

アブラムシをとりまく昆虫種間の相互作用と化学交信に関する研究

林 正幸 (農研機構 西日本農業研究センター)

hayashim891@affrc.go.jp

アリとアブラムシの相互作用は、相利共生のモデルケースとしての生態学的関心と、アブラムシが世界的な重要農業害虫であることも相まって、半世紀以上前から大きな注目を浴び盛んに研究されてきた。アリはアブラムシから甘露をもらうかわりに、アブラムシのボディガードをつとめる。一方で、アリの護衛をかいくぐりアブラムシを捕食する天敵が存在する。本稿では、これまでに明らかにしてきたアリのアブラムシ認識機構と、それを利用した天敵のアブラムシ捕食戦略について紹介するとともに、農業課題解決への波及を念頭においた今後の展望について述べてい。

アリのアブラムシ認識機構

生物間の協力行動は、往々にして利害対立を伴う。異なる生物同士が互いに何らかの利益を与え合う相利共生もこれに違わず、パートナー（共生相手）に対する投資を最小限に抑え、利益だけを搾取する戦略がより適応的であると考えられる。従って、相利共生が維持されるには、共生者は相手を監視し裏切りを防ぐ必要があり、報酬獲得経験に依存した柔軟なパートナー認識機構が共生者にとって有利に働くと考えられる。

アリとアブラムシの関係は相利共生のモデルケースとして知られ、アブラムシが糖を豊富に含んだ甘露をアリに提供するかわりに、アリは天敵を排除しアブラムシを保護する（図1）。多くの場合、両者の関係はパートナー種が頻繁に入れ替わる条件依存的なものである。また、アリに甘露を提供せず共生関係を結ばないアブラムシ種も多く存在する。このため、共生関係が構築されるには、アリはパートナーであるアブラムシを正確に認識・識別する必要がある。しかし、アリがどうやってアブラムシを認識しているのかは、両者の共生関係を理解する上で根本的な問題であるにもかかわらず、近年までほとんどわかっていなかった。



図1 マメアブラムシに随伴するトビイロシワアリ



図2 初見のアリはアブラムシに対し攻撃的に振る舞う

行動実験により、アリがパートナーのアブラムシ種を学習することがわかった¹⁾。生まれてから一度もアブラムシと触れ合ったことの無いトビイロシワアリの働きアリは、マメアブラムシに対して高い攻撃性を示す(図2)。その一方、アブラムシから甘露を貰った経験のあるアリは、アブラムシに対する攻撃性を著しく低下させた。また、アブラムシの匂い成分である体表炭化水素に対しても同様にアリの攻撃性が低下したことから、アリは体表炭化水素を利用してパートナーを識別していることがわかった。室内操作実験と化学分析により、アブラムシの体表炭化水素のうち、アリはおもにメチルアルカン群を用いてパートナーを識別していることもわかった²⁾。さらに、アブラムシの情報がアリ家族のなかで共有される仕組みがあることが判明した³⁾。自身には直接のアブラムシ経験が無いにも関わらず、アブラムシ経験アリと一定時間同居したアリは、アブラムシに対し共生的な振る舞いをみせるようになった。これは、アブラムシの情報が経験アリから未経験アリへと伝達されることを示している。同居の際に、アブラムシ経験アリから未経験アリへの口移し行動(蓄えた餌を吐き戻し仲間に分け与える行動で、アリやハチなどの社会性昆虫で広くみられる習性)を阻害したところ、未経験アリのアブラムシに対する攻撃性が増加したことから、口移し行動の際に情報伝達が生じていることが明らかになった(図3)。自身の経験に基づいた自己学習と情報伝播(社会学習)によって、アリコロニーはアブラムシとの共生関係を迅速に構築・維持できるとともに、蜜報酬を提供しない裏切りを回避していると考えられる。



図3 アブラムシ経験アリから未経験アリへの口移し行動

アブラムシ天敵の対アリ戦略

アリとアブラムシの相利共生では、通常アリはアブラムシの天敵を攻撃し排除する。しかし、一部のアブラムシ天敵は、何らかの特異な形質によりアリからの攻撃を免れアブラムシを捕食する。カオマダラクサカゲロウの幼虫はその一種であり、食べたアブラムシの死骸等を背中に載せるというユニークな行動をとる(図4)。この行動の機能解明を目的に室内操作実験を行ったところ、クサカゲロウが載せるアブラムシの死骸には、アリに対して物理的な防御効果をもつとともに、アリの攻撃性を抑制する機能をもつことが明らかになった⁴⁾。アブラムシ死骸がアリの攻撃性を抑制する至近メカニズムを解明するため、アブラムシ死骸の体表炭化水素に着目して実験を行った。行動解析と化学分析の結果、クサカゲロウの載せるアブラムシ死骸には生前のアブラムシの体表炭化水素が残存しており、アブラムシに随伴するアリに対して化学擬態の機能を有することが明らかとなった⁵⁾。その一方、アブラムシに随伴経験のないアリは、背面のアブラムシ死骸の有無にかかわらず、クサカゲロウに対し高い攻撃性を示した⁶⁾。多くの場合、生物のもつ擬

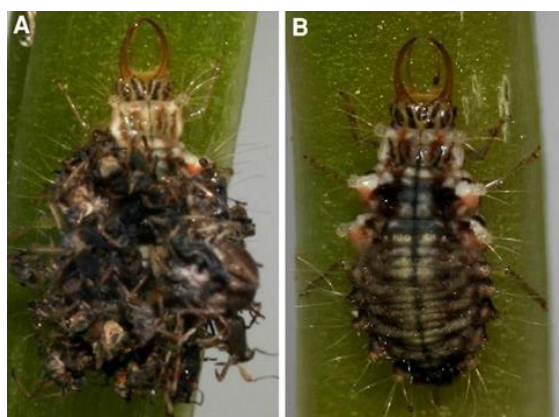


図4 アブラムシの死骸を載せたカオマダラクサカゲロウの幼虫 (A) と、死骸を除去した幼虫 (B)

態形質の機能は信号受信者（だまされる者）のモデル学習に依存することが知られているが、本研究成果は化学擬態においても同様のメカニズムが生じていることを実験的に証明した。また、アブラムシの捕食者であるコクロヒメテントウは、幼虫が白い綿状のワックスを分泌し体を覆っており、このワックスもアリの攻撃性を抑制することがわかった。アリの共生者認識機構を利用しアリからの攻撃を免れ、アブラムシコロニー付近に滞在可能なこれらの捕食者は、高次天敵から逃れる利益を得ていると考えられる⁷⁾。

今後の展望

これらの基礎科学的な知見を踏まえ、アリの共生者に対する学習行動を操作し土着天敵としての機能を人為的に引き出す新規な害虫防除法の開発に取り組んでいる。農業や環境の持続可能性の観点から、土着天敵などの在来資源を積極的に活用する生物的防除法の発展が期待されている。土着天敵利用において成功の鍵を握るのは、アリのような広食性捕食者である。その一方で、アリは農業害虫であるアブラムシなどの甘露排出昆虫を保護し、多くの他の天敵の活動を抑制してしまうため、アリの存在は農業現場ではむしろ問題視されることが多い。上述のとおり、アリは共生者のシグナルと報酬を連合学習することがわかってきた。アリは甘露を貰う経験によりアブラムシをパートナーとして認識するようになり、アブラムシの体表炭化水素を用いて識別する。また、アリは複数のアブラムシ種が共存するとき、利用価値の高い種に選択的に随伴し、価値の低い種への保護をやめる。このことから、アリは各アブラムシ種の甘露の質と体表炭化水素を関連付けて把握し、各アブラムシ種への意思決定を行っていると考えられる。この意思決定機構を逆にとり、アブラムシによる被害が懸念される農耕地に、アリにとってより高価値の人工蜜源を設置すれば、アリはアブラムシへの保護を中断する可能性が高い。今後は、こういったアリの甘露排出昆虫に対する意思決定機構を利用し、人工蜜源をアリに提供することで、アリの甘露排出昆虫への保護を中断させ捕食性天敵としての機能を強化するという手法を構築していきたいと考えている。

謝辞

本賞の受賞にあたり、(一社)日本応用動物昆虫学会よりご推薦をいただきました。小野正人会長、中野亮理事をはじめ、学会関係者の皆様に、この場をお借りして厚く御礼を申し上げます。

本講演で紹介させていただいた研究は、その多くが千葉大学大学院園芸学研究科応用昆虫学研究室および化学生態学研究室、琉球大学農学部昆虫学研究室で行われたものです。千葉大学の野村昌史教授、長奉行准教授、中牟田潔グランドフェロー、ならびに琉球大学の辻和希教授をはじめとして、多くの方々にご指導・ご協力を賜りました。また、農研機構生物研の陰山大輔博士、農環研の故・望月淳博士、ならびに琉球大学博物館の佐々木健志助教には、多くの貴重なご教示をいただきました。共同研究者や現所属の農研機構の皆様、研究の遂行にお力添えいただいた皆様に、心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Hayashi M., Nakamuta K. and Nomura M.: *Journal of Chemical Ecology* 41:1148-1154 (2015).
- 2) Sakata I., Hayashi M. and Nakamuta K.: *Journal of Chemical Ecology* 43:996-970 (2017).
- 3) Hayashi M., Hojo M.K., Nomura M. and Tsuji K.: *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 284:20171367 (2017).
- 4) Hayashi M. and Nomura M.: *Applied Entomology and Zoology* 46:407-413 (2011).
- 5) Hayashi M., Choh Y., Nakamuta K. and Nomura M.: *Journal of Chemical Ecology* 40:569-576 (2014).
- 6) Hayashi M., Nomura M. and Nakamuta K.: *Journal of Chemical Ecology* 42:236-239 (2016).
- 7) Hayashi M. and Nomura M.: *Environmental Entomology* 43:1003-1007 (2014).