

アカデミックデイズ 2021

リスナーからのご質問に対する高林先生からのご回答

(2021.9.29. 公開)

【誰が・誰の天敵？】

Q. 植物にとっての天敵は、植物を食べる昆虫？

A. 植物にとって植食者※1は天敵です（ふつうはこの様な文脈で天敵とは言いませんが・・・）。植食者にとって捕食者※2は天敵です。植物にとって捕食者はお友達になります。

※1：ここでは植物を食べる昆虫のこと

※2：ここでは植物を食べる昆虫に寄生したり、その昆虫を食べたりする昆虫のこと

Q. 寄生蜂の天敵はいないの？

A. います。興味深いのは高次寄生蜂と呼ばれるもので、寄主幼虫の中にある蜂の幼虫に寄生します。

例えばアブラムシ類に寄生するアブラバチというグループがありますが、寄生の後半になってきて、高次寄生蜂がどこからともなくやってきてアブラムシの中にあるアブラバチの幼虫に寄生します。どのようにして寄生されたアブラムシを見つけることができるのか、不思議です。それ以外でも、寄生されている幼虫をまるごと捕食する鳥とかは、ある意味天敵と言えますね。

【寄生蜂と、寄生蜂に寄生された幼虫との関係】

Q. 寄生蜂にとっては子供を産むために必要な幼虫なのに、寄生したあと最終的にその幼虫を殺してしまったら、回り回って蜂の生存も危ういんじゃないの？幼虫がいなくなるので卵も産めないのでは？

Q. 寄生されずに育つのは奇跡なの？

A. 寄生蜂の例で言うと、寄生蜂は寄主が食害している株に来ます。株の上で寄主である植食者（幼虫）に寄生して殺します。

さて、野外では株ごとに寄主になる幼虫はさまざまな密度で存在します。たくさんの幼虫に食べられた植物は、たくさんの揮発性物質を出して、大声で助けを呼びます。今、その隣に一匹だけ寄主幼虫が食害している株があったとします。その様な株は被害も少ないので、寄生蜂を呼び寄せる揮発性物質も少量になります。つまり、助けを呼ぶ声が小さいわけです。寄生蜂にとって、たくさん寄主幼虫がいる株のほうが好ましいと仮定するなら、小声で助けを求める株より、大声で助けを求める株に行くでしょう。そうすると、小声の株には寄生蜂がやってこない（素通りする）ので幼虫は育つ可能性が高まります。わかりやすく極端な例にしましたが、株上で異なった密度で幼虫が分布するので、寄生蜂を呼び損なう場合もあり、これが地域的な幼虫の絶滅を防いでいる要因の一つだろうと考えています。

なお、上記の例は、少ない食害なら小声で、たくさんの食害を受けたら大声で助けを呼ぶと仮定していて、これは「正直シグナル」といえます。植物では、少ししか食害されていないのにあたかもたくさんの幼虫に食害されているように揮発性物質をたくさん出す場合があって、これは「オオカミ少年シグナル(Cry wolf signal)」といいます。

また、イモムシのお母さん（メス成虫）は、助けを呼んでいる植物を避け、未被害の植物や他の害虫にすでに食べられている植物に産卵するなど、「助けを呼ぶ植物の防衛戦略」に対して、できるだけ安全な植物に産卵するような行動を示す場合があることも分かっています。

Q. 寄生虫とは何ですか？

寄生しても、寄主を殺さない場合を寄生者（虫）と言います。そこが寄生蜂（捕食寄生者）との違いです。

Q. 寄生蜂が寄生する相手は決まっているって言うけれど、相手を間違えてしまうことはあるの？

A. それほどたくさんの寄生蜂を研究してきたわけではないので、はっきりとは言えませんが、間違って産卵することは実験室内では確認したことがあります。カリヤサムライコマユバチはアワヨトウとという幼虫にしか寄生できませんが、近縁の寄主にはならないシロシタヨトウとか、スジシロキヨトウの幼虫を実験室内でカリヤサムライコマユバチに与えると間違って産卵します。しかし寄主でない幼虫に産み付けられた卵は、抗原抗体反応のような作用で殺されてしまいます。不思議なことに寄主であるアワヨトウの幼虫内ではそ

のような作用が働きません。寄生蜂が卵といっしょにいくつかの成分をアワヨトウ内に注射し、それが作用を止めることがわかっています

Q. コナガコマユバチが青虫に寄生しても、結局は青虫は死ぬの？

A. 青虫は死にます。寄生蜂に攻撃された寄主は死ぬ運命です。

Q. 先生は、幼虫寄生バチは寄生できる相手がだいたい決まっていると言っていたけど、様々な種類の幼虫に寄生できた方が蜂からしたら良いんじゃないかな？

A. はい、そのとおりですね。なぜ万能な幼虫寄生蜂がないのでしょうか？ 上のご質問への回答にもあるとおり、寄主でない幼虫体内では免疫系が働いて、間違っって産み付けられた卵は異物として認識されて殺されます。ハチのお母さんはこの免疫反応を無効にする成分を卵と一緒に注射します。進化の過程で、全ての幼虫の免疫系も無効にする成分を持つのは難しいのかもしれませんが。ところで、寄生蜂の中では植食性昆虫の卵に寄生する仲間（タマゴヤドリコバチ）もいます。このハチが寄生できる卵の寄主範囲は一般的に広いことが知られています。寄生するステージが幼虫か卵かで、寄主範囲の広さが異なるようで、この違いは何に起因しているのでしょうかね。

【寄生蜂の一生】

Q. コナガサムライコマユバチがコナガの幼虫に卵を産みつけて、幼虫の体内からハチの幼虫が出てくるまで約10日、出てきたハチの幼虫が成虫になるまで約5日っていうサイクルは、種によって違うの？

A. 寄生蜂によって、寄主幼虫の体内で生育してでてくる時間は異なります。できるだけ早く成長して、寄主から脱出したほうが、有利だとは思いますが。蛹の期間もハチによってマチマチだと思います。あまりこの点に注目したことがないのではっきりとしたことは言えません。

Q. 幼虫が寄生されてから死ぬまでにかかる時間はどれくらい？

A. これは寄生蜂によって違いますが、上のご質問への回答にもあるとおり、コナガコマユバチの場合は、約10日で体内から寄生蜂の幼虫が寄主から出てきます。アワヨトウに寄生するカリヤコマユバチも約10日です。「コウラコマユバチ亜科では卵-幼虫寄生をし

ます。寄主の卵に産卵しますが、寄主幼虫が成熟するまで、寄生蜂の幼虫は発育を止め、最後に寄主を食い尽くす、というものです。」と名城大学の山岸先生の解説にありました。この場合はもう少し時間かかりそうですね。

【アリ同士のコミュニケーション！】

Q. アリはどうやって話すんですか？

A. アリの会話は体表にある炭化水素というワックス成分の違いで、同種、異種を見分けています。さらに同種でもその個体が同巣（仲間）か、異巣（他人）かを区別できますが、これも巣ごとに体表炭化水素の組成が微妙に異なることによると考えられています。

【匂いを出すのはだあれ？】

Q. 虫がにおいを出すのか、それとも植物がにおいを出すのかが知りたい！

A. ケースバイケースだと思います。寄主幼虫は、進化的には敵に見つかりにくい方向に進化すると考えられます。特徴的な匂いを出したら目立ちます。従って、匂いをできるだけ出さない方向に進化してきたと思います。また、寄主幼虫は植物体の上のピンポイントにいます。そこからもしなにか匂いが出ていたとしても、被害株全体から出る匂いのほうが、量的質的にも多くって、寄生蜂などの天敵にとって使いやすい情報だと考えられます。とはいえ、幼虫が匂いを全く出していないかと言うと、そうではありません。ヨトウの仲間では幼虫の体表から揮発性の炭化水素が出ているという報告があります。捕食者サシガメの仲間はその匂いで幼虫に近づくのだそうです。

【植物が匂いを出す仕組み】

Q. 人為的に開けた穴と虫が食べた穴。植物にとっては同じように傷つけられたような気もするけど、虫の唾液や体液とかがその傷に触れることで、SOSのにおいを出すのかな？

A. 幼虫の吐き戻し液を採集して傷口に塗るとあたかも食害されたような香り成分がでるため、唾液だろうと考えられています。ただし、吐き戻し液＝唾液ではないので、実験的な厳密さには欠けます。吐き戻し液の中にある成分（エリシター）を植物が認識し、防衛のシグナル伝達系を活性化します。その結果 SOS シグナルの生産が誘導されます。

Q. 吐き戻し液を垂らした時と、虫にかじられた時に出る匂いは同じ？微妙に違う？

A. 完全に一致はしないと思います。おそらく主成分は同じになると思います。

Q. 植物はこの傷の違いをどのように認識して違う匂いを出しているの？

A. 上のご質問への回答にもあるとおり、植食者の唾液成分の違いだと考えられています。それに加えて、摂食様式（葉をむしゃむしゃ食べる、表面をなめるように食べる、トンネルを掘って食べる、汁を吸う等）の違いも関与していると思います。

Q. どの虫に食われたか識別できるということは、植物の、食害昆虫の唾液成分を受容する遺伝子は遺伝子重複で複数あるということ？

A. 唾液の中にある認識物質は、二つ上のご質問への回答にあるとおり、エリシターと呼ばれています。エリシターの認識機構あるいは認識に関わるタンパクは、いまでもあまり良くわかっていないのが現状です。

Q. 幼虫に食べられた植物が出す物質は同じで、植物が出す物質と幼虫の唾液とが化学反応して変化した成分（それぞれの成分の変化）に対して、それぞれの蜂が寄ってくるようにも考えられるんじゃないかな？

A. うーむ。その可能性はゼロではないですね。ただ、その様な報告例は無いと思います。質問とはちょっと違いますが、蚕は桑を食べるときに、糸になる前の液を吐きながら食べます。その液の中には、緑のかおりの生合成経路の中間体と化学反応して、緑のかおりの生合成を抑制する成分が見つかっています。揮発性のテルペンなどは、唾液の成分が植物の防衛のシグナル伝達系を刺激して、該当する揮発性テルペン合成酵素の遺伝子を誘導するところから始まることがわかっています。この場合は、単なる化学反応ではなく、植物が積極的に匂いの生産に関わる酵素を一から作り出して匂いを作っているわけです。

Q. コナガはアオムシと同じで唾液を出すの？

A. 動画的には、はっきりしませんがコナガは唾液を出して食べているようです。コナガの吐き戻し液をキャベツの葉のハサミで切った部分に塗ると、コナガコマユバチを誘引します。アオムシも唾液を出しているようです。

Q. 食事の時に唾液を外に出さないように進化した昆虫とか居ないのかな？

A. はい、たしかにその方が有利ですね。でも出している。なにか出す理由があるはずですが、よくわかっていません。その理由は虫によって違うのかもしれませんが。唾液はだすけれど、植物に防衛反応を誘導しないように食うという例がハダニという植物の汁を吸う害虫の仲間にいることが報告されています。

Q. 蜂を連れてきても結局は少し食べられるんだから、少しも食べられないセキュリティの植物は無いの？

A. 害虫が来ないように忌避物質を出す植物もありますが、完全忌避はできないようです。またニコチンのような毒物質を他にためておけば、ひとかじりで食べるのをやめるかもしれません。ただ、タバコを食うイモムシもいるので、なかなか一筋縄ではいきません。

【植物のにおいを嗅いでみよう！】

Q. において言われると樹液が思い浮かぶけど、それとは別？

A. 樹液とは違います。樹液にも香りがありますね。この香りの生態学的な機能は何なんでしょうね。

Q. 山椒の葉を叩くといい香りがするけれど、それは私たちがそう感じているだけなんだ！何種類くらいの匂いを出せるの？

A. 山椒の香りは私達には良い香りかもしれませんが、植食性昆虫や病原菌にとっては嫌な匂いなのかもしれませんね。抗菌性があるという報告があります。

植物が何種類くらい匂いを出せるかは、植物によって違います。ハーブ系の植物の葉からは大小 100 成分以上の匂いが出ると思います（測定に使う機械の感度によって数も変わります）。緑の香りは主成分は4つくらいです。揮発性テルペンはものすごくたくさん種類があり、それぞれを作る合成酵素があります。

Q. 動画では、1種類の傷しかない理想的環境下で実験が行われていたけれど、実際自然では様々な傷が混在していると思う。そしたら、せっかくブレンドを分けたのに混ざって訳がわからなくなるんじゃないかな？

A. はい、野外では様々な匂いが混在しています。これは調香師さんからの受け売りですが、大気中に漂う異なったブレンドの匂いは、混ざりにくいのだそうです。墨流しとか、マーブリングという技法がありますよね。あの様なイメージだそうです。この大気中では異なった匂いブレンドが混ざりにくい、ということが匂いの情報性を担保している要因の一つだと考えています。ま、匂いを可視化できたら一番いいんですが、それはなかなか難しい。

Q. 人間にはどれも同じ緑のにおいを感じられるのになあ。寄生蜂の嗅覚って人間より優れてるの？

A. 昆虫の嗅覚は犬の嗅覚に匹敵するくらい敏感だと考えて良いです。われわれも捨てたものではなくて、緑の香りの成分のなかの青葉アルデヒド、青葉アルコール、青葉アセテートは区別できます。ちなみに植物もこの3つの匂いを区別できます。

Q. なんで植物は目や鼻、耳などが無いのに自分の葉を食べた昆虫の種が分かるの？

A. 動物は機能的に分化した器官を一定数持っています。目が2つ、口が1つとか。それが当たり前なので、植物には目や鼻、耳がないが故に、見たり嗅いだり聞いたりできるわけがない、と考えがちです。植物は、葉っぱとか枝とか、同じものの繰り返しからなる生物で動物と作りが根本的に違います。動物の構造基準では計り知れない環境センシング力があるのだと思います。昆虫の種の認識は、唾液成分（エリシター：上記）と食べ方（むしゃむしゃ食べるか、汁を吸うかとか）だと考えられます。

Q. 食害を受けた時、地上部の葉だけでなく、根からも同様な物質が放出されることはある？アレロパシーは根からだと思うが、少し機構が異なるのかな？

A. 葉が食害を受けた時、地上部の葉だけでなく、根からも同様な物質が放出されるかどうか研究した報告はないと思います（多分そういうことは無いと思います）。根を幼虫が食べると根から特定の匂い成分が出て、それが土の中にいる昆虫寄生性線虫を呼び寄せる、という研究報告があります。

食害応答性なので、アレロパシー（いつも出している）とは機構が異なります。

Q. 寄生バチを呼ぶ成分は、食害を受けた葉だけから出るの？それとも植物体全体から出るの？

A. 食害を受けた葉からはもちろんたくさん出ますが、それ以外の未被害の葉からもでることはわかっています。質問されて改めて気が付きましたが、この事実を論文として発表している例はわずかですね。

Q. 植食者のヤナギルリハムシに食べられていないジャヤナギが成虫を誘引するというお話、呼び寄せてしまったら、そこから卵が生まれ、葉を食べる幼虫になることにならない？

A. ヤナギの未被害の葉の匂いにヤナギルリハムシ成虫は引き寄せられますが、これはヤナギが呼んでいるのではなく、ヤナギルリハムシの成虫が未被害の葉からでるわずかな香りを利用して（嗅ぎつけてきて）、自分や自分の子供の餌資源となるヤナギを効率よく発見しているということだと思います。

【植物同士、において仲良くコミュニケーション！】

Q. SOS の匂いを出す植物の近くにいる植物も、あたかも食害を受けたかのようなふるまいをして誘引反応を起こしてしまったら、寄生バチは奇主の場所がわからず結局種的には損になるんじゃない？

A. 近くの植物は匂いを受容すると「防衛反応の準備を始める」と考えてください。匂いを受けた植物が匂いを出すという例もありますが、今の所は報告例が少なく、例外的だと考えています。もし匂いを出したとしても、被害株ほどの強烈な誘引性がないと思われるので、むしろ被害植物に寄生蜂をエスコートする働きになるかもしれませんね。

Q. 植物間のコミュニケーションは、どの程度の速度で行われるの？

A. 速度ですか。メカニズム的には、匂いを受容した後に、ジャスモン酸シグナル伝達系というシステムの活性化が起きて、様々な防衛遺伝子の誘導が始まる、というレスポンスなので、少なくとも半日以上はかかるのではないのでしょうかね。ただ、野外での匂いは非常に薄くって、一回の匂いを受容で反応するとは限りません。シロイヌナズナでは、薄い濃度の匂いを一日一回、2-3日おきに3週間断続的に受容して初めて反応する、という結果があります。

Q. ある植物が食害を受け香りブレンドを出した場合、同種の周囲の植物がそれを受容する受容体と、寄生昆虫がそれを受容する受容体の形は似ている？

A. それはまだぜんぜんわかりません。上でも書きましたが、私達は自分の構造を基準としてものを考えがちです。なので、植物でも匂いを嗅げるのは動物や昆虫と類似した受容体が必要なのかも、とまずは考えます。植物の匂い認識機構が動物や昆虫と類似しているなら進化的に大変興味深いし、全く違っていたら、それもまた興味深いと思います。

【植物と寄生蜂の関係はいつから続く？】

Q. これは植物側と寄生蜂側の両方がかみ合わないと、成立しないシステムだと思うんだけど、進化の歴史上、同じ年代に登場したの？

A. うーむ。鋭い質問ですね。よくわかりません。植物は先ずは直接防衛のため（傷口の消毒等）に匂いを出すようになったのではないのでしょうか。寄生蜂は、その様な匂いをうまく利用するようになるところからなりました。そこから相互作用がスタートしたのだと思います。その後は、より反応する個体（寄生蜂側）とより効率よく呼ぶ個体（植物側）との共進化が始まる可能性があります。その結果として、より洗練された植物と寄生蜂の関係性が長い時間をかけてできあがる（あくまで想像です）。ただし、それほど洗練されていない場合もあります。植物と寄生蜂の種によって関係性の親密度はマチマチです。

【先生の研究が気になる！】

Q. どんなふうに調べたの？

A. 虫の反応でしょうか。調べる方法は虫によって異なります。万能の方法はありません。虫ごとに工夫します。その虫に適した調べ方が完成したら、その虫に関する研究も半分くらいは成功したと思っています。

Q. どのぐらいのデータを取って平均しているの？

A. 化学分析の場合は5回以上を目標にしています。ハチの行動などの実験では最低でも30回、できれば50回くらいを目標にします。

とっても楽しかったです！！

有難うございます。楽しんでもらえてよかったです。