

# ゴマダラカミキリの性フェロモンをめぐる最近のトピックス

農業生物資源研究所昆虫行動制御物質研究チーム ふか や みどり  
深 谷 緑  
 (科学技術振興事業団重点研究支援協力員)

## はじめに「ゴマダラ」問題

ゴマダラカミキリ *Anoplophora malasiaca* はカンキツ類、リンゴ、ナシなどの果樹やヤナギ、プラタナス、シラカバ、カエデなど多数の樹種を寄主植物としている(小島・中村, 1986)。成虫は初夏に羽化脱出し、寄主植物上で多回数の交尾を行い樹皮下に産卵する。幼虫は寄主植物の形成層や幹部を喰い荒らすことによって樹勢を弱らせ、時には枯死に至らしめる。幼虫に直接殺虫剤が作用しにくいことや成虫の移動分散能力が高いこと、さらに被害許容密度が低いことから、経済的に重要な難防除害虫とされている。

東アジアの *Anoplophora* 属カミキリムシ類には外見も生態も互いによく似た種が多く含まれているために、分類上の混乱を招いてきている。本種はかつて台湾や中国本土などにも分布するとされていたが、それは類似種と同一視されていたことによる混乱であり、現在の分布は日本と朝鮮半島と考えてよいことが最近明らかにされた(楨原, 2000)。同属の類似種であるツヤハダゴマダラカミキリ *A. glabripennis* は、中国西部で防砂林であるポプラに大発生するなどの被害を与えている(遠田・山崎, 1995)ほか、北米にも移入し最近大きな問題となっている(CARVEY et al., 1998; 楨原, 2002)。現在この種が生息していないと考えられる日本についても、90年前の採集記録から分布範囲とされ、さらには警戒地域に指定されかけたこともある(CARVEY et al., 1998; 楨原, 2000, 2002; 桐谷, 2000)。一方、ゴマダラカミキリはツヤハダゴマダラカミキリと同様に地中海沿岸諸国では最も侵入を警戒すべき昆虫の一つとされている(EPPO, 2001)。他種との混同例を含む可能性もあるとはいえ、盆栽に入って移入したゴマダラカミキリが欧州や北米で発見されたという事例報告がある(JAARBOEK, 1986, 1988; Bugwood Network, 2000)。ゴマダラカミキリは文献に記載された寄主植物が非常に多い(小島・中村, 1986)ため、日本から「ゴマダラ」の侵入が必要

以上に警戒され、梱包材などまでが幼虫の潜伏場所として疑われることになれば、貿易上の問題にもなりかねない(楨原, 2002)。本種の行動制御や防除法の研究が重要である背景にはこのような状況も加わっている。

## I ゴマダラカミキリの配偶行動

一般にカミキリムシの配偶行動においてフェロモンは重要な機能を担っていると考えられている。特に雌の性フェロモンは、これまで配偶行動が調べられた種のすべてで存在が示唆されている(岩淵, 1999)。雌フェロモンの作用距離は種によって異なり、直接的な接触によって受容される接触刺激性のもの、数10 cm以内の近距離で作用するもの、さらに遠距離から雄を誘引するものなどが知られている。

ゴマダラカミキリでは雄が寄主樹木間を大きく飛翔移動し、雌雄とも寄主樹木内を歩行移動することにより主に樹上で出会う(ADACHI, 1990; 足立ら, 1992)。室内観察においては、雌雄の徘徊中、特に雄の移動中に雌に接触して配偶行動が始まる事例が多い(FUKAYA et al., 1999)。雄は触角あるいは脚先(ふ節)で雌に触れると、直ちに雌に向かって駆け寄り雌を捕捉する。続いて雌の背面を口ひげでなめるように触れ、背に乗りかかり、体軸を合わせて腹部末端を下方に曲げ、交尾器を結合させるという一連の交尾行動が起こる(図-1)。このような行動連鎖は、接触性フェロモンをもつキボシカミキリの

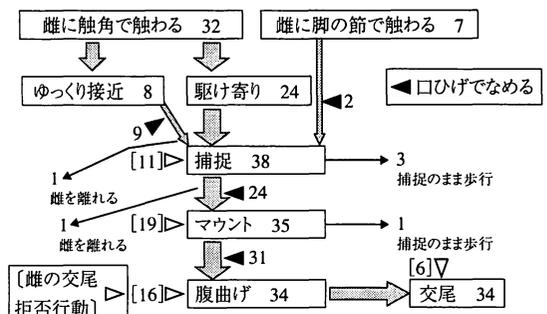


図-1 ゴマダラカミキリにおいて雄を中心に見た雌雄遭遇後の配偶行動連鎖 (N=39, 図中の数値は観察例数)

Sex pheromone studies on *Anoplophora malasiaca* (Thomson). By Midori FUKAYA  
 (キーワード: 性フェロモン, 配偶行動, カミキリムシ)

場合 (FUKAYA and HONDA, 1992) とよく似ている。雄の触角や口ひげ、脚による接触が、雌への定位行動と配偶者認識に重要な意味をもつことから、接触刺激性フェロモンすなわち雄が直接雌に触って受容されるフェロモンの存在の可能性が示唆された。そこで雌の鞘翅抽出物を俵型ガラス片に塗布して雄に触らせると、雄は生きた雌に対する場合と同じように乗りかかって腹曲げ反応を示した (口絵-3) ことから、雌体表に存在する性フェロモンによって雄の配偶行動が解発されることが証明された (FUKAYA et al., 1999)。筆者らは、この知見に基づいて接触刺激性の性フェロモン成分の解明研究を開始した。

## II ゴマダラカミキリの体表炭化水素

ゴマダラカミキリの雌鞘翅抽出物をシリカゲルカラムで分画し、それぞれの画分について腹曲げ行動を指標にして性フェロモン活性を調べたところ、ヘキサンで溶出される炭化水素画分に弱い活性が認められたが他の画分にはほとんど活性はなかった (図-2)。しかし炭化水素画分にあとで溶出する高極性の画分を混合すると強いフェロモン活性が認められた。したがって、本種の接触刺激性性フェロモンは複数の物質によって構成されることが明らかになった (FUKAYA et al., 1999)。

そこで、ゴマダラカミキリの雌由来の炭化水素を含む画分をGC-MS分析したところ40を超える多数の炭化水素が含まれていた (FUKAYA et al., 2000)。この炭化水素を、不飽和度に応じてさらに分画したところ、飽和炭化水素成分のフェロモン活性が最も高かった。抽出物中の量が多い飽和炭化水素8成分 (合成または購入) を天然比に混合しさらに高極性画分を添加してガラス片に塗布すると、雌抽出物と同等のフェロモン活性を示した (図-3)。さらに炭化水素成分別に活性を調べてみると、9位にメチル側鎖をもつ炭化水素 (以下9-メチルアルカン) 2種の混合物 (図-3, C) に8種の混合物と同等の活性が認められたことから、この物質が活性主成分と思われた。ところが、8種の混合物から9-メチルアルカンを除いても活性が著しく低下することはなかった。一方、単用では活性が認められない15-メチルアルカン2種 (図-3, D) を混合物から除くと活性は顕著に低下した (図-3) (FUKAYA et al., 2000)。

したがって、ゴマダラカミキリ性フェロモンの炭化水素8成分はどれか特定の成分が活性発現に不可欠な「活性主成分」だというような性質のものではない。雌の体表炭化水素の60%を占める特定の炭化水素成分が単独で雄の腹曲げを引き起こすキボシカミキリの場合 (FUKAYA et al., 1996) とは様相が異なる。どうやらゴマ

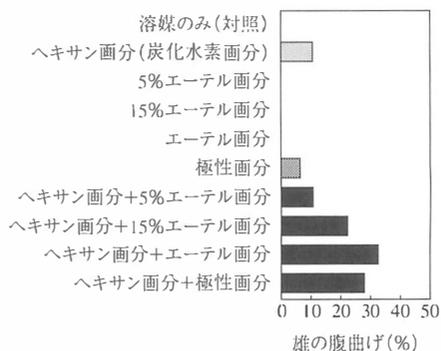


図-2 雌鞘翅抽出物をシリカゲルカラムクロマトグラフィーで分画したときの各画分の活性 (各1雌当量, N=18)

極性画分: ヘキサン画分以外の画分混合物。

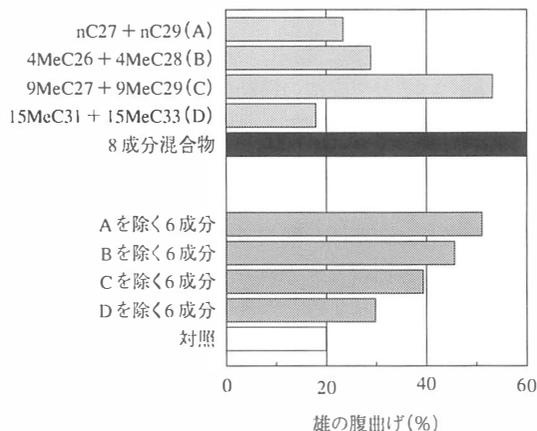


図-3 合成炭化水素 (8成分) を組み合わせた場合のフェロモン活性

それぞれ極性画分を添加して検定した (各4雌当量, N=30)。物質は略称で示す; nは直鎖の炭化水素, 4 Meや9 Me, 15 Meはメチル側鎖をそれぞれ4位と9位, 15位にもつ炭化水素, Cに続く数字は主鎖の炭素数を示す。対照: 極性画分のみ。

ダラカミキリの炭化水素成分は全体として活性発現に不可欠であるが、個々の成分については「いくつかあればよい」といった、かなりの「いいかげんさ」(redundancy) をもち合わせてもしっかり機能するような性質のものらしい。後述するように雌の炭化水素成分を雄のものに置き換えても活性はやや低下するものの、決定的に消失することはなかった。

## III ゴマダラカミキリの高極性フェロモン成分群

ゴマダラカミキリの雌の性フェロモンにおいては、体表炭化水素に加えより高極性の成分が存在し、両者が同

時に作用することで雄の腹曲げ行動が引き起こされる。キボシカミキリでは、炭化水素のほか高極性成分も腹曲げ活性を呈する (FUKAYA et al., 1996)。しかし、ゴマダラカミキリのように、体表炭化水素成分と、炭化水素とは全く異なる成分が協力してはじめてフェロモン活性を呈するという報告はほかにない (そもそもカミキリムシ類の接触フェロモン成分の詳細な解明研究は本種以外に見当たらない)。これまでにゴマダラカミキリの高極性活性成分として、少なくとも二つの物質群が存在し、一方の物質群については成分解明と活性評価が完了し、他方についても成分解明が進行中である。原著論文が未公表なので、詳細な内容を本文中で述べるわけにはいかないが、どちらにも複数の成分が含まれていることが判明している。

#### IV ゴマダラカミキリの体表成分の性的二型と配偶者認識

雄の抽出物を雌ダミーに塗布して雄に提示しても雄が

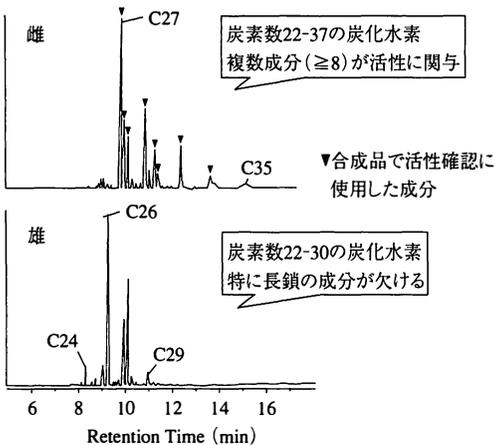


図-4 雌雄の炭化水素画分のガスクロマトグラム

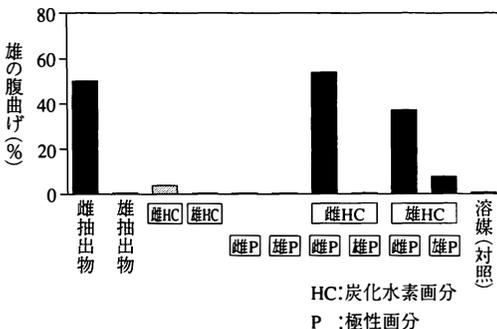


図-5 雌雄抽出物由来の炭化水素画分と極性画分を組み合わせた場合の性フェロモン活性 (1雌当量: N=30)

腹曲げ反応をすることはほとんどない。雌雄の配偶者認知に体表成分はどのように関わっているのだろうか。そこで、体表炭化水素成分の組成を比較したところ、雌雄間で大きな違いがあることがわかった (図-4)。雄の場合に比べると、雌のほうが鎖の長い炭化水素の比率が高い。また、雌雄にそれぞれ特異的な成分も存在するが共通成分も多い。そこで、雌雄の炭化水素成分と極性成分を相互に入れ替えて雄の反応を調べた。雌の炭化水素成分を雄のものに入れ替えると、雄の腹曲げ率はやや低下したが、活性が消失することはなかった。しかし、極性成分を入れ替えると、活性は顕著に低下してほとんど消失してしまった (図-5)。したがって、雄反応の決定的な差をもたらすのは「極性成分」であると考えられる (AKINO et al., 2001)。現在、「極性成分」の分離と化学構造解明が進行中である。

#### V ゴマダラカミキリの複雑な情報利用

体表炭化水素は一般に節足動物の体表面を覆うワックス成分で、水分の蒸散を防ぐなどの機能をもっている。この炭化水素成分が情報化学物質として機能している事例が社会性昆虫やハエ、ハネカクシなどで知られている (HOWORD, 1993)。その場合、炭化水素の「組成比」が情報である種と、特定の成分が活性主体である種とがあるようだが、炭化水素群など複数の物質群が活性発現に不可欠で、しかもそれぞれの物質群を構成する複数成分が補完的に働いているゴマダラカミキリ性フェロモンのような関係は知られていない。カミキリムシにおいて体表成分が種認知や配偶者認知物質として機能するに至る過程や、それとは別に雌雄の誘引性フェロモンが進化する過程についても考えたいが、あまりにも関連する知見が少ない。実は、ゴマダラカミキリでは、接触化学刺激以外の要因、すなわち視覚や揮発性物質も雄の配偶行動制御に介在していることも判明しつつある。接触刺激性フェロモン以外にさらに多くの情報要因が本種の配偶行動に関わっていることは疑いない。

#### VI 他の *Anoplophora* 属の配偶行動とフェロモン

多数の害虫種を含む東アジアの *Anoplophora* 属において、ゴマダラカミキリ以外の種について行動制御物質の解析は端緒についたばかりのようである。*A. chinensis* では雌の性フェロモンの存在が示されている (WANG, 1998) が、化学成分の分離や化学構造の解明はなされていない。ツヤハダゴマダラカミキリについては中国とアメリカで防除や行動制御物質の研究が進められ

てきている (He and HUANG, 1993; CARVEY et al., 1998)。本種の雄は、ゴマダラカミキリの場合と同様に触角で接触することにより雌を認識するが、雄がなわばりをもつとされる点はやや異なるようである。最近このツヤハダゴマダラカミキリの雄特異的な揮発性の2成分が誘引物質として同定された。これらは雌雄ともにEAG活性をもち、1:1の混合比で雌雄の両方を誘引することがY字のオルファクトメーターで確認されたという。USDA関係者らによって情報の一部が公開されている (ex. CAIBL, 2002年2月現在) が、科学論文による詳細の開示が待たれる。

### 最後に

#### ゴマダラカミキリ研究プロジェクトの経緯

筆者のグループによるゴマダラカミキリの研究は旧蚕糸・昆虫農業技術研究所行動調節研究室において1995年ごろに開始し、独立行政法人化に伴う組織再編を経て現在は農業生物資源研究所昆虫行動制御物質研究チームにおいて継続している。当初は筆者が主体となって行動観察を開始し研究の端緒を開いたが、行動観察と化学分析が本格化することにより、同研究室(チーム)メンバーとの共同研究に移行し、現在共同研究の輪は研究所を越えて広がっている。カミキリムシの行動研究では供試虫の確保が大きな問題である。当初累代飼育を試みたが、1世代の期間が長く飼育効率が非常に悪いため早々に断念することとなった。以来、大分県柑橘試験場、果樹試験場興津支場(のちカンキツ部、現農業研究機構果樹研究所)、熊本県果樹研究所、沖縄県農業試験場の方々の協力を得て採集した野外成虫を用いてきた。特に大分県柑橘試験場の皆様の援助協力なくしてゴマダラカミキリ研究はありえなかったし、今後もありえないだろう。生物検定を野外成虫に依存するため、必然的に7月と8月上旬に実験が「過集中」することになる。この間、500~1,000頭の成虫を個体飼育し、多い日は延べ250頭以上の雄を生物検定に使用した。活性成分の分離や生物検定は、研究チームのメンバーにより交代で土日

も休むことなく継続され、物質の分離や精製、合成作業が深夜に及ぶことも珍しくなかった。生物検定の一部を任せられることができるほど優秀なアルバイト学生に恵まれたことはとても幸運であった。

このように様々な力の結集により、何度もブレイクスルーを経験した。その結果ゴマダラカミキリという1種の昆虫ではあるが、当初は予想もしなかった複雑な情報利用システムが少しずつ明らかになりつつある。今後の展開をお待ちいただければ幸いである。

### 引用文献

- 1) 足立 礎ら (1992): 果樹試験場報告 23: 179~191.
- 2) ADACHI, I. (1990): Res. Popul. Ecol. 32: 15~32.
- 3) AKINO, T. et al. (2001): Entomol. Sci. 4: 271~277.
- 4) CARVEY, J. F. et al. (1998): Proc. Entomol. Soc. Wash. 100: 373~381.
- 5) 遠田暢男・山崎三郎 (1995): 林業と薬剤 No. 131 別冊.
- 6) FUKAYA, M. and H. HONDA, (1992): Appl. Entomol. Zool. 27: 89~97.
- 7) ——— et al. (1996): J. Chem. Ecol. 22: 259~270.
- 8) ——— et al. (1999): Entomol. Sci. 2: 183~187.
- 9) ——— et al. (2000): ibid. 3: 211~218.
- 10) HE and HUANG (1993): Acta Entomol. Sin. 36: 51~55.
- 11) HOWARD, R. W. (1993): Insect Lipids. Stanley-Samelson & Nelson eds., University of Nebraska Press, pp. 179~226.
- 12) 岩淵喜久男 (1999): 環境昆虫学 (日高敏隆・松本義明監修, 本田計一他編), 東京大学出版会, 東京, pp. 436~451.
- 13) JAARBOEK P. D. ed. (1986): Survey of insects and mites - Cerambycidae. In: Plantenziektenkundige Dienst, Wageningen, Netherlands, pp. 30~31.
- 14) ——— ed. (1988): ibid., pp. 32~35.
- 15) 桐谷圭治 (2000): インセクトリウム 37: 224~235.
- 16) 小島圭三・中村慎吾編 (1986): 日本産カミキリ食樹総目録, 比婆科学教育振興会, pp. 128~133.
- 17) 楨原 寛 (2000): 森林防疫 49: 180~194.
- 18) ——— (2002): 昆虫と自然 37: 20~22.
- 19) WANG, Q. (1998): Coleopterists Bull. 52: 363~368.

### 引用電子情報

- 1) The Bugwood Network (2000): Pest beetles in Bonsai Nursery Stock. <<http://www.gacaps.org/pests/other1b.html>> (2002年2月)
- 2) CAIBL (The Chemicals Affecting Insect Behavior Laboratory, Beltsville Agricultural Research Center, USDA) (更新日不明): Asian Longhorned Beetle. <<http://www.barcd.usda.gov/psi/caib/accomplishments>> (2002年2月)
- 3) EPPO (2002): EPPO A1 and A2 Quarantine Lists. <<http://www.eppo.org/QUARANTINE/quarantine.html>> (2002年2月)