

第3回農学部オンライン公開セミナー

質疑応答集

〈テーマ〉 『共生』：地球上で生きていくための知恵
2021年6月26日（土） オンライン開催

〈プログラム〉

1	「樹木と微生物の多様な関係ー共生・寄生・腐生」	森林科学専攻 福田 健二 教授
2	「昆虫と微生物の共生関係」（事前収録映像）	生産・環境生物学専攻 勝間 進 教授
3	「自然界にみられる多様な共生関係:細胞から地球まで」	生圏システム学専攻 宮下 直 教授

*いずれの回答も講演者個人の見解に基づくものです。

*掲載の都合上、いただいた質問から文言等を修正したのもございます。あらかじめご了承ください。

プログラム1. 「樹木と微生物の多様な関係ー共生・寄生・腐生」

森林科学専攻 森林植物学研究室 福田 健二 教授

Q1 木の種類によって腐朽菌や寄生菌は異なるのでしょうか？ それは木の成分によって決まっているのでしょうか？

A1 多様な樹種の材を腐朽させる菌もいれば、特定の樹種とか針葉樹のみ、あるいは広葉樹のみを腐朽させる種もあります。針葉樹と広葉樹ではリグニンの化学構造が違うとか、心材（中心部の死んだ材）の成分が樹種により違うなど、枯れた木材の成分とも関係がありますが、生きている木の辺材（周辺部の生きている材）に感染して腐らせる菌の場合は、生きている樹木組織との相互作用も関係しているでしょう。

Q2 潜在感染する菌類がフライングなら、どの菌類もそうすればいいと思うのですが、そうしないということは何か菌類にとって寄生はデメリットがあるのでしょうか？

A2 フライング（感染）するにはそのための武器や特殊能力を磨く必要があり、単純に生物遺体を分解するだけの場合とは異なる投資が必要となるのがデメリットです。

Q3 菌類はどうやって腐っている樹木を感知するのでしょうか。

A3 菌類は孢子で増えますので、孢子が落ちる時には特定の場所を選ぶことはできません。たまたま菌糸を伸ばして見たら餌となる枯木があった、ということですね。菌は細胞外に酵素を分泌して、周りにある物質を分解して栄養をとりますので、栄養が吸収できるかどうか、あるいは樹木の成分が分解したてできた物質の有無で判断するのもかもしれません。

Q4 松の木の表皮に緑っぱいかび又は苔のようなものが見られますが、これも木が弱っているのですか。

A4 地衣類かコケ類ですね。地衣類やコケが付いている木が弱っているとは限らないですが、木が弱ると肥大成長（幹の太り）が遅くなるので、樹皮がはがれる頻度が少なくなり、地衣類やコケが付きやすくなるかもしれません。

Q5 バイオエネルギー開発でリグニンやセルロースを効率よく分解するのに腐生菌は役立てることが出来ますか？

A5 はい。役立てることが出来ます。木材腐朽菌のもつリグニンやセルロースを分解する酵素については、当研究科の生物材料科学専攻でも重要な成果が出されています。

Q6 マツタケの人工栽培を解ればご指導願います。

A6 当研究室の松下准教授も研究していますし、森林総研などでも研究されていますが、まだ完成していません。マツの苗木などに共生させることまではできていますが、キノコを作らせるほど成長させるのは難しいようです。

Q7 アメリカ産のマツの線虫に対する抵抗性の要因はどのようなものなのでしょうか。

A7 線虫の移動と樹体内での増殖の両方が阻害されるようです。線虫を硬直させて移動できなくする物質の存在

が示されていますが、詳細は分かっていません。

Q8 材線虫への抵抗性遺伝子は解明されていますか？

A8 候補となる遺伝子はいくつかみつっていますが、詳細は未解明です。

Q9 センチュウはアカマツ以外の樹木には寄生しないんですか？

A9 クロマツ、リュウキュウマツ、ヒメコマツなどのマツ類のほか、ヒマラヤスギ、カラムツ、トウヒ属樹種などにも寄生します。被害が大きいのはマツ属です。

Q10 イベルメクチンは材線虫に効きませんか？

A10 イベルメクチンはわかりませんが、類似の殺線虫物質がいくつかマツの樹幹に注入する予防薬剤として実用化されています。

Q11 再生可能エネルギーとしてバイオエタノールが注目されていますが、松脂が燃料として再注目されるような動きは無いのでしょうか。

A11 聞いたことがありませんが、木材は重く、マツを伐採して丸太を工場まで運ぶのにも、工場で蒸留するのにも、大量のエネルギーを消費しますので、なかなか簡単ではないでしょう。ウッドチップやペレットの形で燃料に使うのが比較的効率がよいかもしれません。

Q12 枯死体を巡る競争では寄生菌の方が有利な気がします、寄生菌が活着しているうちから感染することにデメリットはあるのですか？

A12 Q2 への回答と重複しますが、活着している木は感染に抵抗しますので、感染するための投資が必要となるのがデメリットでしょう。

Q13 シアノバクテリアの窒素固定の性質を畑で作物を育てるために利用する方法はありますか？

A13 水田では、実際にアカウキクサ (*Azolla*) に共生するシアノバクテリアによる窒素固定が利用されていると思います。

Q14 微生物・樹木についても多様性が失われつつあることを初めて伺いました。動物のように保護活動は可能でしょうか？ 現在実施例があれば教えていただけると幸いです。

A14 樹木は希少種の保護なども行われていますが、微生物は、そこにどんな微生物がいるのか自体が簡単にはわからないので、保護しようがないのです。多様性を調べること自体が、今まさに研究課題となっています。

Q15 菜の花の茎の変形は菌によるのでしょうか。

A15 白さび病菌の感染によるものだと思います。茎が扁平になる症状は「帯化」といってホルモンの異常ですが、様々な植物で知られており、菌の寄生だけでなく、さまざまな原因で起きます。

Q16 日本のマツもいずれは進化して抵抗性を持つようになるのでしょうか。

A16 千年万年単位で見ればそうだと思いますが、数世代程度では抵抗性は獲得されていないようです。

Q17 桜は菌や虫に好かれやすい要因があるのでしょうか。

A17 詳しいことは分かっていません。陽樹(植生遷移の初期に出てくる先駆種)は病気や昆虫への抵抗性があまり高くないものが多く、寿命も短いことが多いのですが、サクラ類のいくつかの種にも当てはまると思います。

Q18 松茸やトリュフが人には利用価値がありますが、彼らはヒトとの共生を図るのでしょうか。

A18 マツ林やトリュフ用のカンシ林を管理してマツタケやトリュフが沢山感染しやすい環境を整備したりするのは、ヒトとの共生と言ってもよいかもしれませんね。

プログラム2. 「昆虫と微生物の共生関係」

生産・環境生物学専攻 昆虫遺伝研究室 勝間 進 教授

Q1 BT 毒素はヒトには害はないのでしょうか？

A1 BT 毒素は基本的に結晶化の状態にあり、結晶はアルカリ性の条件下で可溶化し、その後、昆虫の消化管に存在するたんぱく質分解酵素によって活性化します。ヒトや哺乳類では胃酸などがあり活性化されないため、ヒトには害がないということになります(毒素に対する受容体も存在しません)。

Q2 ブフネラはアブラムシのすべての細胞(生殖細胞を含む)に感染しているのでしょうか？

A2 ブフネラは特殊な菌細胞というところにしか存在しません。次代に移るときは菌細胞から胚子に選択的にブフネラが移行することが知られています。

Q3 バキュロウイルス等の昆虫ウイルスがヒトに感染する可能性はないのでしょうか？

A3 日常生活では感染することはないと思います。実験室でヒトの培養細胞にバキュロウイルスを接種すると、ウイルスは細胞の中そして核の中にも入っていきます。ただし、細胞のなかでは、ウイルスの遺伝子発現が正確に行われず、ウイルスは増殖せずに終わります。

Q4 ボルバキアによるオス殺しを害虫抑制に利用できますか？

A4 理論的に考えると、ボルバキアに感染した昆虫を野外に大量に撒いた場合、その集団サイズは縮小すると思います。つまり、感染個体の割合がどんどん増えて普通のオスがなくなったり、ほとんど感染個体になると思うのですが、アワノメイガの例ですと実際には感染個体の割合は5%程度に留まります。対象昆虫の行動範囲などによって、オス殺しボルバキアだらけにならないようになる場合があると考えられます。

Q5 Masc による遺伝子量補償のしくみはわかっているのでしょうか？

A5 残念ながらまだ分かっていません。

Q6 共生によって世界のバランスがとれていて、その意味で共生が世界を守るひとつの仕組みだという考え方は、進化のうえでもできるのでしょうか？

A6 小さいものから大きいものまで全てのスケールの世界において共生が大事だと思います。生物が一種で生きているということはありません、それが組み合わせることで動的に色々なサイズの世の中を作ってきたのだと思います。

Q7 バキュロウイルスが寄生するとカイコが上に登る行動を起こすのは、ウイルスの子孫を下に落とすためという理解でよいのでしょうか？ 他の昆虫の例でも、同じような理由でしょうか？

A7 バキュロウイルスにとっては、寄主植物の上方で幼虫を殺すことで広範囲に子孫ウイルスを撒くことができます。カビの場合も同じで、胞子を広範囲に撒くことができます。虫が大発生している森林などで、樹の枝の先にウイルス感染した幼虫の死体が沢山ぶら下がっている(ワームツリーと言います)ところ

では鳥が死体を食べに寄ってきます。鳥の体内ではウイルスは溶けずそのまま糞として排出されます。ウイルスが鳥を使って広範囲に運んで貰っているんじゃないかと言われています。

Q8 昆虫と微生物の関係では、同所的に存在しているだけで、ただ一緒に居ると思われているものの割合と、寄生など特殊な相互関係を結んでいると分かったものの割合は、どのくらいなのでしょう。

A8 これは全くわかりません。ただ一緒にいると考えている場合でも、それぞれの関係性がどうなっているかは、私たちには見えていない場合が多いのではないのでしょうか。やっぱり、お互いに得をしていたり相互作用していたりしていると思うのですが、まだ私たちの観察スキルが追いついていないと思います。また、お互いに得とか人間が勝手に思っているだけで、別の側面としての宿主と微生物の関係はあるかもしれません。

Q9 オス殺しによるボルバキア側のメリットは何かあるのでしょうか？

A9 ボルバキアに感染しているメスの割合が増えることで、集団中でボルバキア感染率を増加させていると考えられます。オス殺しに関しては、同じ親から生まれたオスを殺してしまうので、兄妹交配を防ぐメリットを挙げる人もいます。限られた例だと思いますが、卵の段階でオスが死ぬとその卵をメスが餌にできますし、オス殺しで半分死ぬことで、限られた資源のなかで感染個体だけがより栄養分をとって生きることができるという考えも可能です。

Q10 メス殺しという仕組みもあったと思うのですが、それは有利でないので進化の過程でなくなったと考えられますか？

A10 性操作のときに遺伝子量補償が関与していますが、昆虫の遺伝子量補償を潰すとオスが死ぬので、結果的にオスが死ぬと考えることができます。原理的にはメスだけを殺すことも可能ですが、ボルバキアなど母系遺伝するものにとってはデメリットになるので、もしそのような形質を得たとしても残存しなかったかもしれません。

Q11 冒頭で昆虫食に関して一言触れられていましたが、昆虫食用の安全な生産における課題で将来的に問題になりそうな事など、何かお考えがあればお聞かせください。

A11 難しい問題ですが、今まで食料にしていなかったものを人類が食べるには、昆虫に共生しているウイルスや細菌や、それに含まれる毒素など、科学的に何が含まれるのか見ておいたおいたほうが良いと思います。世の中で昆虫食が一般的になってきた場合には特に注意したほうが良いと思われます。

Q12 ウイルスともある意味共生関係、コロナウイルスもヒトには有害だが地球全体の生態系からすると意味があるのでしょうか？ 進化とは生物同士の生き残り戦略だとするとヒトは今後どう生きるべきとお考えですか？

A12 特定のウイルスが特定のシステムにおいて重要な役割を果たすことが知られていますが、全てのウイルスがそうであるわけではありません（あるいは自分を含めた人間の知り得ないところで特定の生態系では必要なかもしれませんが）。ヒトを含めた生物は常に多様なウイルスと向き合っていくことになっていきますが、人間は万能ではないし、知りうる情報やもっている技術にも限界があるので、その時々で考

えうる対応をするしかないのだと思います。

Q13 寄生蜂のポリドナウイルスを他の鉢（ウイルスをゲノム内にもたない同種の蜂）に感染させることができますか。

A13 ポリドナウイルスのウイルス粒子はメス卵巣のそばにあるカリックス細胞で作られ、それ以外の細胞では複製しないと考えられています。人為的に宿主でないハチに移植（注射）した場合は、感染を「ウイルスが増殖する」と考えるならば感染しないと考えられます。

プログラム3. 「自然界にみられる多様な共生関係:細胞から地球まで」

生態システム学専攻 生物多様性科学研究室 宮下 直 教授

- Q1 なぜ、多くの外来種が在来種に比較して増えやすいのでしょうか？ 在来種はそれまでずっと住んでいるので、その環境に慣れていて外来種より有利のように思うのですが。
- A1 外来種だから増えやすいのではなく、無数に入ってきた外来種のうちで現地の環境に適応した生物が結果的に増えているという解釈が妥当です。
- Q2 オオルリシジミが絶滅種 IA である認識を初めて持ちました。クララを餌にしているようですが、その理由は何でしょうか。
- A2 クララ自体が減ったこともあります。そもそも日本の二次草地はここ 100 年余りで 10 分の 1 にまで減っています。オオルリシジミは、ミヤマシジミよりも広い草地を必要とする昆虫であることも一因と思います。
- Q3 共生のための能力がなければ生き残れない、すなわちヒトはその頂点においてコロナかだろろがスペイン風邪だろろが生物として社会的に共生能力を発揮していくということでしょうか？
- A3 生き残れるかどうかは、必ずしも共生の能力とは関係ありません。また、ヒトが頂点において能力が高いという考え方も適切とは言えません。常に相対的なものであるという考え方に立って、謙虚に自然と付き合うことが今こそ求められているのです。
- Q4 褐虫類に耐熱性を持たせることでサンゴ礁の保全は可能だと考えられますか？
- A4 可能かもしれませんが、自然界にないものを作りだして生態系に持ち込むことのリスクは基本的に避けるべきです。むしろ、温暖化をいかにして食い止めるかの知恵を出すことが先決です。世界の取り組みもその方向に向かっています。
- Q5 昆虫の恩恵を受けない作物は存在しますか？
- A5 コメ、ムギ、トウモロコシなど、多数あります。
- Q6 人類が誕生する前から、絶滅危惧種と新種の繁栄は繰り返されてきたと思うのですが、現在の人類が関与している場合とどのように違うのでしょうか？ 生物多様性を守るために外来種を排除し絶滅危惧種を守るというのは、人間の勝手な価値判断によるようにも思えるのですが。
- A6 過去の大量絶滅は、大規模な地殻変動や隕石の衝突といった巨大な外圧が原因でした。いまはヒトというたった 1 種の生物の都合で大量絶滅が起きようとしています。これを「自然の摂理」として放置することに、果たして多くの人々は同意するのでしょうか？ そもそも、人類の生存自体も、生物多様性に依存しているということを私の講演から汲み取っていただきたかったと思います。
- Q7 ソバの短花柱花と長花柱花は違う種ですか。(遺伝的に決まっていますか？)
- A7 もちろん交配するので同じ種です。遺伝的に決まっています。

Q8 短花柱花の花粉→長花柱花と、長花柱花花粉→短花柱花のどちらの場合もおなじ効率で受粉しますか？

A8 効率の定義にもよりますが、結果としての結実率で見ればほぼ同じです。

Q9 そばと湖畔植物の間接的な共生関係は他の植物でもあるのでしょうか？

A9 植物同士の間接的な共生関係は、おそらくかなり普遍的でしょう。ただ、競合的關係に比べてあまり調べられていないようです。短期的には競合しても長期的には共生関係にあることは十分あり得ます。

Q10 最近オーストラリア産のそば粉が主流になっているとも聞きます。日本からそば産業が縮小してそば畑がなくなった場合、昆虫や近くの野生植物などの生態系にどのような影響を及ぼすのでしょうか？

A10 ソバ畑自体が日本中に広大にあるわけではないので、大きな影響はないかもしれません。ただ、花を咲かせる野生植物が減っている現状からすると、ソバ産業の縮小はあまり望ましいことではないと思います。

Q11 ソバの共生ネットワーク図で、それぞれの帯の幅(長さ)は何を示しているのでしょうか？

A11 植物であれば、送粉昆虫の種数を示しており、昆虫であれば訪花する植物種数を表しています。

Q12 生態系全体まで共生ネットワークを拡張することによって、保全等に活用できないのでしょうか？

A12 共生ネットワークの時間的・空間的な広がりを正しく評価することで、どの広がりで生態系を保全したり再生したりすればよいかの指標が得られると思います。

Q13 蕎麦の実りが減っていることに関して、多種多様な昆虫と共生関係にあるなら多少の昆虫とのネットワークが途切れてもあまり問題ないように感じたのですが…、あまりに多くの昆虫の数が減っているという意味なののでしょうか？ それとも、共生ネットワークの中心的な昆虫が減ってしまっていて、大きな影響が出ているという意味なののでしょうか？

A13 事例紹介した飯島町では、まだ多様な送粉者からなるネットワークが維持されていると思いますが、都市近郊では損なわれていると思います。各地でネットワークを調べれば、診断に使えると思います。

Q14 ソバ畑の周りに存在する植物を維持をさせることで様々な昆虫による恩恵が受けられるとおっしゃいましたが、その分害虫による被害のリスクも高まると考えています。恩恵ばかりではないと思いますがどうでしょうか？

A14 害虫の制御に関してもむしろ好都合です。イネの害虫であるカメムシは、畦畔のイネ科雑草(特に外来種)で増えますが、双子葉の頭花植物が多い草地では、ほとんど生息していません。また、天敵であるクモや捕食性昆虫も増えるので、害虫のような特定の昆虫が増えることを防いでいます。

Q15 ヤマトシジミの蜜を吸いに来るのはアリだけなのでしょうか？ アリだけを誘引する成分があったりしますか？

A15 アリだけです。理由は分かりませんが、微量な成分が関係していると思います。

Q16 共生関係の無い(無菌状態の)月面では、たとえ水、酸素、二酸化炭素等を準備しても作物の生産は無理なののでしょうか?

A16 窒素やリン、カリウムなどの養分があれば理論上生育はできるでしょう。ただ、人間が利用できる量は難しいと思います。微生物なども含む生態系のネットワークがないと持続性は困難でしょう。

Q17 ミヤマシジミは絶滅危惧種 I B 類とのことですが、蟻との共生により個体数の減少はまもられているのではないかと思います。昆虫の種の減少には、人間・外来生物の関与以外の要因もあるのでしょうか。

A17 基本は人間の土地改変が問題ですが、日本では伝統的な農業の衰退で草地的環境が失われていることも大きな要因です(アンダーユース)。

Q18 農作物生産で雑草の中で作ると農薬を少なく出来る事があるみたいですが、これも昆虫が関係してるのでしょうか?

A18 単一の作物を広範に栽培すると、特定の害虫や病気が蔓延することがあります。雑草が全く生えられない農地は、決して健全で持続的な農地とは言えません。

Q19 そばの短花柱花と長花柱花の全体の中での割合はどのくらいですか?

A19 1 : 1 です。

Q20 ソバ以外の植物からも蜜を得ている昆虫が多かったですが、昆虫にとって、多種類の植物から蜜を得ることにメリットがあるのでしょうか?

A20 色んな種類の植物を利用できれば、時間的にも空間的にも蜜に困ることも少なくなるはずです。

Q21 SDGs 等の人間の社会活動を通じて、自然へプラスの影響を与えることで、人間と自然の共生が可能であるというお考え、素晴らしいと思いました。実現のために人間が可能な活動として、持続可能な資源利用や自然の保全以外に、施策のお考えがあればお伺いしたいです。

A21 いろいろあります。フードロスをいかに減らすか、認証制度をいかに活用するか、自然と触れ合い自然を大切にする気持ちをどう育むか、などです。

Q22 我々都市生活者が昆虫、植物等の多様性を維持、増大させるのに役立つ具体的な方法をお教えてください。

A22 直接できることは限られていますが、間接的なことを含めればいろいろあります。たとえば、1) 地域の環境 NPO などの観察会や活動に参加する、2) 生物多様性を守るクラウドファン্ডに資金提供する、3) 衣食住に関する認証商品を積極的に購入する、4) 持続的な環境保全を政策目標に掲げる政治家を支援する。