

害虫の目から見る生存圏

Thinking about humanosphere from pest insect view

柳川 綾*

Aya Yanagawa*

1. はじめに

最近では消費者意識の高まりもあって、野菜の産地や、その規格、例えば、有機農法であるか、無農薬であるかといったことも視野にいれつつ、農産物を購入される方も多くなった。害虫駆除の方法も、時代あるいは農業の発達とともに変化しており、対象作物や標的害虫によって異なる。代表的な防除法には、化学的防除、機械的・物理的防除、耕種的防除および生物的防除の4手法がある。農薬など化学薬品を使用して害虫を防除する手法が化学的防除で、もっとも一般に使用されている。捕獲や移動阻害など、害虫そのものに物理的に働きかける処置を行うことで被害を抑制したり、また光線、音波、超音波、熱線、高圧電流および放射線などの物理的エネルギーを利用して、害虫の行動制御（誘引・忌避、抑圧・攪乱）、生殖能力の無効化および殺虫などを行うことを機械的・物理的防除という。耕種的防除は、作物栽培法の工夫、耕耘などによる環境条件の調整あるいは適切な品種を選択することによって害虫個体群の生存・増殖・定着を抑制し、被害の回避・軽減を図るものである。生物的防除は、天敵、すなわち捕食者、寄生者および病原微生物を利用し、標的害虫の生存個体群数を管理していくことで作物を守る。近年では、地球環境保護の観点から、薬剤を用いない手法を主軸に、複数の防除法を組み合わせた総合的な害虫管理（Integrated Pest Management: IPM）が指向されるようになった¹⁾。農薬に対する薬剤耐性害虫の出現やミツバチへの悪影響も、この流れを後押しした。また、害虫管理と言えば、農産物収量増を目指した田畑の管理が一番に思い浮かぶかもしれないが、穀物の貯蔵や輸送時に行われるポストハーベスト処理も、農産物が消費者に届くまでの過程で行われる大切な害虫管理ステージである。本稿では、生存圏研究所で行われている、木材害虫を対象とした生物的防除のための研究を紹介する。

2. 昆虫病理という学問

人の観点で生存圏の生き物を分類すると、まず人類を含む哺乳類が存在し、鳥類、両生類、爬虫類、魚類など、比較的大型の生物を主役に生態系を考えることが多い。昆虫は、多くの場合において不快害虫にすぎず、生態系において彼らがきちんと役立っていることを義務教育の過程で学んだから存在していてもいい、という程度の評価をようやくもらっているのではないだろうか。さらに大きさとしてはもっと小さく、肉眼では認識できない微生物に至っては、病気や食中毒を通してその厄介さを、酒やパンを通じてその利便性を認識されてはいるが、こうした生物の存在を生存圏という大きなスケールでとらえることは依然として難しい。しかし、自然界の中では、こうした生物たちは人間活動から生まれる環境ストレスに耐えながら、あるいはそんなものそっちのけで、様々な相利／片利関係を

* 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所生存基盤科学分野 E-mail: ayanagawa@rish.kyoto-u.ac.jp

築いて複雑に、しかし見事に存在している。微生物の中には、その養分を動物体内から得る能力を勝ち得て繁殖したものが多くいる。人体に微生物が侵入し増殖し、その生命活動に支障をきたす状態を病気と呼ぶように、私たちは昆虫のそのような状態を病気と呼んでいる(図1、写真1)。この広い生態系の中には昆虫にしか感染しない微生物や植物にしか感染しない

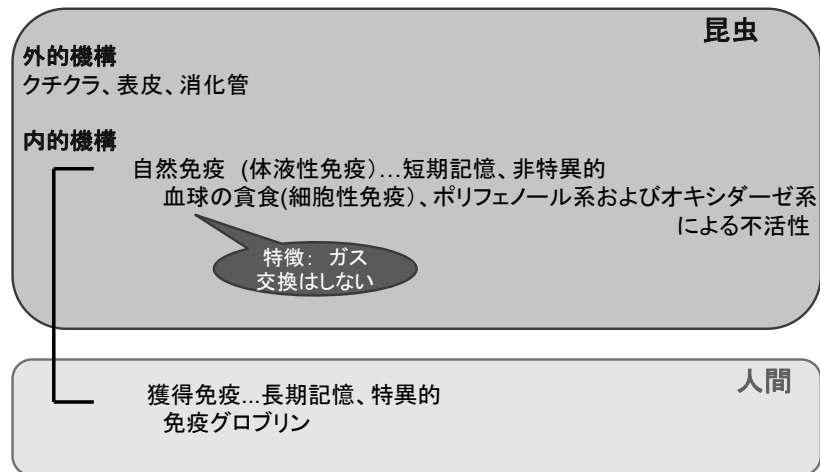


図1 人間と昆虫の生体防御システムの違い

微生物が多く存在している。同様に、人に感染する微生物の中に、昆虫や植物を加害する能力を持つものがあることは滅多にない。このためゴキブリを害虫と呼んで駆除を試みることは、私たちが病気の蔓延から守るために大切なことである。それはゴキブリが肝炎ウィルスなど、人には深刻な病気をもたらすがゴキブリには無害な微生物を体表に付けて、食物上を横切ることで、病気を伝播するためである。これとは逆に、ごく近年、とはいえここ50年ほど盛んに研究されているのだが、人には感染しないが昆虫にだけ感染する微生物を有効利用して害虫を管理しようという、レスケミカルな有機農法として注目を集めているのが生物的防除である。人には無害だが昆虫には病気を引き起こす微生物と、昆虫との接触をお膳立てすることで害虫を管理しようという試みである。本手法は、家畜の病気を媒介するハエやアザミウマなどの作物害虫を対象とした農業生産の向上を目指した害虫管理においてだけでなく、ゴキブリなど生活圏に存在する不快害虫を管理する上でもその有用性が期待されている。昆虫病理という学問は、そもそもミツバチや蚕などの益虫保護を試みるために生まれた。昆虫は大きな注目を集めていない、と前述したばかりだが、養蜂や養蚕の文化は紀元前から行われている。昆虫の病気は、アリストテレスがその著書に記しているほど昔から知られている²⁾。しかし、人類の現行の技術では、病気になった昆虫を治癒する力はない。益虫を大量飼育することができなくなった時に、その原因を見つけ出し、それが病原性微生物によるものであれば、すみやかに感染集団を排除するしかない。つまり、病気を治癒することは現在でも我々の手には負えないため、病気を広げて害虫を管理する、という方向で、この学問は活路を見出している。害虫の管理は田畑を対象に行われるので、本手法を適用することによる生態系への影響は田畑を基準に考慮する。とはいえ、生物的防除手法を大規模に実施している多くの国で、その実施状況に基づいた対象農地および周辺環境への影響査定は依然として課題である。大量の生物的防除資材を人為的に持ち込むことによって生じる生態系への影響を調査する方法を確立するため、国家間を超えた協力が必要である。

3. 行動による生体防御と生物的防除による害虫管理

居住圏環境共生分野では、家屋という身近な生活圏に存在する害虫であるシロアリをモデルに、人体に安全なシロアリ管理法を研究している。シロアリの防除にはこれまで有機塩素系殺虫剤などが用いられてきたが、環境および人体への影響が問題視されて、近年、エコフレンドリーな管理法の確立が望まれている³⁻⁶⁾。中でも病原性糸状菌を用いた生物的防除試験は世界でも比較的多く行われてきて

いるが、実験室レベルでは有効な試験結果が得られるにもかかわらず、野外で安定的な効果を得るには至っていない(図2)。このため、シロアリ管理に生物的防除手法を適用することは不可能ではないのかという意見もある⁷⁾。しかし、ここ10年ほどの研究成果により、ただ失敗の連続であった50年間には明らかでなかった多くのことが解ってきた。例えば、シロアリは社会性昆虫である。彼らは、アリやハチほどの学習能力はない(と現在は考えられている)

が、集団では「超個体」と呼ばれる複雑に統一された生態を有する⁸⁾。集団内では、栄養交換やグルーミングを始めとする衛生行動などの社会行動が行われ、個体レベルでの統率は一見なさそうに見えるが、集団として非常に統合された行動をとるのである。このうち、社会的な衛生行動として行われる相互グルーミング、埋葬行動あるいはカンニバリズムが、シロアリの病気感染阻止に大きな役割を持つことが解ってきた⁹⁾。本研究所では、糸状菌と昆虫の相互関係、特に昆虫の糸状菌に対する生体防御戦略を明らかにし、そこを阻止していくことで、糸状菌を利用した生物的なシロアリ管理が可能になるのではないかと考え、昆虫の生体防御行動の研究をしている。なかでも、微生物感染成立の初期段階において重要な「微生物の宿主表皮への付着」を阻止するグルーミング行動に焦点を当てて研究している。

アリストテレスによる社会性昆虫であるミツバチの病気が世界初の昆虫の病気の記述であったが、学問としてはその後、蚕やショウジョウバエなど単独性昆虫を中心に、個体レベルにおける血球貪食作用や、消化管内作用などが研究され、発展してきた。一方で、「行動」を利用した抵抗性の増強に関しては、生体防御機構として捉われるよりも、行動の結果生じる生態系の中での他個体や植物との相互作用の方が研究対象とされることが多かったために、世界的にもあまり多くの研究例がなく依然として不明な点が多い。シロアリでは社会行動であるグルーミング行動により、巣仲間上に付着している病原体を摂食除去し、消化管を通して体外に排出するという仕組みを持つことが分かっている¹⁰⁾、この機構が、糸状菌感染に抵抗する生体防御機構として大きな役割を持つことが認められている。しかし、例えばシロアリがどのような仕組みで病原菌の存在を知り、社会行動による防御を行

天敵微生物を用いた生物的防除

<利点>

- ・ 人畜に被害を与えない
- ・ 植物に病気や葉害を起こさない
- ・ 宿主域が狭く標的害虫を絞れる
- ・ 害虫に抵抗性を与えにくい
- ・ 生態系に定着・残存
- ・ 製剤化が比較的単純

<問題点>

- ・ 宿主域が狭く、一つの薬剤で一種のみ
- ・ 即効性に欠く
- ・ 伝播が他力本願
- ・ 製薬の均一性。安定性の保持が難しい
- ・ 昆虫の発育段階および個体密度により感染性に差が生じる

昆虫病原性糸状菌



Metarhizium anisopliae

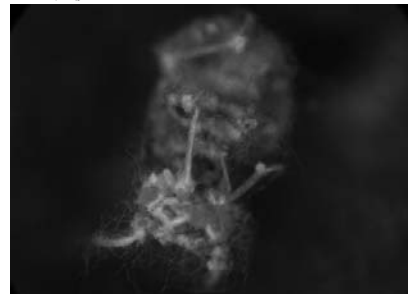
土や水の中に普遍的に存在。

図2 生物的防除のメリットとデメリット

感染後1-2日



感染後7-10日



*Metarhizium*感染虫

写真1 昆虫病原性糸状菌に感染したイエシロアリ職蟻

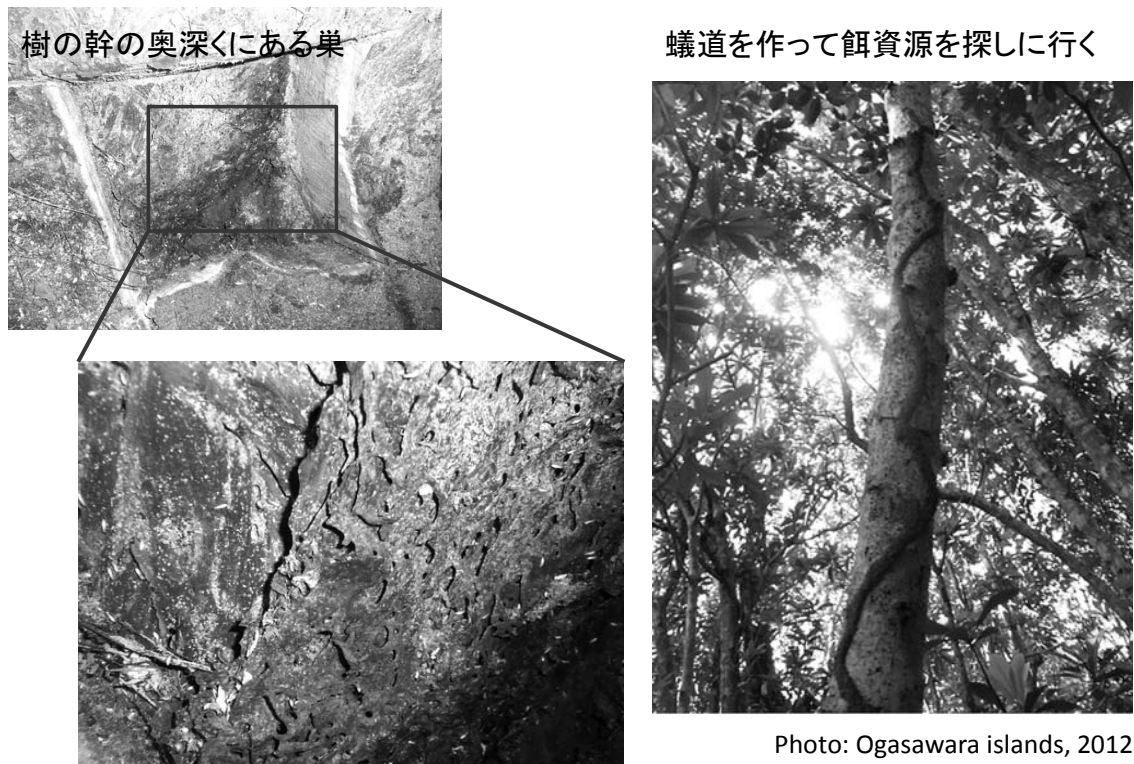


図3 森林の中で見られるシロアリの活動

うに至るのかなど、本機構解明に向けてはさらなる研究が必要である。シロアリの病気感染抵抗性行動を明らかにすることで、アリや亜社会性スズメバチなど温暖化に伴い北上してきたその他の社会性害虫の管理の発展にも貢献できると考える。現在は、シロアリにおける生物的防除の向上を目指して、シロアリが有する病原性糸状菌知覚能力を調査している。また、本機構を解明することによって、より環境と調和した新たな生物的防除法開発を模索している。

4. 研究を通じて見聞きし、思うこと

私は昆虫の生体防御行動を、多くの場合、実験室内で研究している。自然界には、考慮すべき要因があまりに多いため、まずは少ないファクターを通して小さな現象を捉え、実験の規模を少しずつ大きくし、やがて野外で実施できる規模まで展開することが目標である。一方で、家屋の大害虫であったシロアリでは、例えば新規薬剤効果の確認など、これまで野外における実践的な駆除のための研究が主に行われてきている。このため、その生理学的なメカニズムの多くは謎のままであった。将来もっと少ない薬剤で、耕種や生物的な防除を組み合わせながら、環境により安全で、より持続的な、害虫管理および農業生産を目指すうえで、それらのメカニズムを知ることは大切なことである。農業は、人間と自然の共存のための最初の一步である。家を建て、その中で大切な家族と快適に生活しながら、自然と調和した美しい農地から、日々食べる安全な作物を収穫し、おいしくいただくことを忘れない、そうした産業と農業の両立の中で初めて人類の持続的な発展が成り立つと考える。昆虫の生理特性を解明し、彼らの生態系における共存の知恵を知ることで、強欲ではない、調和の在り方を目指すしたい。

とりとめのないことではあるが、私がまず感じることは、呼び名が与える先入観の強さである。私たちは人類で日本人なので、同じ *Blattodae* 属の昆虫でも黒くてカサカサ動く昆虫をひとまずゴキブリ

と呼ぶし、白っぽくてアリみたいな外見で木を食べる昆虫をシロアリと呼んでいる。ミツバチは蜂蜜が取れるので、ひとまず益虫となるし、アブラムシは作物の葉を食べてしまうので害虫である。ところが、野外でアブラムシがいなくなってしまうと、テントウムシとアリはとても困るので、テントウムシとアリにとって、アブラムシは益虫である。私たちが自然と調和した生活を送るために、言葉が与える印象を超えた目で物事を考える複雑さを学んだ時、自分が人類という枠の中からだけ、世界を見ていることを感じる。生態系は複雑な相互作用を内包するが無駄のない循環型の系なので、害虫たちもそれぞれの役割を果たしたうえで存在する。次に、近年取りざたされる「多様性」という言葉の難しさである。多様性は良いことだと、深く考えることなくずっと思っていた。人類が発展するために開発され失われた多くの動植物たちを取り戻すこと、失われそうな動植物を守ること、あるいは少数民族の人々の生活様式文化を忘れないこと、言語や文化の多様性は、確かに大切で、精神的な豊かさに繋がる。しかし「多様性」にも多面性がある。シロアリの調査で小笠原諸島へ行ったことが一度だけある(図3)。小笠原は東京都からおおよそ1000kmのところに位置し、独自の生態系を発展させているため、外敵の侵入に非常に弱い。このため、シロアリをはじめとし、グリーンアノールやネズミやヒキガエルなどの侵入種のすさまじい繁殖と、そうした侵入種の加害による島の固有種の減少に苦しんでいる。つまり、自然世界遺産に指定された小笠原には「多様性」を持ち込むことが、「小笠原の自然」という世界規模での一つの多様性を失わせることにつながるのである。時代と共に多くのことが変化し、その中で私たちは守るべき多様性を取捨選択している。そうして残る「多様性」とは何だろうか。また、森林資源しかもたない貧しい国もある。こうした国、あるいは地域の人々に、持続的な森林資源の生産を長期的に助け、教育や施設に関与し扶助し続けることのできる国や団体は世界にいくつほどあるのだろうか。「明日」というぎりぎりの選択をしている人々に理想を押し付けることは難しい。私たちの誰でも、農薬の会社で就職すれば、農薬を普及させなくてはならないし、重油の会社で働けば、森林を伐採して重油を採掘する。そしてその仕事は確かに誰かを助けて、社会に貢献している。多様性というのはシンプルな言葉だが、この言葉を社会に体现することは、とても複雑な迷路の中で出口を探しているように感じている。その点で「多様性」という言葉は諸刃の剣だと思う。それでも、多様性を保つことは持続的で柔軟な社会を持つためにとても大切なことだと思う。多様性に通じることだが、最後に、生物的防除を実施する上での事前調査の難しさについて考えてみたい。生物的防除では、ある国、ある場所で成功したものを、他の国、他の環境で、しかし同じ害虫や侵入植物が問題となっている場所に適用しようとした結果、有益とみなされて持ち込まれた防除資材が問題化した例がいくつかある。防除資材は、環境からのできるだけたくさんの候補種、カビならカビ、を採集し、その中から標的害虫／標的植物に病原力の強いものを選択、その後大量培養の可否や環境安定性など多くの試験を経て初めて野外で試される。多くの手間と時間が必要とされることが、またどの程度広範囲での利用が可能なのか未知数であるため、普遍的な基準を設けることは不可能なのだ。そのため、適用する前に同じ作業をその国でも行うことが望ましいが、生産者や消費者の経済的な理由、また事態の緊急性など様々の理由から難しい。人間あるいは各国間にあるそれぞれの作用を含めて生態系の相互作用はあまりに複雑で、現状把握さえ難しい。

本稿を通じて、害虫防除を通して学んだ、害虫の目から見た生存圏、そこに存在する問題を少しでも共有できればうれしく思う。

参考文献

- 1) Gray, M. E., S. T. Ratcliffe and M. E. Rice, Chapter 1 the IPM paradigm: concepts, strategies and tactics in Integrated Pest Management-Concepts, Tactics, Strategies and Case Studies-, edited by Radcliffe EB., Hutchison WD. and Venezuela REC, Cambridge University Press, pp. 1-13, 2009.
- 2) 福原敏彦, 昆虫病理学 増補版, 学会出版センター, 1991.

- 3) Culliney, C.W. and J.K. Grace, Prospects for the biological control of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae), with reference to *Coptotermes formosanus*, Bull. Entomol. Res., **90**, 9-21, 2000.
- 4) Rath, A.C., The use of entomopathogenic fungi for control of termites. Biocontrol Sci. Technol., **10**, 563-581, 2000.
- 5) Sun, J., J.R. Fuxa, A. Richter and D. Ring, Interactions of *Metarhizium anisopliae* and tree-based mulches in repellence and mycoses against *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). Environ. Entomol., **37**, 755-763, 2008.
- 6) Verma, M., S. Sharma and R. Prasad, Biological alternatives for termite control: A review. Int. Biodeterior. Biodegrad., **63**, 959-972 2009.
- 7) Chouvenc, T., N.-Y. Su and K. Grace, Fifty years of attempted biological control of termites-Analysis of a failure, BioControl, **59**, 69-82, 2011.
- 8) 第15回「大学と科学」公開シンポジウム委員会, 昆虫から学ぶ生きる知恵, グバプロ, 174pp, 2001.
- 9) Chouvenc, T. and N.-Y. Su, When subterranean termites challenge the rules of fungal epizootics, PlosOne, **7**, e34484, 2012.
- 10) Yanagawa, A. and S. Shimizu, Resistance of the termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki to *Metarhizium anisopliae* due to grooming. Biocontrol, **52**, 75-85, 2007.