon et al., 1997; Huang et al., 1997)。日本においては、本州および四国・九州地方にクワカミキリ *Apriona japonica* Thomson、奄美諸島および沖縄諸島にオキナワクワカミキリ *A. nobuoi* Breuning et Ohbayashi、先島諸島にイシガキクワカミキリ *A. yayeyamai* Breuning の3種が分布している (大林, 1992)。

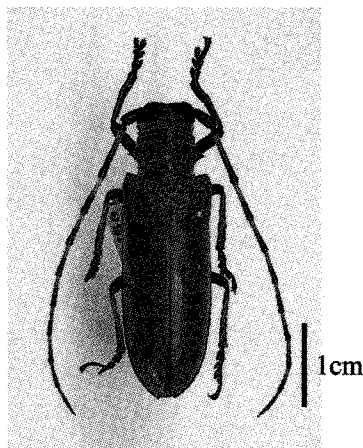


図 1.1.1 クワカミキリ成虫

クワカミキリの成虫(図 1.1.1)は体長 32–45mm、体は黒色で灰黄褐色の微毛で覆われる (大林, 1992)。生活史は 2～3 年 1 化とされている (村上, 1960)。成虫は 6～9 月にかけて出現し (Kojima, 1929; 村上, 1960)、羽化した成虫は主に寄主植物の若い枝を後食する (図 1.1.2a)。雌成虫は馬蹄形の産卵痕を形成する産卵加工を施し (図

1.1.2b)、その時間は 40 分程度を必要とする (村上, 1960; 西, 1990)。中川 (1904) は寄生蜂や乾燥によって卵のふ化が妨げられていることを観察している。幼虫の天敵としてハネグロアカコムバチ *Iphiaulax impostor* Scopoli および成虫の天敵としてアオバズク *Ninox scutulata* Momiyama が記録されている (安松・渡辺, 1965; 富沢, 2001)。

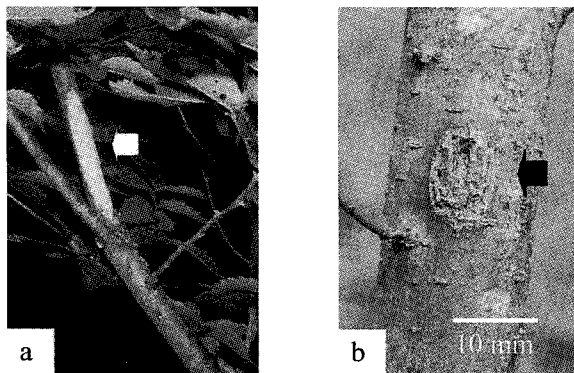


図 1.1.2 クワカミキリの後食痕 (a) と産卵痕 (b)

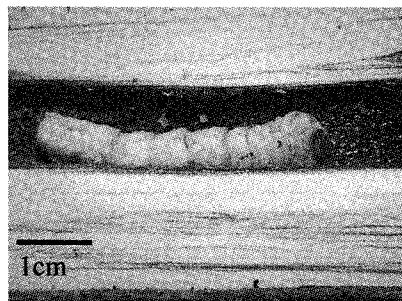


図 1.1.3 クワカミキリの幼虫

これまで、幼虫 (図 1.1.3) の穿孔が認められた樹種は約 20 科 49 種 (ヤナギ科 8 種、バラ科 7 種、クワ科 6 種、ニレ科 4 種、ブナ科 4 種、クルミ科 2 種、イラクサ科 2 種、マメ科 2 種、ミカン科 2 種、クスノキ科 1 種、スズカケノキ科 1 種、アオギリ科 1 種、ツバキ科 1 種、ミソハギ科 1 種、

カキノキ科1種、クロウメモドキ科1種、カバノキ科1種、カエデ科1種、ツツジ科1種、スギ科1種)が知られている(江崎・千木, 1997; 岡田・永幡, 1996; 小島・中村, 1986; 正木, 1997; 山崎, 1996; 大橋, 2005)。成虫の後食選好性はクワ科やニレ科で高いことが知られている(小島・中村, 1986; 大橋・野平, 1997)。

1.1.2 被害に関する知見

クワカミキリはその名の通りクワの害虫として知られてきた。平野(1959)によると、クワ園におけるクワカミキリの研究は1880~1920年ごろに盛んに行われた。その後、イチジク園およびビワ園などの果樹園においても被害が発生した(平井, 1950; 萩谷・沢田, 1973; 横溝・森田, 1980; ほか)。近年、ケヤキやブナなどの造林木(江崎, 1996; 山野辺・細田, 2002b; など)、ドウダンツツジやフジなどの緑化木(正木, 1997; 大橋, 2005)など多種の樹木で被害が発生し、大きな問題となっている。

クワ園において幼虫の穿孔による新梢や葉のしおれ、枝の伸長阻害および立木枯死が発生し、成虫の後食による1年枝の枯死、折損、葉の黄変や硬化が発生している(中川, 1904; 村上, 1960; 伊庭, 1991)。産卵痕は枝の基部に多く、選好される枝径に一定の傾向のあることが知られている(中川, 1904; 村上, 1960)。

ビワ園では幼虫の穿孔による枝の折損被害および産卵痕ががんしゅ病を誘発することが報告されている(河野・橋元, 1977; 横溝・森田, 1980)。河野・橋元(1977)は成虫が夜間ビワ園に産卵のために飛来していること、横溝・森田(1980)は産卵痕は枝径10~20mm および3~4年枝に多いことを明らかにしている。

イチジク園において、平井(1950)は植栽数年後にほとんどの苗がクワカミキリの穿孔被害を受けていたことを報告し、さらに幼虫の穿孔による新梢の折損、早期落葉および立木枯死などの激被害が報告されている(山内・久田, 1981; 萩谷・沢田, 1973)。成虫の後食および産卵選好性は新梢で高く(平井, 1950)、山内・久田(1981)は産卵痕は1枝あたり1箇所が多くポアソン分布に近似し、ランダムな産卵行動を行っていることを推察している。西(1990)は成虫の産卵が夜間に行われ、産卵後に歩行する習性を観察している。

ケヤキ植栽地において成虫の後食による枝の折損や枯死(後食被害)、および幼虫の穿孔による枝や幹の折損や枯死(図1.1.4a)、材質劣化(穿孔被害)(図1.1.4b)が報告されている。最初の被害は山口県で報告され(林ら, 1989)、その後、石川県(江崎, 1995)、神奈川県(山根ら, 1996)、岐阜県(大橋・野平, 1997)、鹿児島県(佐藤・田實, 1998)、千葉県(石谷, 2001)、静岡県(加藤・大場, 2001)、大分県(室, 2001)、福岡県(大長光・野田, 2001)、茨城県(山野辺・細田, 2002a)、熊本県(伊藤, 2004)および佐賀県(馬場・灰塚, 2006)と順に報告されている。各地の被害形態は主に幼虫による穿孔被害で、被害本数率40%以下の被害地が多い。しかし、被害本数率70%以上に達する激害例が、茨城県(山野辺・細田, 2002a)、千葉県(石谷, 2001)、佐賀県(馬場・灰塚, 2006)および熊本県(伊藤, 2004)から報告されている。成虫による後食被害報告は岐阜県(大橋・野平, 1997)および神奈川県(山根ら, 1996)の2箇所の植栽地のみから報告されている。大橋・野平(1997)は、植栽2~3年後の植栽地において後食被害本数率が26%に達し、そのうち82%が枝または幹周囲2分の1以上後食され、枝の枯死も発生したことを報告した。また、山根ら(1996)は、植栽1~2年後の植栽地において後食被害本数率が60~81%であり、その半数以上が幹に被害があったことを報告した。

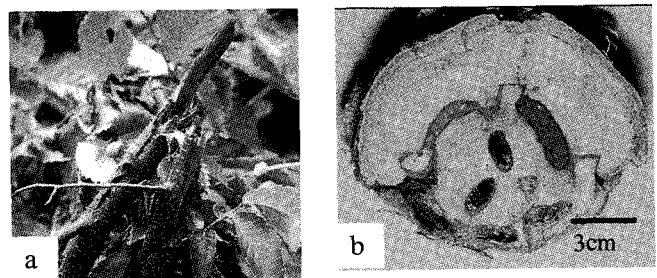


図1.1.4 クワカミキリ幼虫の穿孔によるケヤキ植栽木の幹の折損(a)および材質劣化(b)

ブナの穿孔被害が新潟県(須藤ら, 1995)、茨城県(山野辺・細田, 2002b)および兵庫県(岡田・永幡, 1996)から報告されている。ブナの被害は低標高になるほど被害本数率が増加する傾向があり(岡田・永幡, 1996)、須藤ら(1995)は標高260mの二次林では被害本数率23.4%、山野辺・細田(2002b)は標高60mの植栽地では被害本数

率 100%に達したことを報告している。

緑化木の被害については、江崎・千木（1997）は石川県北部公園に造成されたケヤキ 334 本（平均胸高直径 20.0cm）の木あたり幼虫寄生率は 0.38 で、立木あたり最大 6 個体の寄生が観察されたことを報告している。正木（1997）は静岡県行興寺境内にある天然記念物のフジ老樹において穿孔被害が発生したことを報告しており、フジは形成層が生長して傷口を巻き込むことがないため穿孔加害痕は腐朽進行の大きな要因になり、さらに成虫の後食は樹勢衰退に影響を及ぼしていると推察している。大橋（2005）は岐阜県森林科学研究所構内に植栽されたドウダンツツジに被害が発生したことを報告している。隣接して植栽されている同じツツジ科のサツキやキリシマツツジには被害が見られなかったこと、産卵痕数に対する羽化率が高率（67%）であったことを報告している。

1.1.3 防除に関する知見

クワ園において村上（1960）および伊庭（1991）は、被害防除のために成虫や幼虫を殺虫するために登録薬剤を散布および排糞孔から注入する化学的防除法を紹介しており、成虫の捕殺や発生源の除去なども重要であることを述べている。

ビワ園において河野・橋元（1977）は、ふ化直後の幼虫に薬剤を散布する方法および穿孔幼虫の排糞孔から薬剤を注入する方法を検討している。一方、大久保（1990）は成虫を捕殺、卵を圧殺、幼虫を刺殺する方法を紹介しており、薬剤による防除は困難であることを述べている。

イチジク園において平井（1950）は、成虫を見付け取りする方法、卵を潰す方法および排糞孔から薬剤を注入する方法を紹介している。田中ら（1995）は、排糞孔にペルメトリン・エアゾールを噴霧する方法や卵にステープラーの針を打ち込む方法により、一定の殺虫効果を得ている。さらに、山下ら（1999）はペルメトリン・エアゾールを噴霧する方法の防除効果は幼虫の生育期に高く、休眠期に低いことを明らかにした。

ケヤキ植栽地において山根ら（1998）は、排糞孔から薬剤を注入すると新しいフラスの排出が減少することを報告している。しかし、石谷（2001）はこの方法は非効率であることを述べている。加藤・大場（2003）は立木の肥大生長抑制と下枝除去が被害の軽減につながる可能性があることを示

唆している。馬場・灰塚（2006）は枝張りの狭いケヤキでは被害率が低くなる傾向があったことを報告している。

1.2 本研究の目的

日本の森林は戦後の拡大造林時代以降、スギ・ヒノキなどの針葉樹を中心に造成されてきた。しかし、近年になって広葉樹の価値が見直されたことや、森林の多面的機能を発揮させるために、ケヤキなどの広葉樹の植栽面積が全国各地で拡大した。石川県におけるケヤキ造林面積は 1992 年ごろから徐々に増加し、1996 年にはナラ類を上回り、1999 年にピークに達した（図 1.2.1）（石川県農林水産部，1995～2005）。ケヤキは建築材、家具材、器具材などとして他の広葉樹よりも用途が広く、大径材になると価値が高騰するため、人気が高い。さらに、ケヤキは新緑や枝張りの美しさなどの鑑賞的価値が高く、耐風性に優れているなどの利点があり公園や街道の緑化樹として広く利用されている。近年におけるケヤキ植栽面積の拡大にともないクワカミキリの被害も全国的に拡大し、「1.1.2 被害に関する知見」の章で示したように、ケヤキの代表的な害虫としての地位を得るに至った。

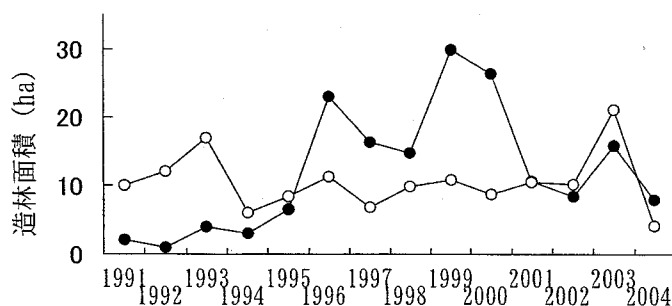


図 1.2.1 石川県におけるケヤキ（●）およびナラ類（○）の造林面積の年次変化（石川県農林水産部，1995～2005）

クワやイチジク園においてクワカミキリの防除は同所的に発生しているキボシカミキリ *Psacotha hiraris* (Pascoe) と同時防除がなされてきた（伊庭，1991；山下，2003）。例外もあるがキボシカミキリ防除に効果がある薬剤はクワカミキリ防除にも効果が認められるものが多い（伊庭，1991；山下，2003；江崎・樋口，2006）。そのため、実際の現場ではどちらかのカミキリムシで登録があれば薬剤を施用することが可能である。しかし、

ケヤキ植栽地において発生しているカミキリムシ類はクワカミキリのみであり、施用可能な薬剤は一般樹木（林木）のカミキリムシ類成虫の駆除として樹幹散布が認められているフェニトロチオン乳剤のみで（全国農業協同組合・全国農業安全指導者協議会，2006）、実績は皆無である。ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの被害形態は幼虫による穿孔被害および成虫による後食被害があり、クワ園および果樹園において発生している被害と基本的には同じである。しかし、ケヤキの生産現場は面積が広大で植栽立木密度も高く、クワ園および果樹園とは基本的な保育法または要防除水準が異なるために同じ技術を単純に移行することはできない。

本研究において、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの防除法を考案するためには、生態の解明や被害の解析は必要なプロセスである。そのため、第2章ではケヤキ植栽地におけるクワカミキリの生態を解明するために、卵期、幼虫期および成虫期について調査を行なった。第3章ではケヤキ植栽地におけるクワカミキリの穿孔および後食被害の解析を行ない、これらの発生要因となる成虫の産卵および後食選好性について明らかにした。第4章ではこれら生態的特性を利用し、他の穿孔虫類で防除効果が知られている下刈りによるクワカミキリの産卵抑制効果、クワカミキリ成虫が集合する後食木を利用した昆虫寄生菌および化学合成薬剤による防除法の開発について研究を行った。そして、第5章では総合考察として生活史や加害特性をまとめ、さらにクワ園および果樹園の管理法を参考にして、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの総合的防除法の提案を行った。

第2章 生態の解明

第2章ではクワカミキリの生活史を中心とした生態的な知見が少ないため、ケヤキ樹体内における卵の発育経過について調査を行った。次に、ケヤキ被害木および人工飼育における幼虫の生育状況について調査を行い、幼虫の発育経過について明らかにした。さらに、ケヤキ植栽地に成虫が飛来する過程を明らかにするために植栽地周囲の後食木の存在を明らかにし、後食木上の日周行動について調査を行った。

2.1 卵期

2.1.1 はじめに

クワカミキリの雌成虫は、羽化後に約10日間の産卵前期間があり（山下，2003）、1日産卵数は平均2.2個で、生涯産卵数は平均60-69個である（村上，1960；北島ら，1997）。中川（1904）はクワ園におけるクワカミキリの卵のふ化率は32.4%であったこと、村上（1960）は卵期間の死亡率は57.6%であったことを示している。また、村上（1960）は28℃の飼育条件下におけるクワカミキリの卵期間は9-14日であること、北島ら（1997）は10℃および35℃条件下では卵は発育しないが15-30℃条件下の卵期間は平均9.1-50.6日で、飼育温度が高くなるにつれ卵期間が短くなることを示した。クワカミキリの幼虫はフラスを排出しながら穿孔する特性がある（江崎，1995；ほか）ため、今回の研究ではケヤキ植栽地において産卵痕から排出されるフラスを調査し、ふ化率を明らかにした。また、卵の発育経過と温量の関係を明らかにするために、産卵痕出現から17日後にフラスの排出および産卵痕下の剥皮による卵のふ化を観察した。

2.1.2 材料および方法

2.1.2.1 調査地

調査は石川県志賀町石川県緑化センターにある0.325haの9年生のケヤキ植栽地で行った。この植栽地は50年生以上の針葉樹林、緑化木植栽地および草地に囲まれていた。この植栽地に方形区（60×30m）を1996年3月に設置した。当時、調査地の立木本数は339本であった。この調査区は後述する「4.1 下草除去によるクワカミキリの産卵防止効果」を調査するため2分割され、一方は下草が除去され、もう一方は放任された。

2.1.2.2 ふ化率

1996年6月1日～9月16日まで週2回（月と金曜日）の間隔で産卵痕数の調査を行った。このうち、ふ化率を調査するために産卵前期の7月26日～8月2日までに出現した産卵痕について、8月12日～8月26日にフラスの排出を観察した。8月26日までにフラスの排出がなかった産卵痕については、卵のふ化を観察するために産卵痕下を剥皮した。また、産卵後期の8月26日～9月6日までに出現した産卵痕について、産卵翌年の

1997年3月27日に同様の調査を行った。

2.1.2.3 卵の発育経過

卵の発育経過を明らかにするため、8月5日、8月9日および8月16日に出現した産卵痕について、それぞれ17日後の8月23日、8月26日および9月2日にフラスの排出および産卵痕下の剥皮による卵のふ化を観察した。北島ら(1997)はクワカミキリの卵を15℃で飼育すると平均卵期間が50.6日であり、10℃では90日経過してもふ化が観察できなかったことから、卵の発育零点が10℃以上であることを示唆した。そのため、卵の発育零点を10℃にし、石川県気象情報のアメダスデータ(時別累積検索(<http://hare.iff.pref.ishikawa.jp/>))を用いて、調査地点志賀の各産卵痕出現日9時から17日後8時まで、時間ごとの温量を有効積算温量として算出した。

2.1.3 結果

2.1.3.1 ふ化率

この調査区において205個の産卵痕が出現した。産卵痕は7月26日から出現し、8月5日まで急激に増加し、9月6日までゆっくりと減少した。(図2.1.1)。

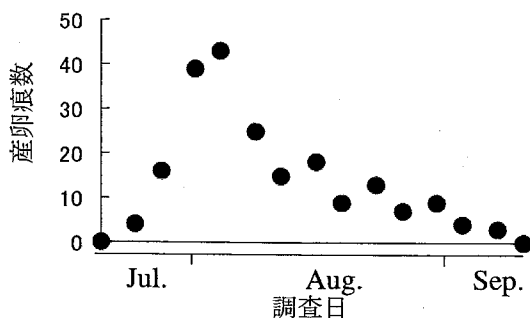


図2.1.1 ケヤキ植栽地における産卵痕出現消長

産卵前期に計52個の産卵痕が出現し、このうち47個の産卵痕で観察期間中にフラスの排出が観察された。フラスの排出が無かった5個の産卵痕下の剥皮によって1個の産卵痕からふ化幼虫が観察され、4個の産卵痕から卵の痕跡が観察されなかった。そのため、産卵前期のふ化率は92.3%(48/52)になった。また、産卵後期に計23個の産卵痕が出現し、このうち14個の産卵痕でフラスの排出が観察された。フラスの排出が観察されなかつ

た9個の産卵痕下の剥皮によって1個の産卵痕からふ化の痕跡、6個の産卵痕から乾燥した卵が観察され、2個の産卵痕から卵の痕跡が観察されなかった。そのため、産卵後期のふ化率は71.4%(15/21)になった。

2.1.3.2 卵の発育経過

8月5日、8月9日および8月16日に計81個の産卵痕が出現したが、産卵痕下の剥皮によって3個の産卵痕で卵の痕跡が観察されず、1個の産卵痕で卵寄生が観察された。そのため、これら4個の産卵痕を除いた計77個の産卵痕について卵の発育経過を示した(図2.1.2)。8月6日、8月9日および8月16日を産卵痕出現日とする17日間の有効積算温量は順番に、244.1、277.9および291.1日℃であった。8月6日および8月9日に出現した産卵痕ではフラスの排出およびふ化幼虫が観察され、8月6日のフラス排出割合は76.9%で、それが8月9日には54.2%に低下し、両者に有意差が認められた(Fisherの正確確率検定、 $p < 0.05$)。8月16日の産卵痕出現日のフラス排出割合は50.0%になり、8月9日の54.2%とは差が認められなかった(Fisherの正確確率検定、 $p > 0.05$)が、この調査では卵が21.4%(3個)観察された。

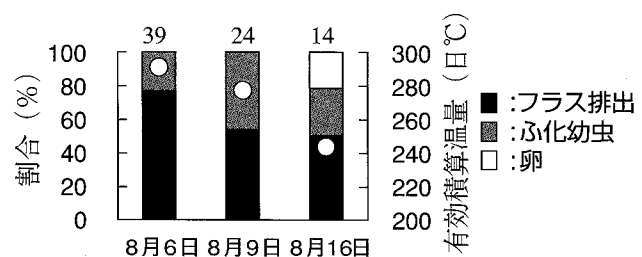


図2.1.2 産卵痕出現日の違いによる卵の発育経過(バー、左軸)と有効積算温量(○、右軸)

有効積算温量は発育零点を10℃として求めた。

図中の数字は調査産卵痕数を示した。

2.1.4 考察

中川(1904)は東京都のクワ園の調査において産卵翌年4月下旬の調査時点で卵のふ化は確認されないが、生存した卵の胚はほとんど完成していたことを報告した。しかし、村上(1960)は兵庫県のクワ園の調査において産卵当年にふ化すること、北島ら(1997)は15-30℃の飼育条件下の卵期間は平均9.1~50.6日であることを報告した。

今回の調査においてもほとんどの卵が産卵当年にふ化したため、クワカミキリの卵は産卵当年にふ化することが一般的であると思われる。中川(1904)の報告には調査年が示されていないが、気象庁の東京都東京の気象データ(<http://www.data.kishou.go.jp/etrn/>)によると、中川(1904)の発表2年前の1902年8月の平均気温は22.8℃で、この年は異常な冷夏であった。このような冷夏の年では成虫の発生時期が遅滞するとともに産卵時期も遅滞することが推測され、産卵翌年にふ化が持ち越されたものと考えられる。

産卵前期における卵のふ化率は92.3%(48/52)および産卵後期におけるふ化率は71.4%(15/21)で、これらを合わせたふ化率は86.3%(63/73)になる。中川(1904)は卵のふ化率は32.4%(36/111)、村上(1960)は卵期間の死亡率は57.6%(476/827)であったことを報告した。今回調査したふ化率はこれらと比較すると有意に高くなった(χ^2 検定、 $p < 0.001$)。中川(1904)は卵の死亡原因として全体の34.4%が寄生蜂、20.7%が乾燥の影響であったことを報告している。乾燥が死亡原因と考えられた卵は今回の産卵後期の調査で28.6%(6/21)出現し、遅い時期に産卵された卵は卵期間が長期化するため、乾燥による卵の死亡率が高くなることが示唆された。また、卵の発育経過の調査では寄生が1例観察されたが、ふ化率の調査では寄生が観察されなかったため、今回の調査では高いふ化率を得ることができたと考えられた。

卵の発育経過と有効積算温量との関係は、有効積算温量244.1日℃でふ化率78.6%(11/14)、277.9-291.1日℃で100.0%(63/63)であった(図2.1.2)。北島ら(1997)の卵の飼育温度(15-30℃)と平均ふ化日数(9.1~50.6日)から、発育零点を10℃とした卵期間の有効積算温量を求めると182-203日℃が算出される。そのため、ケヤキ植栽地における有効積算温量と卵の発育経過の関係は、北島ら(1997)の報告と近似した傾向を示したと考えられた。また、フラスの排出が観察されなかった産卵痕下の剥皮によって、すべての調査日でふ化幼虫が観察されたため、村上(1960)が述べたようにふ化後、幼虫はしばらく静止し食害を始めることが確認された。

2.2 幼虫期

2.2.1 はじめに

クワ園におけるクワカミキリの幼虫について村上(1960)は産卵2年後5月頃までに、枝条中でふ化した幼虫の34.7%が死亡することを報告している。これまで、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの幼虫の生存率について追跡調査した例は報告されていないが、江崎(1997)は幼虫の穿孔部位が折損や枯損することにより死亡率が高くなる可能性を示唆した。

一方、農林業の害虫として知られているカミキリムシの数種では、実験用供試虫を生産するための幼虫の人工飼育技術が確立されている。これらのカミキリムシのうち幼虫休眠性を持つ種では、幼虫の飼育方法の開発に加えて、幼虫休眠の誘導・覚醒のための日長・温度条件が解明されてきた。例えば、キボシカミキリ西日本型では幼虫休眠が短日条件で誘導されること(江森, 1979)、センノキカミキリ *Acalolepta luxuriosa* (Bates) では幼虫時期の短日から長日への日長変化が休眠を回避させること(本多ら, 1981)、およびマツノマダラカミキリ *Monochamus alternatus* Hope では休眠している老熟幼虫を10℃に2ヶ月以上遭遇させると幼虫休眠が覚醒されること(木村, 1974)などである。クワカミキリでは、長日または短日の条件下での飼育では成熟幼虫まで成長しても幼虫がほとんど蛹化しないこと、および幼虫態で越冬することが知られている(北島ら, 1997; 村上, 1960)。これらはクワカミキリの幼虫が休眠性を持つことを示唆するので、人工飼育条件下で幼虫休眠を制御し蛹化を促進させるためには、温度や日長の管理を行う必要があると考えられる。

この研究では、ケヤキ植栽地における幼虫期の生存率を明らかにするために、16個の産卵痕について産卵3年後に割材調査を行い、幼虫の坑道形成により死亡時期を推定した(江崎, 1999)。また、人工飼育において成熟幼虫に低温全暗の併用処理を施すと幼虫期間の相対的な短縮が起こることが明らかになったので、その結果について報告し、低温全暗の併用処理と休眠覚醒との関係について考察した(江崎, 2001)。

2.2.2 調査方法

2.2.2.1 幼虫期の生存率

調査林は石川県珠洲市片岩町のケヤキ植栽地3haの一部(0.125ha)である。1995年夏季に産卵

された 16 個の卵についてふ化幼虫の死亡時期を推定するために、産卵木を産卵 3 年後の 1998 年秋季に伐倒し、樹幹解析を行った。まず、産卵痕から下方に向かって立木を 3 - 5 cm 間隔で玉切りし、産卵痕から坑道の終点までの高さを測定した。クワカミキリの幼虫は坑道形成に伴い排糞孔形成を行う性質があるため、幼虫の死亡時期と坑道終点付近の排糞孔形成時期はほぼ同時期と推定できる。樹皮表面の数年経過した排糞孔痕は、周囲が楕円状に盛り上がり中央の排糞孔部分がへこんでいるなどの痕跡が認められる。この排糞孔痕を含んだ丸太を横断面で割材して幼虫の死亡時期を推定した (図 2.2.1)。村上 (1960) は、幼虫の主な坑道形成時期は 4 ~ 11 月であると報告している。守屋 (1988) は香川県の調査においてケヤキの肥大成長期は 4 月から開始して 5、6 月に旺盛になり 7 月には概ね停止すると報告しており、中野 (1988) は石川県の調査において 5 ~ 8 月にほぼ等量の生長をしていると報告している。これらの報告から便宜的に幼虫の穿孔時期 4 ~ 11 月をケヤキの肥大成長量別に 3 期に分け、早材形成時期を I 期 (4 ~ 6 月)、晩材形成時期を II 期 (7 ~ 8 月) および生長休止期を III 期 (9 ~ 11 月) として、死亡した幼虫の排糞孔形成時期を推定した。

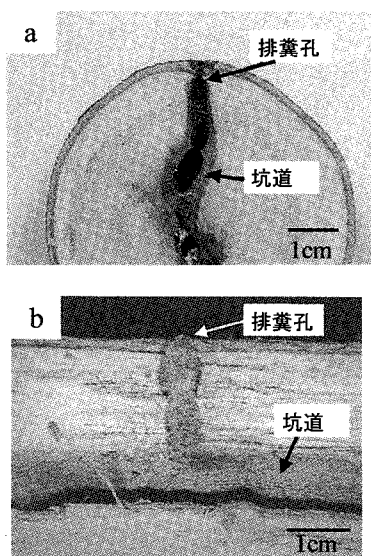


図 2.2.1 クワカミキリ幼虫の坑道と排糞孔 (a: 横断面、b: 縦断面)

2.2.2.2 人工飼育された幼虫の休眠

石川県金沢市および白山市において採集したクワカミキリ雌成虫 10 頭および雄 4 頭を、葉を全て除去したクワの枝 (枝径 5 - 15mm、長さ 450mm)

を 10 本程度入れたプラスチック容器 (300×400×高さ 250mm) に、それぞれ雌 2 - 3 頭と雄 1 頭ずつ入れて、自然条件下でクワの枝に産卵させた。雌成虫が死亡するまでクワの枝は 5 日置きに交換した。産卵された枝は十分な湿度を保つことができるようにビニール袋に入れてから 25℃、16L 8D 条件下で保護し、5 日ごとに観察して、フラスコの排出が見られた産卵痕から孵化幼虫を取り出した。幼虫の飼料としてインセクタ L F[®] (日本農産工業 (株) 製) を用いた。飼料を約 50g 入れたプラスチック小型丸形容器 (直径 60mm、高さ 34mm) に孵化幼虫 140 頭をそれぞれ 1 頭ずつ接種した。その後、幼虫の体重が 2g 以上になるまでは同小型容器内で、それ以降は飼料約 100g を入れた同中型容器 (直径 80mm、高さ 47mm) 内で、2 週間ごとに飼料の交換と体重測定を行いながら、25℃、16L 8D 条件下で飼育を行った。

成熟幼虫の蛹化を促進するために、マツノマダラカミキリの幼虫休眠の覚醒方法 (Kosaka and Ogura, 1990) を参考に、以下の 4 つの低温全暗の併用処理区 (以下低温全暗区と表記する) と処理を施さないで 25℃、16L 8D 条件下で飼育を継続する処理区 (以下 25℃区と表記する) を設けた。低温全暗区の 4 つとは、すなわち、孵化幼虫接種後 16 ~ 18 週目の幼虫を 30 日または 60 日間 10℃、24D に処理したもの、および 18 ~ 20 週目の幼虫を 40 日または 70 日間 10℃、24D に処理したものであり、いずれの低温全暗区でも、16℃、24D 条件下で 10 日間飼育した後、それぞれの低温処理によって異なる日数の 10℃、24D を経験させて、再び 16℃、24D の条件下に 10 日間処理した (以下、孵化幼虫接種後 16 ~ 18 週目の幼虫を 30 日および 60 日間 10℃、24D に処理したものを、それぞれ 30 日低温全暗区および 60 日低温全暗区、孵化幼虫接種後 18 ~ 20 週目の幼虫を 40 日および 70 日間 10℃、24D に処理したものを、それぞれ 40 日低温全暗区および 70 日低温全暗区と表記する)。

孵化幼虫接種後 16 週目頃から体重成長のピークに達する個体が出現し、個体によって順次体重成長のピークに達すると考えられたために、各処理の供試虫には 16 ~ 20 週目における生存幼虫 109 頭を、各低温全暗区に各 18 頭、25℃区に 37 個体を無作為に供試した (Scheffe 検定、 $p > 0.05$)。低温全暗の併用処理は飼育容器ごとに行い、処理中は虫体に光や物理的な刺激を与えることを避ける

ため、飼料の交換と体重測定は行わなかった。低温全暗の併用処理後は25℃、16L 8D条件下で飼育を継続し、低温全暗の併用処理終了後1週間目、およびそれ以後は2週間ごとに観察および飼料の交換を行った。

飼料の交換時に、幼虫が完全に絶食して飼料への穿孔が認められなくなったか、前蛹と認められた場合は、蛹化がスムーズに促進するように直径23mmの試験管に移動させた。供試虫の乾燥を防ぐために試験管にポリプロピレンの植物培養キャップでフタをして、隙間がないようにパラフィルムで完全に密閉した。また、結露した水滴などが幼虫の体に直接ふれないように、筒状にした新聞紙で試験管の内壁を被った。飼育観察を一斉に終了したため、孵化幼虫接種後飼育を終了するまでの期間は低温全暗区によって42~46週間と異なった。

2.2.3 結果および考察

2.2.3.1 幼虫の生存率

1998年秋季の調査時に生存していた幼虫は1個体のみで、その坑道距離は129cmであった。「2.1卵期」の章で示したように、ケヤキ植栽地における卵のふ化率は高く、一般的に卵は産卵当年にふ化するため、坑道距離が10mm以下であった9個体の幼虫はふ化直後(1995年Ⅲ期)の死亡であったと推定される。坑道距離が10mmより長い6個体の幼虫について排糞孔の形成位置を観察して幼虫の死亡時期を推定すると、産卵1年後の1996年Ⅰ期およびⅡ期が1個体および2個体、産卵2年後の1997年Ⅱ期およびⅢ期が各1個体、不明が1個体であった。死亡時期が不明であった1個体を除いた幼虫15個体の生存率の季節変化は、ふ化直後の産卵当年Ⅲ期に急激に低下した後、産卵3年後Ⅲ期まで緩やかに低下した(図2.2.2)。大橋・野平(1997)はケヤキ植栽地の調査において幼虫の生存率は1年間で4%に低下することを報告した。また、山野辺・細田(2002)は幼虫の穿孔が確認された11箇所ケヤキ植栽地うち3箇所成虫の脱出孔が観察され、それらの本数率は1.0~4.0%であったことを報告した。クワ園においてクワカミキリの生活史は2~3年1化であることが知られている(村上, 1960)が、今回の調査では蛹化した個体は観察されなかった。これらのことから、ケヤキに穿孔した幼虫は生育期間の長期化

が原因で、その生存率が低下する可能性が考えられた。しかし、伊藤(2004)によると、幼虫の穿孔本数率が75.5%のケヤキ植栽地において、1年間で新たに確認した脱出孔は本数率で13.6%であり、これまでの報告より多くの成虫が脱出している可能性を示唆している。

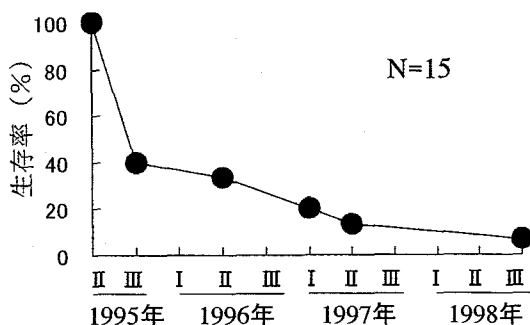


図 2.2.2 幼虫の生存率の季節変化
幼虫の生長期をⅠ期：4~6月、Ⅱ期：7~8月およびⅢ期：9~11月にした。

2.2.3.2 人工飼育された幼虫の休眠

接種孵化幼虫140頭の平均体重(±標準偏差)は0.019(±0.0065)gであった。孵化幼虫接種後16週目までに、飼料への食い付きが悪いなどの要因で飼育幼虫の22%が死亡したが、生存していた109個体の幼虫の平均体重は4.2(±1.3)gであった。

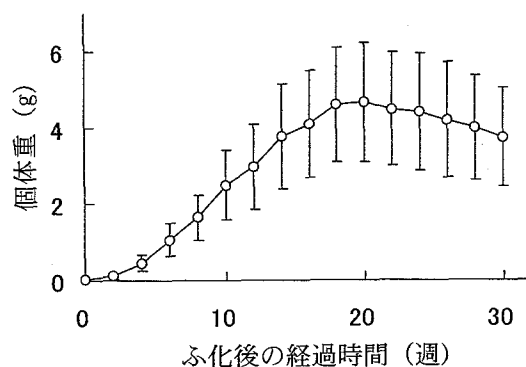


図 2.2.3 25℃、16L 8Dでふ化後から人工飼育飼料で飼育した幼虫の体重変化
縦棒は標準偏差を示す。

25℃区における孵化幼虫接種後30週目までの幼虫の体重変化を図2.2.3に示す。25℃区にお

るクワカミキリ幼虫の体重成長は、孵化幼虫接種後 20 週目でピークに達し、その後、ゆっくりと減少した(図 2. 2. 3)。体重増加が見られなくなった幼虫は、体が縮み、体色が黄変し、活動が不活発になっていくことが観察された。これらのことから体重成長がピークに達した幼虫は休眠状態であったことが示唆された。

25℃区における孵化幼虫接種後 30 週目以降、および各低温全暗区の併用処理終了後の累積蛹化・死亡率の経時変化を図 2. 2. 4 に示す。25℃区における蛹化個体は孵化幼虫接種後 36 週目に初めて確認された(図 2. 2. 4A)。各低温全暗区における蛹化個体は、30 日低温全暗区では処理後 7 週目から、その他の低温全暗区では 5 週目から出現し、いずれの低温全暗区でも初めて蛹化が確認されてから 8 週目以内に蛹化率が増加・安定した(図 2. 2. 4B-E)。孵化幼虫接種後に蛹化が初めて確認されるまでの期間は、30 日低温全暗区では孵化幼虫接種後 30~32 週目であり、25℃区の 36 週目と比較すると、4~6 週間蛹化期間が早かった。

25℃区における蛹化個体は 42 週目までには 5 頭(14%)の蛹化個体がみられた(図 2. 2. 4A)。各低温全暗区における観察終了時の蛹化個体割合(個体数)は、30 日、40 日、60 日、および 70 日低温全暗区で、それぞれ 61%(11 頭)、61%(11 頭)、83%(15 頭)、および 50%(9 頭)であり、60 日低温全暗区で最も高かった(図 2. 2. 4B-E)。これら 5 区間で検定を行うと、各区によって蛹化率が異なっていることが認められ(χ^2 検定、 $p < 0.05$)、25℃区と各処理区の間で検定を行うと、その蛹化率には統計的な有意差が認められた(χ^2 検定、 $p < 0.01$)。

25℃区および各低温区とも孵化幼虫接種後の期間や低温全暗の併用処理後の経過期間の増加に伴い、幼虫の死亡率が増加する傾向が見られたが(図 2. 2. 4)、休眠期間の長期化が幼虫を衰弱させる要因になったためと考えられた。

これらの結果から、25℃、16L 8D 条件下で飼育されたクワカミキリ成熟幼虫に、30 日以上低温全暗の併用処理を施すと、蛹化が促進され、30 日間の低温全暗の併用処理を施すと、幼虫期間が相対的に短縮されることが分かった。石井ら(1964)はキボシカミキリの西日本型を長日条件下で飼育すると孵化後 60~70 日に蛹化するが、短日条件に保っても孵化後 270 日前後に休眠から覚

醒し蛹化することを報告している。また、北島ら(1997)はクワカミキリ孵化幼虫を 20 および 25℃、15L 9D の長日条件下で飼育を行った結果、飼育開始後 180 日目に発育を停止していた幼虫は休眠状態であることを示唆した。

今回の実験の 25℃区におけるクワカミキリ幼虫の蛹化の遅延と 30 日低温全暗区での幼虫期間の相対的な短縮は、クワカミキリ幼虫が 25℃長日条件下では、成熟幼虫で休眠に入り、さらに、幼虫休眠は 10℃、30 日以上低温全暗の併用処理で覚醒された可能性があると考えられた。

人工飼料(インセクタLF)を用いて、クワカミキリのふ化後の幼虫を 25℃、16L 8D で 16~20 週間飼育を行い、16℃、24D で 10 日、10℃、24D で 30~70 日、16℃、24D で 10 日間飼育した後、再び 25℃、16L 8D に戻して飼育すると、処理後 11 週以内に 50%以上の個体が蛹化することが明らかとなった。今後、人工飼育で得られたクワカミキリ成虫を実験に供試するためには、野外成虫との体サイズや繁殖能力などを比較しておく必要がある。

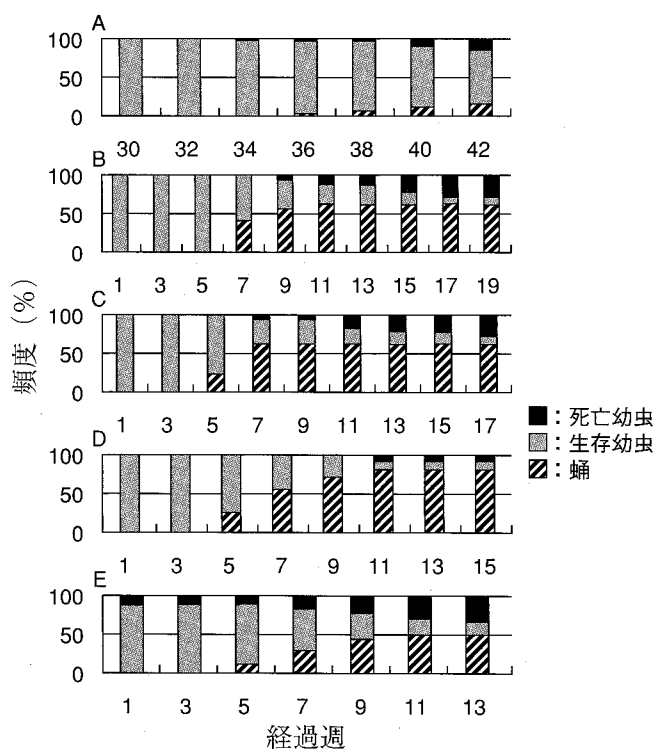


図 2. 2. 4 25℃、16L 8D で飼育し続けた幼虫のふ化 30~42 週後、および 10℃、24D で 30~70 日処理した幼虫の累積蛹化率および死亡率の時間変化

A : 25℃ 16L 8D (N=18)、B : 30 日処理 (N=18)、C : 40 日処理 (N=18)、D : 60 日処理 (N=18)、E : 70 日処理 (N=18)

2.3 成虫期

2.3.1 はじめに

クワカミキリの成虫は、羽化脱出直後から性成熟と生命維持のために後食を行う。後食選好性はクワやニレ科の樹木の若年枝で高いことが報告されている(小島・中村, 1986; 大橋・野平, 1997; 村上, 1960)。そのため、クワおよびイチジク園の被害地において穿孔被害のほかに後食被害も同時発生する(伊庭, 1991; 山下, 1986)。しかし、ピワ園の被害地においては後食被害の報告はなく(大久保, 1990)、ケヤキ植栽地においてもまれである(山根ら, 1996; 大橋・野平, 1997; 江崎, 1995; ほか)。ピワ園において夜間に雌成虫が産卵のために飛来することが知られており(河野・橋元, 1997)、周辺にイヌビワやクワが自生していると被害が多発する傾向がある(大久保, 1990)。このため、クワカミキリ成虫がピワ園やケヤキ植栽地の周辺に自生する樹木を後食木として利用し滞在し、被害を発生させている可能性が高いと思われた。

この研究ではケヤキ植栽地における後食および産卵習性を明らかにするために、ケヤキ植栽地とその周辺に自生するクワを調査地として、産卵痕数および後食痕数の比較を行った。さらに、後食木上における成虫の行動を調査して、日周行動を観察した(江崎, 2006b)。

2.3.2 材料と方法

石川県志賀町緑化センターにある0.325haの9年生ケヤキ植栽地およびその周囲に自生するクワを調査地とした。このケヤキ植栽地はクワカミキリによる穿孔被害地で、1996年の被害本数率は約35%であった(江崎, 1997)。ケヤキ植栽地の北東側と北西側は高齢の針葉樹林に接しており、南東側と南西側は草地や若齢の緑化木育成林に面している。ケヤキ植栽地に設置したケヤキ調査区(30×60m)の地上高0.5mでの平均直径(±標準偏差、最小値-最大値)は22.4(±6.3、6-43)mmであった(表2.3.1)。1996年3月に339本あったが、その後、枯死などで調査開始時には311本に減少した。クワ調査区はケヤキ植栽地に接した針葉樹林縁に自生する24本のクワとした。この地上高0.5mでの平均直径は24.8(±15.4、9.6-63)mmであった(表2.3.1)。ケヤキ調査区とクワ

調査区の平均立木直径には差が認められなかった(分散分析、 $p=0.119$)。

表 2.3.1 後食痕数と産卵痕数の比較

調査区	ケヤキ	クワ
調査本数	331	24
平均地上高0.5m直径(mm)	22.4 ^{*1}	24.8
後食痕数	40	763
後食痕面積(mm ²)(a)	20060.0 ^{*2}	333480.0
産卵痕数(b)	205	21
a/b	97.9	15880.0

*1 1996年3月の測定時の339本について示した。

*2 「3.3 後食および産卵選好性の比較」の章で示した1995年調査の平均後食痕面積501.5mm²と後食痕数の積により算出した。

ケヤキ調査区における後食および産卵痕数の調査は、1996年の7月1日より9月16日(月および金曜日、計23回)まで10:00~14:00の間に、新しく出現した後食および産卵痕について行った。このケヤキ調査区において後食痕面積は調査しなかったため、後述する「3.3 後食および産卵選好性の比較」の章で示した1995年夏季にこの植栽地において形成された273個の後食痕の平均面積501.5mm²を参照して、総後食痕面積を推定した(表2.3.1)。クワ調査区における後食および産卵痕数の調査は1996年9月16日に行った。巻き込みのない新しい後食および産卵痕を選び、後食面積および箇所数を記録した。

クワカミキリ成虫の日周行動観察は、クワ調査区の最大サイズの立木(地上高0.5m、直径63cm)上で行った。調査は1996年8月6日の0:00~24:00まで24時間とし、1時間ごとに観察を行った。観察時のクワカミキリ成虫の行動を後食、交尾、歩行および静止に分類して記録した。18:00~24:00までの間、日周行動の調査時以外はケヤキ調査区において成虫の産卵行動の観察を行った。夜間の観察は大型懐中電灯に赤いセロハンを張り付けて行った。

2.3.3 結果と考察

ケヤキ調査区の後食痕数および産卵痕数は40個および205個で、1996年の合計後食痕面積は20,060.0mm²であった(表2.3.1)。ケヤキ調査区の産卵痕数あたり後食痕面積は97.9mm²であった(表2.3.1)。クワ調査区の後食痕数および産卵痕数は763個および21個で、合計後食面積は

333, 480.0mm²であった(表 2.3.1)。クワ調査区の産卵痕数あたり後食痕面積は 15, 880.0mm²であった。クワ調査区の産卵痕あたり後食痕数はケヤキ調査区の 162.3 倍高くなった。この結果は、このケヤキ植栽地では周辺のクワをクワカミキリ成虫が後食木に利用していることを示している。被害地における後食木は、クワカミキリ成虫を定着させるために重要な存在であると考えられる。

江崎(2006a)は、ケヤキ植林地においてクワカミキリの後食選好性はサイズの大きい立木で高くなることを示している。クワ調査区において、地上高 0.5m での直径と後食痕面積は正の相関関係($y=12.24x-166.06$, $R^2=0.852$, $p<0.001$)が示され(図 2.3.1)、同様の傾向を示した。サイズの大きい立木ほどクワカミキリに多くの後食場所を提供できるため、後食面積が多くなると考えられる。

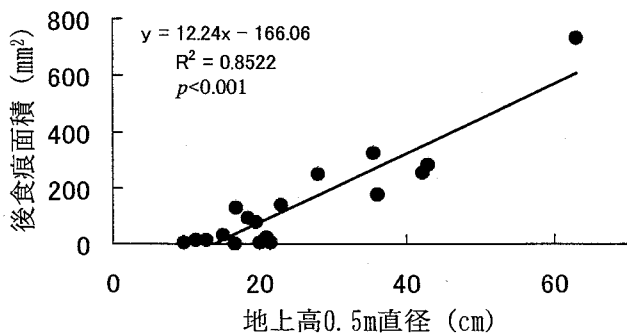


図 2.3.1 クワ調査区における立木サイズと後食痕面積

クワ上でクワカミキリ成虫の日周行動を 0:00~24:00 までの間に観察した結果、成虫が 23:00 に最大 4 個体確認された(図 2.3.2)。0:00~8:00 までは交尾や後食などの活発な行動が観察されたが、その後 18:00 ごろまで静止する個体が多かった。そして再び 24:00 まで活発な行動が観察された(図 2.3.2)。クワ上で活発な行動が観察された時間帯では観察個体数は 1-4 個体で変動した。ケヤキ調査区において 20:00 に飛来した雌 1 個体が、次々と立木を移動し、22:30 まで樹幹や枝条に産卵を行う行動が観察された。また、ケヤキ調査区において後食痕 40 個および産卵痕 205 個が出現したが、10:00~14:00 までの調査時間には成虫を観察することができなかった。これらのことから、クワカミキリの成虫が日中はケヤキ植栽地の周辺のクワ後食木に留まり、夕方から夜間にかけて飛来していることが推察された。

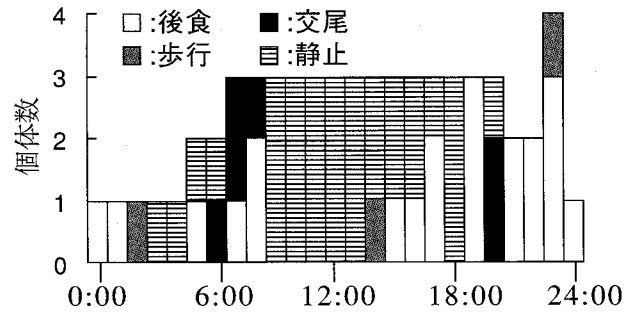


図 2.3.2 クワにおける成虫の日周行動(1996年8月6日)

2.4 結論

- 1) ケヤキ植栽地においてクワカミキリの産卵は 7 月下旬に始まり、8 月上旬にピークを示し、9 月上旬まで徐々に減少する傾向があった。
- 2) ケヤキ植栽地における卵は産卵当年にふ化し、卵寄生の影響が小さいためふ化率が高くなることが示唆された。
- 3) 卵の発育零点を 10℃とした有効積算温量 278 日℃以上で、すべての卵がふ化することが示された。
- 4) ケヤキに穿孔した幼虫は生育期間の長期化が影響して、その生存率が低下することが考えられた。
- 5) 成熟した幼虫を一定期間低温に曝すと、休眠が覚醒し蛹化が促進されることが明らかになった。
- 6) ケヤキ植栽地周辺に自生するクワは後食木に利用されており、成虫の定着に重要な存在であると考えられた。

第 3 章 穿孔および後食被害の解析

第 1 章に示したように、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの被害が全国各地で蔓延しており、幼虫による穿孔被害および成虫による後食被害が報告されている。この研究はクワカミキリの総合的防除法を提案することを最終目的とする。防除法を検討するために被害解析および発生要因について解明していくことは必須である。第 3 章では穿孔被害を発生させる間接要因であるクワカミキリ成虫の産卵特性について、穿孔被害木および産卵痕の調査によって明らかにする。さらに、後食被害を発生させる直接要因である成虫の後食特性

について、後食痕の調査によって明らかにする。

3.1 産卵場所の特徴

3.1.1 はじめに

従来からケヤキはクワカミキリの寄主植物に含まれていたが(小島・中村, 1986)、ケヤキ植栽地における穿孔被害は林ら(1989)の報告まで知られていなかった。林ら(1989)はケヤキ植栽3年後にクワカミキリによる穿孔被害が発生し(被害本数率 26.3%)、さらに6年後の累積被害本数率は44.1%に増加したことを報告した。石川県珠洲市のケヤキ植栽地においてもクワカミキリによる穿孔被害が確認されたため、被害木のサイズ、産卵部位の枝径およびその高さについて調査を行い、クワカミキリ成虫の産卵特性について考察を行った(江崎, 1995; 1996)。

3.1.2 材料および方法

調査地は、石川県珠洲市片岩町にある12~13年生のケヤキの植栽造林地(3ha)である。植栽当時(1982年10月)はケヤキとヤマハンノキの混植(ケヤキ:ヤマハンノキ=10:3)を行っており、約13,000本/haの苗木が植栽された。その後、ヤマハンノキはケヤキを被圧し、さらに穿孔虫による被害も多く発生したため(江崎, 1994)、1990年4月にすべてのヤマハンノキが伐倒された。その翌年の1991年からケヤキにクワカミキリの被害が見られるようになったため、1992年5月に一部の被害木が伐倒され、その場に放置された。1993年11月に60m²の方形区においてフラスの排出の有無によって判断した穿孔被害木は14本および無被害木は450本で、被害本数率は3.1%であった。さらに、穿孔被害解析を行うために、その周辺の被害木26本を調査対象に加えた。

無被害木と被害木の立木サイズを調査するために、各調査木の地上高1mでの直径を測定した。1993年11月9日に被害木を伐倒し、石川県林業試験場の実験室に持ち帰った。さらに12月7日に幼虫坑道が観察された伐根の掘り取りを行った。調査地より持ち帰った被害木を、バンドソーを用いて縦横断面に切断し、出現した幼虫坑道について、始点の枝幹直径、始点の地上高および坑道長を測定した。坑道の始点の枝幹は多少変形しているため、その付近の変形のない個所の直径を測定した。

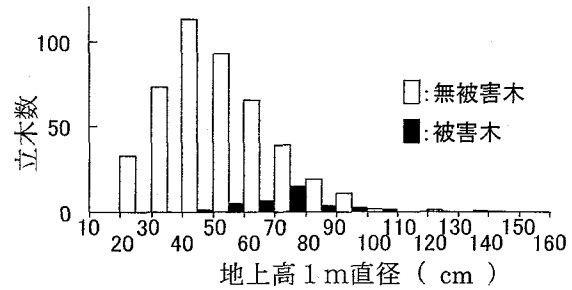


図 3.1.1 無被害木と被害木の立木サイズ分布

3.1.3 結果および考察

被害木は地上高1mでの直径40mm以上から出現し、その平均直径67.9mmは無被害木の47.4mmより有意に大きかった(図3.1.1)(t検定、 $p < 0.001$)。これにより、ケヤキ林分内におけるクワカミキリの穿孔被害は、肥大成長のよいケヤキに発生していることが明らかになった。

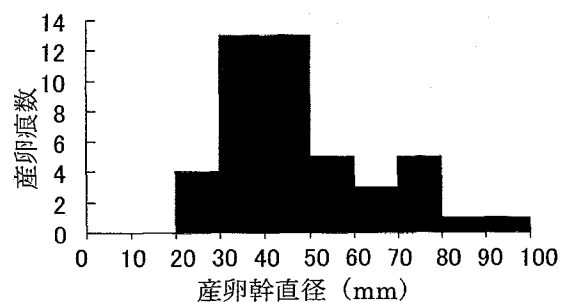


図 3.1.2 産卵幹直径の分布

被害木40本から45坑道が発見された。その始点の平均枝径(±標準偏差、最小-最大)は、48.7(±17.7、21-95)mmで、そのピークは30-50mmであった(図3.1.2)。クワカミキリの産卵枝径について、村上(1960)は0.8-3.1cmにみられ1.3-1.9cmが最も多かったこと、および中川(1904)はその幹周りが30-78.8mm(直径9.6-25.1mm)であったことを報告した。今回の調査では、穿孔被害木から発見された幼虫の坑道を追跡した産卵枝径を測定しているため、産卵後1~数年経過していた可能性が高い。その間に産卵枝が肥大生長し、村上(1960)および中川(1904)の報告より大きくなったことが考えられた。実際の産卵枝径を明らかにするためには、産卵直後の枝径を測定する必要がある。一方、坑道の始点の平均高は、204.1(±117.0、39-462)cmであった。地上高1mでの直径と坑道の始点の高さとの関係は直線

回帰 ($y=3.9538x-76.127$, $R^2=0.4016$, $p<0.001$) で近似された (図 3.1.3)。幼虫坑道の始点の高さは、ほぼ産卵当時の高さを示している。Kojima (1929) は、クワ園におけるクワカミキリの産卵部位は地上高 29-141cm に観察しており産卵高に一定の傾向があるとしたが、今回の結果はこれとは異なる傾向を示した。

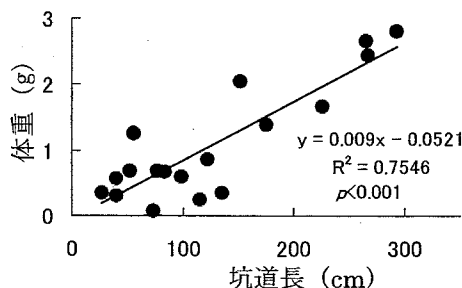


図 3.1.3 直径と産卵痕の高さの関係

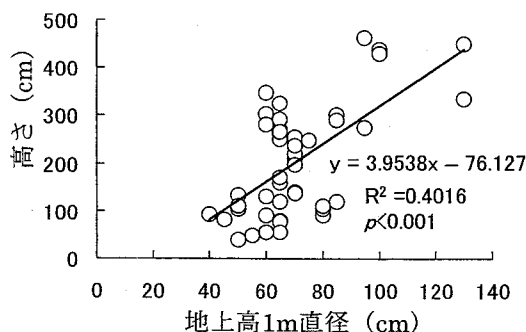


図 3.1.4 幼虫の坑道長と体重の関係

坑道の多くは繊維方向に一直線に続いており、下に進むに従って広がっていた。根部まで続いていた坑道は 36% を占め、幹および根部で往復して

いる食坑道も多数見られた。生きた幼虫が採集された坑道は 77% で、いずれも地際以上の場所であった。これらのうち、幼虫の体重が測定された 18 個体の平均体重は $1.09 (\pm 0.88, 0.07-2.81)$ g で、その平均坑道長は $127.7 (\pm 85.1, 27-293)$ cm であった。幼虫の坑道長と体重の関係は回帰直線 ($y=0.009x-0.0521$, $R^2=0.755$, $p<0.001$) で示された (図 3.1.4)。クワカミキリ成虫が羽化脱出するまでの坑道長について、村上 (1960) は生育年数によって違いが認められ、3 年 1 化では平均 3.89m および 2 年 1 化では平均 2.43m であることを示した。今回、冬季前に行った調査において坑道長 2.5m 以上に達した個体が 3 個体確認された。クワカミキリは春季に蛹化するため (村上, 1960)、これらの幼虫は翌年に羽化する可能性が考えられる。

3.2 立木サイズによる産卵選好性

3.2.1 はじめに

「3.1 産卵場所の特徴」の章において、穿孔被害は大きいサイズの立木で発生しやすい傾向が示された。さらに、この傾向を確認するために、石川県において被害発生が確認された 9 箇所のケヤキ植栽地において、穿孔被害木と無被害木の立木直径について比較を行った。また、穿孔被害発生に直接関係する成虫の産卵選好性と立木サイズの関係について明らかにした。

3.2.2 材料と方法

石川県珠洲市片岩、輪島市河原田、志賀町火谷、宝達志水町河原、金沢市牧、楠木、四十万 (2

表 3.2.1 ケヤキ植栽地における穿孔被害および産卵痕本数率

調査地		調査日	調査本数	平均直径 (mm) ¹⁾	穿孔被害		累積産卵痕		
場所	記号				本数 ²⁾	率 (%)	数	本数	率 (%)
輪島市河原田	W	2001年8月9日	71	52.3	12	16.9	39	24	33.8
宝達志水町河原	H	2001年7月17日	141	45.5	30	21.3	167	58	41.1
金沢市牧	KM	2001年7月19日	88	32.2	13	14.8	37	20	22.7
金沢市楠木	KK	2001年7月19日	61	36.5	9	14.8	29	24	39.3
金沢市四十万A	KSA	2001年7月31日	65	20.3	4	6.2	43	26	40.0
金沢市四十万B	KSB	2001年8月7日	51	27.3	17	33.3	75	33	64.7
能美市和佐谷	N	2002年10月8日	238	21.6	41	17.2	98	57	23.9
小松市池城	KO	2001年7月18日	77	28.9	19	24.7	75	45	58.4
加賀市泉民の森	KA	2001年8月13日	80	37.9	18	22.5	93	49	61.3
合計および平均			872	32.4	163	18.7	656	336	38.5

1) 立木直径は地上高 0.5m 直径を測定した。

2) フラスの排出が観察された立木数を記録した。

箇所)、能美市和佐谷、小松市池城および加賀市県民の森のケヤキ植栽地9箇所について2001年7月から2002年10月まで調査地を設定した(表3.2.1)。

各植栽地において立木ごとに地上高0.5mでの直径を測定し、フラスの排出による穿孔被害の有無および累積産卵痕数を調査した。穿孔被害の有無による立木サイズの違いを分散分析によって解析を行ない、さらに立木サイズと産卵痕数の関係を明らかにするためにKendallの順位検定によって解析を行った。

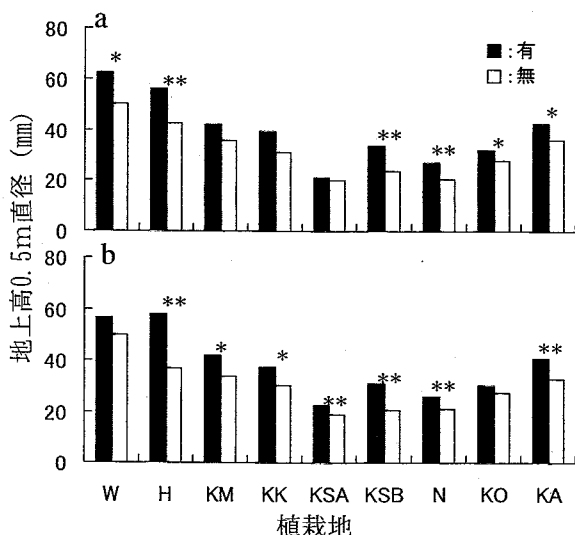


図 3.2.1 各植栽地における穿孔被害 (a) および産卵痕 (b) の有無による立木サイズの比較

植栽地の記号は表 3.2.1 による。

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.005$ を示す (分散分析)。

3.2.3 結果と考察

9箇所の調査地において、調査した立木本数は872本で調査地の平均立木本数(±標準偏差、最小値-最大値)は96.9(±58.8、51-238)本であった。この地上高0.5mでの平均直径は32.4(±10.6、20.3-52.3)mmであった。平均被害本数率は18.7(±7.6、6.2-33.3)%であった(表3.2.1)。調査された産卵痕数は656個で産卵本数率は38.5%であった(表3.2.1)。穿孔被害本数率50%を超えるケヤキ植栽地が九州地方を中心に報告されているが(山野辺・細田, 2002a; 大長光・野田, 2001; 馬場・灰塚, 2006; 伊藤, 2004)、石川県の近隣の被害率は、静岡県で17.3-29.0%(加藤・大場, 2003)、岐阜県で10%(大橋・野平, 1997)の報告があり、今回の結果と近い値であった。

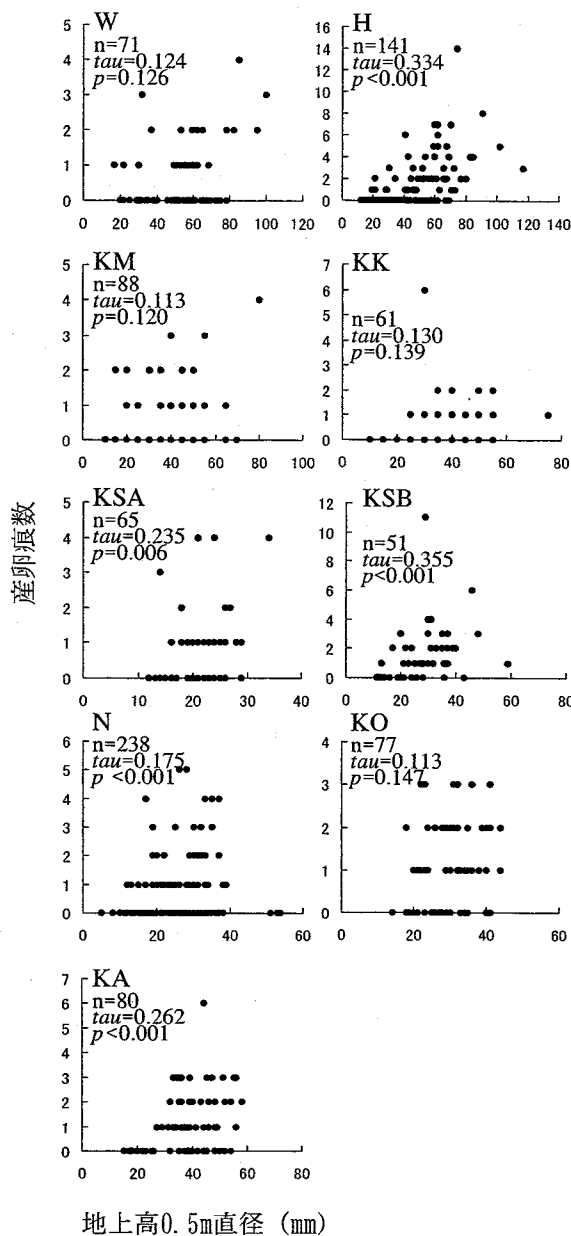


図 3.2.2 立木サイズと産卵痕数の関係

図中の記号は調査地を示し、表 3.2.1 による。

図中の τ および p 値は Kendall の順位検定によって算出された。

すべての調査地において穿孔被害木の平均立木サイズは被害が無かった立木より大きくなり、このうち6箇所の調査地において有意差が認められた(図3.2.1a)(分散分析、 $p < 0.05$)。同一林分内では、大きい立木サイズほど穿孔被害が発生しやすいことが知られており(江崎, 1995; 大橋・野平, 1997; 佐藤・田實, 1998; 室, 2001; ほか)、今回の結果も同様の傾向を示した。また、すべての調査地の産卵痕が観察された立木の平均サイズは産卵痕が観察されなかった立木より大きくなり、

このうち7箇所の調査地において有意に大きくなった(図 3.2.1b) (分散分析、 $p < 0.05$)。さらに、立木サイズと産卵痕数の関係は5箇所の調査地において正の相関関係が示された(図 3.2.2) (Kendall の順位検定、 $p < 0.05$)。穿孔被害はふ化した幼虫によって引き起こされるため、立木サイズが大きいほどクワカミキリの産卵選好性が高くなり、穿孔被害が発生しやすくなると考えられた。

3.3 後食および産卵選好性の比較

3.3.1 はじめに

クワカミキリ成虫の後食が確認された樹種は、小島・中村(1986)の報告にケヤキおよびエノキを加えると13種が知られており、産卵や幼虫の穿孔が確認された樹種は49種が知られている(江崎、2002; 大橋、2005)。クワカミキリの後食樹種は、すべて産卵樹種に含まれている。このような生態は、同じフトカミキリ亜科のゴマダラカミキリ *Anoplophora malasiaca* (Thomson)、シロスジカミキリ *Batocera lineolata* Chevrolat、ホシベニカミキリ *Eupromus ruber* (Dalman) などでも知られている。これらのカミキリムシは主に若い枝の樹皮を後食するが、ゴマダラカミキリは樹幹下部に、シロスジカミキリは地上0.5-1.5mの樹幹に、ホシベニカミキリは直径5-10cmの樹幹や枝に産卵するため、同一立木上でも後食場所と産卵場所は明らかに区別されて観察される(遠田、1999)。しかし、クワカミキリはこれらの種とは異なり、樹上でこれらの場所に明確な区別はなく、両方が接近して観察されることも多い。

ケヤキ植栽地でのクワカミキリによる被害は、成虫の後食による枝枯れと幼虫の穿孔による樹木枯死や折損である(江崎、1995; 江崎、1997; 大橋・野平、1997; 山根ら、1996)。後食箇所の特徴については定量的な報告がないが、幼虫の穿孔の起点となる産卵箇所については枝径や立木サイズが報告されている(加藤・大場、2003; 大橋、1999; 佐藤・田實、1998)。

この研究では、ケヤキ樹の枝径や立木サイズによるクワカミキリの後食選好性を明らかにするために、被害が発生している林齢の異なる2箇所のケヤキ植栽地において、後食痕が観察された立木を調査した。また、産卵痕の枝径や立木サイズについても再調査した(江崎、2006a)。

3.3.2 材料と方法

3.3.2.1 調査林

石川県珠洲市片岩にある3.0haの17年生のケヤキ人工林に、0.125haのplot A (25×50m)を設置した。また、志賀町火打谷にある0.325haの9年生のケヤキ育成林全体をplot Bとした。両plotはほぼ平坦地である。plot Aの南側は疎林に、北側は谷に面しているため林分の南北が開放している。一方、東側はケヤキの連続林分で、西側が樹高約15mのコナラ中心の二次林により林分が閉鎖されている。plot Bの北東側と北西側は高齢の針葉樹混交林に面しており、南東側と南西側は草地や若齢の緑化木育成林に面している。この両plotのケヤキ立木を調査対象とした。

1995年12月におけるplot Aの立木本数は537本で、1996年3月におけるplot Bの立木本数は602本であった。plot Aの立木密度はplot Bの約2.3倍であった(表 3.3.1)。plot Aの平均胸高直径(±標準偏差、最小値-最大値)は45.8(±20.1、7.0-149.0)mmであった。plot Bのケヤキ立木はplot Aと比較して、立木サイズが小さく、胸高直径が測定できない立木もあったため、地上高0.5mでの直径を測定した。plot Bの高さ0.5mでの平均直径は21.8(±6.5、3.0-43.0)mmであった。

表 3.3.1 調査林分、後食痕、産卵痕の概況

	調査木				後食痕			産卵痕	
	樹齢 (年生)	本数	密度 (本/ha)	平均直径 ¹⁾ (mm)	確認 本数	個数	面積(mm ²)	確認 本数	個数
plot A	17	537	4,296	45.8	15	359	84,095	16	16
plot B	9	602	1,850	21.8	103	273	136,922	198	319

1) 立木サイズの違いにより、plot Aは胸高直径、plot Bは地上高0.5m直径を測定した。

3.3.2.2 方法

1995年12月にplot A、1996年3月にplot Bにおいて、1995年夏季に形成された後食および産卵痕(図 1.1.2)を確認するために、調査木の枝や幹を観察した。調査木の高い位置にある枝は脚立を利用するか、枝を引っ張り下げて観察した。対象とした後食および産卵痕は、傷口の巻き込みによる変形が少なく、産卵痕については脱糞孔が2個以下であることを、1995年以前に形成された古い後食および産卵痕との区別点にした。後食および産卵痕の枝径は、傷害部位を避けて測定した。後食面積は、後食箇所の軸方向の長さ、その中央の枝径を測定して、それらの積によって長方形

近似した。

3.3.3 結果と考察

3.3.3.1 枝径による後食および産卵選好性

plot A の後食痕は枝上で 359 個みられ (表 3.3.1)、その平均枝径は 4.6 (±1.96、1.2-11.0) mm で、階級分布のピークは 4.0-5.0mm にみられた (図 3.3.1)。一方、plot B の後食痕は枝上で 273 個みられ (表 3.3.1)、その平均枝径は 6.7 (±2.2、2.1-13.7) mm で、階級分布のピークは 6.0-7.0mm にみられた (図 3.3.1)。plot A における総後食面積は 84,095mm² で (表 3.3.1)、平均後食面積は 225.9 (±318.0、4.6-2058.0) mm² であり、そのピークは個数の分布と同様に 4.0-5.0mm にみられた (図 3.3.1)。plot B における総後食面積は 136,922mm² で、平均後食面積は 501.5 (±679.8、0.99-4413.5) mm² であり、そのピークは 7.0-8.0mm と 9.0-10.0mm にみられた (図 3.3.1)。クワにおけるクワカミキリの後食は1年枝に多いことが報告されており (村上, 1960)、ゴマダラカミキリやシロスジカミキリにおいても、若年枝に後食選好性が高いことが知られている (遠田, 1999)。おそらく、ケヤキ植林地においてもクワカミキリの後食は若年枝に集中し、その結果、細い枝で後食選好性が高くなったと考えられる。

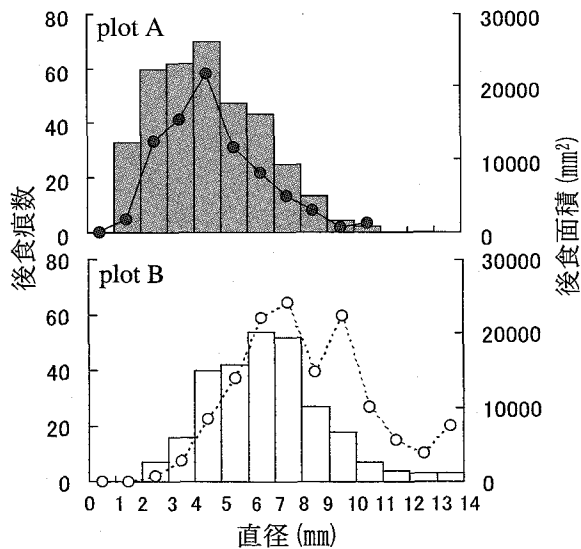


図 3.3.1 後食痕の数 (棒グラフ) および面積 (折れ線グラフ) の枝径階級分布

後食面積は、後食箇所の軸方向の長さ、その中央の幅の積によって長方形近似した。

plot A において産卵痕は 16 個みられ、その平

均枝径は 25.2 (±9.8、11.3-46.7) mm で、明確なピークはみられなかった (図 3.3.2)。一方、plot B において産卵痕は 319 個みられ、その平均枝径は 17.4 (±6.3、6.2-36.7) mm で、そのピークは 10.0-12.5mm にみられた (図 3.3.2)。大橋 (1999) は 5 年生のケヤキ林の産卵枝径は 12-20mm に、佐藤・田實 (1998) は 10 年生のケヤキ林の産卵枝径は 10-20mm に集中して分布していたことを報告しており、plot B の結果はこれらと同じ傾向を示した。

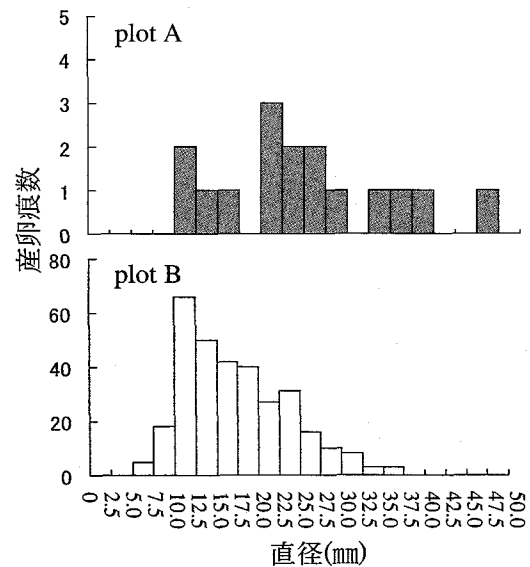


図 3.3.2 産卵痕数の枝径階級分布

plot A において後食痕が観察された枝径 (1.2-11.0mm) と産卵痕が観察された枝径 (11.3-46.7mm) は重なりあうことなく分布した。一方、plot B において後食痕が観察された枝径 (2.1-13.7mm) と産卵痕が観察された枝径 (6.2-36.7mm) の一部で重なりがあったが、平均産卵枝径 (17.4mm) は平均後食枝径 (6.7mm) より有意に大きかった (Mann-Whitney U 検定、 $p < 0.001$)。この結果、クワカミキリは枝径により、後食および産卵選好性が異なることが明らかになった。

クワカミキリは産卵加工と呼ばれる特異な処理を行うため、産卵に要する時間はクワでは 40 分程度である (村上, 1960)。雌成虫は枝や幹に頑強に足でしがみついて体を固定させて、木部まで達する噛み傷を付け、反転して腹部末端節で木部をめぐり上げて、その中に産卵を行う (江崎, 未発表)。クワカミキリが産卵するためには、体を十分に固定できるだけの枝径が必要であるものと推測される。

3.3.3.2 立木サイズによる後食および産卵選好性

plot A において後食痕が観察された 15 本の平均胸高直径 60.9 (±22.5, 26.0–113.0) mm は、観察されなかった 522 本の平均胸高直径 45.3 (±22.5, 7.0–149.0) mm と比較すると有意に大きかった (Mann-Whitney U 検定、 $p=0.0057$) (図 3.3.3)。plot B においても、後食痕が観察された 103 本の地上高 0.5m での平均直径 23.5 (±5.1, 11.0–36.0) mm は、観察されなかった 499 本の地上高 0.5m での平均直径 21.5 (±6.8, 3.0–43.0) mm と比較すると有意に大きかった (Mann-Whitney U 検定、 $p=0.002$) (図 3.3.3)。

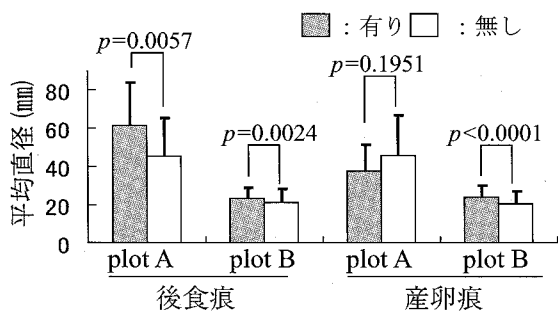


図 3.3.3 後食痕および産卵痕の有無と立木サイズの関係

plot A は胸高直径、plot B は地上高 0.5m 直径を測定した。図中の p 値は Mann-Whitney の U 検定によって算出された。棒グラフ上の縦棒は標準偏差を示す。

plot A において、産卵痕が観察された 16 本の平均胸高直径 38.5 (±12.8, 18.0–58.0) mm は、観察されなかった 521 本の平均胸高直径 46.0 (±20.3, 7.0–149.0) mm と有意差が認められなかった (Mann-Whitney U 検定、 $p=0.195$) (図 3.3.3)。一方、plot B においては産卵痕が観察された 198 本の地上高 0.5m での平均直径 24.3 (±5.4, 11.0–43.0) mm は、観察されなかった 404 本の地上高 0.5m での平均直径 20.6 (±6.7, 3.0–42.0) mm と比較すると有意に大きかった (Mann-Whitney U 検定、 $p<0.001$) (図 3.3.3)。さらに、立木サイズと後食面積の関係は plot B において正の相関関係が示された (図 3.3.4) (Kendall の順位検定、 $p<0.05$)。

両 plot の結果にみられたように、後食選好性はサイズの大きい立木で高くなった。plot B の結果

においては、産卵選好性も同様であった。10 年生以下のケヤキ人工林において、一般的にクワカミキリの穿孔被害率はサイズの大きい立木で高くなるということが知られている (江崎, 1995; 加藤・大場, 2003; 佐藤・田實, 1998)。クワカミキリの幼虫発育と立木のサイズおよび生長との関係はみられないことが報告されている (江崎, 1999; 大橋, 2001) ため、被害率と産卵数は正の相関関係があることが考えられる。カミキリムシ科の *Phytoecia rufiventris* Gautier や *Saperda calcarata* Say では、立木サイズの大きい寄主に頻繁に飛来することが報告されている (Peterson, 1948; Wang et al., 1992)。クワカミキリ雌成虫が夜間、林冠上を飛翔して、寄主木に飛来する習性が観察されている (2.3)。樹齢のそろったケヤキ人工林においてサイズの大きい立木は、クワカミリに多くの後食および産卵場所が提供でき、飛来される機会が多くなることは確実であろう。

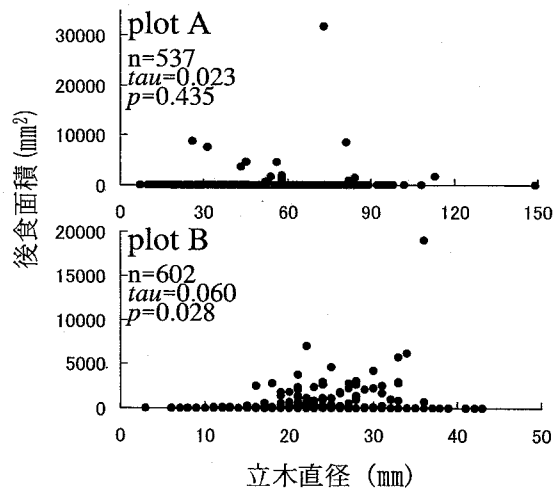


図 3.3.4 立木サイズと後食面積の関係

plot A は胸高直径、plot B は地上高 0.5m 直径を測定した。

図中の τ および p 値は Kendall の順位検定によって算出された。

山野辺・細田 (2002a) はケヤキ人工林において、平均胸高直径 55mm から立木サイズとは相関なく穿孔被害がみられたことを報告している。加藤・大場 (2003) も一部の調査林分において、そのような相関がみられない林分が出現したことを報告している。本研究では、plot A においては、有意ではなかったが産卵痕が観察された平均立木サイ

ズが、観察されなかった平均立木サイズより小さかった。ケヤキ人工林において穿孔被害の発生傾向をより明らかにしていくためには、このような立木サイズと産卵選好性との間に相関を示さない林分においても、クワカミキリの生態を詳しく調査していく必要があるものと思われる。

3.4 結論

- 1) ケヤキ植栽地におけるクワカミキリによる穿孔および後食被害は、林分内のサイズの大きい立木に発生する傾向が認められた。
- 2) 産卵痕数および後食面積は立木サイズと正の相関関係が認められた。
- 3) 後食および産卵枝径には一定の傾向があり、後食選好性は枝径 10mm 以下および産卵選好性はそれ以上で高くなる傾向を示した。

第4章 防除法の検討

第2章において、ケヤキ植栽地における穿孔被害は高いふ化率によって引き起こされ、卵の発育零点を 10℃とした有効積算温量 278 日℃以上で、すべての卵がふ化することが示された。また、周辺に自生する後食木からケヤキ植栽地に飛来した雌成虫によって、立木に産卵が行われていることが示された。さらに第3章において、ケヤキ植栽地における穿孔被害発生の直接要因である成虫の産卵は、サイズの大きい立木で選好性が高いことを明らかにした。これらのことから、防除法を検討するためには産卵を抑制し、成虫密度を下げる事が重要である。第4章において、まず、下刈りによる産卵抑制効果を検討した。次に、後食木を利用した昆虫病原寄生菌および化学合成農薬による成虫殺虫効果を検討した。

4.1 下草除去による産卵防止効果

4.1.1 はじめに

植林地における下刈りは、ナシやリンゴの重要な穿孔虫として知られているゴマダラカミキリ (Komazaki and Sakagami, 1989) や、果樹や樹木の重要な穿孔虫として知られているコウモリガ *Endoclyta excrescens* Butler (野平ら, 1992; 行成, 1996; 布川, 2002) による被害を減少させる効果がある。ゴマダラカミキリは下草に覆われた寄主の地際で産卵選好性が高く (駒崎, 1996)、コ

ウモリガは中間宿主として草本を利用する (行成, 1996) ため、下草除去はこれらの昆虫の行動を妨げる効果があると思われる。このため本研究において、ケヤキ植栽地において下刈りによるクワカミキリ成虫の産卵抑制効果を検討した (Esaki, 2006)。

4.1.2 材料と方法

調査は石川県志賀町石川県緑化センターにある 0.325ha の9年生のケヤキ植栽地で行った。この植栽地は50年生以上の針葉樹林、緑化木植栽地および草地に囲まれていた。この植栽地において1992年に5年生ケヤキ 753本が3.0m間隔で25列、1.5mの間隔で1列あたり20-37本が植栽されていた。1995年においては9-10月の間に1回の下刈り機による下刈りが行われた。この植栽地に隣接する2調査区 (plot AおよびB、それぞれ30×30m) を1996年3月に設置した。当時、2調査地の立木本数は339本であった。

表 4.1.1 調査木サイズとクワカミキリの産卵数

	plot A	plot B
立木本数 ^{a)}	171	168
平均地上高0.5m直径±SD (mm) ^{a) b)}	23.6±5.9 [7-41]	21.1±6.4 [6-43]
平均樹高±SD (m) ^{a)}	2.4±0.6 [1.0-4.1]	2.2±0.5 [0.2-3.3]
産卵痕数		
1995年	93	95
1996年	48	157

SDは標準偏差、[]中の値は最大値と最小値を示す。

a) 1996年3月の調査データである。

b) 地上高0.5mの直径を測定した。

1995年におけるクワカミキリの産卵痕の数と高さが1996年3月に、1996年に形成された新しい産卵痕が6月1日~9月16日(月曜日および金曜日)まで計23回調査された。産卵痕は調査木の枝条や幹で観察された。高い位置にある産卵痕は枝を引っ張り下げて確認した。1995年に形成された産卵痕は、巻き込みがなく排糞孔が3個以下であることを、それより前に形成された産卵痕との区別点にした。新たに形成される産卵痕をわかりやすくするために、1995年の産卵痕は油性ペンで標識した。

1996年に下草除去によるクワカミキリの産卵防止効果を調査するために、plot Aの下草が除去され、plot Bの下草は放置された。クワカミキリ成虫の発生前に、plot Aのすべての下草は1996年6月12日に下刈り機を使って除去され、その後

に生長した下草は調査日ごとに手がまで除去するように努めた。

plot B の下草高は、1996 年に 8 月 1 日と 30 日に各調査木を中心とした直径 40cm の円の中に入る最も高い下草高を測定した。8 月 1 日の下草高は 7 月 26 日～8 月 9 日、8 月 1 日と 30 日の平均下草高は 8 月 10～20 日および 8 月 30 日の下草高は 8 月 21 日～9 月 6 日に出現した産卵痕高と比較された。主な下草はヨモギ *Artemisia princeps* Pampan. とイタドリ *Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc. であった。

plot A と plot B における調査日ごとの産卵数データが Paired-t 検定を使って比較され、1995 年および 1996 年における plot A および plot B の産卵痕高の分布が Kolmogorov-Smirnov 検定を使って比較された。

4.1.3 結果と考察

立木サイズとクワカミキリの産卵痕数を表 4.1.1 に示した。1995 年に 188 個の産卵痕が観察され、plot A の産卵痕数は 93 個および plot B では 95 個であった。1995 年の産卵痕数を両 plot で比較すると、ほぼ同数であった。1996 年に 205 個の産卵痕が観察され、plot A の産卵痕数は 48 個、plot B では 157 個であった (表 4.1.1)。調査日ごとの plot A の産卵痕数は、plot B よりも有為に小さかった (Paired-t 検定、df=12、 $p<0.01$) (図 4.1.1)。

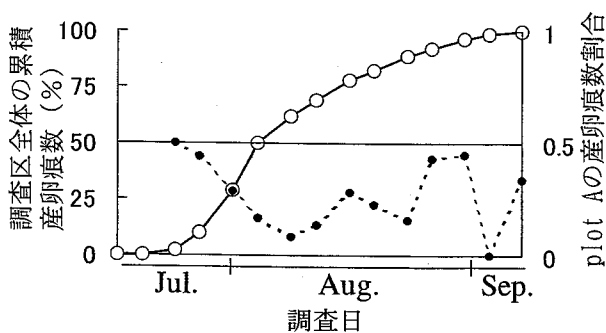


図 4.1.1 1996 年の調査区全体におけるクワカミキリの累積産卵痕数 (○) と調査区全体に対する plot A の産卵痕数割合 (●)

1995 年における plot A の木あたり産卵痕数は 0.54 で、plot B の 0.57 と有為差が認められなかった (Mann-Whitney U 検定、df=1、 $p>0.05$) (図 4.1.2)。1996 年における plot A の木あたり産卵

痕数は 0.28 で、plot B の 0.97 と有為に異なった (Mann-Whitney U 検定、df=1、 $p<0.001$)。これらの結果は、クワカミキリ成虫が下草を除去された plot A では産卵が抑制されることを示した。そのため、ケヤキ植栽地において成虫の発生期間に連続した下刈りは、クワカミキリ被害予防のために有効な手段であることが示唆された。

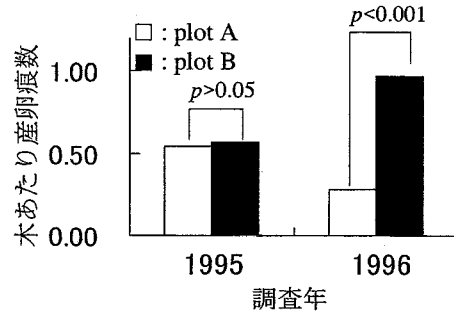


図 4.1.2 1995 年および 1996 年の plot A および plot B の木あたり産卵痕数比較

図中の p 値は Mann-Whitney U 検定によって算出した。

図 4.1.3 に産卵痕高の分布について示した。1995 年の plot A において形成された産卵痕の平均高 (±標準偏差、最小値-最大値) は 0.93 (±0.55、0.15-2.22) m および plot B のそれは 0.85 (±0.47、0.08-1.89) m であった。両 plot において高さ 0.2-0.4m の産卵痕数は 0-0.2m のそれより 2.5-3.0 倍高く、高さ 0.2m 以上の産卵痕数は高くなるほど減少する傾向がみられた (図 4.1.3)。1995 年の plot A における産卵痕高の分布は、plot B のそれとは有為に違わなかった (Kolmogorov-Smirnov 検定、 $p>0.05$)。1996 年の plot A において形成された産卵痕の平均高は 1.05 (±0.76、0.05-2.52) m および plot B のそれは 0.48 (±0.41、0.05-1.89) m であった。1996 年の plot A において高さ 0-0.2m および 1.4-1.6 m の産卵痕数は多く、高さ 1.4m 以上の産卵痕数は高くなるほど減少する傾向がみられた。1996 年の plot B において産卵痕高の分布は地上に近づくほど高くなる傾向がみられた (図 4.1.3)。1996 年の plot A における産卵痕高の分布は、plot B のそれとは有為に異なった (Kolmogorov-Smirnov 検定、 $p<0.001$)。これらの結果から、クワカミキリの産卵痕高の分布は下草の有無に影響されることが示された。

1996 年 8 月 1 日の下草の平均高は 68.9 (±36.6、0-185) mm および 8 月 30 日には 69.7 (±38.3、

0-180) mmであった。1996年のplot Bにおいて形成された157個の産卵痕の高さと各調査木の下草高と関係を図4.1.4に示した。79.6(125/157)%の産卵痕の高さは下草高より低い位置で観察された。この結果はクワカミキリ成虫が下草で覆われた枝条や幹に好んで産卵することを示唆している。

今回の研究において、クワカミキリ成虫は下草で覆われた寄主の枝条や幹を産卵選好性が高く、そして下草除去はクワカミキリ成虫が寄主の露出させた箇所の産卵防止効果があることを明らかにした。クワカミキリ成虫は枝の基部近くで、頻繁に産卵することが知られている(村上, 1960; 山内・久田, 1981)が、このことも寄主の露出された箇所で産卵を避けている習性と思われる。

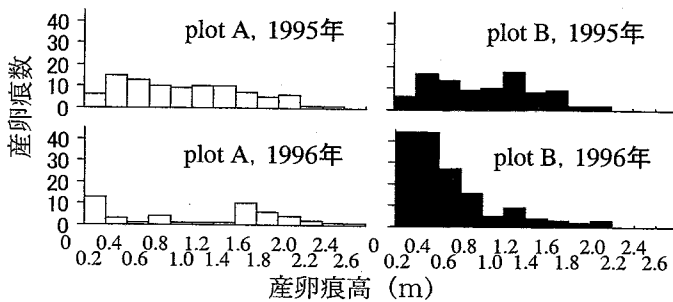


図4.1.3 1995年および1996年のplot Aおよびplot Bの産卵高の階級分布

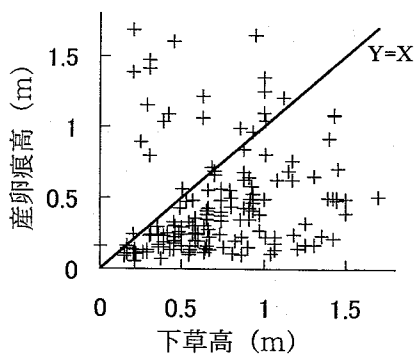


図4.1.4 plot Bにおける下草高と産卵痕高の関係

4.2 後食木に施用した昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* 培養シート型不織布製剤による防除

4.2.1 はじめに

ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの防除は、幼虫の脱糞孔から殺虫剤を注入する方法のみが検討されている(山根ら, 1998)。滝口(1981)はクワカミキリ成虫に *Beauveria brongniartii*

(Sacc.) Petch が高い殺虫効果が認められることを報告した。また、松浦ら(1997)は一文字整枝に仕立てたイチジクの母枝または新梢基部に、昆虫病原糸状菌 *B. brongniartii* を培養したシート型不織布製剤を0.1haあたり350-700箇所施用すると、捕獲したクワカミキリの感染死亡率は76.9-100.0%であったことを報告している。

クワやイチジク園のキボシカミキリやカンキツ園のゴマダラカミキリの防除には、昆虫病原糸状菌 *B. brongniartii* を培養したシート型不織布製剤の施用が実用化されている(堤・山中, 1996; 小林ら, 1999)。キボシカミキリは寄主の主幹部、ゴマダラカミキリは主幹下部に集中して産卵し、新成虫がこの場所から羽化脱出するため、この箇所にこの不織布製剤を施用すると効率良く菌に感染することが知られている(堤・山中, 1996; 橋元ら, 1992)。一方で、これらのカミキリムシは羽化直後から後食活動を行うため、寄主の新梢や葉などの後食部位にシート型不織布製剤を施用する方法も検討されている(堤, 1999; 橋元ら, 1991)。このように不織布製剤の施用場所の特定は、対象のカミキリを昆虫寄生菌に効率良く感染させるために重要な事項である。

「2.3 成虫期」の章において、穿孔被害が発生しているケヤキ植栽地の周辺に自生するクワに、クワカミキリ成虫が集合して後食活動を行う習性を観察し、後食木の存在を明らかにした。同様な習性が、今回の調査地である海岸ニセアカシア・エノキ混交林で観察された。この地区のニセアカシアにはクワカミキリの多数の産卵痕や脱出孔が見られ、2002~2003年の間にクワカミキリ幼虫の穿孔による枯死や折損を確認した。この林内に混交するエノキには例外なくクワカミキリの多数の後食痕があり、枝枯れや幹枯れが認められた。このことから、この地区においてクワカミキリ成虫は、主にニセアカシアを産卵木、エノキを後食木として利用していることが推察された。このため、クワカミキリが集合する後食木に昆虫病原糸状菌 *B. brongniartii* を培養したシート型不織布製剤を施用すると、効率良くクワカミキリ成虫を感染死させられる可能性が考えられた。今回の調査は、昆虫病原糸状菌 *B. brongniartii* を培養したシート型不織布製剤を林内に施用し、クワカミキリ成虫の感染個体を得ること、およびその感染経過を追跡し、クワカミキリの防除の可能性を検討する

目的で行った (江崎・樋口, 2006)。

4.2.2 材料および方法

4.2.2.1 調査地

石川県河北郡内灘町大根布海岸のニセアカシア・エノキ混交林内に、0.6 (約80×80m) haの正方形とその1辺を共有して隣接した0.15 (約40×40m) haの正方形とを併せて調査地 (0.75ha) を設定した。この調査地に地上高0.5mでの直径が10mm以上のエノキを調査木とし、地上0.5mでの直径を測定した。エノキ調査木合計100本の平均直径 (±標準偏差) は31.5 (±12.6) mm、平均樹高は2.60 (±0.87) mであった。不織布製剤施用木16本の平均直径は29.6 (±12.7) mm、非施用木のそれは31.8 (±12.7) mmであった。これらの関係には有意差が認められなかった (分散分析、 $p=0.511$)。また、不織布製剤施用木16本の平均樹高は2.79 (±1.05) m、非施用木のそれは2.57 (±0.97) mであった。これらの関係には有意差が認められなかった (分散分析、 $p=0.393$)。

さらに、2003年11月3日に調査区の一部 (0.15ha) の正方形における地上高0.5mでの直径が10mm以上のニセアカシアの地上高0.5mでの直径を測定した。これらの立木について、クワカミキリ幼虫の穿孔による被害および幼虫の穿入数を調査するために、立木ごとにクワカミキリ幼虫の穿孔による枝折れの被害数およびフラス排出箇所数を調査した。新鮮なフラスのみを対象とし、穿孔する幼虫数を正確に把握するために連続する複数のフラスの排出箇所は1箇所にカウントした。ニセアカシアの立木密度は420本/haで、平均直径は26.8 (±15.5) mmであった。調査された枝折れは23箇所、立木被害率は28.6 (18/63) %であった。フラス排出箇所は31箇所、立木フラス排出率は44.4 (28/63) %であった。

4.2.2.2 感染経過の調査

まず、調査地内の一部のエノキ (69本) を対象にして、施用前の *B. brongniartii* 感染率を調査するために、クワカミキリを捕獲した (2003年7月9日)。捕獲後、同日に昆虫病原糸状菌 *B. brongniartii* を培養したシート型不織布製剤 (以下、不織布製剤) (サイズ: 50×5×0.5cm、分生子数 1.0×10^8 個/cm²、商品名: バイオリサ・カミキリ®、日東電工株式会社製) を施用した。この製剤

は適度な給水があると40日後でも、分生子数 1.0×10^7 個/cm² が維持されることが明らかになっている (樋口ら, 1993)。施用木は調査木から16本をランダムに選定し、立木サイズに応じて1立木あたり1-4枚の不織布製剤合計44本を、高さ1-1.5mの範囲の枝にぶら下げた (平均2.8本/施用木) (図4.2.1)。その後 (2003年7月21日以降) の調査では、全てのエノキ (100本) を調査木とした。



図4.2.1 *Beauveria brongniartii* を培養したシート型不織布製剤のエノキ調査木の枝上における施用

不織布製剤の施用日から約10日間隔で、調査木からクワカミキリ成虫を捕獲した。捕獲した成虫の一部を実験室に持ち帰り、個体飼育によって感染死亡経過を調査した。感染死亡率は、飼育個体数からその他の死亡個体数を差し引いた個体数に対する感染死亡個体数割合とした。それ以外の捕獲した成虫には捕獲調査日と調査木を示すマーキングを行い、野外における感染死亡経過を調査するために、その個体を捕獲した調査木の地際に静かに放虫した。

4.2.2.2.1 捕獲個体の飼育による感染死亡率の調査

不織布製剤施用前は12個体、施用後は施用木および非施用木から調査1回あたりそれぞれ5個体を基準に、同一の立木からの複数個体の捕獲は避けて成虫を捕獲した。

捕獲個体は調査地で1個体ずつ円筒状のロイドカップ (容積950cm³) に入れて実験室に持ちかえり、25°C、14L10Dの条件で個体飼育した。餌として、調査地とは異なる場所から採集したクワの新鮮な枝 (直径10-15mm、長さ10cm) を3本与え、2-3日ごとに容器ごと餌を交換した。捕獲日から10日後に生死の判定を行った。飼育虫が痙攣や

硬直状態で、ほとんど動かない、または動かない場合には供試菌による感染死と判断した。感染死と判断した場合は、恒温器内で継続して観察し菌糸の叢生を確認するように努めた。

4.2.2.2.2 野外における感染死亡率の調査

不織布製剤施用前と施用 41 日後まで、調査日ごとに捕獲した調査木の違いがわかるように、調査日と成虫のマーキングを行い個体識別した。調査木上で枝や幹にしがみつき硬直した状態で死亡していたマーキング個体 (図 4.2.2) を、感染死亡個体と判断した。また、生きた状態で再捕獲された個体については再放虫した。施用 41 日後までの再捕獲個体数に対する死亡個体数の割合を求めた。

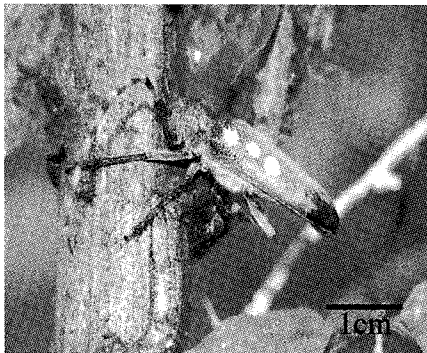


図 4.2.2 エノキ施用木で *Beauveria brongniatii* によって死亡したクワカミキリマーキング成虫

4.2.2.2.3 野外における感染死亡個体の発生経過

調査日ごとに、調査木上で見られた感染死亡個体の個体数を記録した。感染死亡個体は野外における感染死亡率の調査と同様の基準で判断した。マーキングなしの死亡個体およびマーキングされた死亡個体を合わせてカウントした。

4.2.3 結果

4.2.3.1 調査個体の発生経過

施用前 (7月9日) に 94 個体が捕獲された。施用 12 日後 (7月21日) に最も多くの成虫が捕獲され、その後施用 41 日後 (8月19日) まで減少していく傾向が見られた (図 4.2.3)。施用 41 日後 (8月19日) までに、エノキ調査木から捕獲したクワカミキリの総数は 478 個体 (雄 324、雌 154) であった。総捕獲個体の雌比は 0.32 で、施用 21 日後 (7月30日) に最も低い値を示した (図 4.2.3)。クワカミキリの発生にともなって、調査木の枝

の樹皮が後食を受けた箇所が顕著になった。

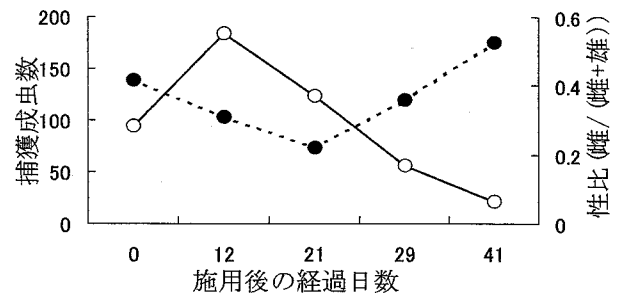


図 4.2.3 捕獲されたクワカミキリ成虫の消長 (○) と性比 (●) の変化

4.2.3.2 捕獲個体の飼育による感染死亡率

不織布製剤施用 49 日後 (8月27日) の調査は、施用木上から必要なサンプリングが実行できず、これ以降のサンプリングを止めた。不織布製剤施用 41 日後までに計 56 個体 (雄 34、雌 22) を捕獲し、個体飼育を行った。個体飼育のための不織布製剤施用前 (2003 年 7 月 9 日) の捕獲数は 12 個体で、不織布製剤施用後の調査 1 回あたり平均捕獲数 (標準誤差 SE) は 11.0 (SE=0.0) 個体であった。不織布製剤施用後の施用木の平均捕獲数は 5.25 (SE=0.63) 個体で、非施用木の平均捕獲数は 5.75 (SE=0.63) 個体であった。不織布製剤施用前に捕獲した成虫の感染死亡個体は無かった (感染死亡率 0.0%) が、1 個体がその他の原因で死亡した。施用後に捕獲した個体では 22 個体が感染死亡し (感染死亡率 55.0%、N=40)、4 個体がその他の死亡であった。不織布製剤施用前と施用後に捕獲した個体の感染死亡率を比較すると、有意差が認められた (Fisher の正確確率検定、 $p=0.001$)。感染死亡した 22 個体の捕獲から死亡までの平均日数は 6.4 日 (SE=0.68) であった。また、不織布製剤施用後に施用木から捕獲した個体の感染死亡率 (83.3%、N=18) は、非施用木のそれ (31.8%、N=22) と有意に異なった (Fisher の正確確率検定、 $p=0.001$)。なお、不織布製剤施用後に捕獲した個体の感染死亡率を雌雄で比較すると、雄 62.5% (N=24) および雌 43.8% (N=16) となり、これらの関係には有意な差が認められなかった (Fisher の正確確率検定、 $p=0.132$)。

捕獲個体の感染死亡率は、施用 12 日後および 21 日後に 80.0% および 72.7% を示し、高率で感染死亡した (図 4.2.4)。しかし、施用 29 日後および 41 日後の総個体の感染死亡率は、30.0 およ

び 33.3% を示し、著しく低下した (図 4.2.4)。不織布製剤施用木から捕獲した個体の感染死亡率は、施用 21 日後に最大値の 100.0% を示した。その後、施用後日数の経過とともに徐々に低下し、41 日後には 66.7% になった。非施用木から捕獲した個体の感染死亡率も、施用 12 日後に最大値の 75.0% を示した。施用 21 日後には 50.0% に低下し、施用 29 日後および 41 日後には 0.0% および 16.7% となった。

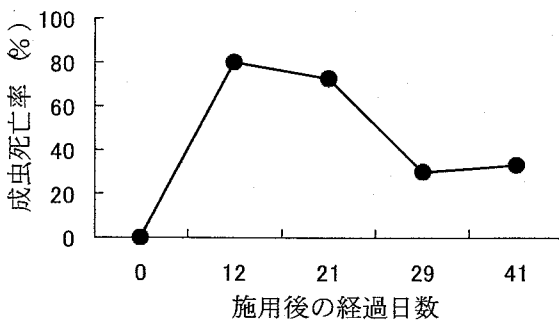


図 4.2.4 シート型不織布製剤の施用前後に捕獲されたクワカミキリ成虫の感染死亡率の変化

4.2.3.3 再捕獲個体の感染死亡率

施用 41 日後にも調査木上で捕獲された個体にマーキングを行ったが、施用 49 日後に適切なサンプリングが実行できなかったことから、再捕獲個体の感染死亡率の調査は、施用 29 日後までにマーキングした個体について、施用 41 日後までに行った。不織布製剤施用前に 82 個体、施用 29 日後までに 330 個体、合計 412 個体 (雄 285、雌 127) のマーキングを行い、放虫した (表 4.2.1)。施用 41 日後までに調査木上において、27 個体のマーキング個体が再捕獲された (再捕獲率 6.6%) が、2 度に渡って再捕獲された個体はなかった。27 個体のうち 12 個体が供試菌による感染死状態で再捕獲された (感染死亡率 44.4%) (表 4.2.1)。再捕獲された個体のうち、不織布製剤施用前の調査木、施用木および非施用木から捕獲してマーキングした個体の感染死亡率はそれぞれ 16.7%、100.0% および 44.4% であった (表 4.2.1)。施用木上と非施用木上で捕獲した個体の感染死亡率の差は有意ではなかった (Fisher の正確確率検定、 $p=0.124$)。

4.2.3.4 野外における感染死亡個体の発生経過

施用 41 日後までに供試菌による感染死と思わ

れた成虫が、不織布製剤施用木上で 10 個体および非施用木上で 26 個体の合計 36 個体 (雄 26、雌 10) が見られた。感染死亡個体は不織布製剤施用前には確認されなかったが、施用 12 日後から 21 日後にかけて増加し、29 日後にやや減少して 41 日後には急激に減少した (図 4.2.5)。

表 4.2.1 調査木上において再捕獲されたクワカミキリ成虫の死亡率

調査木 ^{a)}	標識成虫数 ^{b)}	再捕獲捕獲成虫		再捕獲捕獲成虫	
		合計数	割合 (%)	死亡数	割合 (%)
施用前の調査木 ^{c)}	82	6	7.3	1	16.7
施用木 ^{d)}	65	3	4.6	3	100.0
非施用木	265	18	6.8	8	44.4
合計および平均	412	27	6.6	12	44.4

* 施用後 41 日間の累積成虫数。

a) 成虫が標識された調査木、b) 施用後 29 日間の標識成虫数、c) 昆虫寄生菌を培養したシート型製剤施用前の調査木、d) 枝条に昆虫寄生菌を培養したシート型製剤を施用した調査木。

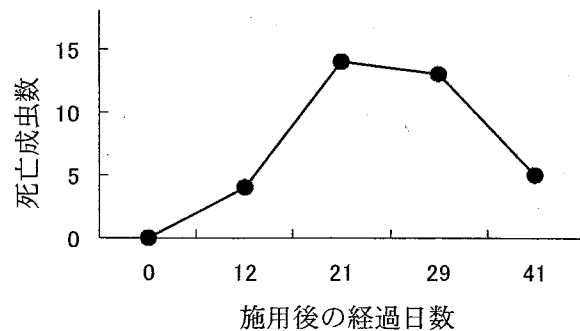


図 4.2.5 野外における *Beauveria brongniartii* によって感染死亡したクワカミキリ成虫数の変化

4.2.4 考察

不織布製剤施用前に捕獲された個体の感染死亡率は 0.0% であったが、不織布製剤施用 41 日後までのそれは 55.0% で有意に異なった。この調査では不織布製剤を施用しない対照区を設定していないため、自然条件下におけるクワカミキリの死亡経過は調査できなかった。しかし、この菌はキボシカミキリ由来で、自然条件下ではクワカミキリから分離されていないこと (江崎、未発表) や、松浦ら (1997) が施用区から 20m 以上離れた対照区においてほとんど感染個体が見つからないことを報告していることから、今回の調査地でも *B. brongniartii* に自然感染した調査虫が出現した可能性は極めて低く、感染死亡個体は不織布製

剤由来による菌の影響であったと推察される。

キボシカミキリやゴマダラカミキリでは、この不織布製剤による実用的な防除がなされている(行徳, 1996; 樋口ら, 1993)。堤・山中(1996)はイチジク圃場10aあたり50箇所不織布製剤を施用したところ、キボシカミキリの感染死亡率が施用20日後まで63%以上の高い値を示した。池上ら(1996)はゴマダラカミキリの防除のために、バラ園の全株に不織布製剤を施用したところ、施用27日後までの感染死亡率は75.0%以上の高い値を示した。今回の調査において、不織布製剤の施用21日後までのクワカミキリの感染死亡率は72.7%以上であった(図4.2.4)。この結果は、ここに示したキボシカミキリやゴマダラカミキリの感染死亡率およびその経過と比較しても、十分に防除効果が期待できることを示唆している。

今回の調査では、不織布製剤施用41日後までに施用木から捕獲した個体の感染死亡率は83.3%で、非施用木のそれは31.8%であった。さらに、マーキング後再捕獲された個体のうち、施用木で捕獲されマーキングされた個体の感染死亡率は100.0%で、非施用木のそれは44.4%であった(表4.2.1)。今回の施用木割合は16.0(16/100)%で、施用木あたり不織布製剤数は2.7本であった。ゴマダラカミキリやキボシカミキリでは、試験地の不織布製剤施用量や施用木割合を変化させて、効果的な防除法が検討されている(池上ら, 1996; 小林ら, 1999)。松浦ら(1997)は、シート型不織布製剤を0.1haあたり350-700箇所施用すると、高率でクワカミキリが感染死することを示している。今後の課題としては、これらの調査結果を参考にして、不織布製剤を利用したクワカミキリ成虫の効果的な防除法を検討していく必要がある。

捕獲個体の飼育による感染死亡率は、施用12日と21日後に捕獲した個体で高く、その後急激に低下した(図4.2.4)。それに対して、調査木上で発見された感染死亡個体数は、施用21日と29日後に高く、その後急激に低下した(図4.2.5)。捕獲個体の飼育による感染死亡率と調査木上で発見された感染死亡個体数の増減経過を比較すると、後者は前者より調査1回分遅れて増減する傾向がみられる。捕獲個体の飼育による感染死亡率は捕獲後10日以内の死亡個体数をカウントして算出している。調査も約10日間隔で行っているため、捕獲個体の飼育によって得られた感染死亡率は、

次回調査の野外における感染死亡個体数に相当する。このことから、捕獲個体の飼育による感染死亡率と調査木上で発見された感染死亡個体数は同調して増減し、施用12日後から29日後までに不織布製剤由来の感染死亡個体が増加することが明らかとなった。

ゴマダラカミキリは*B. brongniartii*に感染後、死亡するまでに10~15日を必要とし(橋元ら, 1992)、キボシカミキリでは不織布製剤の分生子数が 1.6×10^7 個/cm²以上の場合には、感染後約10日で死亡するが、分生子数が 2.5×10^6 個/cm²の場合には約25日に遅滞することが知られている(堤・山中, 1996)。これらのカミキリムシでは感染後も産卵などの通常の活動を行うために、羽化した個体が直ちに感染するように、羽化直前に不織布製剤を施用しなければ、防除効果が低くなる可能性が指摘されている(橋元ら, 1992)。クワカミキリにおいても、感染後に通常の活動を行うことが観察されている。そのため、防除効果を高めるためには、羽化直前に後食木上に分生子数の多い不織布製剤が施用されていることが重要である。クワカミキリ成虫の発生時期は1ヶ月以上の長期に渡ることが知られている(村上, 1960)。今回のように発生初期のみに後食木に不織布製剤を施用する方法では、不織布製剤の効果は時間経過とともに低下する可能性があることと、感染後の成虫の後食活動によって若い枝条の樹皮が減少し後食木上に飛来する成虫数や成虫の滞在時間が減少することから、発生後期に羽化する成虫に対して十分な防除ができていない可能性がある。不織布製剤施用後21日以上経過した時期から雌比が高くなっていく傾向がみられた(図4.2.3)ことから、発生初期以外にも防除効果を高めておく方法を検討することが必要だと考えられる。

4.3 後食木に散布したフェニトロチオン乳剤による成虫の殺虫と防除

4.3.1 はじめに

クワカミキリの成虫は、羽化脱出直後から性成熟と生命維持のために後食を行う。後食の選好性はクワ科やニレ科の樹木(小島・中村, 1986; 大橋・野平, 1997)、サイズの大きい立木および若年枝で高くなっていることが報告されている(村上, 1960; 江崎, 2006a; 2006b)。クワ園においては後食する成虫を殺すため、枝条にジクロルボス

(DDVP) 乳剤およびジメトエート・ジクロルボス乳剤が散布されている。これらの薬剤は即効性であるが、養蚕への影響を考慮して残効期間が3日および10日程度と短い(伊庭, 1991)。また、「4.2 後食木に施用した昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* 培養シート型不織布製剤による防除」の章において、クワカミキリ成虫が後食木として利用しているエノキに昆虫病原寄生菌 *B. brongniartii* を培養したシート型不織布を設置して成虫の殺虫試験を試みた結果、供試菌の感染により死亡したと思われる成虫を多数得ることができた。しかし、感染後も継続される後食活動により後食木が良好な状態で維持され難く、発生後期の成虫に対して効率の良い感染が妨げられるという欠点が指摘されている。一方、フェニトロチオン(MEP) 80%乳剤 50-150 倍液は寄主から羽化脱出するカミキリムシ類の成虫駆除薬剤として登録があり、一般樹木の樹幹に成虫の発生初期または直前に散布することができる(全国農業共同組合・全国農業安全指導者協議会, 2006)。さらに、フェニトロチオン乳剤はマツノマダラカミキリ成虫の後食防止剤として広範囲で継続的に使用されており、残効期間が長く(岸, 1988; 田畑ほか, 1997; 大久保, 1976)、藤下(1979)はフェニトロチオン2%乳剤を3週間隔で2回散布を行うと、マツ枝を後食したマツノマダラカミキリ成虫に対して8週間の残効期間があることを報告している。そのため、クワカミキリの成虫が集合する後食木にフェニトロチオン乳剤を散布すると、効率的にクワカミキリ成虫を殺虫できる可能性が考えられた。

まず、フェニトロチオンのクワカミキリ成虫に対する有効性および実用的な施用法を明らかにするために、石川県河北郡内灘町西荒谷海岸に生育するニセアカシア・エノキ混交林において、クワカミキリ成虫に後食木として利用されているエノキの枝条にフェニトロチオン乳剤を散布して、成虫の死亡経過を調査した。そして、実用的な散布濃度の殺虫効果を検証するために、一般的にマツノマダラカミキリを殺虫するために地上散布で使われているフェニトロチオン80%乳剤180倍希釈液(山根, 1989)を、1回または2回散布した枝をクワカミキリ成虫に与えて個体飼育を行い、散布後の経過時間と供試後の死亡経過について観察を行った。これらの結果をもとに、フェニトロチ

オン乳剤散布によるクワカミキリ成虫の出現期間を通じた防除法について考察を行った(江崎, 印刷中)。

4.3.2 材料および方法

4.3.2.1 調査林

石川県河北郡内灘町西荒谷の海岸に生育するニセアカシア・エノキ混交林を調査林とした。調査林内のニセアカシアにはクワカミキリの多数の産卵痕や脱出孔が見られ、クワカミキリ幼虫の穿孔によると思われる枯死や折損が確認された。混交するエノキには例外なくクワカミキリの後食痕が多数認められ、一部の立木には枝枯れや幹枯れが認められた。

調査区に隣接して設置した方形区(0.1ha)に生育している地上高0.5mでの直径が10mm以上である371本のニセアカシア(平均直径(±標準偏差): 20.3(±8.25)mm)を2006年4月19日に調査したところ、139本(37.5%)が穿孔被害を受けており、さらに被害木中103本(74.1%)において折損・枯損が認められた。

4.3.2.2 野外における殺虫経過

4.3.2.2.1 調査木

2004年6月に、調査林内のエノキ立木の占有率が高い場所に、35×35mの正方形を設置した。この調査区内に生育する樹高1m以上のエノキ50本を調査木とした。調査木の平均樹高は2.74m、地上高0.5mでの平均直径は40.5mmであった(表4.3.1)。

表4.3.1 エノキ調査木のサイズ

調査木	本数	平均地上高0.5m直径 ±標準偏差(mm)	平均樹高 ±標準偏差(m)
トラップ設置木 ¹⁾			
薬剤散布木	6	65.4±16.9	2.90±0.67
対照木	5	56.8±13.3	3.06±0.46
合計	11	60.1±14.8	2.99±0.54
周辺木	39	35.3±24.5	2.67±0.88
合計および平均	50	40.5±24.9	2.74±0.83

1) トラップ設置木の樹高は古い後食枝を取り除いた後に測定した。

調査木のうち、前年の後食量が比較的多く、サイズが大きい11本を選び出し、このうち、6本を薬剤散布木、5本を対照木とした。2本が隣接した場合は、片方を薬剤散布木、もう片方を対照木にした。薬剤散布木の平均樹高は2.90m、地上高0.5mでの平均直径は65.4mmで、対照木の平均樹高は3.06m、地上高0.5mでの平均直径は56.8mm

であった(表4.3.1)。

4.3.2.2 薬剤散布

マツノマダラカミキリのフェニトロチオン乳剤の予防散布は成虫の発生初期とその3週間後に行うと約8週間の残効期間が認められること、および散布薬剤濃度が高いほど成虫が短時間で死亡することが報告されている(藤下, 1979; 松浦, 1988; 大久保, 1976)。この散布スケジュールを参考に、クワカミキリ成虫の発生直前と推定された2004年6月28日およびその3週間後の7月20日に、フェニトロチオン80%乳剤(ヤシマスミパイン乳剤、ヤシマ産業(製))を18倍に水道水で希釈したフェニトロチオン4.4%乳剤を散布した。マツノマダラカミキリへの予防散布法(山根, 1989)を参考に、10:00~15:00にかけて薬剤散布木の樹冠の枝条を中心に薬液が滴り落ちる程度に散布した。結果として、第1回および第2回散布量は0.88および1.11リットル/本、であった。なお、散布前後日の降雨は無かった。

薬剤散布木の一部の二次伸長枝で葉が離脱したり、変色する葉害が観察されたが、それ以外の調査木への葉害は観察されず、調査には影響がないと判断して調査を継続した。

4.3.2.3 捕獲調査

成虫の出現消長および性比を調査するために、2004年6月28日から9月9日まで約10日間隔で、全調査木上においてクワカミキリ成虫を見つけ、捕獲した。捕獲虫は立木ごとに雌雄の捕獲数を記録後、捕獲した立木の地際付近に静止させ放虫した。この調査日が薬剤散布日と重なった時は、薬剤散布前に調査を行った。

一方、2004年6月23日に、薬剤散布木と対照木の樹冠下にトラップを設置し、2004年6月28日から9月9日まで約10日間隔で、衰弱または死亡してトラップ内に落下する成虫を回収した。トラップは1×1mの正方形、深さ0.5mのシードトラップで、トラップは調査木の主幹を2基のトラップで挟み込むようにして、底が接地するように設置した。トラップ設置後にクワカミキリ成虫が効率良くトラップに捕獲されるように、トラップ端よりはみ出した調査木の枝を除去した。

4.3.2.4 薬剤散布木の後食面積

薬剤散布木と対照木の後食面積を調査するために、調査区においてクワカミキリの成虫が観察されていなかった2004年6月23日に、古い後食痕があった枝をこれらの立木からすべて除去していた上で、クワカミキリの成虫の発生が終息した2004年9月9日に新しく後食された枝を実験室内に持ち帰り、後食箇所数および面積を調査した。後食面積は、江崎(2006a)を参考にして、枝の軸方向に沿った後食箇所の長さとおよび後食箇所の傷による影響が少ない中央付近の枝径との積によって算出した。

4.3.2.3 飼育における死亡経過

4.3.2.3.1 薬剤散布枝の採取

調査林において、樹高1m以上のエノキが20本以上生育していることを条件として、隣接した3箇所の薬剤散布区A、BおよびCを設置した。第1回薬剤散布は各調査区内のすべてのエノキに対して行い、第2回薬剤散布は各調査区の半数のエノキに対して行った。調査区A、BおよびCにおける薬剤散布は1週間ずつずらして行ったため、第1回薬剤散布日は2006年7月6日、7月13日および7月20日、第2回薬剤散布日は第1回薬剤散布から3週間後の7月26日、8月3日および8月10日となった。この調査では、フェニトロチオン80%乳剤(ヤシマスミパイン80乳剤、ヤシマ産業(製))を180倍に水道水で希釈したフェニトロチオン0.44%乳剤を10:00~12:00の間に散布した。散布日の前日から散布5時間後まで降雨は無かった。

第1回薬剤散布1~6週後および第2回薬剤散布4~6週後まで1週ごとに各調査区のエノキからフェニトロチオン乳剤が散布された枝条(以下、薬剤散布枝)の採取を行った。第1回散布の結果から、散布後1~3週後までは残効が期待できることが判明したため、第2回散布後の薬剤散布枝の採取は4週目以降に行った。各枝採取日に、それぞれの薬剤散布区で10cmの薬剤散布枝を全部で25~30本採取した。採取した薬剤散布枝は密閉したビニール袋に入れ、実験室に持ち帰り、実験に供試するまで約4℃の暗所に保存した。2006年9月6日以降は供試虫が調査に必要な数を得ることができないと判断されたので、調査を打ち切った。そのため、薬剤散布区BおよびCの第2回薬剤散布枝の採取は散布5週後および4週後までと

なった。与えた薬剤散布枝は396本で、その平均中央径(±標準偏差、最小-最大)は5.88(±2.12、2.3-12.8) mmであった。調査期間を通じてフェニトロチオンを散布したエノキ枝条に葉害は観察されなかった。

4.3.2.3.2 供試虫の死亡経過

薬剤散布区より2.6km離れた内灘町室のエノキおよびクワ上でクワカミキリ成虫を捕獲し、実験に供した。供試虫は薬剤散布区および枝採取日あたり5個体とし、薬剤散布枝の採取後に捕獲を行った。供試虫は1個体ずつ円筒状のロイドカップ(容積950cm³)に入れ、高温を避けて速やかに実験室に持ち帰った。その後、ロイドカップに薬剤散布枝3本をゴムバンドで結束して入れ、25°C、14L10Dの条件下で個体飼育した。飼育日齢5まで毎日成虫の生死を確認した。飼育日齢3まで生存した個体については、ロイドカップおよび薬剤散布枝を交換した。飼育日齢5の観察で生存が確認された場合には、その時点で飼育を止めた。飼育後に枝の後食面積の測定を行った。

1回散布枝を与えた供試虫90個体の性比(雌比)は0.19で、平均翅長は25.5(±2.34) mmであった。雄の平均翅長は24.9(±1.79、21.3-28.3) mm、雌のそれは28.1(±2.70、24.1-33.9) mmで、雌で有意に長くなった(分散分析、 $p<0.001$)。2回散布枝を与えた供試虫30個体の性比(雌比)は0.27で、平均翅長は26.0(±2.67) mmであった。雄の平均翅長は25.0(±1.31、21.3-27.8) mm、雌のそれは29.0(±2.70、24.3-35.0) mmであった。

4.3.3 結果

4.3.3.1 野外における殺虫経過

調査木の枝条上でクワカミキリ成虫は2004年7月8日から8月17日まで捕獲され、このピークは7月28日であった(図4.3.1)。捕獲個体数は59個体(雄41、雌18)で、その性比(雌比)は0.31であった。薬剤散布木上ではクワカミキリ成虫を捕獲することが出来なかったが、対照木では9個体(雄6、雌3)が捕獲された。

トラップではクワカミキリ成虫が2004年7月8日から8月17日まで捕獲された(図4.3.1)。この捕獲のピークは7月20日であった。薬剤散布木で21個体(雄5、雌16)、対照木で1個体(雄

1)が捕獲され、これらは調査時にすべて死亡していた(図4.3.2)。薬剤散布木および対照木における木あたり捕獲個体数は3.5(±3.02、1-9)個体および0.2(±0.45、0-1)個体で、両者の差は有意であった(分散分析、 $p=0.040$)。薬剤散布木で捕獲された21個体の性比は0.76で、調査木上のそれと異なった(χ^2 検定、 $p<0.001$)。

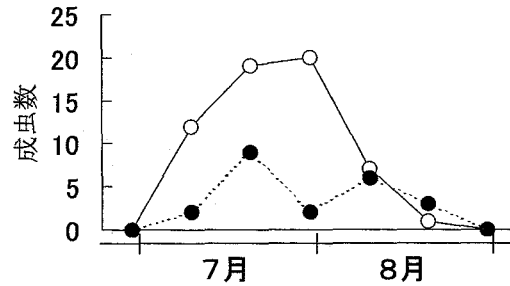


図4.3.1 調査木上(○)およびトラップ(●)で捕獲されたクワカミキリ成虫の季節消長

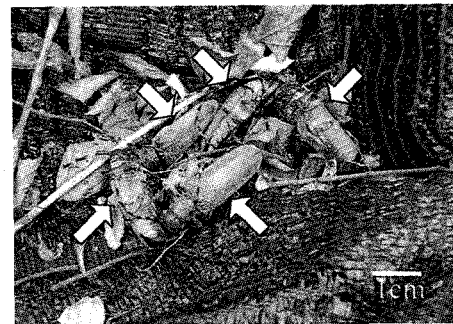


図4.3.2 薬剤散布木に設置したトラップで捕獲されたクワカミキリ成虫(2004年7月20日)

薬剤散布木および対照木の総後食箇所数は165箇所および969箇所、これらの総後食面積は28,270mm²および242,962mm²であった。薬剤散布木および対照木における木あたり後食箇所数は27.5個および193.8個で(表4.3.2)、薬剤散布木では対照木の7分の1未満であった。薬剤散布木および対照木における木あたり後食面積は4,712mm²および48,592mm²で(表4.3.2)、薬剤散布木では対照木の10分の1未満であった。また、薬剤散布木および対照木の後食箇所あたり後食面積は171.3(±196.5)mm²および250.7(±312.4)mm²で、両者には有意差が認められた(分散分析、 $p=0.002$)。

表 4.3.2 薬剤散布木および対照木の後食箇所および面積の比較

調査木	立木 本数	総箇 所数	総面積 (mm ²)	木あたり箇所数 (±標準偏差)	木あたり面積 (±標準偏差)(mm ²)
薬剤散布木	6	165	28,269.9	27.5(±21.6)	4,711.6(±2,514.0)
対照木	5	969	242,961.6	193.8(±1,988.3)	48,592.3(±49,508.9)
合計および平均	11	1,134	271,231.5	103.1(±153.3)	24,657.4(±38,842.7)

4.3.3.2 飼育における死亡経過

1回散布1～6週間まで、雌と雄の死亡経過に有意差は認められなかった(Mann-Whitney U検定、 $p>0.05$)。散布1および2週後は同様の死亡経過を示し、飼育日齢1の死亡率は93.3%で、飼育日齢2の累積死亡率は100%であった。飼育日齢1の死亡率は散布3週後に40.0%、散布4週後には13.3%と低下したが、散布3、4週後ともに飼育日齢3の累積死亡率は100%であった。散布5週後における飼育日齢1の死亡率は13.3%で、散布6週間後には6.7%に低下し、ともに飼育日齢5を経過しても死亡しない個体が1個体ずつ観察された。このように1回散布処理の場合、全調査区90個体の供試虫が死亡までに要した日数は、6週間まで散布後の経過時間と共に長くなる傾向がみられた(図4.3.3)。

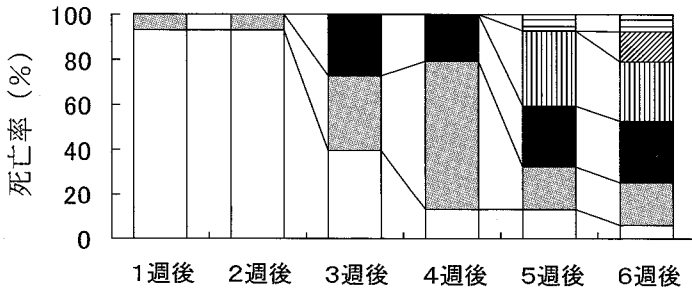


図 4.3.3 1回散布後の供試虫の死亡経過

□1日齢 ■2日齢 ■3日齢 ▨4日齢 ▩5日齢 ▮6日齢以上

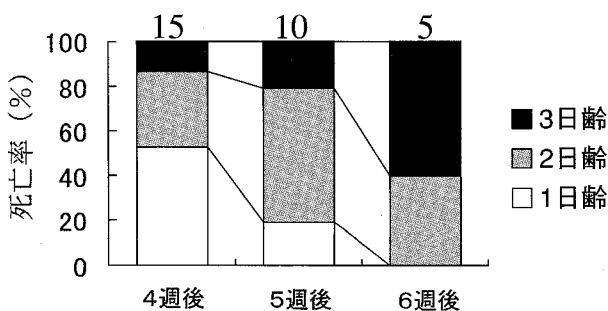


図 4.3.4 2回散布後の供試虫の死亡経過

図中の数字は供試数を示す。

2回散布処理の場合、2回目散布4週後の飼育日齢1の死亡率は53.3%で、飼育日齢3の累積死亡率は100.0%であった(図4.3.4)。この飼育日齢1の死亡率は1回散布4週後(図4.3.3)と比較すると、有意に高かった(χ^2 検定、 $p<0.001$)。2回散布5～6週間後における飼育日齢3の累積死亡率は100%であった(図4.3.4)。

1回散布枝を与えて飼育日齢5までに死亡した供試虫88個体の総後食面積は51,156mm²であった。飼育日齢と平均後食面積の関係は、直線回帰($y=332.4x-83.6$, $R^2=0.583$, $p<0.001$)で近似され、飼育日齢4まで各平均後食面積に有意差が認められた(図4.3.5)(Mann-Whitney U検定、 $p<0.01$)。飼育日齢5の平均後食面積は飼育日齢4のそれと比較して小さかったが、飼育日齢5の供試虫は2個体であったため、統計処理が出来なかった。

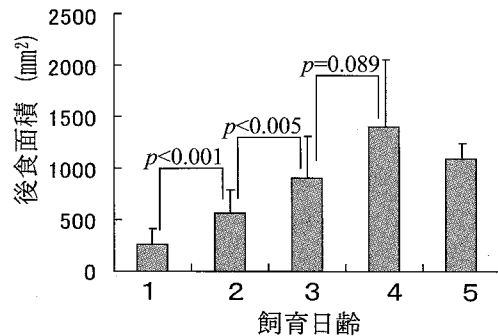


図 4.3.5 死亡した成虫の飼育日齢と後食面積

図中のエラーバーは標準偏差を示す。p値はMann-Whitney U検定による。

4.3.3 考察

薬剤散布木に設置したトラップで捕獲された死亡成虫数は21個体で、対照木の1個体と比較して顕著に多く、木あたり捕獲数も薬剤散布木の方が対照木より有意に多かった。これらの結果は、野外においてフェニトロチオン乳剤を後食木の枝条に散布すると、枝条を後食したクワカミキリ成虫を殺虫できることを示唆している。

樹上から捕獲されるクワカミキリ成虫の性比は一般的に雄に偏っていることが知られており(村上, 1960; 荻谷・沢田, 1973; 江崎・樋口, 2006)、今回も調査木上から捕獲された成虫の性比(0.31)は雄に偏っていた。しかし、トラップで捕獲された成虫の性比(0.76)は調査木の場合と有意に異なり、雌に偏っていた。薬剤散布枝を与えた成虫の個体飼育において死亡経過に性差は認められな

かったので、これは雌雄の薬剤に対する感受性の差を意味するものではないと思われる。一方、雄は雌より敏捷であることが観察されている(江崎, 未発表)。したがって、この違いは雄が雌より死亡直前に薬剤散布木から飛翔したり、落下後にトラップより逃げ出したりしやすいことが、トラップで捕獲された成虫の性が著しく雌に偏った原因であると推測される。

薬剤散布枝を与えて死亡した供試虫の飼育日齢と後食面積の関係は、4日目まで直線回帰が可能であり、クワカミキリ成虫は死亡直前まで後食活動を継続していたことを示している。薬剤散布木の木あたり後食箇所数は対照木と比較して7分の1未満になり、薬剤散布木の後食箇所あたり面積は有意に小さくなった。これらの結果は薬剤散布木に飛来したクワカミキリ成虫の後食活動が、薬剤の影響により阻害されたことを示唆している。昆虫病原寄生菌 *B. brongniartii* を培養した不織布をクワカミキリ成虫の後食木に施用した試験では、感染後も継続される後食活動により後食木が良好な状態で維持され難く、発生後期の成虫に対して効率の良い感染が妨げられるという欠点が指摘されている(江崎・樋口, 2006)。これらのことから、フェニトロチオン乳剤を散布した場合、*B. brongniartii* を培養した不織布の施用に比べ、後食木は比較的良好な状態を長期間維持することができ、出現期間を通じてクワカミキリ成虫が飛来し殺虫できる可能性が示された。

フェニトロチオン 0.44%乳剤の薬剤散布枝を与えた成虫の死亡までの日数は、散布後の時間経過と共に長くなる傾向がみられたが、1回散布4週後まで飼育日齢3の累積死亡率は100%であった。3週間隔で2回目の散布を行うと2回目散布4週後の飼育日齢1の死亡率は、1回散布4週後より有意に高くなった。また、1回散布5週および6週後に飼育日齢5経過しても死亡しない供試虫が観察されたが、2回散布5週および6週後においては飼育日齢3までにすべての供試虫が死亡した。フェニトロチオン乳剤を散布したマツ枝条を後食したマツノマダラカミキリ成虫の殺虫効果は、1回散布よりも2回散布を行った場合の方が散布後長期間持続されることが知られているが(大久保, 1976)、以上のようにフェニトロチオン乳剤を散布したエノキ枝条を後食したクワカミキリ成虫においても同様の効果が期待できることが

明らかになった。また、フェニトロチオン0.44%乳剤を後食木に3週間隔で2回散布すると、クワカミキリ成虫を9週間殺虫できる可能性も示された。被害地でのクワカミキリの産卵期間は40~60日であることが知られている(Esaki, 2006; 横溝・森田, 1980; 西, 1990)。そのため、実用的には後食木にフェニトロチオン0.44%乳剤をクワカミキリ成虫の発生初期およびその3週間後に2回散布すると、出現期間を通じて防除効果が期待される。また、クワカミキリは1世代に2年以上必要とする(江崎, 1999; 大橋, 2001)ため、被害地での薬剤散布は最低2年以上の期間は継続して行う必要がある。

4.4 結論

- 1) ケヤキ植栽地における下刈りはクワカミキリ成虫の産卵抑制効果が認められた。
- 2) ニセアカシア林に混交するエノキ後食木に昆虫病原寄生菌 *B. brongniartii* を施用すると、高率にクワカミキリ成虫が感染することが示された。
- 3) ニセアカシア林に混交するエノキ後食木にフェニトロチオン乳剤を3週間隔で2回散布すると、成虫の出現期間を通じて成虫を殺虫できることが示された。

第5章 総合考察

第1章において、クワカミキリに関するこれまでの研究を示し、第2~4章において、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの生態の解明、穿孔および後食被害の解析、さらに防除法の検討を行った。第5章ではこれらの研究結果から、まず、クワカミキリの生活史を示し、次に加害様式についてフトカミキリ亜科の健全木加害種と比較を行い、その特徴をまとめた。さらに、クワカミキリに関する既報告およびクワ園および果樹園で行われている管理法を参考にして、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリ被害の初発時の確認、卵およびふ化幼虫の殺虫、穿孔幼虫の殺虫、成虫の殺虫、環境整備および保育作業による被害の抑制などの管理法について示し、これらをもとにクワカミキリ被害に対するケヤキ植栽地における総合防除法を提案した。

5.1 生活史

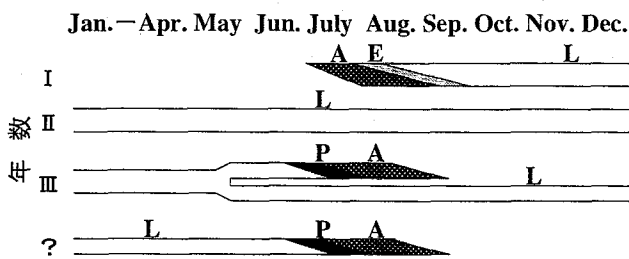


図 5.1.1 ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの生活史

図中の A: 成虫、E: 卵、L: 幼虫、P: 蛹を示す。

海老根ら (2004) は茨城県の標高 50m のブナ植栽地において、成虫の初発日は 7 月上旬から下旬まで変動し、3 年間の調査により幼虫の発育零点を 15℃ にした初発生までの有効積算温量が 271–415 日℃ であったことを示した。クワカミキリ成虫の初発日は、千葉県のエチジク園で 6 月中旬 (萩谷・沢田, 1973)、静岡県のエチジク園で 7 月上旬 (山内・久田, 1981)、兵庫県のカワ園で 6 月下旬から 7 月上旬 (村上, 1960)、鹿児島県のビワ園で 6 月中旬 (河野・橋元, 1977)、九州のカワ園で 6 月上旬 (村上, 1960) であることが報告されている。このように、クワカミキリの初発日は調査場所、標高および年によって異なるが、6 月以降の発生が一般的であると思われる。「4.2 後食木に施用した昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* 培養シート型不織布製剤による防除」および「4.3 後食木に散布したフェニトロチオン乳剤による成虫の殺虫と防除」の章において、クワカミキリの成虫は 7 月上旬から 9 月上旬にかけて出現し、6 月の発生は観察されなかった。羽化脱出した雌成虫は約 10 日間の産卵前期間があり (山下, 2003)、「2.1 卵期」の章において産卵期間は 7 月下旬～9 月上旬でほとんどの卵は産卵当年にふ化し、ふ化幼虫はしばらく静止した後に穿孔を始めることが明らかになった。クワ園における幼虫期間は 2～3 年であることが報告されている (村上, 1960)。「2.2 幼虫期」の章において、人工飼育では幼虫期を短縮することが可能であったが、ケヤキに穿孔した幼虫は生育期間の長期化が影響して、その生存率が低下することが考えられた。蛹化時期は 5 月下旬から 7 月上旬で蛹期間は 12 日程度であることが報告されている (村上, 1960)。「2.2 幼虫期」の章において、人工飼育では成熟幼虫に低

温全暗処理を施すと休眠が覚醒し蛹化が促進されることから、蛹化には冬期の低温を経験することが必要であることが推察された。クワカミキリの生活史を図 5.1.1 に示した。

5.2 加害様式の特徴

Hanks (1999) は加害形態でカミキリムシ類を健全木、生育不良木、衰弱木および枯死木加害種に分類し、健全木加害種は活力のある寄主のみに産卵する種であると定義している。「3.2 立木サイズによる産卵選好性」の章において、クワカミキリはケヤキ植栽地においては成長の良い立木に産卵選好性が高いことが示されたため、健全木加害種に分類される。本州に分布するフトカミキリ亜科 *Lamiinae* の健全木加害種は、ドウボソカミキリ族 *Hippopsini* 1 種 (タテジマカミキリ)、ヒゲナガカミキリ族 *Lamiini* 5 種 (イタヤカミキリ、ゴマダラカミキリ、センノキカミキリ、チャイロヒゲビロウドカミキリ、ホシベニカミキリ)、シロスジカミキリ族 *Batocerini* 2 種 (クワカミキリ、シロスジカミキリ)、トホシカミキリ族 *Saperdini* 9 種 (ハンノキカミキリ、キクスイカミキリ、リングカミキリ、ソボリングカミキリ、ニセリングカミキリ、ヒメリングカミキリ、ホソキリングカミキリ、ヘリグロリングカミキリ、ホソツツリングカミキリ)、ルリカミキリ族 *Astathini* 1 種 (ルリカミキリ) が知られている (表 5.2.1) (佐藤・片野田, 1998; 小島・渡辺, 1960; Iwata et al.; 遠田, 1999; 工藤, 1997; ほか)。健全木加害種はその寄主範囲が種または科レベルで制限される狭食性が多いが、センノキカミキリ、シロスジカミキリおよびホソキリングカミキリは 5–8 科、さらにクワカミキリおよびゴマダラカミキリは 18 科以上の範囲で寄主が知られる広食性である (遠田, 1999; 小島・中村, 1986; 工藤, 1997; 江崎, 2002)。

Hanks (1999) はフトカミキリ亜科の健全木加害種の成虫は、幼虫にとって好適な寄主上で木本の樹皮や葉、草本の茎を後食することを述べている。前述のフトカミキリ亜科の健全木加害種も寄主の葉および若枝の一部を後食するが、数種を除いて産卵部位は枝や幹などそれとは明らかに異なる部位を利用する (表 5.2.1) (遠田, 1999; 佐藤・片野田, 1998; 阿久津・窪木, 1981; 工藤, 1997; 清沢ら, 1981)。クワカミキリは後食と産卵部位が

接近または重なって存在し（村上，1960；ほか）、明確な区別がされていない。「3.3 後食および産卵選好性の比較」の章において、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの後食および産卵枝径は枝径10mm前後で一部重なるが、後食選好性は10mm以下および産卵選好性はそれ以上で高くなることが示された。このほかに、タテスジカミキリ（遠田，1999）およびキクスイカミキリ（清沢ら，1981）の後食と産卵部位は明確に区別されない（表5.2.1）。また、「2.3 成虫期」および「4.2 後食木に施用した昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* 培養シート型不織布製剤による防除」などの章において示したように、クワカミキリは生息場所によっては後食と産卵で利用する樹種が異なる習性をもつ。

クワカミキリはフトカミキリ亜科に属するために、産卵加工を行う。前述したフトカミキリ亜科の健全木加害種は、1cm程度の横長の簡単な産卵痕を付けるゴマダラカミキリからU字型のやや複雑な産卵痕を付けるルリカミキリまで、外見的にそれぞれ特徴的な産卵痕を形成する（遠田，1999；小島，1974）。クワカミキリの産卵痕は馬蹄形に特徴付けられ（図1.1.2b）、産卵痕が形成されるまで40分を要する（村上，1960）。フトカミキリ亜科の健全木加害種で最も複雑な工程を経て形成され（西口・山中，1964）、さらに産卵痕を加工した枝の前方に環状の噛みキズが観察されることもある。

クワカミキリの穿孔被害は幼虫が坑道に沿って

形成される排糞孔から排出するフラスに特徴がある（江崎，1996；ほか）が、健全木加害種のうち同様の習性をもつ種はタテジマカミキリ、ホシベニカミキリ、リンゴカミキリ、ソボリンゴカミキリ、ニセリンゴカミキリ、ヒメリンゴカミキリ、ホソキリンゴカミキリである（遠田，1999；工藤，1997）。さらにクワカミキリの幼虫の坑道はらせん状に下降する特徴が知られている（江崎，1997；江崎・千木，1997）。

Hanks (1999) は多くの健全木加害種は寄主を枯死させることはまれであるが、一部の種の幼虫が致命的に寄主を衰弱させると述べている。江崎（1997）はケヤキ植栽地において幼虫の穿孔による立木枯死本数が6～8月にかけて増加したことを示し、伊藤（2004）はケヤキ植栽地の3年間の累積枯死率は2%（18/913）であったことを示している。その他にも立木枯死した報告がある（中川，1904；山内・久田，1981）が、枯死率は低いと思われる。

5.3 ケヤキ植栽地における被害の防除法

5.3.1 要防除水準

ケヤキは造林木または緑化木の生産を目的に植栽され、両者の苗木の植栽密度は3,000–5,000本/haで違いはない（田中，1991；石川県林業試験場，2003）。しかし、密度管理スケジュールは異なり、造林木では10～40年生で10年に1–2回程度の除・間伐を行う（石川県林業試験場，2003）が、緑化木では4～10年生頃まで徐々に間引きし

表5.2.1 フトカミキリ亜科 *Lamiinae* の健全木加害種の後食および産卵部位

族名	種名	寄主植物(科)	後食部位	産卵部位および加工
ドウボソカミキリ族 <i>Hippopsini</i>	タテジマカミキリ <i>Aulacnотus pachypezoides</i>	ウコギ科	葉、枝	若枝に2箇所の輪状キズを形成する
ヒゲナガカミキリ族 <i>Lamiini</i>	イタヤカミキリ <i>Mecynipus pubicornis</i>	ヤナギ科、カツラ科	緑枝	直径2–5cmの幹枝に5–20cmの縦キズを形成する
	ゴマダラカミキリ <i>Anoplophora malasiaca</i>	カエデ科など18科	緑枝、葉	樹幹下部に約1cmの横キズを形成する
	センノカミキリ <i>Acalolepta luxuriosa</i>	ウコギ科など5科	葉柄、緑茎	樹幹下部にマイナス型のキズを形成する
	チャイロヒゲピロウドカミキリ <i>Acalolepta kusamai</i>	スイカズラ科、クマツヅラ科	葉	樹幹に産卵するが、産卵加工は不明である
	ホシベニカミキリ <i>Eupromus ruber</i>	クス科	新梢の枝	直径5–10cmの幹枝に縦横5×3cm程度の長楕円形状のキズを形成する
シロスジカミキリ族 <i>Batocerini</i>	クワカミキリ <i>Aporiona japonica</i>	クワ科など19科	枝	直径1cm以上の幹枝に馬蹄形のキズを形成する
	シロスジカミキリ <i>Batocera lineolata</i>	ブナ科など6科	1–2年枝	樹幹の樹皮に縦横1×1.5cm程度のくぼみを横方向に連続したキズを形成する
トホシカミキリ族 <i>Saperdini</i>	ハンノキカミキリ <i>Cagosima sanguinolenta</i>	ハンノキ科	葉、枝	直径5cm以下の樹幹に縦に4–8cmの長さのキズを形成する
	キクスイカミキリ <i>Phytoecia rufiventris</i>	キク科	茎	茎上部に上下1条ずつ環状のキズおよびその間に点状キズを形成する
	ヘリグロリンゴカミキリ <i>Nupsorha marginella</i>	キク科	葉裏の葉脈	茎に産卵するが、産卵加工は不明である
	ヒメリンゴカミキリ <i>Oberera hebescens</i>	クスノキ科	葉裏の葉脈	緑枝に1条の環状のキズおよびその先端側に縦キズを形成する
	リンゴカミキリ <i>O. japonica</i>	バラ科	葉裏の葉脈	一年枝に上下1条ずつ環状のキズおよびその間を連絡する縦キズを形成する
	ソボリンゴカミキリ <i>O. sobosana</i>	ツツジ科	葉裏の葉脈	樹幹下部に5mm程度の浅い縦キズを形成する
	シラハタリンゴカミキリ <i>O. shirahatai</i>	スイカズラ科	葉裏の葉脈	樹幹下部に5mm程度の浅い縦キズを形成する
	ホソキリンゴカミキリ <i>O. infranigrascens</i>	ユキノシタ科など8科	葉裏の葉脈	一年枝に上下1条ずつ環状のキズおよびその間を連絡する縦キズを形成する
	ホソツツリンゴカミキリ <i>O. nigriventris</i>	ガガイモ科	葉裏の葉脈、細いつる	直径3mm以上のつるに螺旋または半螺旋状のキズを形成する
ルリカミキリ族 <i>Astathini</i>	ルリカミキリ <i>Bacchisia fortunei</i>	バラ科	葉裏の葉脈	細枝に縦横1×0.5cm程度のU字型のキズを形成する

* 佐藤・片野田（1998）、遠田（1999）、小島・中村（1986）、Iwata et al.（1999）、小島・渡辺（1960）、清沢ら（1981）、工藤（1997）、江崎（2002）、阿久津（1985）、阿久津・窪木（1981）、村上（1960）を引用した。

ながら出荷する(田中, 1991)。害虫防除では要防除水準を設定して実施されることが望ましいが、その設定は容易ではない(岩田, 1986; 中筋, 1997)。ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの被害は、成虫の後食による枝の折損や枯死および幼虫の穿孔による枝や幹の折損や枯死、材質劣化があり、いずれの被害も成長の良い立木で発生しやすい。造林木の穿孔被害について森本(1986)は、生立木を加害する一次性穿孔虫は立木あたり穿孔密度が非常に低い場合でも被害の痕跡が累積されて残っていくため、立木および材に与える影響が大きいことを述べている。このことはケヤキ植栽地におけるクワカミキリの穿孔被害でも同様な傾向である。前述のように造林地においては立木の生長に伴い除・間伐を実施するので、穿孔被害が累積しても管理密度以下に累積被害本数率が維持できれば影響はないという考え方もある(森本, 1986)。しかし、一般的に密度管理は生長不良木を対象に立木密度が平均化するように実施されるため、クワカミキリの被害が発生しやすい林分内の生長が良好な立木を間伐対象にして管理することは林分の生育の大きな障害になる。そのため、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの被害防除には初発時を確認して迅速な対応を行うことが重要になる。

5.3.2 被害の初発時の確認

「2.3 後食および産卵選好性の比較」の章において、成虫の産卵選好性は林分内で大きいサイズの立木で高く、さらに径10mm以上の枝や幹で高くなることを明らかにした。「3.2 立木サイズによる産卵選好性」の章において、産卵痕が観察された最小の立木サイズは地上高0.5mでの直径20.3mmであったが、林ら(1989)はケヤキ苗が地上高0.2mでの平均直径13.9mmに達した植栽3年後から穿孔被害が発生したことを報告している。これらのことから、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリによる穿孔被害は幹径10mm以上の立木が出現する直裁数年後から警戒する必要がある。

クワカミキリの被害を最小限に抑えるために、被害の初発時を確認することが重要である。クワカミキリはフトカミキリ亜科に属するために羽化脱出直後から後食する習性がある。そのため、クワ園において成虫が発生すると1年枝上で後食する成虫が観察され、枝上の後食痕、後食による枝枯れおよび折損も同時に発生するため初発時を確

認することができる(村上, 1960; 伊庭, 1991)。しかし、ケヤキ植栽地において日中にクワカミキリ成虫が観察されることは少なく、後食に関する報告も少ない(大橋・野平, 1997; 山根ら, 1996; ほか)。このため、ケヤキ植栽地において成虫や後食痕の観察によって初発時を確認することは困難であると思われる。また、クワ園において1年枝の基部にある産卵痕およびふ化幼虫が排出するフラスによって初発時を確認する方法が紹介されている(伊庭, 1991)。ケヤキ植栽地における被害は主に穿孔被害であり、「2.1 卵期」の章において、産卵痕出現から平均16.9日でフラスが排出されることが明らかになった。このことから、クワカミキリ被害の初発時を確認するためには、植栽木の枝基部を見回り、産卵痕および幼虫のフラスを観察することが有効な方法であると思われる。

5.3.3 卵およびふ化幼虫の殺虫

被害の発生を確認したら、被害拡大を防止するため早期に卵やふ化幼虫を殺虫することが重要である。果樹園においては、産卵痕中の卵をキリ等で刺殺するか木槌などで叩いて圧殺する方法が紹介されている(平井, 1950; 山下, 1986)が、山下ら(1999)はこの方法は労力が多くかかり樹が傷つきやすく、実用性の点で困難であることを述べている。また、山下ら(1999)は産卵痕にステープラーの針を打ち込み、卵を刺殺する方法により一定の殺虫効果を得ている。しかし、ケヤキ植栽木は自然に近い樹形で生育させるため伸長生長とともに産卵痕の発見に労力がかかるようになり、ケヤキ植栽地においてこの卵の殺虫法は難しいと考えられる。

クワカミキリのふ化直後の幼虫を殺虫するために、クワ園においてフェニトロチオン油剤など10種類程度の薬剤、およびイチジク園においてフェニトロチオン乳剤が登録されている(伊庭, 1991; 山下, 2003; 全国農業協同組合・全国農業安全指導者協議会, 2006)。このような薬剤はケヤキ植栽地においても同様の効果が期待できる。

5.3.4 穿孔幼虫の殺虫

伊庭(1991)はクワ園において幼虫の排糞孔に登録散布薬剤を注入して幼虫を殺虫する方法を紹介しており、イチジク園において幼虫の排糞孔に噴霧するペルメトリン・エアゾールが登録されて

いる（山下，2003；全国農業協同組合・全国農業安全指導者協議会，2006）。これらの排糞孔から薬剤を注入して幼虫を殺虫する方法はいずれも効果が高いとされており（伊庭，1991；山下，2003）、さらに山下ら（1999）はペルメトリン・エアゾールを噴霧する方法は幼虫の生育期に高く、休眠期に低いことを明らかにしている。山根ら（1998）はケヤキに穿孔する幼虫を排糞孔にフェニトロチオン乳剤を注入する方法によって一定の防除効果を得ているため、イチジク園において登録されているペルメトリン・エアゾールを幼虫の排糞孔に噴霧することにより、同様の殺虫効果を得る可能性が高い。

5.3.5 成虫の殺虫

クワ園および果樹園において、成虫のを見つけ捕りによる捕殺は有効であることが述べられている（平井，1950；伊庭，1991；山下，2003；大久保，1990）。クワ園において成虫の殺虫のために、ジクロロボス（DDVP）乳剤およびジメトエート・ジクロロボス乳剤を散布して、直接または散布枝を後食した成虫を殺虫する方法が知られている（伊庭，1991）。これらの薬剤は養蚕におよぼす影響を回避するため残効期間が短い特性がある（全国農業協同組合・全国農業安全指導者協議会，2006）。一方、イチジク園において山下ら（1999）は、成虫を殺虫するためのジクロロボス（DDVP）乳剤の散布は果実への薬剤の飛散と被害の発生が懸念されるために使用は困難であることを述べている。

「2.3 成虫期」の章において、ケヤキ植栽地の周辺に自生するクワで後食選好性が高く、夜間に産卵のためにケヤキ植栽木に飛来することが観察された。ケヤキ植栽地における被害の多くは穿孔被害であり、成虫の観察記録は報告されていない（江崎，2002；ほか）。そのため、このような被害地においては直接成虫を殺虫することは困難である。「4.2 後食木に施用した昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* 培養シート型不織布製剤による防除」の章において、クワカミキリ成虫が集中する後食木に *B. brongniartii* を培養したシート型不織布製剤を施用することにより、クワカミキリを高率に感染させられる可能性が示唆された。また、「4.3 後食木に散布したフェニトロチオン乳剤による成虫の殺虫と防除」の章において、フェニトロチオン乳剤を成虫の発生直前およびそ

の3週間後に後食木の枝条に散布すると、発生時期を通じてクワカミキリ成虫を殺虫できる可能性が示唆された。顕著に後食被害が発生していないケヤキ植栽地においては、「2.3 成虫期」の章に示したように周辺に後食木が存在している可能性が高いため、後食木を確認し、このような防除法を検討する必要がある。また、後食木は成虫密度が高くなるため成虫の発生時期の確認にも利用でき、後食木を管理してケヤキ植栽地を維持していく方法も考えられる。

後食被害が発生しているケヤキ植栽地においては、成虫の後食選好性は大きいサイズの立木で高いことから、大きいサイズの立木に昆虫寄生菌およびフェニトロチオン乳剤を施用することにより被害が軽減できる可能性がある。

5.3.6 成虫の飛来、定着および発生の抑制

クワカミキリ雌成虫の平均産卵数について、村上（1960）は60個および北島ら（1997）は75.8個であることを報告している。これはケヤキ植栽地においてクワカミキリ雌成虫が低い個体密度で生息しても、高い水準の被害を発生させる可能性を示しており、被害予防のためには雌成虫を飛来、定着および発生させないことが重要である。

ビワ園においては産卵のために成虫が飛来することが観察されており（河野・橋本，1977）、イヌビワおよびクワなどが周辺に自生するビワ園において被害は多いことが知られている（大久保，1990）。「2.3 成虫期」の章において、ケヤキ植栽地の周辺に自生するクワ後食木から成虫が産卵のために飛来していることが観察され、馬場・灰塚（2006）は広葉樹林や果樹園などが周辺に多いケヤキ植栽地は被害率が高くなることを報告している。そのため、被害予防のために植栽地の選定においては周辺環境を検討すること、および被害発生時には後食木や発生源の除去に努めることも検討する必要がある。

また、ブナ林におけるクワカミキリによる穿孔被害は、標高900m以上では発生しておらず標高が低くなるほど被害本数率が高くなり（岡田・永幡，1996）、低標高地のブナ植栽地で被害が激化している（須藤ら，1995；山野辺・細田，2002；海老根ら，2004）。ケヤキ植栽地の被害率も低標高で高くなることが報告されている（馬場・灰塚，2006；山野辺・細田，2002a）。このことは、低標

高を避けた植栽地を選定することが被害拡大を防止する可能性がある。

ケヤキ植栽地において多数の成虫の脱出孔を観察した例は少なく、山野辺・細田（2002）は調査したケヤキ植栽地 17 箇所においてクワカミキリの脱出孔が観察された植栽地は 3 箇所であり、これらの植栽地において脱出孔が観察された立木本数率は穿孔被害木の 4 - 17%であったことを報告している。さらに、伊藤（2004）は 1 年間の観察で新たな脱出孔が観察された立木本数率は約 13%であったことを報告している。クワカミキリは少数個体の定着によっても被害が増大する可能性があるため、定期的に穿孔幼虫の殺虫に努めることが重要である。

5. 3. 7 保育管理による被害抑制

健全木加害種が生活するためには生きた寄主を必要とするため、寄主が枯死した場合は幼虫が発育を終えることができないと考えられている（Hanks, 1999）。江崎（1997）はケヤキ植栽地において枯死被害が発生すると幼虫のフラスの排出がなくなることを観察し、枯死被害の発生にともなって幼虫も死亡することを示唆した。そのため、穿孔被害木を優先して間伐し、穿孔幼虫を斃死させる駆除法が考えられる。しかし、加藤・大場（2003）は密植による肥大生長の抑制および早期の下枝の枯れ上がりが被害を抑制する可能性があることを報告しているため、ケヤキ植栽地の密度管理については追跡調査が必要になる。また、「4. 1 下草除去による産卵防止効果」の章において、クワカミキリは下草に覆われた幹や枝に好んで産卵する習性があり、ケヤキ植栽地において下刈りによって幹や枝を露出すればクワカミキリの産卵数を軽減できることが示唆された。このため、成虫の発生期間における複数回の下刈りは被害の抑制に効果的な方法であると考えられる。

クワ園において、被害が発生しにくいクワの仕立て法や品種の選定によるクワカミキリ被害軽減のための耕種的防除法が紹介されている（伊庭, 1991）。ケヤキ林において、馬場・灰塚（2006）は幼齢木では枝張りの狭い品種「むさしの」がクワカミキリの産卵を抑制する可能性があることを報告した。しかし、金子（1995）はこの品種の重要な害虫としてクワカミキリ被害が目立つことを述べている。

5. 3. 8 ケヤキ植栽地における被害の総合防除法の提案

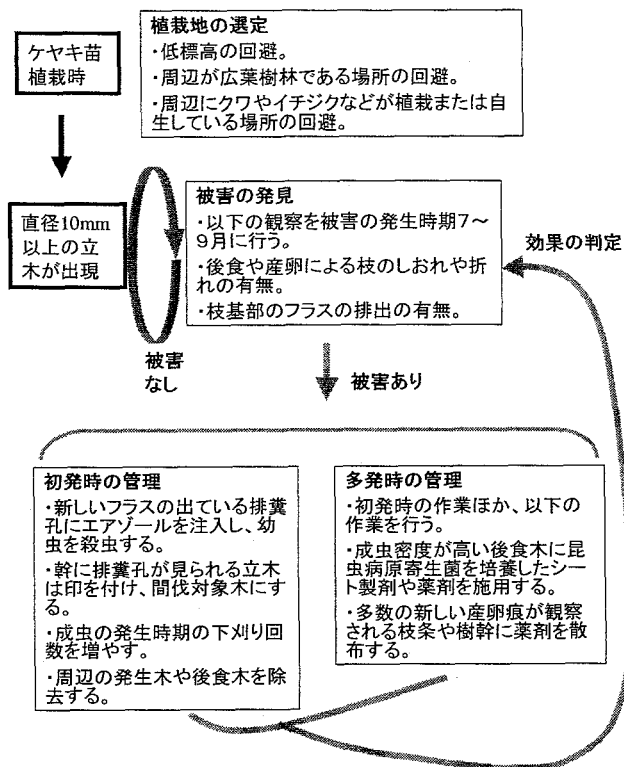


図 5. 3. 1 ケヤキ植栽地におけるクワカミキリ被害の総合防除法の提案

これまでの研究をまとめ、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリ被害の総合防除法を提案する（図 5. 3. 1）。まず、植栽地の選考基準として、クワカミキリの飛び込みや定着をさけるために①低標高地、周辺が広葉樹林である場所および周辺にクワやイチジクなどが植栽または自生している場所は避けることである。そして、②植栽後は立木幹直径が 10mm に達すると被害が発生する可能性があるため、植栽数年後から被害の初発時の確認を行う。③被害出現時期 7 ~ 9 月に、後食や産卵による枝のしおれや折れ、枝基部を中心としたフラスの排出を確認する。④初発が確認された時には、新しいフラスの出ている排糞孔にペルメトリン・エアゾールを注入し幼虫を殺虫すること、幹に排糞孔が見られる立木は印を付け間伐対象木にすること、成虫の発生時期の下刈り回数を増やすこと、周辺の発生木や後食木を見つけて除去するなどの管理が必要になる。通常はこの初発時の管理を毎年繰り返す行い、累積被害率を低く維持するが、多発が確認された場合はフェニトロチオンなどの

殺虫剤を使用して急激に成虫密度を下げる必要がある。④多発時の防除は初発時の管理を行い、さらに成虫密度を低下させるために成虫密度が高い後食木に昆虫病原寄生菌を培養したシート製剤や薬剤を施用すること、およびふ化幼虫を殺虫するために多数の新しい産卵痕が観察される枝条や樹幹にフェントロチオン油剤などの薬剤を散布することになる。

摘要

クワカミキリ属 *Apriona* はインドネシアを中心に中国、日本、韓国などからパプア・ニューギニアにかけて分布しており、ポプラやクワの穿孔性害虫として知られている。日本に分布するクワカミキリ *A. japonica* Thomson は広食性で、20科49種の寄主が知られており、これまでクワ、ビワ、イチジクなどの被害が問題になってきた。近年では、新たにケヤキやブナの造林地や緑化木で被害が発生している。そのため、これらの被害地における効果的な管理技術の開発が求められている。

本研究では、全国的にも被害が最も深刻なケヤキ植栽地におけるクワカミキリの管理法を提案するために、生態の解明、被害解析および防除法に関する調査を行った。まず、卵および幼虫の発育経過、成虫の日周行動などについて調査した。次に、成虫による後食被害および幼虫による穿孔被害の特性を解析した。さらに、下刈りによる産卵抑制効果、後食木を利用した成虫の生物学的および化学的防除を検討した。

1. 生態の解明

ケヤキ植栽地においてクワカミキリの産卵は7月下旬に始まり、8月上旬にピークを示し、9月上旬まで徐々に減少する傾向があった。ほとんどの卵は産卵当年にふ化し、しばらく静止した後に穿孔を始める。卵の発育零点を10℃とした有効積算温量278日℃以上ですべての卵がふ化した。

幼虫の発育経過を調査するために、産卵3年後のケヤキ立木を樹幹解析した。クワ園の報告と比較するとケヤキに穿孔した幼虫の生存率は差がなかったが、生育期間の長期化が影響して生存率が低下していくことが考えられた。人工飼料で飼育した成熟幼虫に30日以上低温全暗処理を施すと蛹化が促進された。このため、冬期の低温が幼

虫休眠を覚醒することが示唆された。

ケヤキ植栽地の周辺に自生するクワの産卵痕あたり後食量はケヤキより160倍大きくなり、ほとんどの間、成虫はクワ上に滞在していた。クワ上における成虫は夜間に活発になり、雌成虫がケヤキ植栽木に産卵のために飛来していることが推察された。これらのことから、被害地における後食木は、クワカミキリ成虫を定着させるために重要な存在であると考えられた。

2. 穿孔および後食被害の解析

石川県においてクワカミキリの穿孔被害がはじめて確認されたケヤキ植栽地において、クワカミキリの穿孔被害は大きいサイズの立木で発生する傾向が認められた。さらに9箇所のケヤキ植栽地においても同様の傾向が認められ、このうち5箇所の植栽地において累積産卵痕数は立木直径と正の相関を示した。また、2箇所のケヤキ植栽地において、後食被害も大きいサイズの立木で発生する傾向が認められた。このうち1箇所の植栽地において、後食面積は立木直径と正の相関関係を示した。これらの結果より、クワカミキリ成虫は空間占有率が高いサイズの大きい立木に飛来しやすいため、深刻な被害が発生しやすくなると考えられた。

3. 防除法の検討

ケヤキ植栽地において下草除去によるクワカミキリ成虫の産卵防止効果を調査するために、下草除去区と放置区における産卵痕数の比較を行った。その結果、下草除去区の木あたり産卵痕数は放置区のそれより少なかった。また、放置区の産卵痕の多くは下草高よりも低い位置に分布しており、クワカミキリは下草に覆われた幹や枝で産卵選好性が高くなるため、下刈りによって幹や枝を露出すればクワカミキリの産卵を防止できることが示唆された。

ニセアカシア・エノキ混交林において昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* を培養したシート型不織布製剤を利用したクワカミキリ成虫の殺虫効果を調査するために、エノキ後食木にこのシート型不織布製剤を設置した。不織布製剤施用41日後までの捕獲した成虫の平均感染死亡率は55.0%であり、施用12日後に最大値80.0%を示した。この結果から、クワカミキリ成虫が集中す

る後食木に *B. brongniartii* を培養したシート型不織布製剤を施用すると、高率にクワカミキリ成虫が感染することが示された。

また、クワカミキリの成虫駆除にフェニトロチオン乳剤の散布が有効であることを明らかにするために、フェニトロチオン 4.4% 乳剤を成虫の発生直前およびその 3 週間後に野外のエノキの枝条に散布した。その結果、発生時期を通じてクワカミキリ成虫を殺虫することができた。さらに、野外でフェニトロチオン 0.44% 乳剤を 1 回散布したエノキの枝条と 3 週間隔で 2 回散布した枝条を成虫に与えて飼育した結果、1 回散布では散布 4 週間後まで、2 回散布では 2 回目散布 6 週間後までの枝条で飼育した全ての成虫が、飼育開始後 3 日以内に死亡した。これらの結果から、フェニトロチオン乳剤の散布はクワカミキリ成虫の駆除に有効で、フェニトロチオン 0.44% 乳剤を後食木に 2 回散布すると、9 週間にわたり高い殺虫効果を維持できることが明らかになった。

4. 加害様式の特徴

クワカミキリはケヤキ植栽地において成長の良い立木に産卵選好性が高いため、健全木加害種に分類される。ほとんどの健全木加害種はその寄主範囲が種または科レベルで制限される狭食性であるが、クワカミキリは 20 科の寄主が知られているために広食性である。一般的に、健全木加害種の後食部位は寄主の葉および若枝であり、それとは異なる部位に産卵する。しかし、クワカミキリの後食および産卵する部位は同じである。さらに、健全木加害種の後食と産卵は同一立木上で行われるが、クワカミキリは樹種によって後食選好性と産卵選好性が明らかに異なる傾向がある。また、クワカミキリの産卵痕は馬蹄形に特徴づけられ、日本に分布する健全木加害種で最も複雑な工程を経て形成される。

5. ケヤキ植栽地における管理の提案

クワ園および果樹園で構築されたクワカミキリ防除対策を参考にして、ケヤキ植栽地におけるクワカミキリ被害の防除法を提案する。クワカミキリの産卵選好性は直径 10mm 以上の枝や幹で高くなるため、植栽直後から警戒が必要である。穿孔被害の初発時は、植栽木の枝基部の周囲にある産卵痕および幼虫のフラスを見つけることによ

って確認できる。ふ化直後の幼虫を殺虫するためにクワ園およびイチジク園で使われているフェニトロチオン乳剤の樹幹散布、および樹幹に穿孔する幼虫を殺虫するためにイチジク園において使われている幼虫の排糞孔にペルメトリン・エアゾールを噴霧する方法はケヤキ植栽地においても効果が高いと思われる。クワカミキリ成虫が集中する後食木を確認し、*B. brongniartii* を培養したシート型不織布製剤およびフェニトロチオン乳剤を施用すると成虫の高い殺虫効果が期待される。広葉樹林が隣接しているか、低標高地の植栽地において被害率が高くなる傾向があるため、これらの植栽地は避けた方が良い。また、ケヤキ植栽地内において成虫を発生させないために、積極的に幼虫を殺虫し穿孔木を間伐することが重要である。クワカミキリ成虫は下草に覆われた幹や枝に好んで産卵する習性があり、産卵期間中に下刈りによって幹や枝を露出すれば産卵数を軽減できる。

Summary (英文要約)

The genus *Apriona* Chevrolat (Coleoptera; Cerambycidae) is mainly Indonesian in distribution, although species do occur from the Asiatic mainland to the Papuan area. Some of the species are poplar and mulberry stem borers in their localities. A wood borer *Apriona japonica* Thomson has been known as an important pest of mulberry, loquat and fig trees in Japan. This species shows euryphagy with hosts in 20 family 49 species. Recently, injury caused by this species occurred in young plantations of *Zelkova* tree (*Zelkova serrata*) and beech (*Fagus crenata*), and revegetation tree. Therefore, effective control techniques are eagerly awaited.

In this study, in order to develop a method for management of *A. japonica* in young *Zelkova* plantations where the most serious injury occurs, I investigated the life cycle, and analyzed the damage and control of *A. japonica*. I first investigated the development of eggs and larval, and behavior of adults of *A. japonica*. Next, I analyzed the characteristics of feeding injury caused by the adult and boring

injury caused by the larva. Furthermore, I examined the deterrent effect of weed removal on oviposition, biological and chemical control of adults.

1. Life cycle

Adults of *A. japonica* oviposited from late July until early September with a peak in early August in a young *Zelkova* plantation. The period from occurrence of oviposition mark until expulsion of frass was 16.9 days on the average and more than 90% eggs hatched in observations on 17 and 14 days after occurrence of oviposition mark. Therefore, the egg period was about 15 days in the peak period of oviposition. The hatchability in the late period of oviposition became low because of drying, but the total hatchability (89.2%) was higher than that in investigations on mulberry plantation.

Zelkova stems three years after ovipositing were examined for larval development of *A. japonica*. The survival rate of larva did not differ from that in the mulberry plantation but their gallery lengths were slightly shorter. Therefore, the *Zelkova* stem was not good for larval development. Pupation was promoted by exposing matured larvae reared on an artificial diet to 10°C in the dark for 30 days. This result suggests that the low temperature in winter terminates larval diapause.

Feeding area per oviposition mark of adults on living mulberry trees around a *Zelkova* plantation was 160 times larger than that for a plantation, and adults stayed on these mostly. Adults were active at night on these mulberry trees, females though came flying from them to the *Zelkova* plantation for ovipositing. These results suggested that the feeding tree in the infested plantation was important for adults of *A. japonica* to stay.

2. Damage analysis

The size of infested trees tended to be larger than that of non-infested trees in a *Zelkova*

plantation where the engraving damage by the larva of *A. japonica* occurred first in Ishikawa prefecture. Furthermore the same tendency as this result was shown in nine young *Zelkova* plantations and a correlation between tree size and the number of oviposition marks was shown on linear regression in five plantations. The size of trees on which feeding scars were found was larger than those without feeding scars in two young *Zelkova* plantations. The relationships between tree size and feeding area was shown on linear regression in a plantation of these. These results suggested that the engraving damage tends to occur on such trees, because adults tend to fly to larger trees that were high in the special occupancy rate in a plantation.

3. Control

I investigated the effect of removal of weeds on *A. japonica* oviposition on *Z. serrata* during the summer in a young *Zelkova* plantation. Weed removal significantly reduced the number of oviposition marks. In a plot in which weeds had been removed, the height distribution of oviposition marks significantly differed from that in a control plot, in which most oviposition marks were found below the weed height. These results suggest that *A. japonica* adults prefer to oviposit on host branches and stems that are covered with weeds and that removing weeds deters *A. japonica* from ovipositing on exposed host tree parts.

Next, I investigated the insecticidal effect on *A. japonica* adults of a nonwoven fabric sheet on which *Beauveria brongniartii* was cultured in a mixed forest of *Robinia pseudoacacia* and *Celtis sinensis*. Some of the fungus-containing sheets were hung on the *C. sinensis* trees to infect the adults feeding on the tree. The total mortality of the adults captured on the experimental site was 55.0% for 41 days and the maximum was 80.0% on the 12th day after the application. These results suggest that application of fungus-containing sheets on

trees where the adults congregated for feeding can kill *A. japonica* adults effectively.

Also in order to verify the usefulness of fenitrothion-spraying to control *A. japonica* adults, I sprayed the branches of *C. sinensis* trees with 4.4% fenitrothion twice in the field, just before the occurrence of *A. japonica* adults and three weeks later. *A. japonica* adults were killed continuously throughout the period that they occurred on *C. sinensis* trees. I reared *A. japonica* adults in the laboratory on *C. sinensis* branches that were sprayed with 0.44% fenitrothion once and/or twice at a three-week interval. All adults were killed within three days when they fed on the branches sprayed once 1-4 weeks before the experiment and those sprayed twice 4-6 weeks before the experiment, respectively. These results suggest that spraying fenitrothion should be effective in the management of *A. japonica* adults and that spraying of 0.44% fenitrothion twice at a 3-week interval can kill nearly 100% of adults over a period of nine weeks.

4. Injury characteristics

A. japonica is a healthy host species because adults oviposit preferably on a vigorously growing tree in a young *Zelkova* plantation. Most healthy host species are oligophagic with a limited host range at the species or family level. However, *A. japonica* has the characteristic of euryphagy with a host range of 20 families. Adults of most healthy host species feed on a part of the bark or/and foliage of woody plants or herbaceous hosts, and oviposit on the host at a slightly different organ from feeding. However, the *A. japonica* adult uses the same organ for both feeding and ovipositing. Also the oviposition mark of *A. japonica* is characterized by a horseshoe shape and is made by a most complicated process of healthy host species distributing in Japan.

5. Suggestion of the management of *A. japonica* on young *Zelkova* plantation

I suggest the management of *A. japonica* on young *Zelkova* plantation who refer to controls were made in mulberry and fruits plantations. It is important to watch out for injury occurrence soon after planting in the plantation, because adults prefer to oviposit on host branches and stems which were more than 10mm. The initial occurrence of boring injury can be confirmed by finding oviposition mark and frass around the base of the branches. Spraying branches and stems with fenitrothion which has been used to kill hatchlings in mulberry and loquat plantations, and applying permethrin aerosol into holes for expelling frass which had been used to kill boring larvae in loquat plantations is also considered to be effective in *Zelkova* plantations. Application of fungus-containing sheets and fenitrothion on trees where the adults congregated for feeding around and/or in plantation can kill *A. japonica* adults effectively. These plantations should be avoided, because the damage rate of *A. japonica* tended to be high in *Zelkova* plantations adjacent to broadleaf forests or were low in height. Also killing bored larvae and thinning injured trees aggressively are important to keep adults from emerging in the plantation. *A. japonica* adults prefer to oviposit on host branches and stems that are covered with weeds and that removing weeds deters *A. japonica* from ovipositing on exposed host tree parts.

謝辞

まず本論文を草するにあたり、論文全体のご指導と校閲を賜った東京農工大学大学院共生科学技術研究院教授の岸 洋一博士に多大なる感謝の意を表す。学位の審査にあたり、東京農工大学大学院共生科学技術研究院教授の岩淵喜久男博士、濱野国勝博士、茨城大学農学部教授の後藤哲雄博士、宇都宮大学農学部助教授の大久保達弘博士には貴重なご意見と指導をいただいた。本研究を進めるにあたり、(独)森林総合研究所の楨原 寛氏、北島 博博士、佐藤大樹博士、東京大学大学院農

学生命科学研究科助教授の鎌田直人博士、(株)日東電工の樋口俊男氏、元蚕糸・昆虫農業技術研究所の伊庭正樹博士には貴重なご助言と指導をいただいた。日本大学生物資源科学部教授の岩田隆太郎博士、元日本大学生物資源科学部教授の山田房雄博士、元森林総合研究所の山崎三郎氏には、私が日本大学農獣医学部(現生物資源科学部)および高知大学大学院農学研究科修士課程在学中に、調査方法および論文の作成に関してご指導をいただいた。元日本大学生物資源科学部教授の山根明臣博士には激励の言葉をいただいた。府県公設森林・林業研究所の森林保護担当の方々には、現場研究の重要性についてご指導いただいた。石川県林業試験場および農林[総合]事務所の方々に、現地調査に関してご協力と指導をいただいた。これらすべての方々に、心より深謝する。

引用文献

- 阿久津喜作(1985) センノキカミキリの生態ならびに防除に関する研究. 東京都農業試験場報告 18 : 1-72.
- 阿久津喜作・窪木幹夫(1981) シロスジカミキリ成虫の行動. 日本応用動物昆虫学会誌 25 : 156-161.
- 馬場信貴・灰塚敏郎(2006) 佐賀県のケヤキ造林地におけるクワカミキリ被害の実態. 森林防疫 55 : 34-37.
- 海老根晶子・細田浩司・山野辺 隆(2004) 標高の低いブナ植栽地におけるクワカミキリの被害と羽化消長. 茨城県病害虫研究会会報 43 : 1-5.
- 江森 京(1979) キボシカミキリの発生に関する生態学的研究 II. 幼虫の蛹化におよぼす日長条件. 日本応用動物昆虫学会誌 23 : 170-172.
- 遠田暢男(1999) カミキリムシ類.(天然広葉樹林病害虫対策調査報告書、林野庁編、307pp、林野庁. 東京). 264-295.
- 江崎功二郎(1994) ヤマハンノキ生立木を加害していたカミキリムシ3種の幼虫. 甲虫ニュース 107 : 5.
- 江崎功二郎(1995) ケヤキ植栽造林地でのクワカミキリ *Apriona japonica* Thomson (Coleoptera: Cerambycidae) の産卵特性、日本林学会誌 77 : 596-598.
- 江崎功二郎(1996) クワカミキリ *Apriona japonica* Thomson によるケヤキ造林地の被害実態、森林防疫 45 : 70-72.
- 江崎功二郎(1997) クワカミキリによるケヤキ育成地の被害実態と推移. 森林防疫 46 : 231-234.
- 江崎功二郎(1999) ケヤキ造林地におけるクワカミキリ次世代未成熟個体の生存率. 森林防疫 48 : 187-190.
- 江崎功二郎(2001) クワカミキリの人工飼育と幼虫休眠. 日本応用動物昆虫学会誌 45 : 149-151.
- 江崎功二郎(2002) 広葉樹を加害するカミキリムシ.(森林をまもる、森林病虫獣害防除協会編、493pp. 全国森林病虫獣害防除協会. 東京). 271-279.
- Esaki, K. (2006) Deterrent effect of removal of bottom grass in *Zelkova serrata* nursery on oviposition of *Apriona japonica* Thomson (Coleoptera, Cerambycidae). Applied Entomology and Zoology 41 : 83-86.
- 江崎功二郎(2006a) ケヤキ植林地におけるクワカミキリの後食および産卵選好性. 中部森林研究 54 : 219-221.
- 江崎功二郎(2006b) ケヤキ幼齢林におけるクワカミキリ成虫の後食木の存在と日周行動. 森林防疫 48 : 186-189.
- 江崎功二郎・千木 容(1997) クワカミキリによるケヤキ公園緑化樹の被害実態. 森林防疫 46 : 153-156.
- 江崎功二郎(印刷中) 後食木に散布したフェントロチオン乳剤によるクワカミキリ成虫の殺虫と防除法の検討. 日本森林学会誌.
- 江崎功二郎・樋口俊男(2006) 後食木に施用した昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* によるクワカミキリ成虫の防除. 日本森林学会誌 88 : 441-445.
- 藤下章男(1979) マツ類の急激枯損防止に関する研究(II)-フェントロチオン剤によるマツノマダラカミキリ後食防止効果-. 静岡県林業試験場研究報告 10 : 39-48.
- Gilmour, E. F. (1958) Revision of the genus *Apriona* Chevrolat (Coleoptera, Celambycidae, Lamiinae, Batocerini).

- Journal of the entomological society of Indonesia 11: 35-131.
- 行徳 裕 (1996) 昆虫病原糸状菌の特性と利用技術. 植物防疫 50: 460-463.
- 萩谷俊一・沢田正明 (1973) カミキリムシ類のイチジク園での生態と防除 (I). 関東東山病害虫研究会報 20: 145-146.
- Hanks, L. M. (1999) Influence of the larval host plant on reproductive strategies of cerambycid beetles. Annual Review of Entomology 44: 483-505.
- 橋元祥一・柏尾具俊・堤 隆文・行徳 裕・甲斐一平 (1992) *Beauveria brongniartii* によるゴマダラカミキリ防除の可能性. 植物防疫 46: 12-16.
- 橋元祥一・坂口徳光・柏尾具俊・堤 隆文・行徳裕・甲斐一平・榎原 稔 (1991) 昆虫病原糸状菌 *Beauveria brongniartii* の培養担体の検討. 九州病虫研究会報 37: 170-174.
- 林 洋二・松尾正史・佐渡靖紀 (1989) 人工広葉樹幼齢林における害虫被害について. 山口県林業指導センター業務年報 平成元年度: 64-67.
- 樋口俊男・二宮保男・伊庭正樹 (1993) カミキリムシ類防除のための天敵糸状菌 *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch 培養製剤バイオリサ・カミキリの開発. 日東技報 31: 103-110.
- 平井重三 (1950) イチジクの大敵「クワカミキリ」. 新園芸 3 (6): 24-26.
- 平野伊一 (1959) 昆虫関係文献目録 (201) クワカミキリ・ホシカミキリ・シラスジオオカミキリ. 大阪植物防疫 VII: 265-273.
- 本多健一郎・阿久津喜作・新井茂 (1981) 人工飼育によるセンノキカミキリの大量飼育. 日本応用動物昆虫学会誌 25: 108-112.
- Huang, D., Guan, H., Zhang, J., Liu, J., Wang, Z. and Zhang, J. (1997) Control threshold for *Apriona germati*. Journal of Northeast Forestry University 25: 78-82.
- 伊庭正明 (1991) クワカミキリ. (農業総覧病害虫防除資料編 第9巻. 農山漁村文化協会編, 1258pp, 農山漁村文化協会, 東京). 499-505.
- 池上隆文・小林則夫・伏木俊雄 (1996) 天敵糸状菌 *Beauveria brongniartii* を利用したバラ園におけるゴマダラカミキリの防除. 茨城県農業総合センター蚕業研究所研究報告 4: 26-32.
- 石井五郎・江森 京・樋田幸夫 (1964) キボシヒゲナガカミキリ *Psacotha hilaris* Pascoe について (3). 蚕糸研究 (52): 28-38.
- 石川県農林水産部 (1995~2005) 造林事業. (石川県森林・林業要覧, 石川県農林水産部森林管理課, 石川県).
- 石川県林業試験場 (2003) よくわかる石川の森林・林業技術 No3 ケヤキ人工林の育成技術. 23pp, 石川県林業試験場, 石川県.
- 石谷栄次 (2001) ケヤキ植栽地におけるクワカミキリの被害. 千葉の植物防疫 94: 9-11.
- 伊藤賢介 (2004) ケヤキ人工林におけるクワカミキリ被害の推移. 九州森林研究 57: 124-126.
- 岩田俊一 (1986) 稲作害虫に関する最近の課題 I 総説. (応用昆虫学総説, 野村健一編, 302pp, 養賢堂, 東京). 75-89.
- Iwata, R., Yamada, F., Kato, H., Makiyama, H., Araya, K., Ashida, H. and Takeda, M. (1997) Nature of galleries, durability and boring scars, and density of *Xylotrechus villioni* (Villard) larvae (Coleoptera, Cerambycidae), on coniferous tree trunks. Pan-pacific Entomologist 73: 213-224.
- 金子昭男 (1995) 修景用ケヤキのバリエーション. 林業技術 (637): 17-21.
- 加藤 徹・大場孝裕 (2001) 植栽密度が違うケヤキ若齢林のクワカミキリによる被害実態. 中部森林研究 49: 73-74.
- 加藤 徹・大場孝裕 (2003) 静岡県におけるケヤキ若齢林のクワカミキリ被害の実態. 静岡県林業技術センター研究報告 31: 27-31.
- 河野通明・橋元祥一 (1977) ビワ園におけるクワカミキリの生態と防除. 九州病害虫研究会報 23: 157-159.
- 木村重義 (1974) マツノマダラカミキリの発育と温度 (I). 日本林学会東北支誌 26: 141-143.
- 岸 洋一 (1988) マツ材線虫病—松くい虫—精説. 292pp, トーマスカンパニー, 東京.
- 北島 博・橋本正伸・榎原 寛 (1997) クワカミキリ成虫の産卵数と卵・幼虫における温度

- と発育との関係. 日本林学会論文集 108 : 379-380.
- 清沢晴親・早川広文・降 剛寛・堀 勝彦・小林靖彦 (編集) (1981) 図説、長野県のカミキリムシ. 230pp、日本民族資料館、松本.
- 小林彰一・小野本徳人・根来 実・岡田裕彦・中井正浩・谷口敏信・山口洋史・前田知左・柴尾 学・田中 寛 (1999) ポーベリア・ブロンニアティ剤によるカンキツのゴマダラカミキリ防除. 関西病害虫研究会報 41 : 65-66.
- 小島圭三 (1974) カミキリムシの観察と飼育. 87pp、ニュー・サイエンス社、東京.
- 小島圭三・中村慎吾 (1986) 日本産カミキリムシ食樹総目録. 336pp、比婆科学教育振興会、広島.
- 小島圭三・渡辺弘之 (1960) 高知におけるハンノキカミキリの生態. 日本林学会誌 42 : 359-362.
- Kojima, T. (1929) Immature stages of some Japanese cerambycid-beetles, with notes on their habits. Journal of the College of Agriculture, Imperial University of Tokyo 10 : 101-128.
- 駒崎進吉 (1996) 果樹の草生栽培における虫害防除の留意点. 果実日本 51 (7) : 24-26.
- Komazaki, S. and Sakagami, Y. (1989) Capture-recapture study on the adult population of the white spotted longicorn beetle, *Anoplophora malasiaca* (Thomson) (Coleoptera: Cerambycidae), in a citrus orchard. Applied Entomology and Zoology 24 : 78-84.
- Kosaka, H. and Ogura, N. (1990) Rearing of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera, Cerambycidae) on artificial diets. Applied Entomology and Zoology 25 : 532-534.
- 工藤周二 (1997) 青森県津軽地方のリングカミキリ属の生態. 月刊むし (320) : 23-33.
- 正木伸之 (1997) フジを食樹とするクワカミキリ. 森林防疫 46 : 114-116.
- 松浦克彦・福井謙一郎・足立年一 (1997) イチジクのキボシカミキリとクワカミキリに対する天敵糸状菌 *Beauveria brongniartii* のシ
- ート剤による防除効果. 兵庫県農業技術センター研究報告 45 : 45-48.
- 松浦邦明 (1988) マツノマダラカミキリの後食防除に関するフェニトロチオンの作用. 日本応用昆虫学会誌 32 : 245-251.
- 森本 桂 (1986) 森林害虫に関する最近の課題. (応用昆虫学総説、野村健一編、302pp、養賢堂、東京). 195-218.
- 守屋 均 (1988) ケヤキ・クスノキの肥大成長の季節変化. 99回日本林学会論文集 : 345-346.
- 村上美佐男 (1960) クワカミキリ *Apriona rugicollis* Chevrolat の食害生態と防除について. 蚕糸試験場業務報告 (77) : 25-40.
- 室 雅道 (2001) 大分県におけるケヤキ人工林のクワカミキリ被害. 森林防疫 50 : 214-217.
- 中川 久知 (1904) 桑天牛 *Apriona rugicollis* Chevrolat の卵に就きて. 動物学雑誌 (141) : 233-237.
- 中野敏夫 (1988) 広葉樹6種の年生長周期について. 99回日本林学会論文集 : 349-350.
- 中筋房夫 (1997) 総合的害虫管理学. 273pp、養賢堂、東京.
- 西 一郎 (1990) クワカミキリの各産卵樹における産卵の季節変化と日周性. 日本応用昆虫学会誌中国支部会報 (32) : 10-16.
- 西口親雄・山中寅文 (1964) ポプラ類におけるクワカミキリの産卵部位. ホプラ懇話会. ホプラ 21 : 14-17.
- 野平照雄・大橋章博・小森基安 (1992) 土岐市のコナラ林に発生した穿孔虫被害について. 日本林学会中部支部論文集 40 : 229-230.
- 布川耕市 (2002) ブナ植栽地におけるコウモリガの被害実態と下刈りによる防除試験. 新潟県森林研究所研究報告 44 : 1-6.
- 岡田 滋・永幡嘉之 (1996) 兵庫県北部においてブナ生立木を加害するカミキリムシについて. 日本林学会関西支部論文集 5 : 151-154.
- 大林延夫 (1992) シロスジカミキリ族 Tribe *Batocerini*. (日本産カミキリムシ検索図説. 大林延夫・佐藤正孝・小島圭三編、697pp、東海大学出版会、東京). 597-598.
- 大橋章博 (1999) ケヤキ造林地におけるクワカミキリ被害-被害木の林内分布と産卵特性-

- 第110回日本林学会学術講演集 740-741.
- 大橋章博 (2001) ケヤキにおけるクワカミキリ幼虫の加害様式. 岐阜県森林研究所研究報告 30 : 17-20.
- 大橋章博 (2005) クワカミキリによるドウダンツツジの枯損被害. 森林防疫 54 : 159-162.
- 大橋章博・野平照雄 (1997) ケヤキ造林地に発生したクワカミキリの被害実態. 中部森林研究 45 : 175-176.
- 大久保宜雄 (1990) クワカミキリ. (農業総覧病害虫防除資材編 第7巻. 農山漁村文化協会編, 1024pp, 農山漁村文化協会, 東京). 869-871.
- 大久保良治 (1976) マツ生立木に対する予防散布. 森林防疫 25 : 198-202.
- 大長光 純・野田 亮 (2001) 広葉樹若齢人工林の虫害状況. 日本林学会九州支部研究論文集 54 : 117-118.
- Peterson, L. O. T. (1948) Some aspect of the poplar borer, *Saperda calcarata* Say, (Coleoptera: Cerambycidae) infestations under parkbelt conditions. Annual Report of the Entomological, Society of Ontario 78 : 56-61.
- 佐藤嘉一・片野田逸朗 (1998) タラノキ圃場におけるセンノキカミキリの生態と防除. 鹿児島県林業試験場研究報告 4 : 24-41.
- 佐藤嘉一・田實秀信 (1998) 鹿児島県におけるケヤキ造林地でのクワカミキリ被害調査. 日本林学会九州支部研究論文集 51 : 89-90.
- Singh, R. and Verma, T. D. (1998) Incidence and control of poplar stem borer, *Apriona cinerea*, Chevrollet (Cerambycidae: Coleoptera) in Paonta Valley of Himachal Pradesh. Indian Forester 124 : 556-560.
- 須藤弘之・布川耕市・箕口秀夫 (1995) 新潟県の低海拔ブナ林におけるカミキリムシ被害の実態. 日本林学会関東支部論文集 46 : 103-106.
- 田畑勝洋・島津光明・峠田 宏 (1997) 防除対策. (松くい虫 (マツ材線虫病) -沿革と最近の研究-. 全国森林病虫獣害防除協会編, 274pp, 全国森林病虫獣害防除協会, 東京). 122-167.
- 滝口義夫 (1981) 4種のカミキリムシ成虫に対する *Beauveria tenella* (Delacroix) Siemaszko の病原性について. 日本応用動物昆虫学会誌 25 : 194-195.
- 田中文雄 (1991) 緑化樹木の生産技術 第2集 落葉広葉樹編. 200pp, 日本緑化センター, 東京.
- 田中 寛・小林彰一・中井正浩 (1995) イチジクにおけるクワカミキリの防除. 大阪府立農林技術センター研究報告 31 : 23-25.
- 富沢 章 (2001) アオバズクが捕食する昆虫について - 「落とし餌」からの検討 -. Strix 19 : 121-127.
- 堤 隆文 (1999) イチジクを加害するキボシカミキリの昆虫病原性糸状菌による防除に関する研究. 54pp, 福岡県農業総合試験場特別報告 第12号, 福岡.
- 堤 隆文・山中正博 (1996) 昆虫病原性糸状菌 *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch GSES 株を培養した不織布シートのキボシカミキリ成虫に対する殺虫効果. 日本応用動物昆虫学会誌 40 : 145-151.
- Wang, Q., Xiong, X. and Li, J. (1992) Observations on oviposition and adult feeding behavior of *Phytoecia rufiventris* Gautier. (Coleoptera: Cerambycidae) . The Coleopterists Bulletin 46 : 290-295.
- 安松京三・渡辺千尚 (1965) 日本産害虫の天敵目録 第2篇 害虫・天敵目録. 116pp. 九州大学農学部昆虫学教室, 九州.
- 山根明臣 (1989) 松枯れ被害と対策の歴史と現状. (松枯れの防除と対策. 山根明臣編, 265pp, 日本緑化センター, 東京). 10-56.
- 山根正伸・藤森博英・斎藤央嗣 (1998) 神奈川県清川村ケヤキ造林地におけるクワカミキリ食害に対するフェニトロチオン乳剤による防除実施後の経過. 神奈川県森林研究所研究報告 24 : 33-36.
- 山根正伸・藤森博英・斎藤央嗣・石井洋三・倉野知子 (1996) クワカミキリによる神奈川県清川村ケヤキ造林地の被害実態 (予報). 神奈川県森林研究所研究報告 22 : 29-35.
- 山野辺 隆・細田浩司 (2002a) クワカミキリによるケヤキの被害事例. 茨城県病害虫研究会報 41 : 22-27.
- 山野辺 隆・細田浩司 (2002b) 低地に植栽された

- ブナにおけるクワカミキリの高い生存率.
日本応用動物昆虫学会誌 46 : 256-258.
- 山崎三郎 (1996) スギに寄生するクワカミキリ
Apriona japonica Thomson について. 平成
7年度森林総合研究所四国支所年報 : 30-32.
- 山下賢一 (2003) カミキリムシ類. (農業総覧病害
虫防除資材編 第7巻. 農山漁村文化協会編,
1024pp, 農山漁村文化協会、東京). 759-764.
- 山下賢一・清水克彦・横井正弘・真野隆司 (1999)
イチジクを加害するクワカミキリの被害解
析並びにペルメトリン・エアゾール剤の防
除効果と作物残留. 兵庫県農業技術センタ
ー研究報告 47 : 63-67.
- 山下優勝 (1986) イチジクの害虫. (果樹の病虫害.
山口 昭・大竹昭郎編, 643pp, 全国農村教
育協会、東京). 582-583.
- 山内寅好・久田秀彦 (1981) イチジク園における
クワカミキリの生態と防除. 関東東山病害
虫研究会年報 28 : 118-119.
- 横溝徹世敏・森田 昭 (1980) 長崎県におけるク
ワカミキリのビワ樹に対する産卵習性につ
いて. 九州病虫害研究会報 26 : 168-170.
- Yoon, H. J., Park, I. G., Mah, Y. I., Lee, S.
B. and Yang, S. Y. (1997) Ecological
characteristics of mulberry longicorn
beetle, *Apriona germari* Hope, at the
hibernation stage in mulberry fields.
Korean Journal of Applied Entomology 36 :
67-72.
- 行成正昭 (1996) 草本及び木本植物におけるコウ
モリガ幼虫の加害実態. 森林防疫 45 :
206-213.
- 全国農業共同組合・全国農業安全指導者協議会
(2006) 農業安全適正使用ガイドブック
2007年度版. 700pp. 全国農業共同組合、東
京.