

昆虫の多種感覚利用システムの解明と害虫防除への応用

向井 裕美 (森林総合研究所関西支所)

mhisa8088@affrc.go.jp

昆虫は、多種多様な感覚を利用して周囲を感知し、複雑かつ変動的な外環境に適応している。昆虫の感覚利用システム及びそれにより引き起こされる行動を明らかにし、その仕組みを活用することで、農作物に被害をもたらす害虫やそれらを駆除する益虫の管理や保全が可能となる。

本研究では、無脊椎動物ではあまり研究が進められていない多種感覚利用システムに着目し、昆虫の振動感覚や化学感覚等の多種感覚の機能解明、並びにそれらを応用した害虫の行動・成長制御技術や天敵誘引技術の開発を目指した。本研究成果をベースとしたアイデアを活用することで、今後、特定の害虫や益虫の緻密な行動操作が可能となり、幅広い農林業害虫に汎用性が高い画期的な環境低負荷型防除技術の開発に繋がる。

はじめに

持続可能な社会を目指す現代の農林業においては、化学農薬に依存しない害虫防除技術の開発が急務である。そのアイデアのひとつが、害虫及び益虫の行動操作である。昆虫は、視覚、聴覚、嗅覚、触覚、化学感覚、振動感覚等、様々な感覚から得られる情報を受容・処理して、捕食回避や採餌等を成功させ、他者とのコミュニケーションを成立させる。これらの感覚は、ときに同時並列的もしくは継次的に受理され、情報価値の増強や意味付けの変化をもたらす。このような“多種感覚利用システム”は、動物の社会性や生殖に関わる様々な行動を強く規定することが知られるが、昆虫を含む無脊椎動物ではあまり研究が進められていない。

本講演では、まず、演者が昆虫の多種感覚利用に興味を持つきっかけとなった、カメムシ類の振動感覚を中心とした多種感覚の機能解明に関する研究を紹介する。次に、農林業害虫として重要なキノコバエ類を対象に、多種感覚利用システムを応用した行動・成長制御技術、及びキノコバエ類の天敵寄生バチ誘引技術の開発に向けた防除研究の取り組みについて紹介する。

1) 昆虫のコミュニケーションにおける振動及び多種感覚機能の解明

親が卵を保護し孵化後も子に餌を与えて育てる亜社会性ツチカメムシ類において、孵化間近の卵塊を親が揺らして振動を与えることで、幼虫が一斉に孵化する現象を発見した(図1)^{1,2)}。幼虫の一斉孵化は、ハンドモーターで同種親の振動パターンを模倣して卵塊に振動を与えることでも再現可能であった。一方、それ以外の振動刺激には孵化応答を示さなかったことから、幼虫は卵のなかに存在しながら、シグナルとして振動を利用していると考えられた^{1,2)}。一斉孵化を妨げた卵塊では幼虫の脱皮時期が非斉一化し、脱皮直後の幼虫が他の幼虫に食べられてしまう共食いが頻繁に生じたことから、一斉孵化は血縁関係にある幼虫同士の共食いの発生を抑える機能を持つと考えられた³⁾。振動をシグナルとした孵化時の親-胚(卵のなかの幼虫)間コミュニケーションは、国内に生息するほぼ全ての亜社会性ツチカメムシ類で確認され、各種ごとに特定の振動パターンを示した(図1)^{4,5)}。

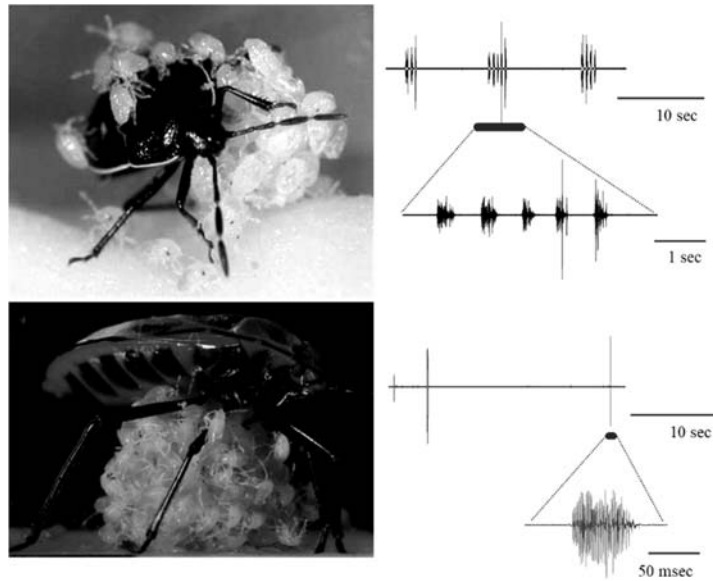


図1. フタバシツチカメムシ（上）とベニツチカメムシ（下）の孵化と振動シグナル^{1,2,4,5)}

神経解剖学的・生理学的手法を用いて、カメムシ目昆虫の脚に弦音器官という振動受容器が存在することを特定し^{6,7)}、振動感覚が重要なコミュニケーションツールとして機能していることを解明した。とりわけ、ユニークな求愛行動を示すナナホシキンカメムシでは、振動感覚を中心に、化学感覚、視覚、触覚等の複数の感覚を組合せる他、これらを順序立てて継次的に利用することで複雑な情報交信を可能にしていると考えられた（図2）⁸⁾。

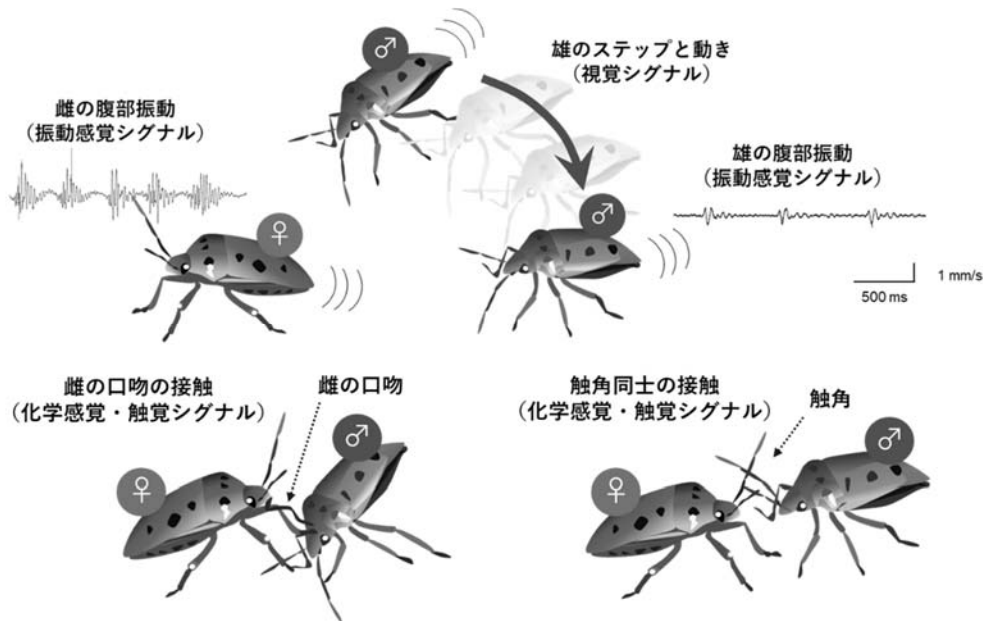


図2. ナナホシキンカメムシの求愛行動と多種感覚利用の例⁸⁾

2) 振動及び多種感覚機能を利用した害虫防除技術の開発

ナガマドキノコバエ類やクロバネキノコバエ類等のキノコバエ類は、菌床シイタケ等のキノコ類の栽培ハウス内で短期間のうちに増殖し、幼虫が食害や異物混入等の被害をもたらす⁹⁾。演者は共同研究を進めるなかで、キノコバエ類の幼虫や成虫の行動や成長を阻害する振動を見出し、

これを利用した新規防除技術に関する特許を取得した(図3)¹⁰⁾。現在、企業とも連携して一定周波数の振動を定期的に発生させる装置の開発も進めている。



図3. ナガマドキノコバエ類の幼虫(左)と成虫(右)及び振動による防除¹⁰⁾

上記試験に取り組む過程で、キノコバエ類の幼虫に寄生するハエヒメバチ類を発見した(図4)^{11, 12)}。ハエヒメバチ類は、シイタケ菌糸や宿主キノコバエ類の幼虫に由来する匂いに対して定位行動を示す。化学分析や電気生理活性測定により、シイタケに由来する揮発性化合物の組合せがハエヒメバチ類を誘引することを解明した。またトラップ試験により、ハエヒメバチ類は特定の黄色に強く誘引されることが明らかになったことから、現在は化学刺激と視覚刺激を組合せた誘引増強効果の検証に取り組んでおり、ハエヒメバチ類をキノコバエ類の天敵として栽培ハウス内に導入し活用するための天敵誘引技術の開発を進めている。



図4. ナガマドキノコバエ類の幼虫に寄生するシイタケハエヒメバチ¹¹⁾

おわりに

近年の応用昆虫学では、往來より進められてきた害虫管理に関する理論と技術、昆虫機能の解明に加え、新しい研究分野が興りつつある。群集生態学や数理生態学を取り込み害虫や益虫も含め包括的に野生生物を管理しようとする概念や、工学や物理学の視点を取り入れて昆虫のデザインや機能をモデルとして模倣し、工業や医療技術の革新を図ろうとするバイオミメティクス等、新しい境界研究が急速に発展を遂げてきている。そのようななかで、演者の目指す昆虫の多種感覚利用システムを応用した害虫防除は、例えば、特定の感覚情報に害虫の注意を引きつけることで別の情報を無効化して行動を阻害する等、環境への負荷が小さく、生産現場において利用されやすい新たな技術として期待できる。本研究課題を発展させ、多くの害虫や益虫に適用していくことで、今後、さらに農林業害虫防除分野に貢献していきたい。

謝辞

本賞の受賞にあたり、一般社団法人日本応用動物昆虫学会よりご推薦をいただきました。日本典秀会長、世古智一理事、徳田誠理事をはじめ、学会関係者の皆様には厚く御礼申し上げます。

本講演で紹介させていただいた研究は、佐賀大学農学部応用生物科学科及び国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所を中心に行われたものです。多大なるご支援とご指導をいただきました佐賀大学農学部旧動物資源学講座の先生及び先輩方、森林総合研究所森林昆虫研究領域の皆様には感謝申し上げます。学部時代から懇切丁寧なご指導をいただきました佐賀大学の野間口慎太郎教授、故藤條純夫名誉教授、石川県立大学の弘中満太郎准教授に拝謝申し上げますとともに、森林総研の高梨琢磨博士、北島博博士、所雅彦博士、京大大学生態学研究センターの山尾僚教授をはじめ、共同研究者の皆様、研究遂行に対してお力添えいただいた皆様に、この場をお借りして心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Mukai H., Hironaka M., Tojo S., Nomakuchi, S. (2012) *Anim. Behav.*, 84: 1443–1448.
- 2) Mukai H., Hironaka M., Tojo S., Nomakuchi S. (2014) *PLoS ONE*, 9: e87932.
- 3) Mukai H., Hironaka M., Tojo S., Nomakuchi S. (2018) *Ecol. Evol.*, 8: 3376–3381.
- 4) 向井裕美 (2016) *日本応用動物昆虫学会誌*, 60: 67–75.
- 5) Mukai H., Noamakuchi S. (2022) *Springer Nature, Singapore*, 147–175.
- 6) 向井裕美, Skals N., 高梨琢磨 (2020) *日本応用動物昆虫学会誌*, 64: 1–4.
- 7) Nishino H., Mukai H., Takanashi T. (2016) *Cell. Tiss. Res.*, 366: 549–572.
- 8) Mukai H., Takanashi T., Yamawo A. (2021) *Ecology*, 103: e3632.
- 9) 森林総合研究所 (2020) *しいたけ害虫の総合防除 改訂第2版*.
- 10) 向井裕美, 高梨琢磨, 他 3 名. 振動を用いた害虫の行動及び成長の制御によりキノコ類を保護する方法. 特許第 7233060 号.
- 11) Mukai H., Kitajima H. (2019) *Biol. Cont.*, 134: 15–22.
- 12) Mukai H., Kitajima H. (2021) *J. Appl. Entomol.*, 145: 348–357.