

共生細菌が昆虫の植物適応を変える

微生物の新機能の発見

産総研生物機能工学研究部門では、アブラムシという昆虫の植物適応が、体内に存在する特定の共生細菌によって規定されているという現象を発見し、2004年3月26日発行の米科学誌サイエンスに発表した。これは、寄主植物特異性という生物にとってきわめて重要な生態的性質が、共生微生物によって支配されることを実際に明らかにした初めての研究となる。

従来、寄主植物特異性や環境適応といった生物のマクロな性質は、その生物自身の属性であると考えるのが普通であった。しかし本発見が示唆するのは、目に見えないゆえに気づかれずにいるだけで、実は体内に存在するミクロの共生微生物群集が、私たちの目にしているさまざまな生物現象に大きな影響を与えている場合が少なからずあるのではないかと、という新たな観点であり、微生物学、昆虫学、生態学、農学、害虫防除といった生物学のさまざまな分野における現象の捉え方や研究アプローチに広く影響を与えうる研究成果である。

寄主植物特異性とは

アゲハチョウの幼虫はミカンの仲間の葉しか食べない。ところがよく似たキアゲハでは、幼虫はニンジンやセリの仲間の葉を食べ、ミカンには見向きもしない。カイコの幼虫はクワの葉以外は絶対にうけつけない。このように植物を食べるさまざまな昆虫は、一般にどんな植物でも餌にできるわけではなく、むしろごく限られた植物しか利用できないのが普通である。こういった現象を「寄主植物特異性」という。

寄主植物特異性は、植物の含む栄養や化学成分が種によって異なることや、植食者による食害を防ぐために植物がさまざまな毒物質や忌避成分を作るために、それらを解毒するしくみを進化させないとその植物を利用できないことなどによって生じると考えられている。昆虫と植物の間の生理学、生化学、生態学、共進

化などに関わる興味深い現象であるのみならず、農業生産や害虫防除などの観点からも注目され、基礎と応用の両面から活発な研究がおこなわれてきた。

寄主植物特異性の重要性

ある昆虫が特定の植物しか食べないという寄主植物特異性を示すとしよう。そのインパクトは食べ物が規定されるということにとどまらない。植物はそれぞれに適した環境に生えることから、その昆虫の生息場所や環境も規定される。さらには、その昆虫がさまざまな形で相互作用する可能性のある、近縁種や他種生物の群集までも大きく影響されることになる。異なる寄主植物利用を発端として生物の新しい種が形成されるという、いわゆる“同所的種分化”も起こりうる。このような重要な生物学的性質は、当然のことながら、その昆虫自身の遺伝子によって支配されているものと考えられてきた。



図1 (左) エンドウヒゲナガアブラムシ、(中) カラスノエンドウ、(右) シロツメクサ

アブラムシの共生細菌ブフネラ 生存に必須なパートナー

エンドウヒゲナガアブラムシは路傍の草地などにごく普通にみられる体長3 mmくらいの緑色の昆虫で、主要な寄主植物はカラスノエンドウとシロツメクサである(図1)。本種に限らずアブラムシ類は一般に、体の中に微生物との高度な共生系を有している。腹部に菌細胞という特殊な巨大細胞が多数あり、その細胞質の中には無数の共生細菌が収納されている(図2)。この細菌は大腸菌に比較的近縁で γ プロテオバクテリアに属し、ブフネラ(*Buchnera*)と呼ばれている。アブラムシの餌である植物の汁液にはさまざまな栄養素が不足しているが、ブフネラは必須アミノ酸やビタミンを効率よく合成して宿主に供給しており、アブラムシはブフネラを失うと、成長の遅れ、死亡率の増大、不妊化などの重篤な症状を示す。ブフネラも長い共生進化の過程で、自由生活に必要な多くの遺伝子を失っており、アブラムシの細胞の外で生きていくことはできない。すなわちアブラムシとブフネラは、お互いなしでは生きていけない必須共生関係にある。

アブラムシの二次共生細菌 機能未知の多様な共生者たち

アブラムシ類における共生細菌ブフネラの重要性は

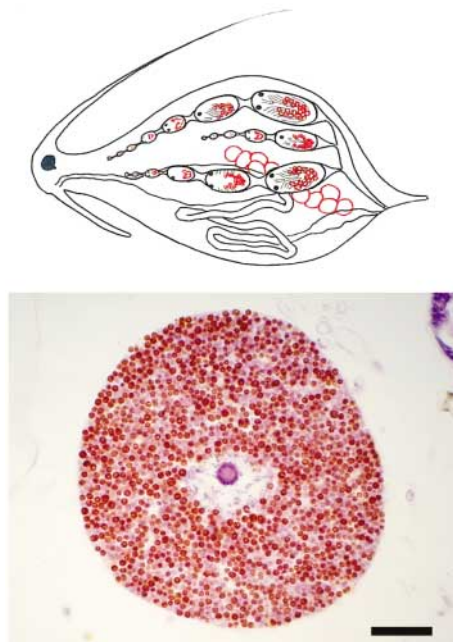


図2 アブラムシの内部共生系

(上) アブラムシ体内における菌細胞の分布を赤で示す。

(下) 菌細胞の顕微鏡写真。中央に抜けて見えるのが細胞核。細胞質中の無数の顆粒が共生細菌ブフネラ。スケールは25 μ m。

従来からよく知られていた。しかし、アブラムシの体内に共生している細菌はブフネラだけではない。さまざまなアブラムシ類において、多様な形態のもう1種類(もしくは2種類以上)の細菌が、ブフネラと共存しているのがごく普通にみられる。これらは“二次共生細菌”と総称されるが、その微生物学的実体や生物学的機能についてはほとんど不明であった。我々のグループは、このような未知の共生微生物群の多様性や機能の解明を目指して、さまざまなアプローチからの研究をおこなってきた。

シロツメクサと二次共生細菌PAUS

エンドウヒゲナガアブラムシ野外集団における共生細菌の多様性を調べていく過程で、我々はシロツメクサから採集したアブラムシが、ブフネラに加えてもう1種類の γ プロテオバクテリアに属する未記載の共生細菌(図3; Pea Aphid U-type Symbiont からPAUSと仮称)を頻繁に保有していることを見出した。

ブフネラと違い、PAUSはアブラムシの生存には必要ない。野外におけるPAUSの感染頻度は平均すると15%ほどにすぎない。しかしシロツメクサ上に限ってみると高頻度で検出される。なぜ宿主の生存に必要なない共生細菌が、カラスノエンドウ上では少なく、シロツメクサ上のアブラムシ集団にのみ蔓延しているのだろうか？

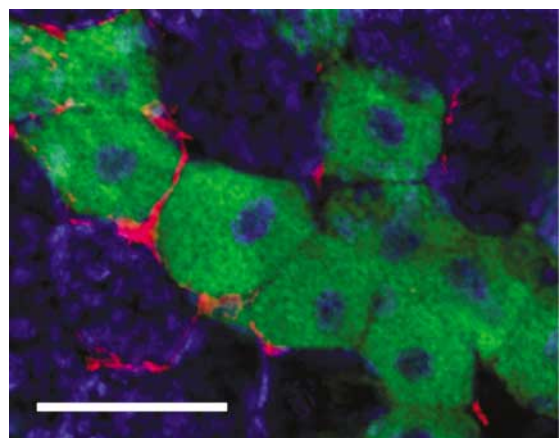


図3 エンドウヒゲナガアブラムシの二次共生細菌PAUSの体内分布

赤がPAUS、緑がブフネラ、青がアブラムシの細胞核。PAUSはブフネラの菌細胞の周縁に分布する扁平な細胞(鞘細胞と呼ばれる)の中に存在する。スケールは50 μ m。

PAUS感染がアブラムシの植物適応 を変える

シロツメクサ上で産子数が倍増！

我々は、新規に開発した抗生物質による選択的除去法を用いて、遺伝的背景が同一でPAUS感染のみが異なるアブラムシ系統を作成した。それら感染系統および非感染系統を、同一条件のもとでカラスノエンドウとシロツメクサの上で飼育して、PAUS感染が宿主アブラムシにどのような影響を与えるのかを評価した。

カラスノエンドウ上では、PAUS感染系統も非感染系統もよく繁殖し、いずれも生涯の産子数は100匹以上にのぼった。ところがシロツメクサ上ではPAUS感染系統は100匹以上の子どもを産んだが、非感染系統では産子数が半減した。このような非感染系統に微小注入法を用いてPAUSを再感染させると、産子数は100匹以上に回復した。

すなわちPAUSという共生細菌は、シロツメクサという特定の寄主植物上において、エンドウヒゲナガアブラムシの繁殖力を倍増させる能力を示したのである。

アブラムシにおけるPAUS感染の 効果と意義

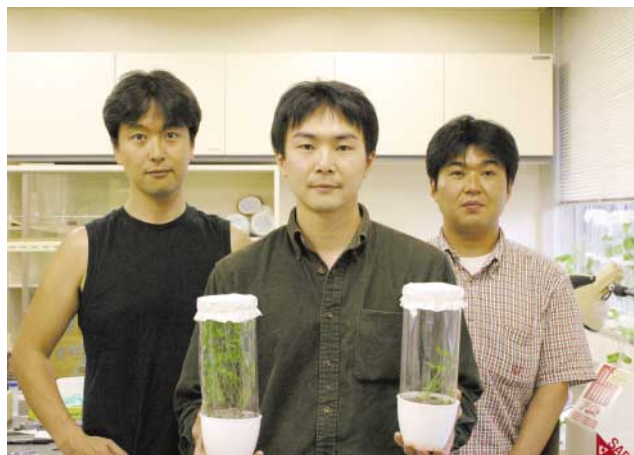
春の草原にはカラスノエンドウもシロツメクサもたくさん生えている。PAUSをもたないアブラムシは、カラスノエンドウ上でしか効率よく繁殖できない。ところがPAUSに感染したアブラムシは、カラスノエンドウもシロツメクサもほぼ同様に効率よく利用できる。すなわち、PAUS感染によってアブラムシが利用できる寄主植物の範囲が広がるのである。このような現象の生態的な意義はきわめて大きいものに違いない。

おそらくエンドウヒゲナガアブラムシにとって、シロツメクサはカラスノエンドウよりも質の劣った寄主植物なのであろう。PAUSの具体的な機能についてはまだ不明であるが、シロツメクサに足りない栄養分を補っているか、もしくはシロツメクサに含まれる有害物質を解毒しているといった可能性が考えられよう。

今後の展開

アブラムシの寄主植物適応がPAUS感染によって変化するという現象について、具体的な生理機構や分子機構を解明することが今後の最大の課題である。アブラムシ以外の昆虫類にもPAUSは感染しているのか、いるとすれば寄主植物特異性などの性質にどのような影響を与えているのかを探索していくことも重要な課題となろう。PAUSのような共生細菌の

機能解析やゲノム解析からは、基礎科学としてばかりではなく応用的にも重要な新知見が得られるかもしれない。これらの研究を通じて、共生微生物が宿主生物の環境適応に重要な役割を担うという現象の多様性、一般性、応用利用の可能性などについて追求していく予定である。



生物機能工学研究部門 生物共生相互作用研究グループ 研究グループ長 深津 武馬(写真左)、同研究グループ研究員 古賀 隆一(写真右)、同研究グループ特別研究員 土田 努(写真中央)

◆参考文献

- ・ Tsuchida, T., Koga, R., Fukatsu, T. (2004) Host plant specialization governed by facultative symbiont. *Science* 303: 1989.
- ・ Koga, R., Tsuchida, T., Fukatsu, T. (2003) Changing partners in an obligate symbiosis: a facultative endosymbiont can compensate for loss of the essential endosymbiont *Buchnera* in an aphid. *Proc. R. Soc. Lond. B* 270: 2543-2550.
- ・ Tsuchida, T., Koga, R., Shibao, H., Matsumoto, T., Fukatsu, T. (2002) Diversity and geographic distribution of secondary symbiotic bacteria in natural populations of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *Mol. Ecol.* 11: 2123-2135.

◆関連情報

- ・ プレス発表、平成16年3月26日: http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20040326/pr20040326.html

●産総研・生物機能工学研究部門の生物共生相互作用研究グループは、未探索の遺伝子資源の宝庫である難培養性の共生微生物を主要ターゲットとして、さまざまな研究を展開している。本研究成果は、深津武馬グループ長および古賀隆一研究員による、昆虫類にみられる多様な共生細菌の機能探索から得られたものである。東京大学総合文化研究科の大学院生であった(現：産総研特別研究員)土田努博士が本研究の主要部分を実際に遂行した。

●問い合わせ

独立行政法人 産業技術総合研究所
生物機能工学研究部門
生物共生相互作用研究グループ 研究グループ長 深津 武馬

E-mail : t-fukatsu@aist.go.jp

〒305-8566

茨城県つくば市東 1-1-1 中央第6