

COMPLEX ADAPTIVE TRAITS

Newsletter

新学術領域研究
「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明」



号外
昆虫の体色を変える共生細菌の発見

Vol. 1 No. S1 2010

表紙写真：

共生細菌感染によるエンドウヒゲナガアブラムシ *Acyrtosiphon pisum* の体色変化。緑色のアブラムシ（左）は赤色のアブラムシ（右）と同一のクローンであるが、共生細菌リケッチアの微小注入により体色が緑色に変化した（産業技術総合研究所 古賀隆一）

Symbiotic Bacterium Modifies Aphid Body Color

Tsutomu Tsuchida, Ryuichi Koga, Mitsuyo Horikawa, Tetsuto Tsunoda,
Takashi Maoka, Shogo Matsumoto, Jean-Christophe Simon,
and Takema Fukatsu

Science 330 (6007): 1102-1104

19 November 2010, DOI: 10.1126/science.1195463

Color variation within populations of the pea aphid influences relative susceptibility to predators and parasites. We have discovered that infection with a facultative endosymbiont of the genus *Rickettsiella* changes the insects' body color from red to green in natural populations. Approximately 8% of pea aphids collected in Western Europe carried the *Rickettsiella* infection. The infection increased amounts of blue-green polycyclic quinones, whereas it had less of an effect on yellow-red carotenoid pigments. The effect of the endosymbiont on body color is expected to influence prey-predator interactions, as well as interactions with other endosymbionts.

<http://www.sciencemag.org/content/330/6007/1102.abstract>

共生細菌がアブラムシの体色を変える

土田努、古賀隆一、堀川美津代、角田鉄人、眞岡孝至、松本正吾、
Jean-Christophe Simon、深津武馬

アブラムシ自然集団にはしばしば異なる体色の個体が共存し、それぞれが捕食や寄生の回避において異なる特性を示すことが知られていた。今回、エンドウヒゲナガアブラムシの自然集団から、赤色のアブラムシを緑色に変える *Rickettsiella* 属の新規な共生細菌を発見した。*Rickettsiella* の感染により、アブラムシの色素のうち青～緑色の多環式キノン類は増大したが、黄～赤色のカロチノイド系色素にはほとんど影響がなかった。*Rickettsiella* が体色を変えることで、アブラムシの捕食—被食関係にも大きな影響が生じる可能性がある。

<http://www.sciencemag.jp/science/index.jsp?seq=564>

昆虫の体色を変える共生細菌の発見

2010年11月18日産業技術総合研究所プレス発表

http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2010/pr20100929/pr20100929.html

2010年11月18日理化学研究所プレス発表

<http://www.riken.go.jp/r-world/info/release/press/2010/101119/index.html>

【概要】

独立行政法人 産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門の古賀 隆一 主任研究員、深津 武馬 研究グループ長らは、独立行政法人 理化学研究所 基幹研究所の土田 努 基礎科学特別研究員らと共同で、エンドウヒゲナガアブラムシのヨーロッパ集団からリケッチエラ属 (*Rickettsiella*) の新規な共生細菌を発見し、この共生細菌の感染により赤色のアブラムシが緑色に変化することを見出した。

生物の体色は、同種/異種の認識シグナル、配偶行動における婚姻色、天敵に対する隠蔽色、警告色、擬態など多彩な機能を担う極めて重要な性質である。このように外部から一見しただけでわかる「体の色」という生物の重要な性質が、体内の共生細菌によって劇的に変えられてしまうという現象は従来まったく知られていない。今回の発見は、生物の生態や環境適応の理解へ新たな観点を提示するものである。

この研究成果は米国の学術専門誌 *Science* で2010年11月19日に発表された。

【研究の内容】

多くの動物は色覚を持ち、色を手掛かりとして環境、すみか、食べ物、天敵、競争者、配偶者を認識している。すなわち動物の体色は、しばしば種の認識、配偶者をめぐる競争、擬態、警告色、隠蔽色などにかかわる生態的に重要な性質である。

アブラムシ類は4,000種以上が知られ、多くの重要な農業害虫種を含んでいるが、同一の種であっても異なる色彩を示す種が少なくない。例えばエンドウヒゲナガアブラムシの欧米集団では、集団内に赤色と緑色のアブラムシが同時に存在する (表紙写真)。色彩の異なる個体が同一種の中で共存する仕組みについては、主に生態学的な観点からの研究により、異なる捕食者の異なる色彩選好性が関与しているらしいとわかってきた。アブラムシの主要な捕食者はテントウムシや寄生蜂であるが、テントウムシは緑の植物の上で目立つ赤色のアブラムシを捕食する傾向があり、寄生蜂は緑色のアブラムシに、より高頻度で産卵するのである。

遺伝学的研究から、エンドウヒゲナガアブラムシの体色は赤色が緑色に対して優性であることがわかっていた。さらに最近発表されたエンドウヒゲナガアブラムシの概要ゲノム配列に基づいた研究により、菌類から遺伝子水平転移で獲得されたカロテノイド不飽和化酵素が体色を決めていることが判明した。この遺伝子を持つアブラムシは赤色系のカロテノイド色素を合成できるため赤色になるが、この遺伝子を欠いていると緑色になるのである。

フランス農業研究所との共同研究によりヨーロッパの野外集団由来のアブラムシ系統を収集したところ、緑色の母虫が赤色の幼虫を産む系統がいくつも得られた。これらの系統の幼虫は成長するにつれて体色が赤から緑に変化し、4令幼虫から成虫に至ると完全に緑色になった (図1)。これらのアブラムシ系統の共生細菌叢を調べたところ、必須共生細菌ブフネラ以外に2種類の共生細菌が感染していることがわかった。1つは既知の共生細菌ハミルトネラもしくはセラチアで、いずれかが感染していた。さらに、これまでアブラムシからは発見されていなかったリケッチエラ (*Rickettsiella*) 属の共生細菌が共感染していた (図2)。ヨーロッパのエンドウヒゲナガアブラムシ集団由来の353個体について調べたところ、28個体 (7.9%) がリケッチエラに感染しており、自然界における広範な分布が判明した (図3)。



図1：左より右へ、生後0日、4日、11日、15日のCGt10系統のアブラムシ。成長過程で体色が赤から緑に変化する。

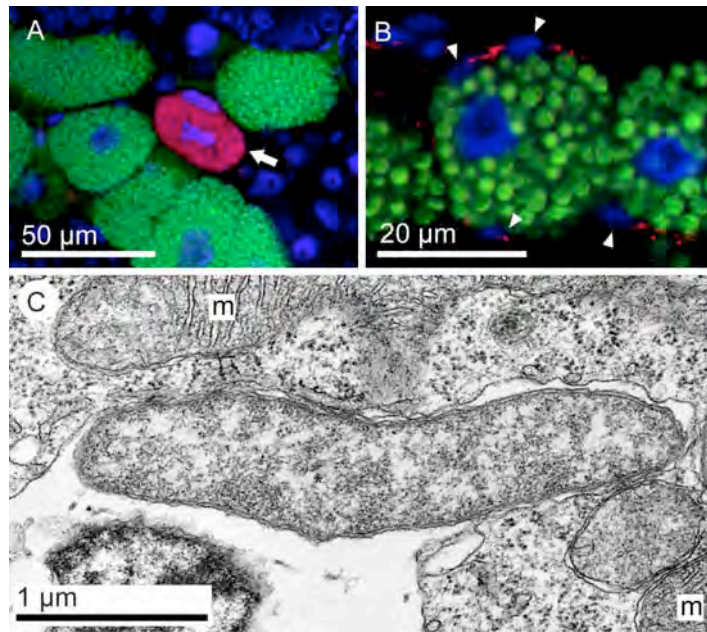


図2：アブラムシ体内でリケッチエラ（赤）は二次菌細胞（A、矢印）と微小で扁平な鞘細胞（B、矢頭）に局在し、一次菌細胞に局在するブフネラ（緑）とは異なる分布を示す。青はアブラムシの細胞核。（C）リケッチエラの透過電子顕微鏡像。mはミトコンドリア。

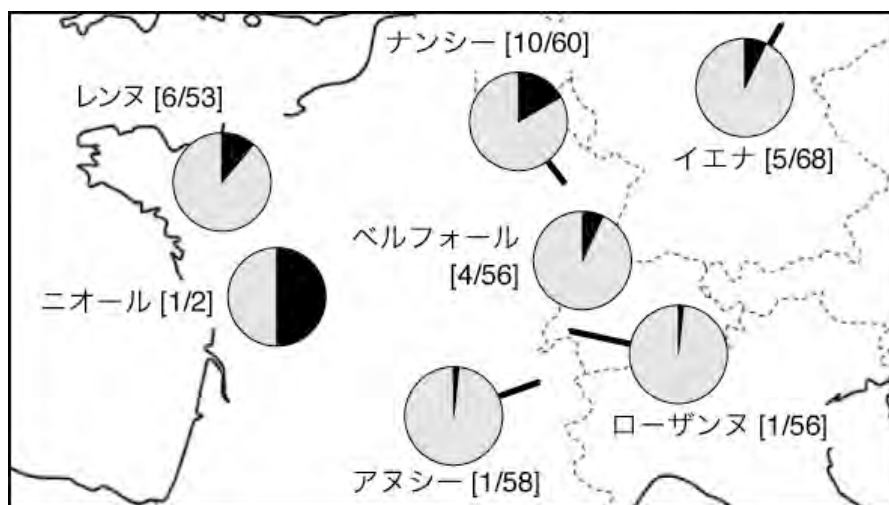


図3：フランス周辺のエンドウヒゲナガアブラムシ集団におけるリケッチエラ感染率。

リケッチエラに感染したアブラムシから体液を採取して、感染していない系統に微小注入し、その子孫を個別に飼育して、遺伝的背景が同一でありながらリケッチエラ感染/非感染のみが異なるアブラムシ系統を多数作成した (図 4)。すると、リケッチエラに感染させた赤色系統のアブラムシは、すべて体色が緑色になった (図 5)。

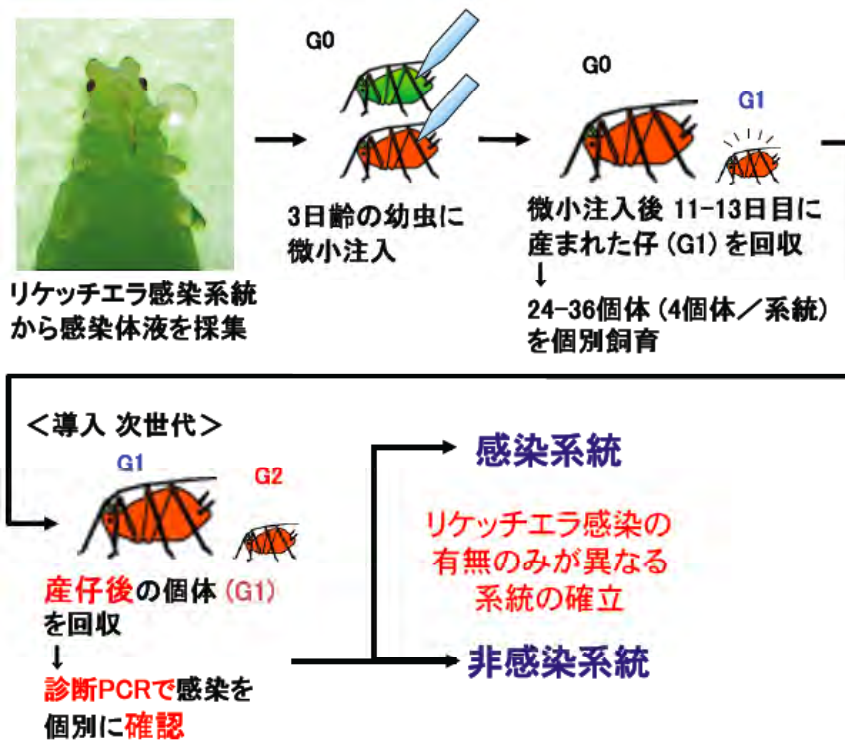


図 4 : 遺伝的背景が同一のリケッチエラ感染/非感染アブラムシ系統の作成方法。

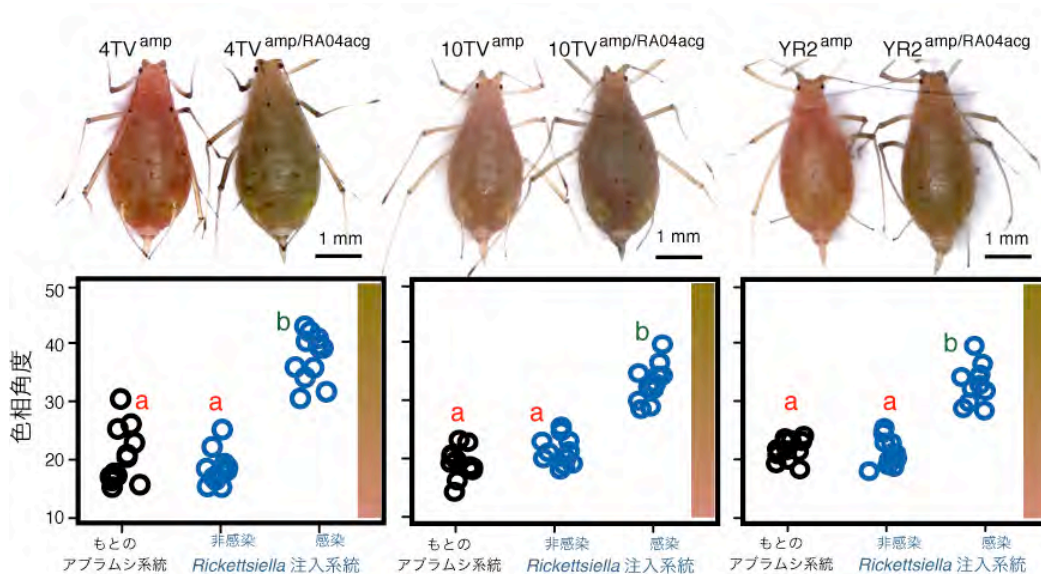


図 5 : リケッチエラ感染による赤色アブラムシ系統の緑色への体色変化。上段は外観。下段は体色の定量値 (色相角度)。小さな値は赤色、大きな値は緑色を示す。グラフ右側におおよその体色を示してある。

一方、もともと緑色だった系統にリケッチエラを感染させても特段の変化は見られなかった。3 系統のアブラムシについてリケッチエラ感染個体と非感染個体を作成して、体重、成長速度、産子数、寿命を比較したが、ほとんど有意な違いは見られなかった。すなわち、このリケッチエラは特に宿主アブラムシに悪影響を与えることなく、赤色の体色を緑色に変えることが判明した。

アブラムシの体色は主に、黄色から赤色のカロテノイド系色素と、緑色から青色などさまざまな色の多環性キノン系色素から構成される。リケッチエラに感染した緑色のアブラムシと非感染の赤色のアブラムシの色素分析を行ったところ、カロテノイド系色素の組成や量には大きな違いは見られなかった。一方、緑色系の色素については、感染状態による色素組成の変化はなかったが、その量が感染アブラムシでは非感染アブラムシの 3 倍以上に増加していた。リケッチエラ感染により、宿主アブラムシの緑色色素の生産が何らかの形で活性化されて体色変化が起こると推察される。

リケッチエラが感染して体色が赤から緑に変化すると、テントウムシには食べられにくくなるが、寄生蜂の攻撃は受けやすくなることが予想される。興味深いことに、リケッチエラに感染しているアブラムシの大部分（約 80 %）がハミルトネラもしくはセラチアという共生細菌にも感染していた。ハミルトネラやセラチアは産みつけられた卵や幼虫を殺すことにより、寄生蜂に対する耐性を賦与する。このことは、リケッチエラはアブラムシの体色を緑に変えてテントウムシに補食されにくくすると同時に、緑色のアブラムシに好んで産卵する寄生蜂に対する耐性を与える共生細菌と共感染することによって、宿主アブラムシの生存率、ひいては自分自身の生存率を上げている可能性を示唆している。

本研究成果は、自然界における生物の体色に体内の共生細菌が関係する例を示した世界で初めての報告となる。

【今後の展開】

このリケッチエラの全ゲノム解読を進めるとともに、リケッチエラ感染前後の宿主アブラムシの発現遺伝子変化を次世代 DNA シーケンサーにより網羅的に解析する。これらの研究から、共生細菌リケッチエラの感染が宿主アブラムシの遺伝子発現や代謝系にどのような影響を与え、宿主昆虫の体色変化という劇的な表現型を引き起こすのか、その分子機構を明らかにしたい。

【研究分担および支援】

土田努（理化学研究所）および古賀隆一（産業技術総合研究所）が本研究全般を主導的に推進した。他の研究者の担当は以下の通りである：堀川美津代、角田鉄人（徳島文理大学）アブラムシの緑色色素の分析；眞岡孝至（財団法人 生産開発科学研究所）アブラムシのカロテノイド色素の分析；松本正吾（理研）共生細菌機能解析の支援；Jean-Christophe Simon（フランス農業研究所）アブラムシ系統の収集、維持、遺伝子型分析；深津武馬（産総研）研究全般の策定、推進、論文執筆。本研究は日本学術振興会日仏交流促進事業（SAKURA プログラム）および文部科学省新学術領域研究「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明」の支援のもとで遂行された。

報道、社会への情報発信等

2010年11月18日 産業技術総合研究所／理化学研究所プレスリリース

http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2010/pr20100929/pr20100929.html

<http://www.riken.go.jp/r-world/info/release/press/2010/101119/index.html>

2010年11月19日 Science ハイライト「共生細菌がアブラムシの体色を変える」

<http://www.sciencemag.jp/science/index.jsp?seq=564>

2010年11月19日 Reuters Breaking Latest International News “Experts find bacteria that help pests change color”

<http://breakingnewsdir.com/experts-find-bacteria-that-help-pests-change-color-120043.html>

2010年11月19日 日経産業新聞「アブラムシの体色 体内細菌により急変 産総研など発見 赤→緑、数日で」

2010年11月19日 日刊工業新聞「細菌に感染したアブラムシ 体色 赤から緑に変化 産総研・理研など解明」

2010年11月19日 化学工業日報「共生細菌が昆虫の体色を変化 産総研—理研が発見」

2010年11月19日 フジサンケイビジネスアイ「細菌で体色変化、身を守る」

2010年12月3日 科学新聞「赤色アブラムシを緑色へ—産総研と理研の研究グループ—体色変化共生細菌発見」

2010年12月7日 朝日新聞「アブラムシ 共生細菌で変色 赤→緑 天敵あざむく効果？」

2010年12月14日 ライフサイエンス新着論文レビュー「共生細菌が昆虫の体色を変える」

<http://first.lifesciencedb.jp/archives/1597>

2010年12月14日 科学雑誌Newton 2月号「細菌のしわざで赤から緑へ」

<http://www.newtonpress.co.jp/science/newton/index2.html>

2011年1月25日 Natureダイジェスト 2月号「共生する細菌が昆虫の体色を変える」

<http://www.natureasia.com/japan/ndigest/toc.php#japau>

COMPLEX ADAPTIVE TRAITS Newsletter Vol. 1 No. S1

発行：2011年2月1日

発行者：新学術研究領域「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明」（領域代表者 長谷部光泰）

編集：COMPLEX ADAPTIVE TRAITS Newsletter 編集委員会（編集責任者 深津武馬）

領域URL：<http://staff.aist.go.jp/t-fukatsu/SGJHome.html>