

東京大学学術俯瞰講義 「かたち」と「はたらき」の生物進化—偶然か必然か—
2011年5月18日@東京大学教養学部18号館ホール

共生進化 生物多様性

産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門
生物共生進化機構研究グループ 研究グループ長

深津 武馬

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

※:このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。

生物多様性

Biodiversity

出発点

生物はめくるめくほどに
精妙で、美しく、興味深く
なにより多様である

どのようにしてこのような多様性が
生まれてきたのだろうか？

生物の多様性

地球上は驚くべき多種多様な生物で満ちあふれている

既知種は100万種以上

実際にはその数十倍から数百倍？もっと？実態は未知



多様性の生物学：**分類学、生態学** etc.

生物の共通性

全く違うように見える様々な生物もその根本はよく似ている
細胞から成る、遺伝子はDNA、酵素が様々な反応を触媒など
大腸菌もゾウリムシもトマトもヒトも、基本的な分子機構は同じ



共通性の生物学：**分子生物学、生化学** etc.

さて、一見すると矛盾するような**多様性**と**共通性**を
どうやって統一的に把握・理解することができるのか？

進化という概念

現在みられる多種多様な生物というのはもともとは単一の祖先生物が分かれ変化することによって生まれてきたものである

進化生物学

生物の進化の歴史やしくみの解明をめざす生物の多様性と共通性を統合して理解することを目的とする総合的な学問分野である

Nothing in biology makes sense except in the light of evolution

by Theodosius Dobzhansky

現代の進化学説

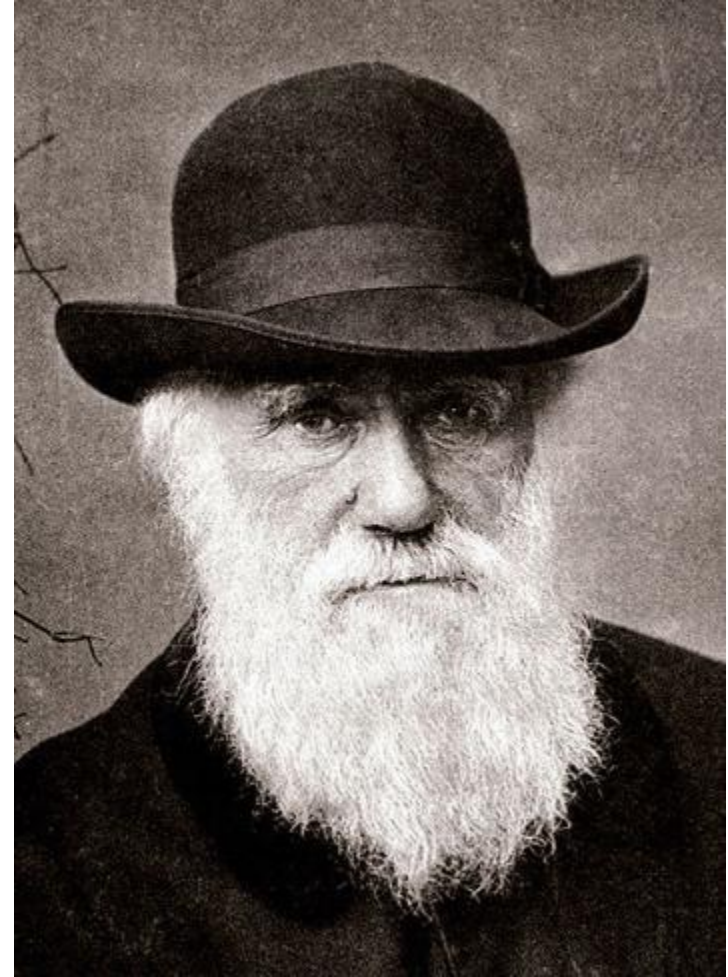
もともとダーウィンが
提出した考えを基礎に
遺伝学、分子生物学などの
様々な知見をとりこんで
発展してきた

ネオダーウィニズム

とか

進化の総合説

などと呼ばれる



Wikipediaより転載(2011/05/20)
http://ja.wikipedia.org/wiki/file:Charles_Darwin_1880.jpg

ネオダーウィニズムのエッセンス

「変異」「選択」「遺伝」

の3点セットがそろいさえすれば
適応進化はひとりでに進むということ

変異：生物の性質に個体ごとに違いがある

選択：その性質によって、生きのびて子孫を残せる
確率に違いがある

遺伝：その性質は多少なりとも子孫に伝えられる

すなわち「遺伝する変異」が進化の原材料であり

それらを「自然選択」が取捨選択することにより

驚くべき巧妙な生物の構造や性質や機能が
つくりあげられてきたのである

ネオダーウィニズムのエッセンス

「変異」「選択」「遺伝」

の3点セットがそろいさえすれば
適応進化はひとりでに進むということ

変異: 生物の性質に個体ごとに違いがある

選択: その性質によって、生きのびて子孫を残せる
確率に違いがある

遺伝: その性質は多少なりとも子孫に伝えられる

すなわち「偶然な変異」が進化の原材料であり

それらを「必然な選択」が取捨選択することにより

驚くべき巧妙な生物の構造や性質や機能が
つくりあげられてきたのである

では、進化の原材料たる
「**遺伝する変異**」はどこからやってくるのか？

3つのレベルの異なる過程がある

突然変異 mutation

生物個体の遺伝子DNAにおこる変化
複製エラー、放射線、化学ストレスなど様々な要因が関与
もっとも基本的な遺伝する変異である

性 sex

同じ生物種内の異なる個体に生じたさまざまな突然変異を
くみあわせて新しい性質をうみだしていく過程である

内部共生 endosymbiosis

遺伝子水平転移 lateral gene transfer

全く異なる進化の途をたどってきた複数の生物もしくは遺伝子を
くみあわせることにより、新たな機能をもった生物複合体を
創出するダイナミックな過程である

まず「共生」とはなにか

広い意味：

異なる生物が相互作用しながら一緒に生きている状態のこと
寄生とか、片利とか、なんとなく一緒にいるとか、
あらゆる関係を含んだ概念
こちらが“共に生きる”という本来の意味である

狭い意味：

異なる生物がお互いに利益になるような関係をもって
一緒に生きている状態のこと
“相利関係”というのがより正確な表現なのだが
日常会話や非生物学分野では
こちらの意味で使われることが多い

共生 Symbiosis

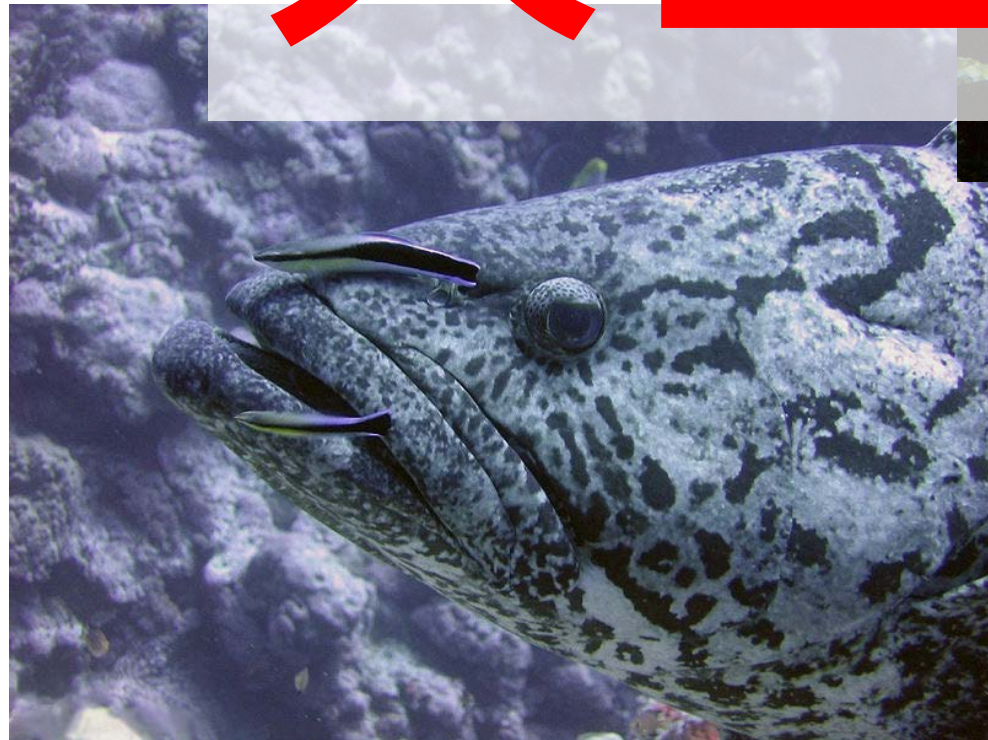
元来きわめて広い意味をもち
以下のような諸関係を包含する概念である

		生物B		
		+	-	0
生物A	+	相利 Mutualism		
	-	捕食 Predation 寄生 Parasitism	競争 Competition	
	0	片利 Commensalism	抑圧 Suppression	中立 Neutralism

共生



Wikipediaより転載(2012/01/31)
http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Calliactis_and_Dardanus_001.JPG



Wikipediaより転載(2012/01/31)
http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Epinephelus_tukula_is_cleaned_by_two_Labroides_dimidiatus.jpg



Wikipediaより転載(2011/12/07)
http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Common_clownfish.jpg

では「**内部共生**」とはなにか？

ある生物の体内に他の生物（ほとんどの場合は微生物）
がとりこまれ、永続的もしくは半永続的に
共生している状態

最高の空間的近接性で成立する共生関係

きわめて高度な相互作用、依存関係がみられる

しばしば共生関係により新規な生物機能が創出される

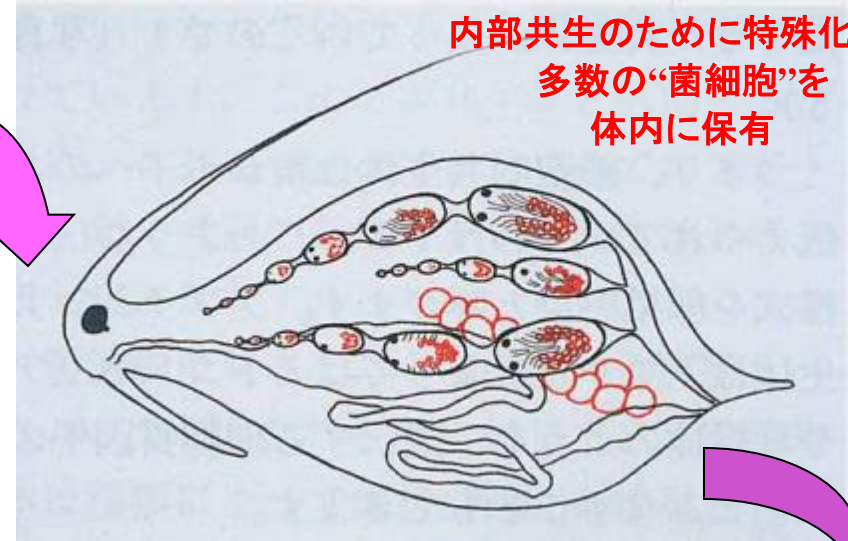
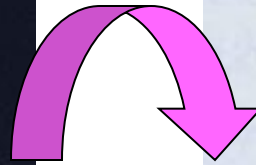
多くの場合、共生微生物と宿主は一体化して
ひとつの生物のようにまでなってしまう

いわば「**究極の共生**」関係

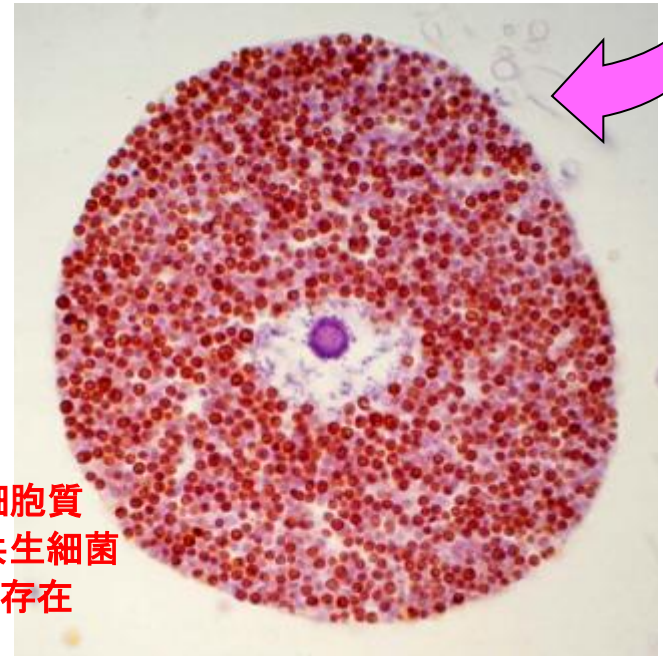
アブラムシの内部共生系



エンドウヒゲナガアブラムシ



内部共生のために特殊化した
多数の“菌細胞”を
体内に保有



菌細胞の細胞質
には無数の共生細菌
ブフネラが存在

アブラムシの内部共生系

内部共生のために特殊化した
多数の“菌細胞”を
体内に保有

アブラムシはブフネラなしでは生きていけない

ブフネラもアブラムシ細胞外では生きていけない

ブフネラのゲノムは著しく縮小(大腸菌の1/7)

両者の共生関係には 1億年以上の歴史

菌細胞の細胞質
には無数の共生細菌
ブフネラが存在

エンドウヒゲナガアブラムシ

内部共生微生物

宿主生物の体内に永住的もしくは半永住的に存在する微生物

その実体は

細菌、真菌、原生生物などさまざま

共生における相互関係、生物機能、共生部位、次世代への伝達などにより

以下のように

便宜的に分類されることがある

内部共生 関係の 便宜的な 分類

◎相互作用の種類 による分類

- 相利 mutualism
 - 片利 commensalism
 - 寄生 parasitism
 - 中立 neutralism
- 必須共生 obligatory symbiosis
 - 任意共生 facultative symbiosis

◎機能による分類

- 消化共生
- 栄養共生
- 防衛共生
- 発光共生

※ただし
これらの枠組み
にあてはまらない
ようなものも
しばしばある
ことに留意

◎共生部位による 分類

- 体腔外共生
 - 消化管内共生
 - 外部共生 器官共生
- 体腔内共生
 - 細胞外共生
 - 細胞内共生

◎次世代への伝達様式 による分類

- 水平感染
- 垂直感染
 - 経口感染
 - 経卵感染
 - 卵巣感染

シロアリ

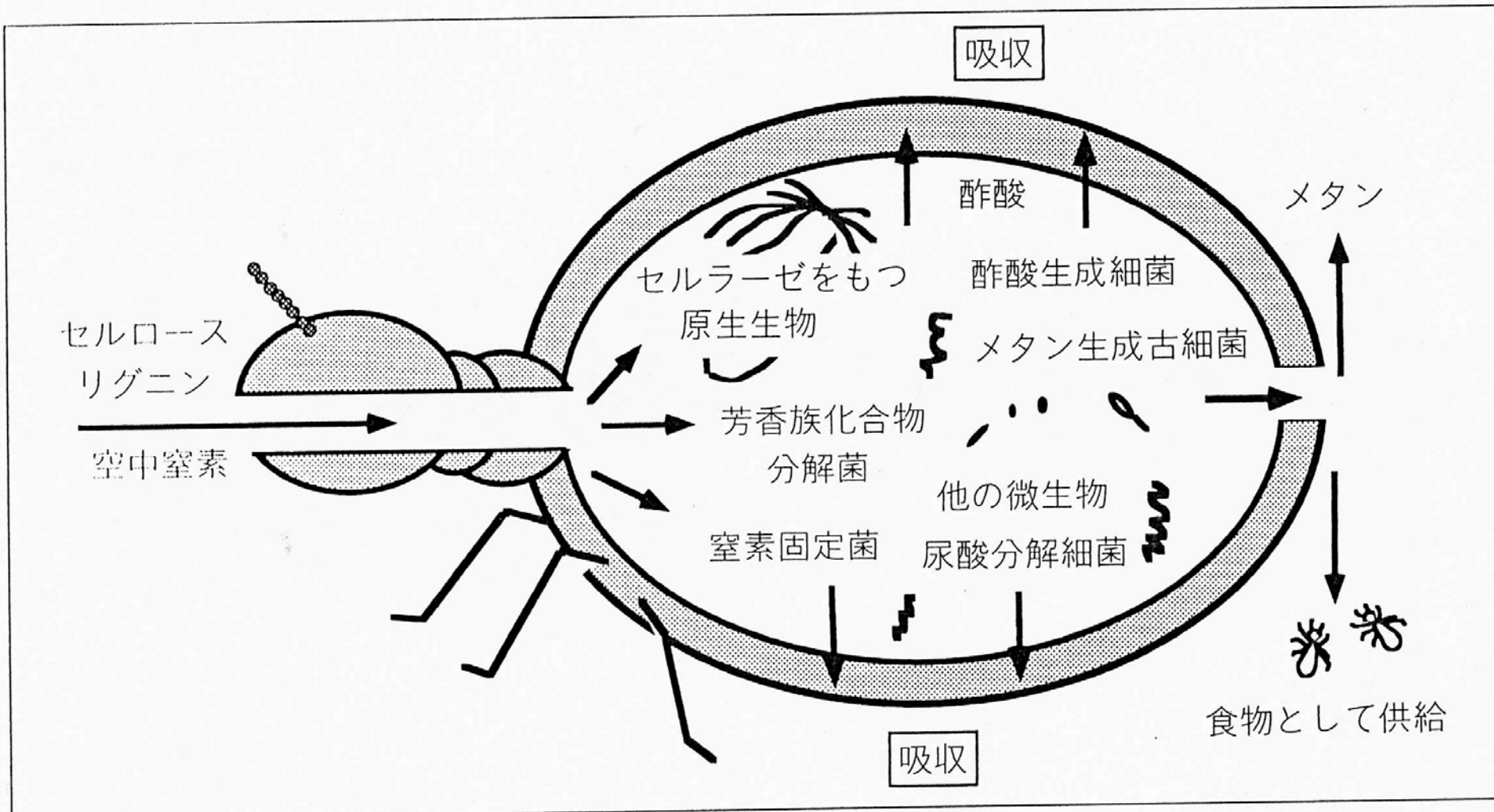
ふつうの動物には消化困難な木材などを食物とする



Wikipediaより転載(2012/6/7)

http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Coptotermes_formosanus_shiraki_USGov_k8204-7.jpg

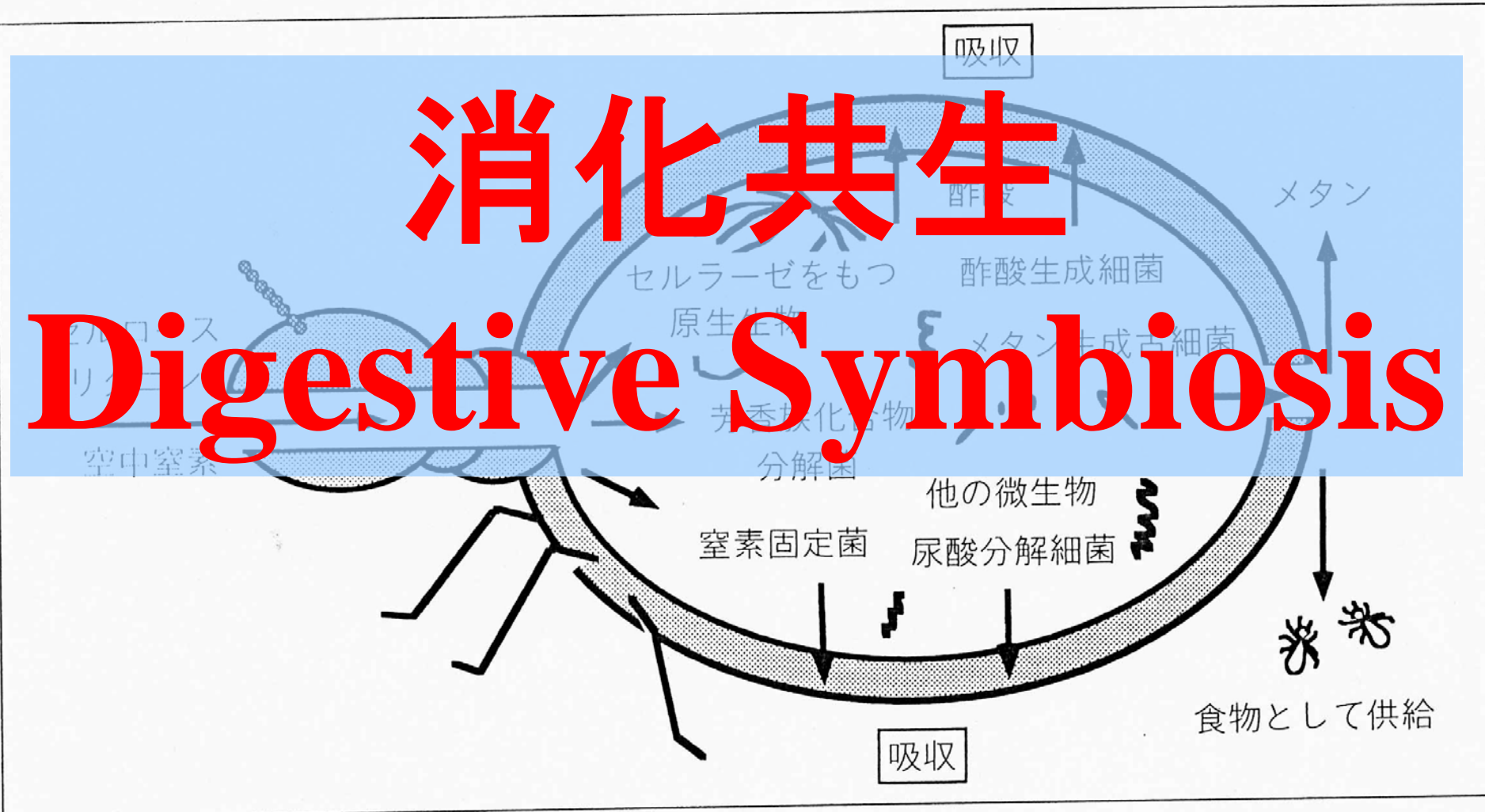
シロアリにおける腸内微生物との共生関係



シロアリにおける 腸内微生物との共生関係

消化共生

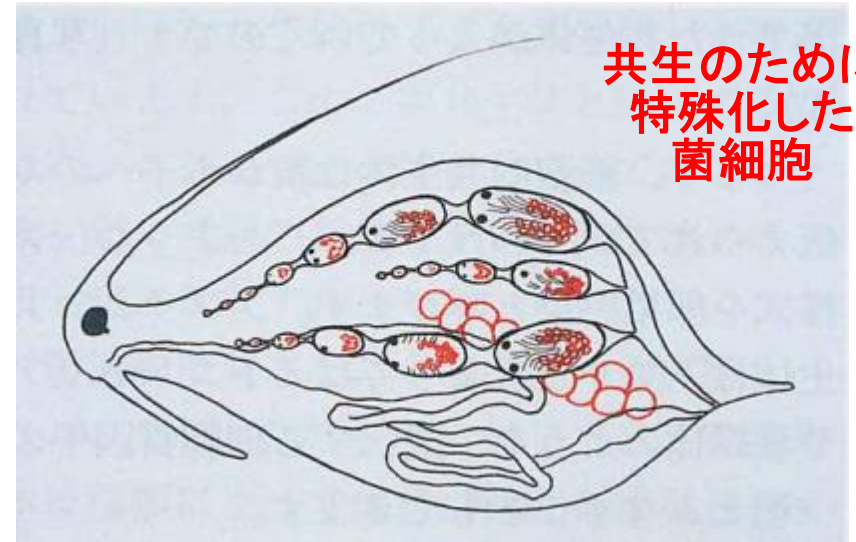
Digestive Symbiosis



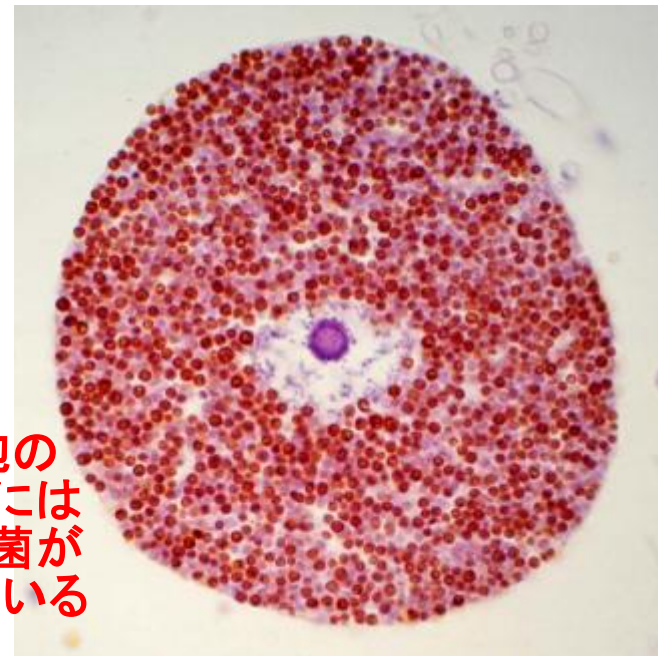
アブラムシの細胞内共生細菌ブフネラ



エンドウヒゲナガアブラムシ

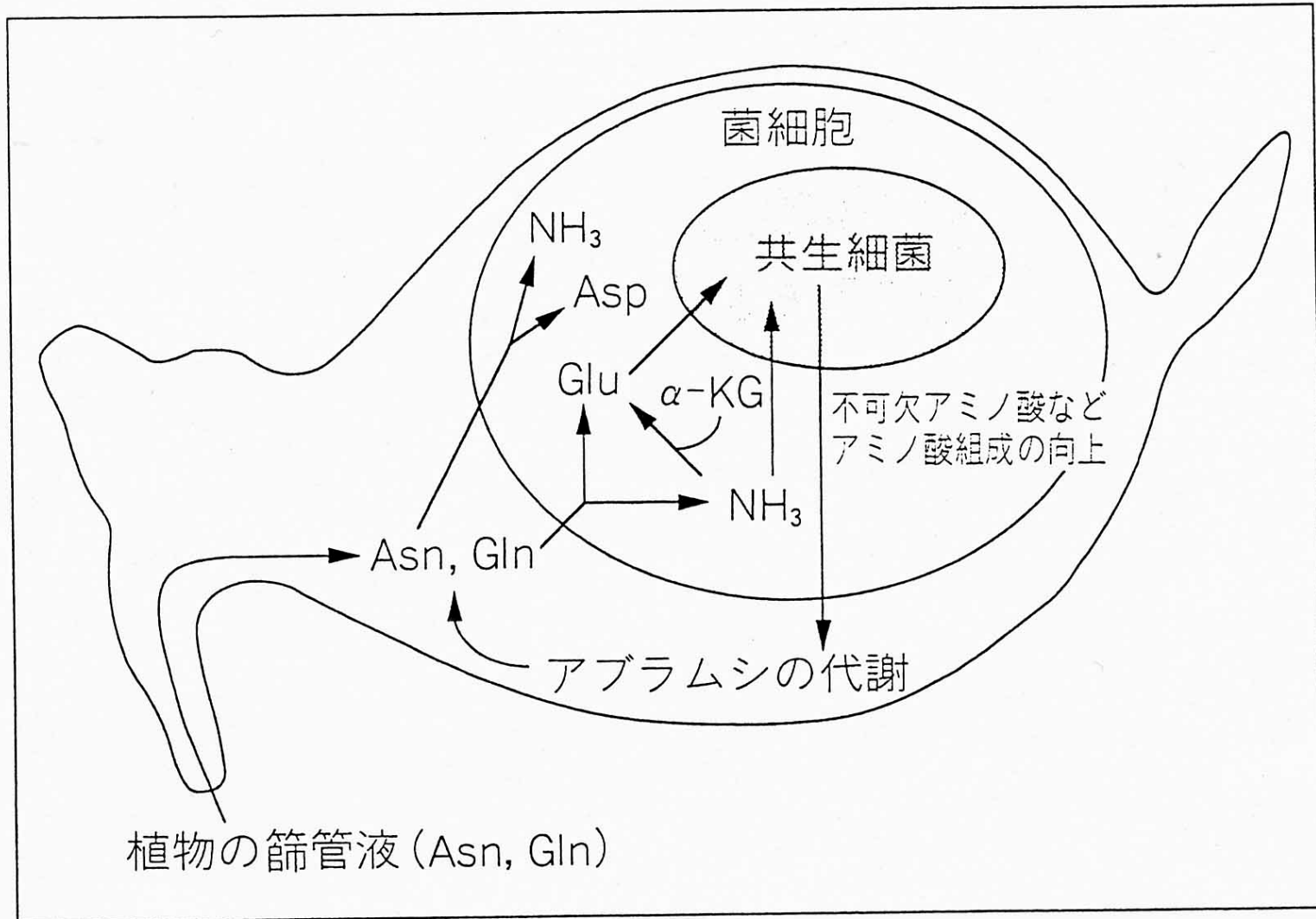


共生のために
特殊化した
菌細胞

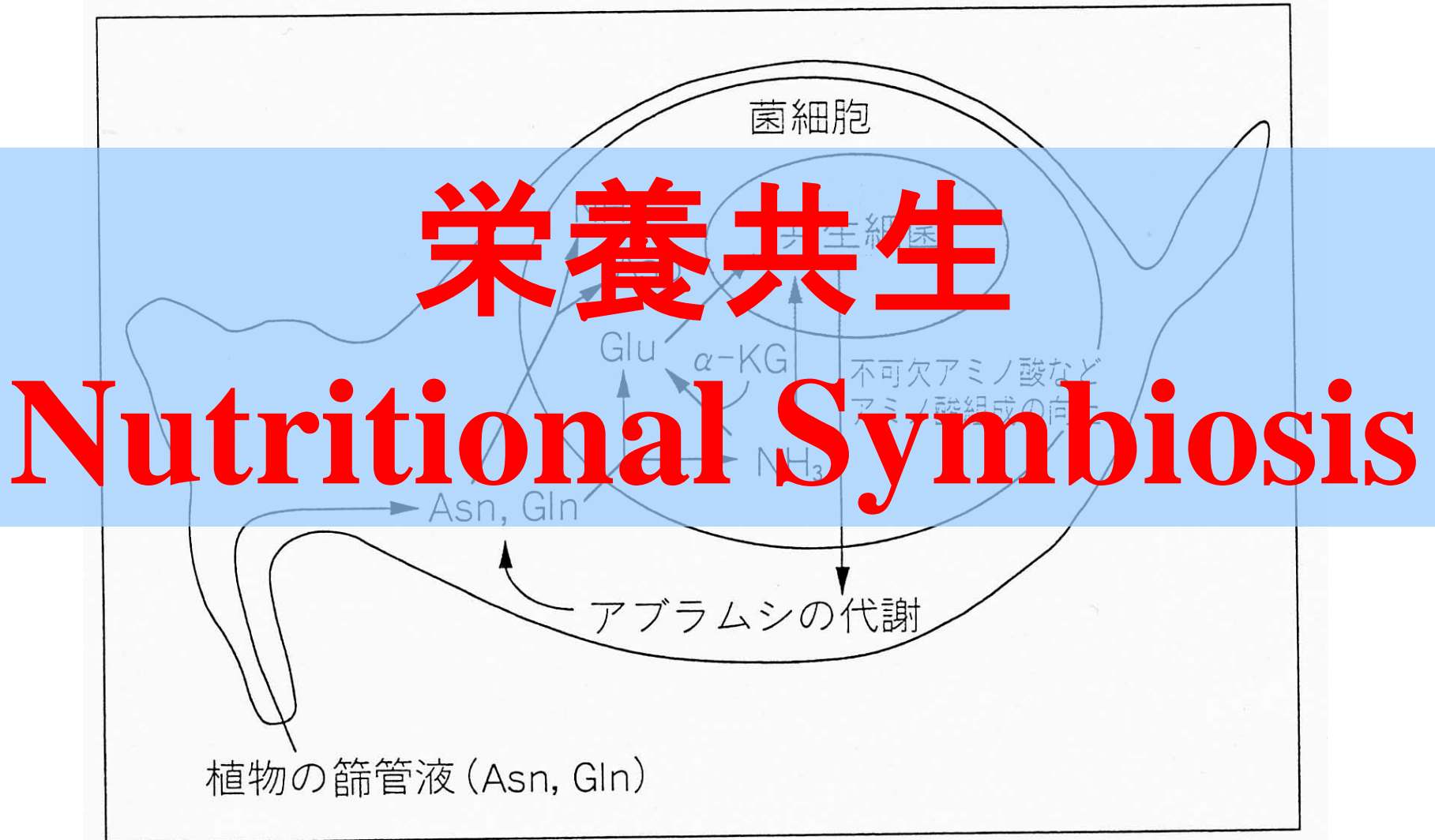


菌細胞の
細胞質には
共生細菌が
充満している

アブラムシと共生細菌ブフネラの共生関係 アミノ酸の合成、代謝への関与



アブラムシと共生細菌ブフネラの共生関係 アミノ酸の合成、代謝への関与



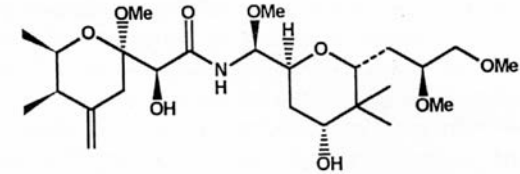
有毒昆虫アリガタハネカクシ類

体液中に高濃度のペデリン Pederin を保有し・・・



⚠ ©entomart

<http://www.entomart.be/INS-1220.html>



Pederin



⚠

<http://www.uhp.co.jp/column/index.php>

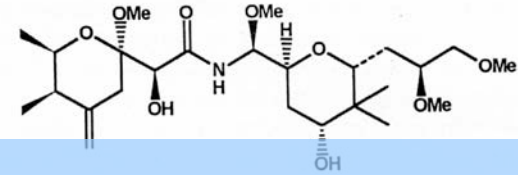
アオバアリガタハネカクシ
顕著な警戒色を示す“派手な”有毒昆虫

誤ってつぶすと強烈に痛い線状皮膚炎
dermatidis linealis を引き起こす

実はこの毒は共生細菌の産物！

有毒昆虫アリガタハネカクシ類

体液中に高濃度のペデリン Pederin を保有し・・・



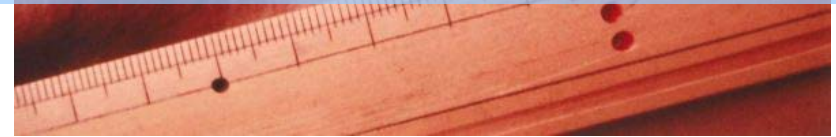
Pederin

防衛共生

Defensive Symbiosis

アオバアリガタハネカクシ

顕著な警戒色を示す“派手な”有毒昆虫



<http://www.uhp.co.jp/column/index.php>

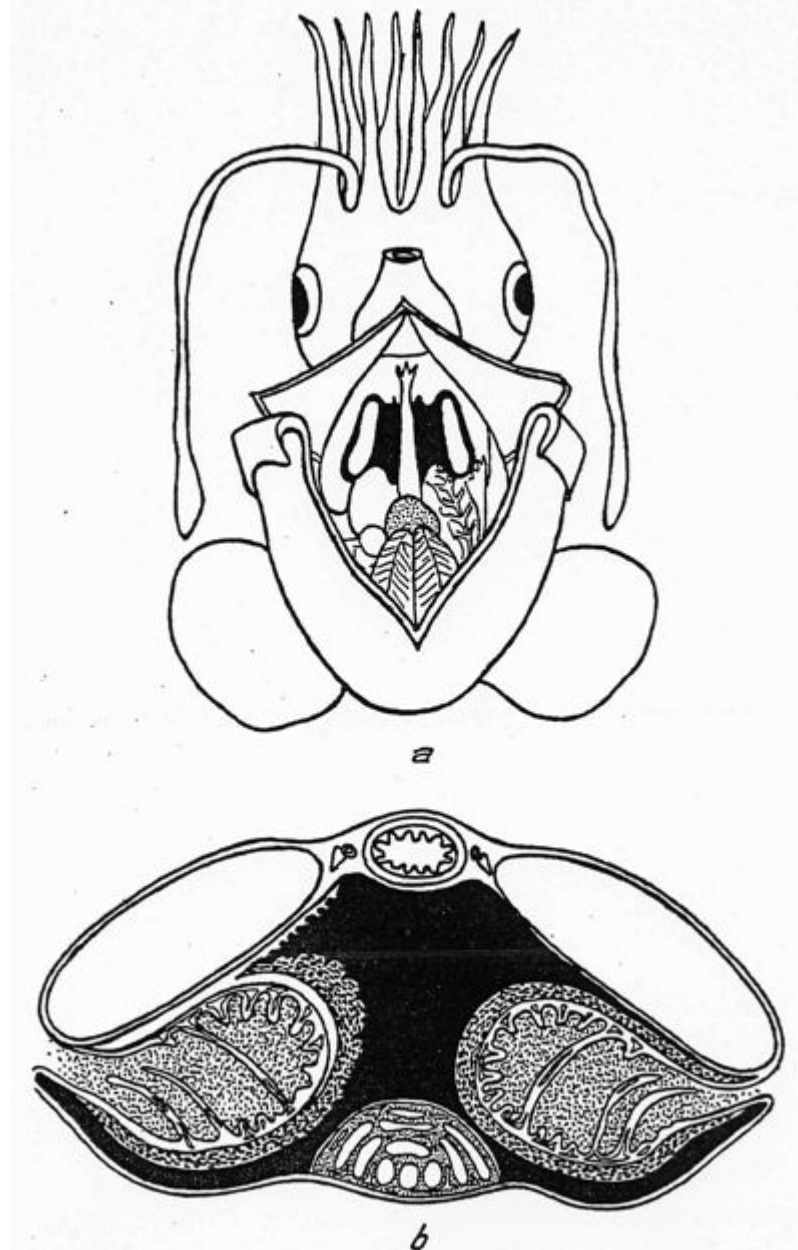
誤ってつぶすと強烈に痛い線状皮膚炎
dermatidis linealis を引き起こす

実はこの毒は共生細菌の産物！

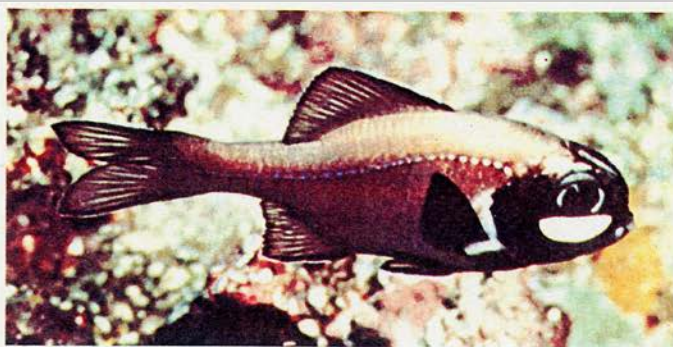
ミイカ *Euprymna* sp. の発光器官



† © Spencer Nyholm



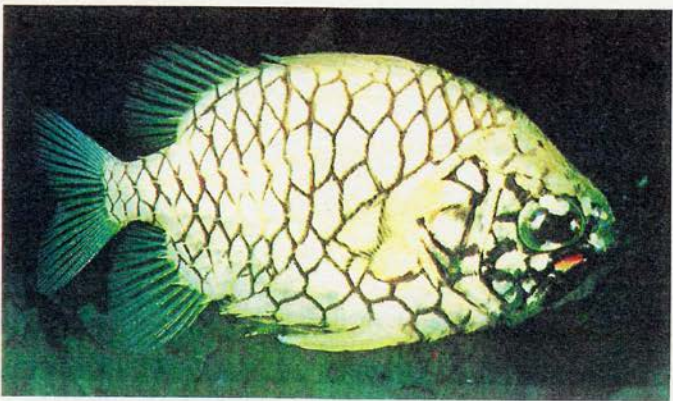
† Kishitani T. (1932) Studiend uber Leuchtsymbiose von Japanischen Sepien. *Folia Anatomica Japonica* 10:315-418, p.348 Fig.12 and Fig.13.



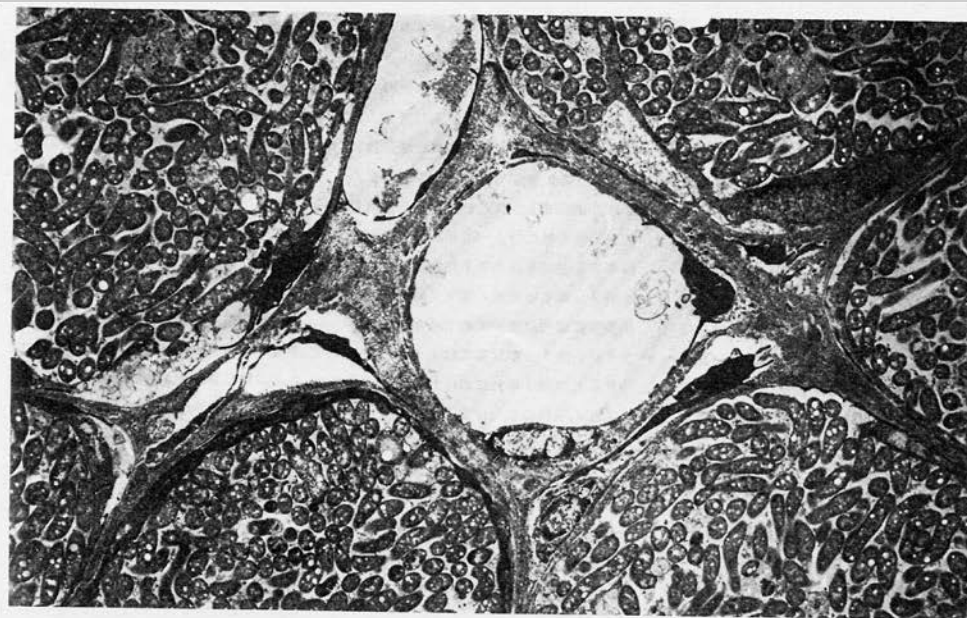
Photoblepharon palpebratus の写真 夜間、およそ30メートルの深度で、インド洋で、パウエル (David C. Powell) によって撮影された。パウエルはサンフランシスコにある、ステインハート水族館に勤務している。この魚は夜間、深い所でのみ活動する。そのために、その生態についての情報を得るのは困難である。目下のところ、水族館には、何匹かが飼育されている。



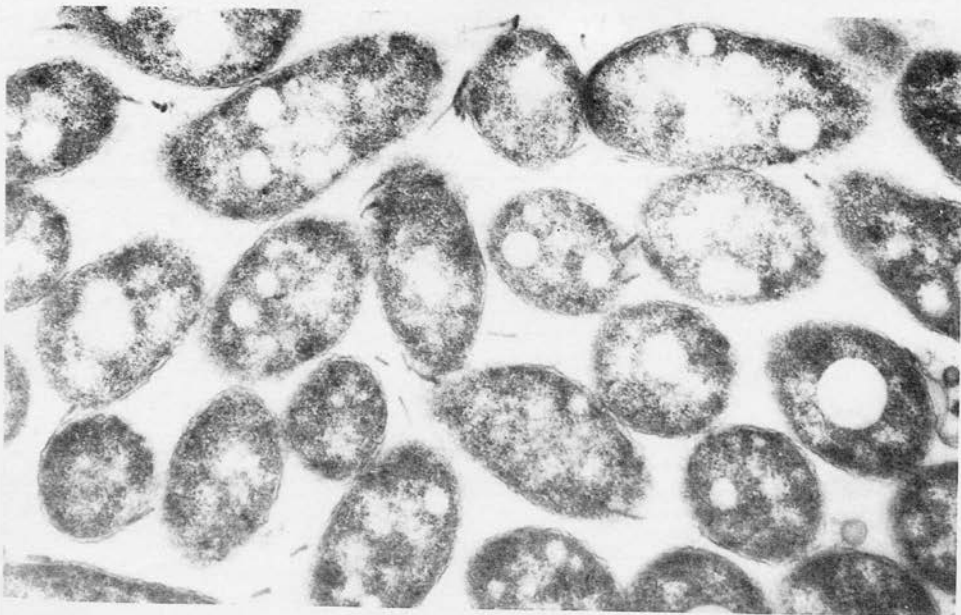
Anomalops katoptron の写真 生物学者が生きたままに観察した発光魚の今ひとつの種である。この魚はPhotoblepharonとは、その発光を調節する仕組みがちがっている。発光器官の前面に膜をあげるかわりに、それを回転させてしまいこむようにする。Anomalops もまた群生し、200尾ほどで群をなし、夜、海面近くで餌をとる。



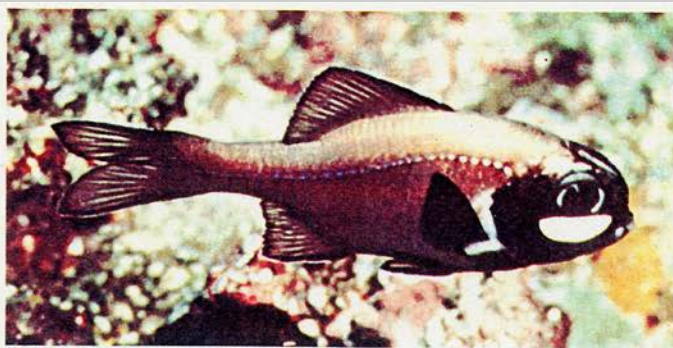
Cleiodopus gloriamaris マツカサウオと呼ばれる。閃光性の発光魚ではないが、やはり光を放つ。その発光器官は固定されていて、オレンジ色の体色によって、青味をおびた光は青緑色にかえられる。スクリップス海洋研究所での研究によれば、ここに示した3種の魚の発光器官はそれぞれバクテリアの異なった種のコロニーを持っている



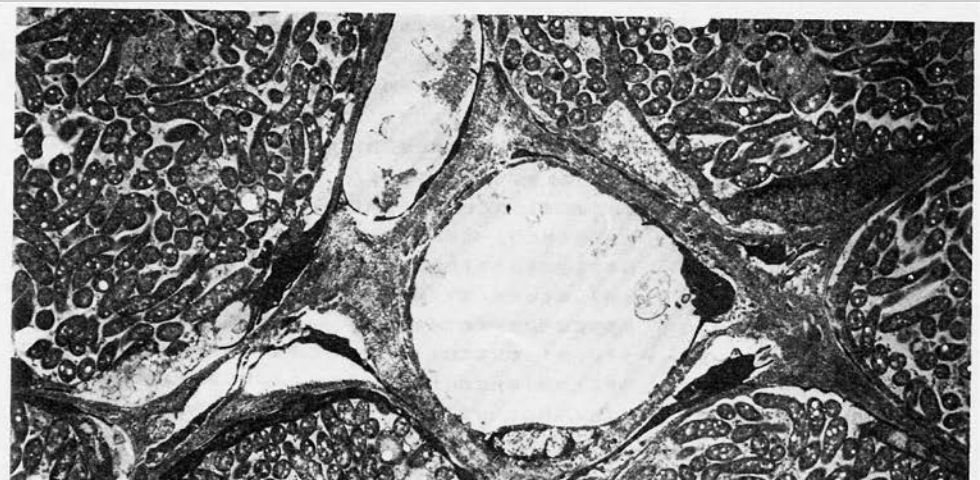
発光バクテリアの電子顕微鏡写真 サンフランシスコの小児科医ラギオス (Michael D. Lagios) が電子顕微鏡で撮影した、Photoblepharon palpebratus の発光器官中のバクテリア。直径で5700倍である。バクテリアは楕円形や球形をしていて、中心管をかこむ腔所の中にある。



バクテリアの拡大写真 2万8500倍に拡大したもの。ペル毛が見える。この種のバクテリアの詳細は不明である。バクテリアの体内の白い円は電子線によって、バクテリア中の顆粒が蒸発した結果である。こうしたバクテリアが、発光器官中にどのようにして取り込まれるかはよくわからない。



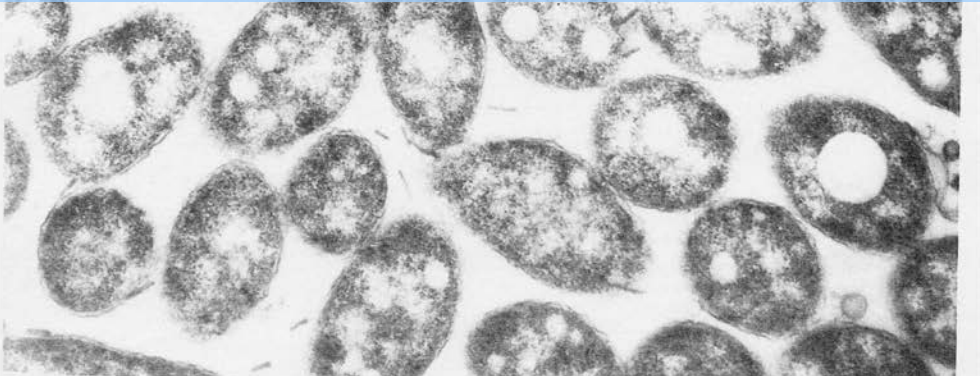
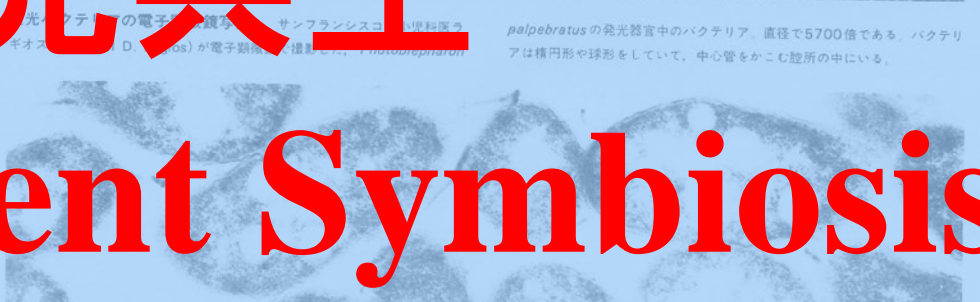
Photoblepharon palpebratus の写真 夜間、およそ30メートルの深度で、インド洋で、パウエル (David C. Powell) によって撮影された。パウエルはサンフランシスコにある、ステインハート水族館に勤務している。この魚は夜間、深い所でのみ活動する。そのために、その生態についての情報を得るのは困難である。目下のところ、水族館には、何匹かが飼育されている。



Photoblepharon palpebratus の発光器官中の細菌。直径で5700倍である。細菌は楕円形や球形をしていて、中心管をかこむ腔所の中にある。



Anomalops katopuloides の写真 生体発光する魚類の中で、最も発光がひどい種である。Anomalops katopuloides は、夜、海面近くで餌をとり、それを回転させてしまいこむようにする。Anomalops もまた群生し、200尾ほどで群をなし、夜、海面近くで餌をとり、それを回転させてしまいこむようにする。



細菌の拡大写真 2万8500倍に拡大したもの。ペル毛が見える。この種の細菌の詳細は不明である。細菌の体内の白い円は電子線によって、細菌中の顆粒が蒸発した結果である。こうした細菌が、発光器官中にどのようにして取り込まれるかはよくわからない。



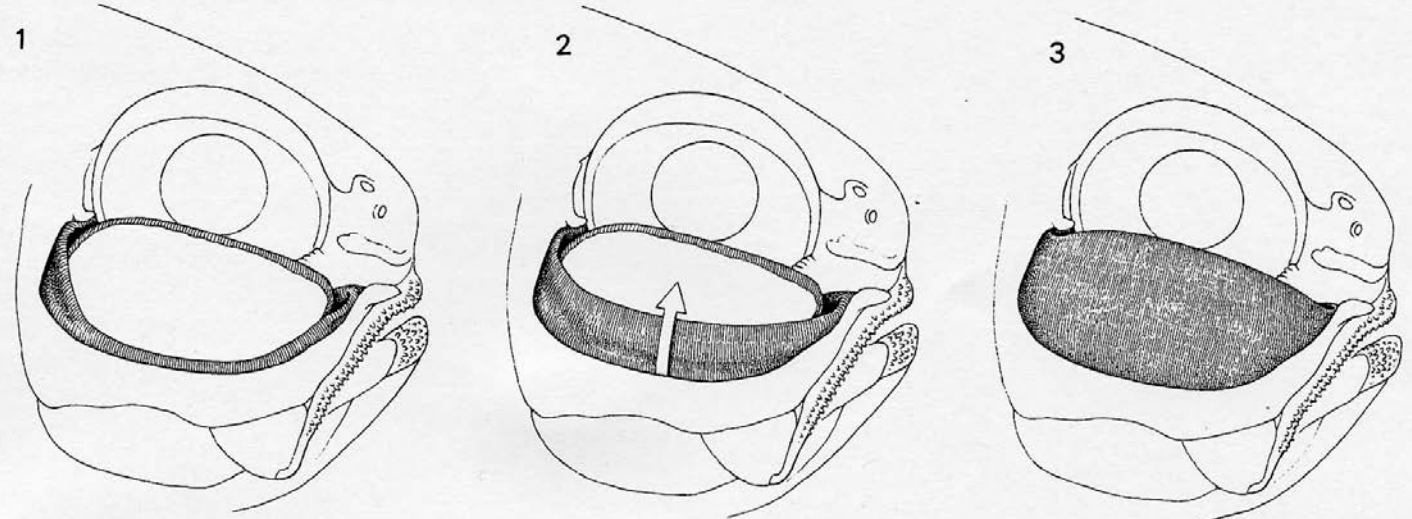
Kleidopus gloriamaris マツカサウオと呼ばれる。閃光性の発光魚ではないが、やはり光を放つ。その発光器官は固定されていて、オレンジ色の体色によって、青味をおびた光は青緑色にかえられる。スクリッps海洋研究所での研究によれば、ここに示した3種の魚の発光器官はそれぞれ細菌の異なった種のコロニーを持っている

発光共生

Luminescent Symbiosis

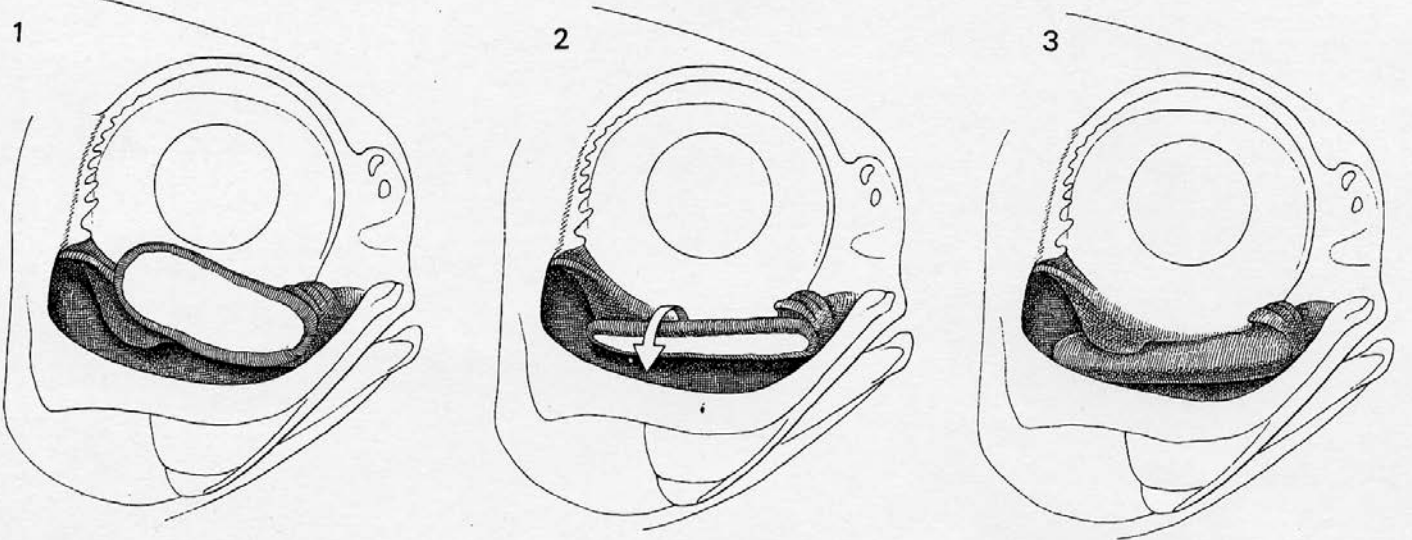


発光魚の 共生発光器官 における 光明滅機構



膜を開閉させる発光器官 図は、*Photoblepharon palpebratus*の発光器官で、まぶたのように、発光器官をおおう膜（黒色）がある。1は正常

の状態である。2と3は魚が膜を持ち上げて、発光器官の光を消すようである。こうして、発光が点滅されるようになっている。



回転型の発光器官 図は*Anomalops katoptron*の発光器官で、これは回転して、しまいこまれるようになっている。1は発光器官が筋肉によっ

てつり下げられている状態。2と3は魚が筋肉を回転させて、発光器官をしまいこむところである。上下2種ともに、秒当たり数回点滅する。

内部共生 関係の 便宜的な 分類

◎相互作用の種類 による分類

- 相利 mutualism
 - 片利 commensalism
 - 寄生 parasitism
 - 中立 neutralism
- 必須共生 obligatory symbiosis
 - 任意共生 facultative symbiosis

◎機能による分類

- 消化共生
- 栄養共生
- 防衛共生
- 発光共生

※ただし
これらの枠組み
にあてはまらない
ようなものも
しばしばある
ことに留意

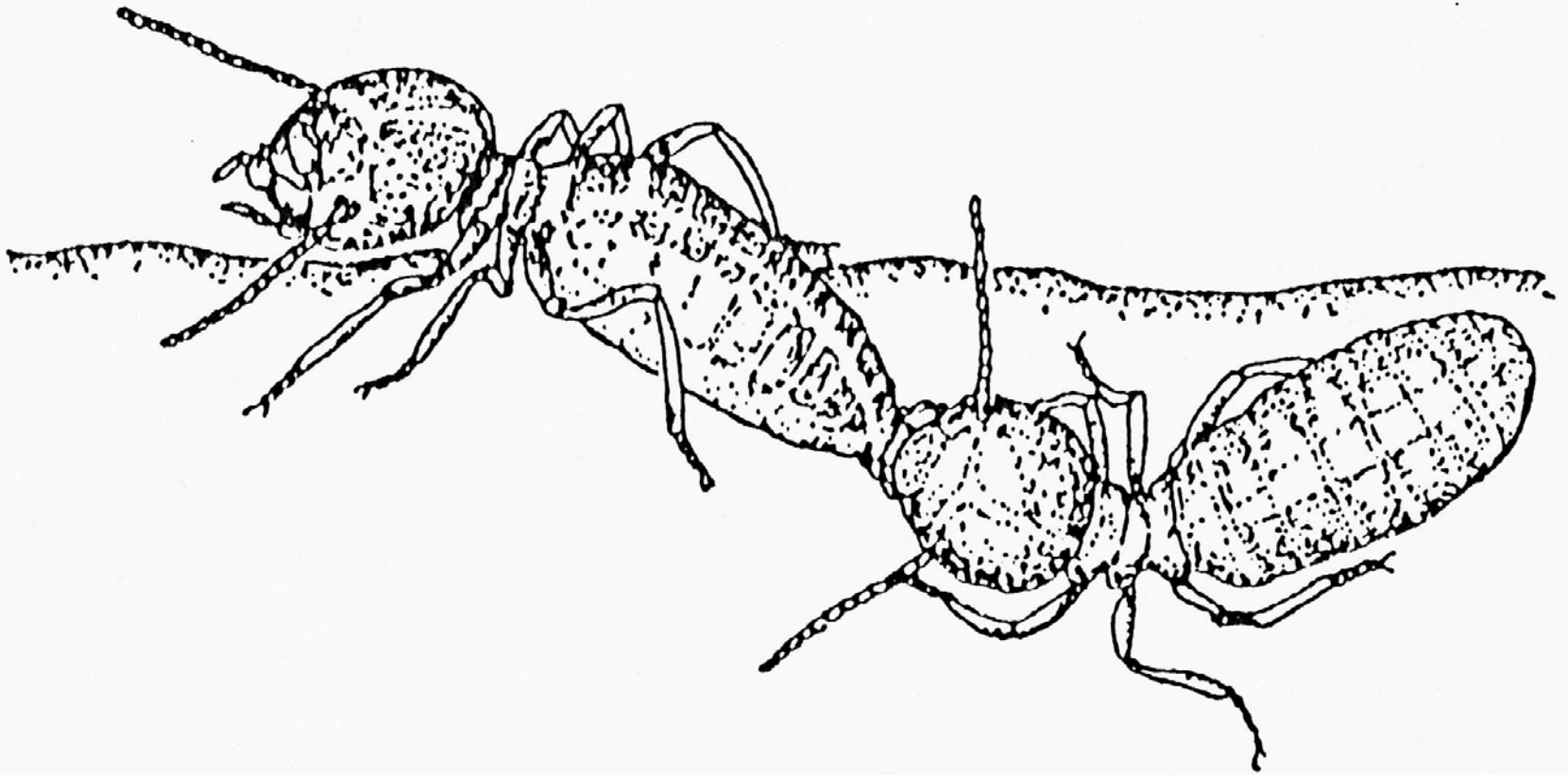
◎共生部位による 分類

- 体腔外共生
 - 腸内共生
 - 外部共生
 - 器官共生
- 体腔内共生
 - 細胞外共生
 - 細胞内共生

◎次世代への伝達様式 による分類

- 水平感染
- 垂直感染
 - 経口感染
 - 経卵感染
 - 卵巣感染

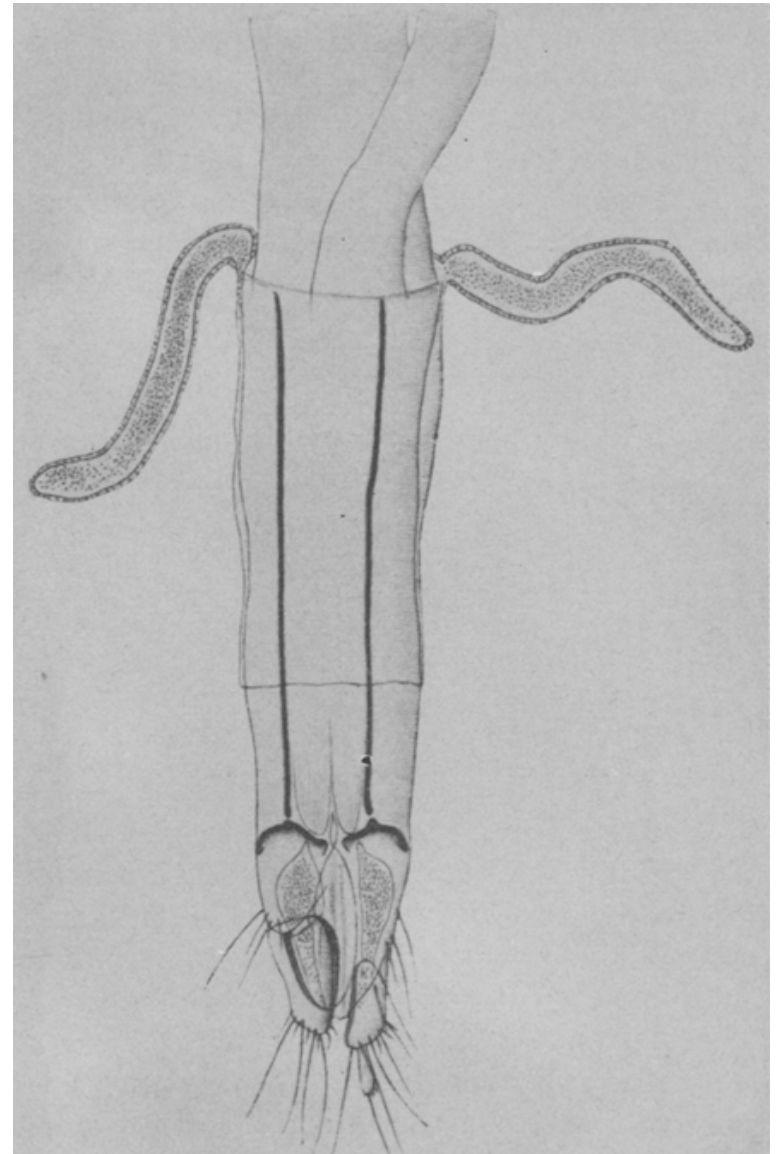
シロアリの肛門食による 腸内共生微生物の伝達



ジンサンシバンムシの産卵管基部にある 1対の共生微生物伝達器官



⚡ Wikipediaより転載(2011/05/24)
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stegobium_paniceum.jpg



⚡ With kind permission from Springer Science+Business Media: Zoomorphology, Beiträge zur Kenntnis der Anobiidensymbiose, 11, 1928, 495-538, Erich Breitsprecher, Abb.3.

マルカメムシにおける共生細菌のカプセル伝達

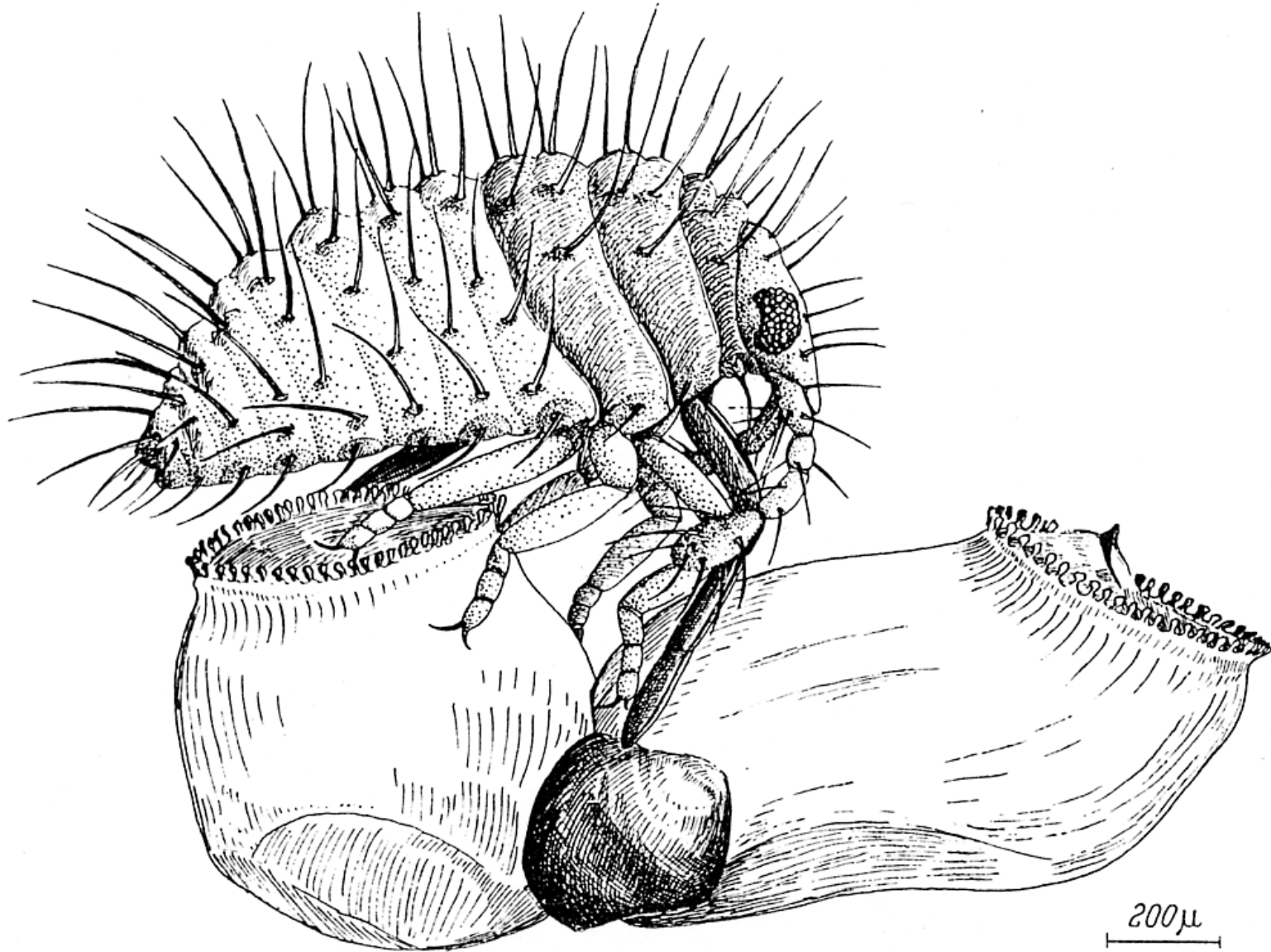


Abb. 1. Frisch geschlüpfte Junglarve von *Coptosoma scutellatum* GEOFFR. beim Besaugen des Symbiontenballens zwischen zwei Eiern eines Geleges

共生細菌カプセルを吸うマルカメムシ孵化幼虫



Takahiro Hosokawa

卵巣内のアブラムシ初期胚への 共生細菌ブフネラの感染



生物界における内部共生の普遍性と重要性

微生物の持つ特殊かつ効率の良い機能をまるごと取り込んで
単独では利用不可能な食物や環境を利用できるようになる



Wikipediaより転載(2011/05/24)
http://ja.wikipedia.org/wiki/file:Astragalus_sinicus_genge_konryu.jpg

マメ科植物と根粒細菌
窒素固定能力の賦与
によりやせた土壌でも
生育可能になる



Wikipediaより転載
(2011/05/24)
<http://en.wikipedia.org/wiki/File: PillarCoral.jpg>

サンゴと渦鞭毛藻
光合成による炭酸同化
能力が賦与される



Wikipediaより転載(2011/05/24)
http://ja.wikipedia.org/wiki/file:Lamellibrachia_luymesii.png

**ハオリムシと化学合成
細菌**: 熱水中の有毒な
硫化水素を代謝に利用



Wikipediaより転載(2011/05/24)
http://ja.wikipedia.org/wiki/file:Koe_zijaanzicht_2.JPG

ウシと腸内微生物叢
消化困難な植物体中の
セルロースを利用可能に



ヒトの腸内細菌も
免疫系の賦活化や
ある種のビタミン合成
等に関与するらしい

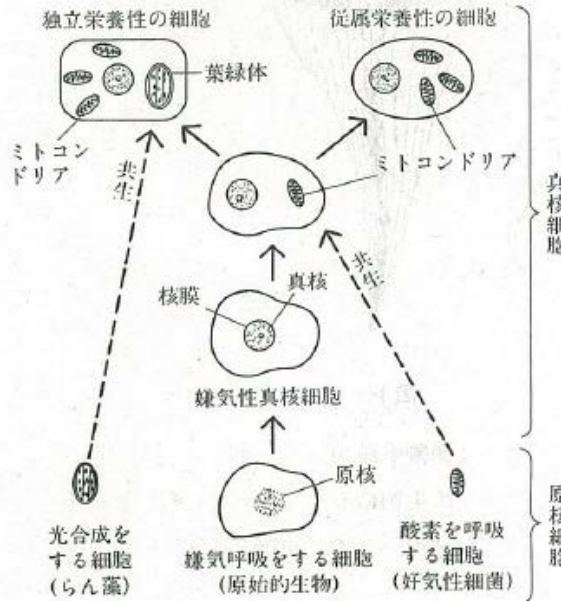


図3-7 共生による細胞進化

石川統『生物科学入門(改訂版)』裳華房、1997年
p.47 図3-7

ミトコンドリア:

我々の細胞の中で
酸素呼吸を担当
 α プロテオバクテリアを
進化的起源とする

葉緑体:

植物の細胞の中で
光合成を担当
シアノバクテリアを
進化的起源とする

私たちの細胞の中にも
細胞内共生細菌
の末裔が
存在する

私の研究グループでは
特に**昆虫類**におけるさまざまな**内部共生現象**

さらには
寄生、生殖操作、形態操作、社会性
といった

高度な生物間相互作用をともなう
きわめて興味深い生物現象について

進化多様性から生態学的相互作用
生理的機能からその分子機構にまで至る研究を
多角的なアプローチから進めている

研究のスタンス:

独自のおもしろい生物現象について
分子レベルから進化レベルまで徹底的に解明する

なぜ特に

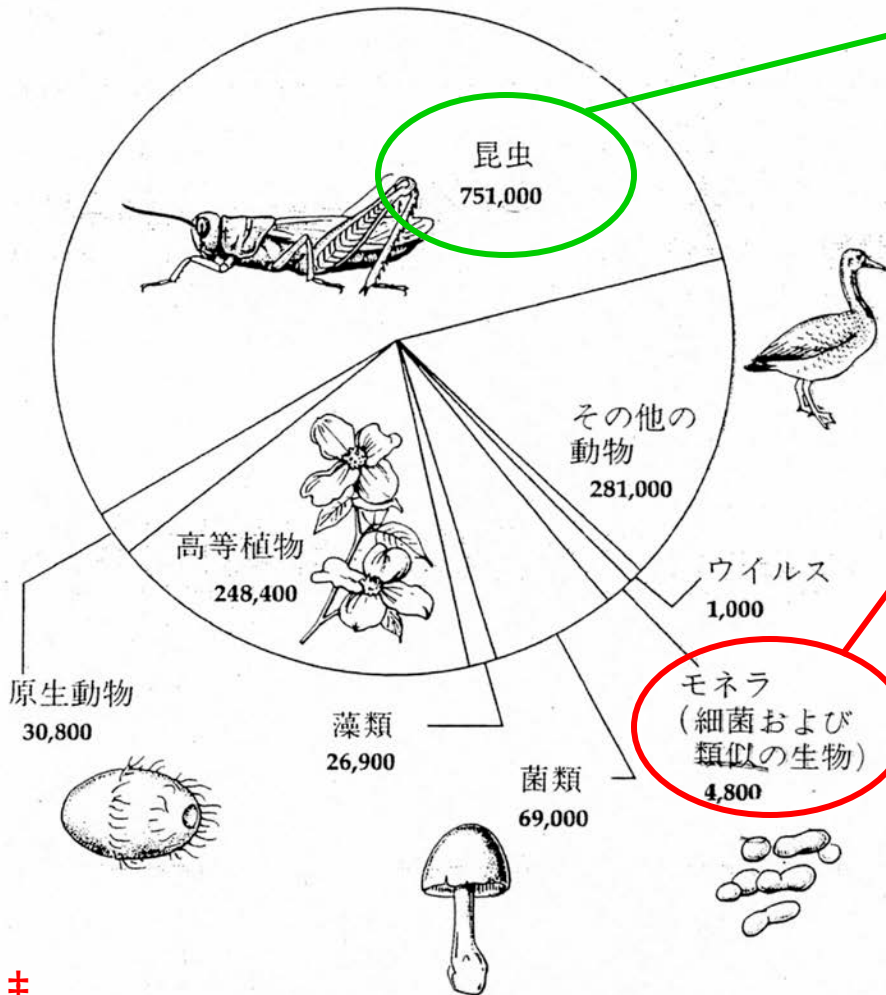
昆虫と微生物の内部共生
をターゲットにするのか？



それにはいくつもの
理由がある

現在知られているあらゆる現生生物の種数
(主要グループ別)

全生物種の総数：1,413,000



これまで人類により 記載された生物多様性

大半は昆虫類：約75万種

↓
しかし実際にはその数倍
から数十倍ともいわれる

細菌類はたったの5000種

↓
そんなはずはない！
実際にはその数万倍？数百万倍？

いったいなぜ、こんな
おかしいことになっているのか？

理由：微生物学という分野に
特有の方法論の特殊性

✦

Anton van Leeuwenhoek (1632-1723)



顕微鏡を発明



微小動物
(アニマルキュール)
がそこらじゅうに
いることを発見



† By Jeroen Rouwkema
Wikipediaより転載(2012/6/7)
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Leeuwenhoek_Microscope.png

レーウエンフック作の
単眼顕微鏡

人類が
微生物の存在を
初めて認識したのは
じつに
17世紀になってから
のことであった

Louis Pasteur (1822-1895)



Wikipediaより転載(2011/05/23)
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Louis_Pasteur_by_Pierre_Lamy_Petit.jpg

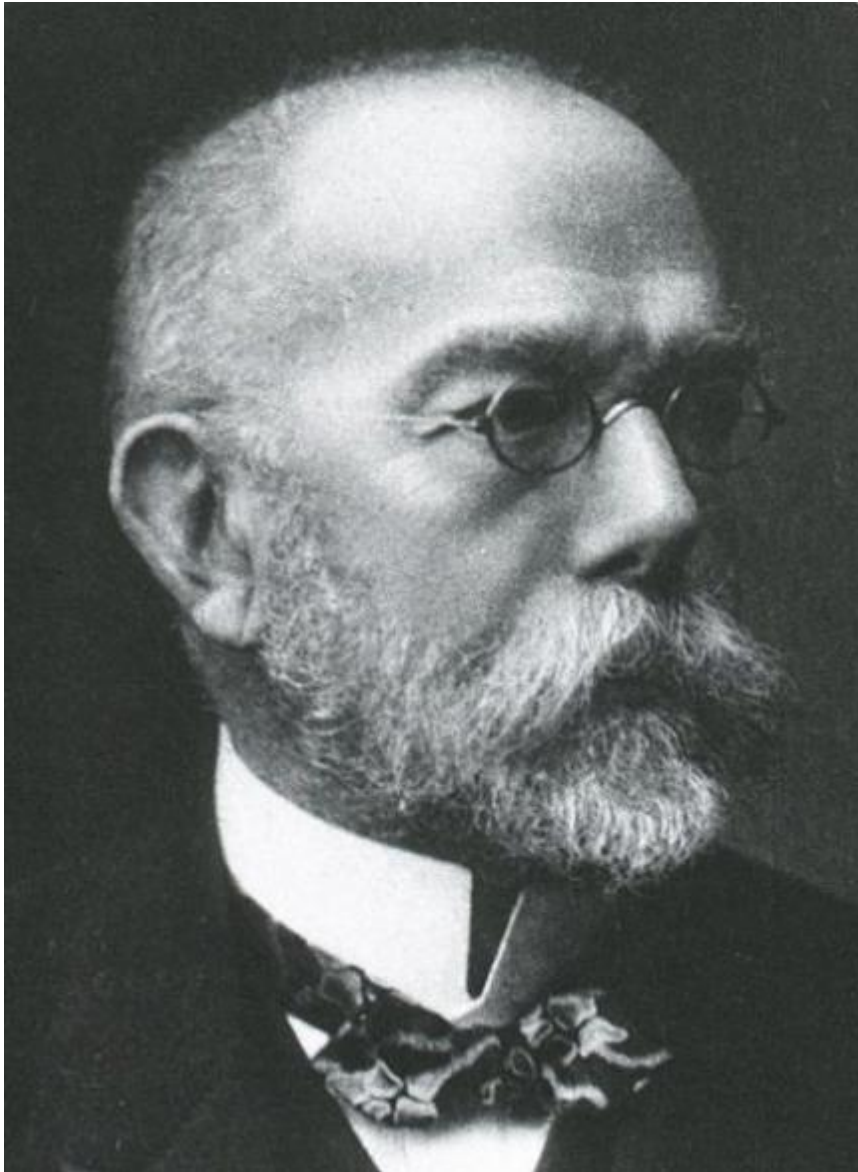
発酵や腐敗などの
古くから知られている
さまざまな現象が
実は微生物の働きによる
ものであることを解明



✚ Wikipediaより転載(2012/6/7)
<http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Coldecygne.svg>

パスツールの“白鳥の首”フラスコ

Robert Koch (1843-1910)



懸滴培養法、平板培養法の開発



微生物の単離培養法の確立

炭疽菌その他の微生物が
病気の原因であることを証明



微生物病因論の確立
医細菌学の創始

“微生物学の父”

伝統的な微生物学の方法論

1) 適切な培地を用いて、試料から単一の微生物を単離培養する

2) 単離した培養菌株についてさまざまな性質を調べる



微生物の認識、同定、記載には 単離培養が必須

例えば、1匹の昆虫をとってきて
その形態や性質を研究することはできるが...

1匹の微生物をとってきてその形態や性質を調べることは
ほとんど不可能である

したがって難培養性の微生物は、認識も操作もできないために
実質上「存在しないもの」とされてきたのである

近年の技術革新

★PCR法 ★高速DNA塩基配列決定法



さまざまな環境に存在する微生物多様性の
ありのままの実態を
把握することが可能になった

わかったこと:

単離培養できる微生物は全体の1%をはるかに下まわる
氷山の一角にすぎない

培養できない微生物が、質的にも量的にも
現存する微生物多様性の大部分をしめていた！

難培養性微生物

通常の培地・方法では単離培養できない微生物

地球上の(微)生物多様性の大部分をしめていると思われる

従来、人類にとっての有用産物の多くが
きわめて限られた培養可能な微生物の中からの
スクリーニングによって得られてきたことを考えると・・・

現在の地球上に残された
生物多様性、遺伝子資源として
最後の、最大の、手つかずの
しかしアクセスが容易でない
フロンティアであるといえよう

昆虫内部共生微生物： 興味深い難培養性微生物のモデル系

- 1) 宿主昆虫と少数種の難培養性微生物の複合生物系である
→共生微生物は典型的な難培養性微生物のカテゴリー
- 2) 宿主昆虫の飼育・採集等によって特定の共生微生物を
再現的に入手して研究することができる
→一般環境にみられる難培養性微生物ではそうはいかない
- 3) 宿主昆虫に対して高度な生物学的機能を発揮する
→高等動物に対するなんらかの生物活性をもっているということで
研究対象としてもスクリーニングソースとしても魅力的
- 4) なにより昆虫類は地球上で最も種数の多い動物群である
→その共生微生物も多様だろう
宿主の多様性にも貢献しているのでは？

昆虫類 は既知の生物多様性の
大部分を占める

細菌類 は実際の生物多様性の
大部分を占める

**昆虫類と細菌類の間の
共生関係は自然界において
きわめて普遍的にみられる**

微生物と必須共生関係にある昆虫たち

セミ目:



アブラムシ、キジラミ、
カイガラムシ、ヨコバイ、
ウンカ、セミ...

カメムシ目:



カメムシ、ツノカメムシ、
マルカメムシ、ツチカメムシ
ヘリカメムシ、トコジラミ...

コウチュウ目:



コクゾウムシ、オサゾウムシ、
シバムシ、ハムシ、
カミキリムシ...

ハエ目:



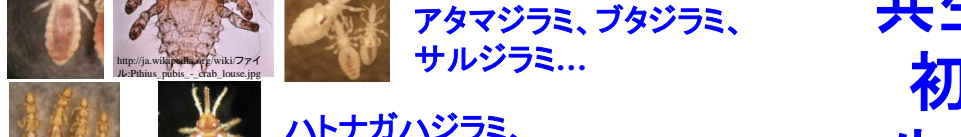
ツツエバエ、シラミバエ、
クモバエ、ミバエ...

ハチ目:



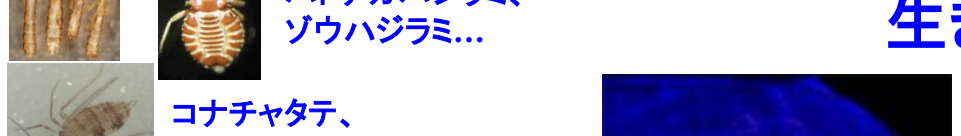
アリ、キバチ、
ツチスガリ...

シラミ類:



ケジラミ、コロモジラミ、
アタマジラミ、ブタジラミ、
サルジラミ...

ハジラミ類:



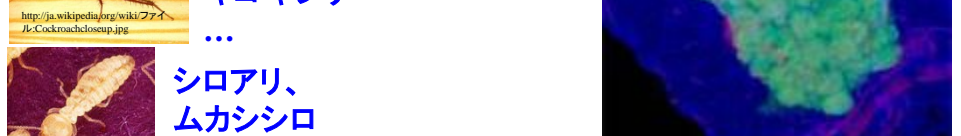
ハトナガハジラミ、
ゾウハジラミ...

チャタテムシ目:



コナチャタテ、
ヒラタチャタテ...

ゴキブリ目:



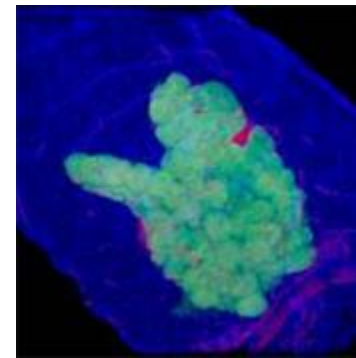
ゴキブリ、
キゴキブリ
...

シロアリ目:

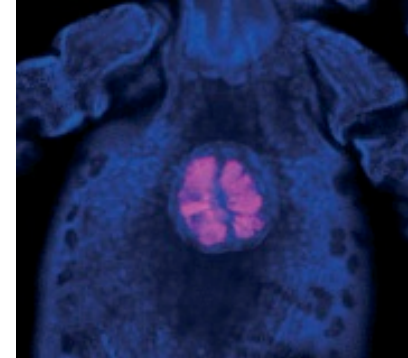


シロアリ、
ムカシシロ
アリ...

多種多様な昆虫類
が実は体内に
共生微生物がいて
初めて自然界で
生きていける存在



アブラムシの共生器官



シラミの共生器官

微生物と必須共生関係にある昆虫たち

セミ目：
おそらく昆虫類の10~20%くらいの種は
共生微生物がないと生きていけない



アブラムシ、キジラミ、
カイガラムシ、ヨコバイ、
ウンカ、セミ...

カメムシ、マルカメムシ、ツアガメムシ、
ヘリカメムシ、トコジラミ...

カミキリムシ...

ハエ目：



ツツエバエ、シラミバエ、
クモバエ、ミバエ...

ハチ目：



アリ、キバチ、
ツチムシ...

多種多様な昆虫類

そしてほぼ100%の昆虫種で

共生微生物は必須ではないものの

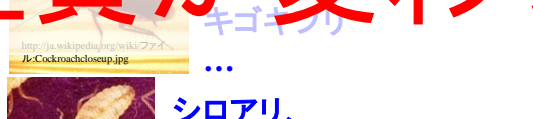
感染によってさまざまな影響を受け

ゴキブリ目：

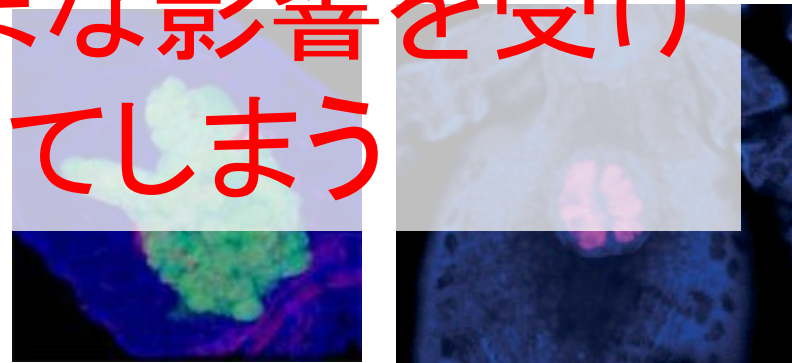


性質が変わってしまう

シロアリ目：



シロアリ、
ムカシロ
アリ...



アブラムシの共生器官

シラミの共生器官

http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Coptotermes_formosanus_shiraki_USGov_k8204-7.jpg

我々の研究している昆虫たち:すべて体内に非常に興味深い共生微生物を保有している



pea aphid



vetch aphid

© T. TSUCHIDA, AIST



flour moth

©Entomart
http://www.entomart.be/TNS_0128.html



plataspid stinkbug



common yellow butterfly



mealybug

Wikipediaより転載(2012/02/08)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pink_Gibbsia_meadybug.jpg



bean aphid

Wikipediaより転載(2012/02/08)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aphis_faba_e_2005-06-12_15-23-42-p6120057.jpg



psyllid

Wikipediaより転載(2012/03/07)
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Psyllidae_pachosympleci.jpg



fruit fly

Wikipediaより転載(2012/02/08)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drosophila_melanogaster_-_top_%28aka%29.jpg



acanthosomatid stinkbug

Wikipediaより転載(2012/03/14)
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Astragala_esakii.jpg/uselang-ja



parastrachid stinkbug



adzuki bean beetle

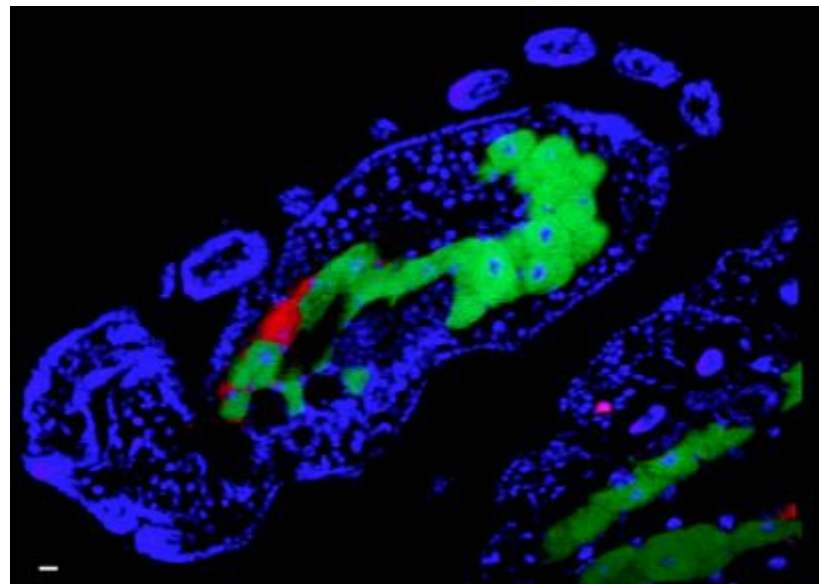
研究プロジェクト一覧

- ★ 昆虫共生細菌の多様性と生物学的機能に関する研究
(アブラムシ、カイガラムシ、ショウジョウバエ、カメムシ、シラミ etc.)
- ★ 多重共生系における宿主—共生体および共生体—共生体間相互作用の解析
(アブラムシ、アズキゾウムシ、ショウジョウバエ)
- ★ 共生微生物により宿主生物に賦与される新規生物機能の解析(アブラムシ、マルカメムシ)
- ★ 内部共生および生殖操作に関与する宿主遺伝子の網羅的同定と機能解析(ショウジョウバエ)
 - ★ 内部共生に関わる宿主昆虫遺伝子の発現解析(アブラムシ)
 - ★ 共生細菌ボルバキアから宿主昆虫へのゲノム水平転移(アズキゾウムシ)
- ★ 昆虫共生細菌の全ゲノム解析(ショウジョウバエ、マルカメムシ、アブラムシ etc.)
- ★ 昆虫共生細菌の形質転換系の開発(アブラムシ、メイガ、ヘリカメムシ etc.)
- ★ 吸血性昆虫における共生細菌の同定と機能解析(シラミ、トコジラミ、クモバエ etc.)
 - ★ 角質食昆虫における共生細菌の同定と機能解析(ハジラミ etc.)
- ★ 共生細菌による生殖操作が宿主昆虫に与える生理的、形態的、生態的、進化的影響の解析
(アズキゾウムシ、ショウジョウバエ、キチョウ etc.)
 - ★ 共生細菌による宿主昆虫の行動変容の解析(マルカメムシ、ベニツチカメムシ)
- ★ カプセル共生細菌システムを利用した宿主—共生体共進化の解析(マルカメムシ)
 - ★ 昆虫における環境獲得型共生細菌の解析(ヘリカメムシ)
- ★ 昆虫共生細菌の全ゲノム解析(マルカメムシ、ツノカメムシ、アブラムシ etc.)
- ★ 昆虫寄生菌における進化、寄主特異性、転移遺伝因子に関する研究(冬虫夏草類)
- ★ 昆虫における社会性、階級分化の生理、生態、分子機構の解明(社会性アブラムシ類)
 - ★ 兵隊階級の攻撃毒物質の解析(ハクウンボクハナフシアブラムシ)
- ★ 兵隊階級による自己犠牲的ゴール修復の分子基盤の解明(モンゼンイスアブラムシ)
- ★ 昆虫による植物の形態操作であるゴール形成機構の解明(アブラムシ、タマバエ)

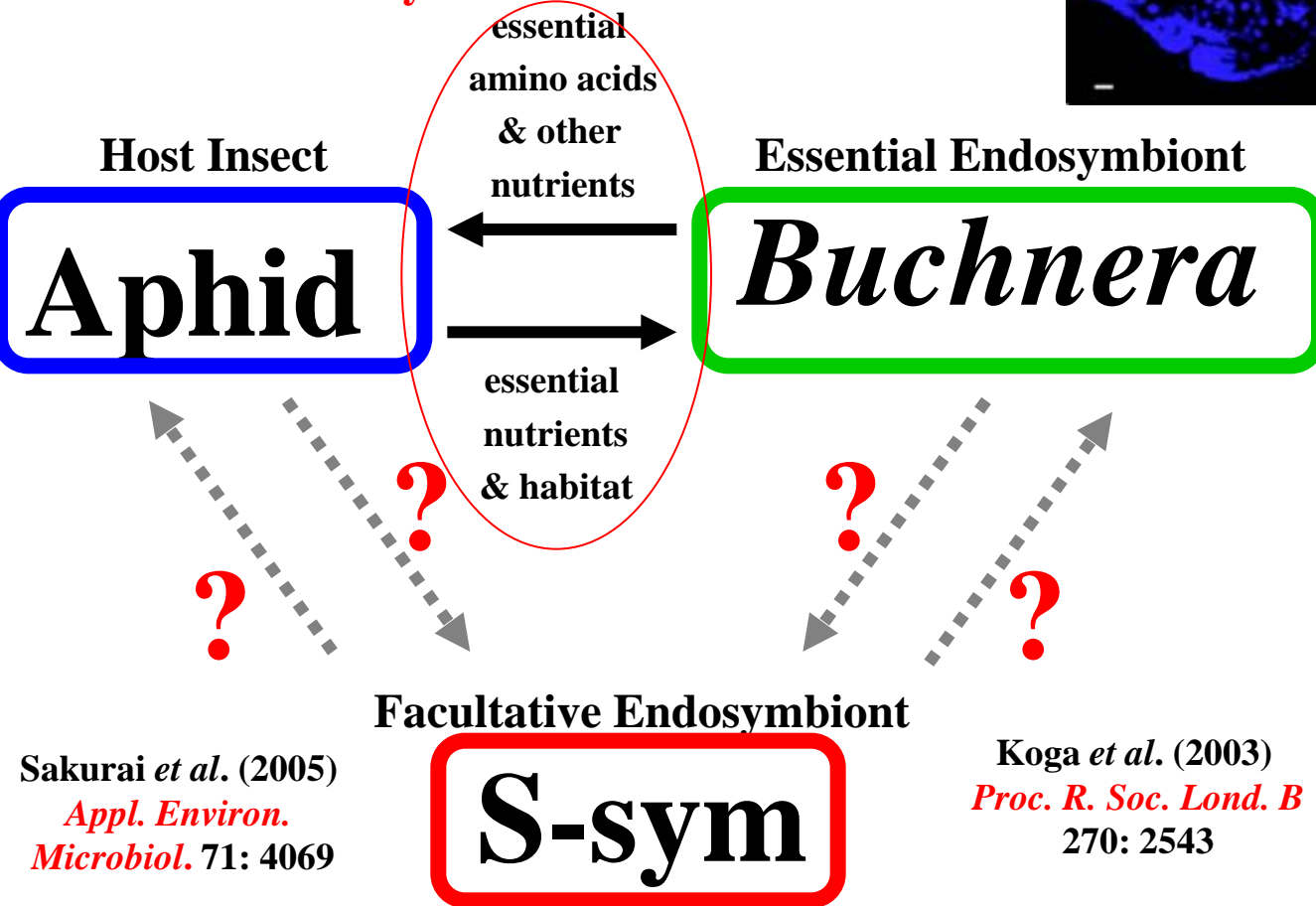
研究テーマ選択の4原則

1. 生物現象として非常に面白いものであること
2. 共生、寄生、生殖操作、形態操作、社会性など高度な生物間相互作用を伴うものであること
3. 分子レベルから進化生態レベルまでの多面的なアプローチを同時に採用すること
4. 我々がやらなければおそらく誰も手をつけないであろう現象や対象であること

宿主アブラムシ
 必須共生細菌ブクネラ
 二次共生細菌の間の
 生理学的・生態学的相互作用



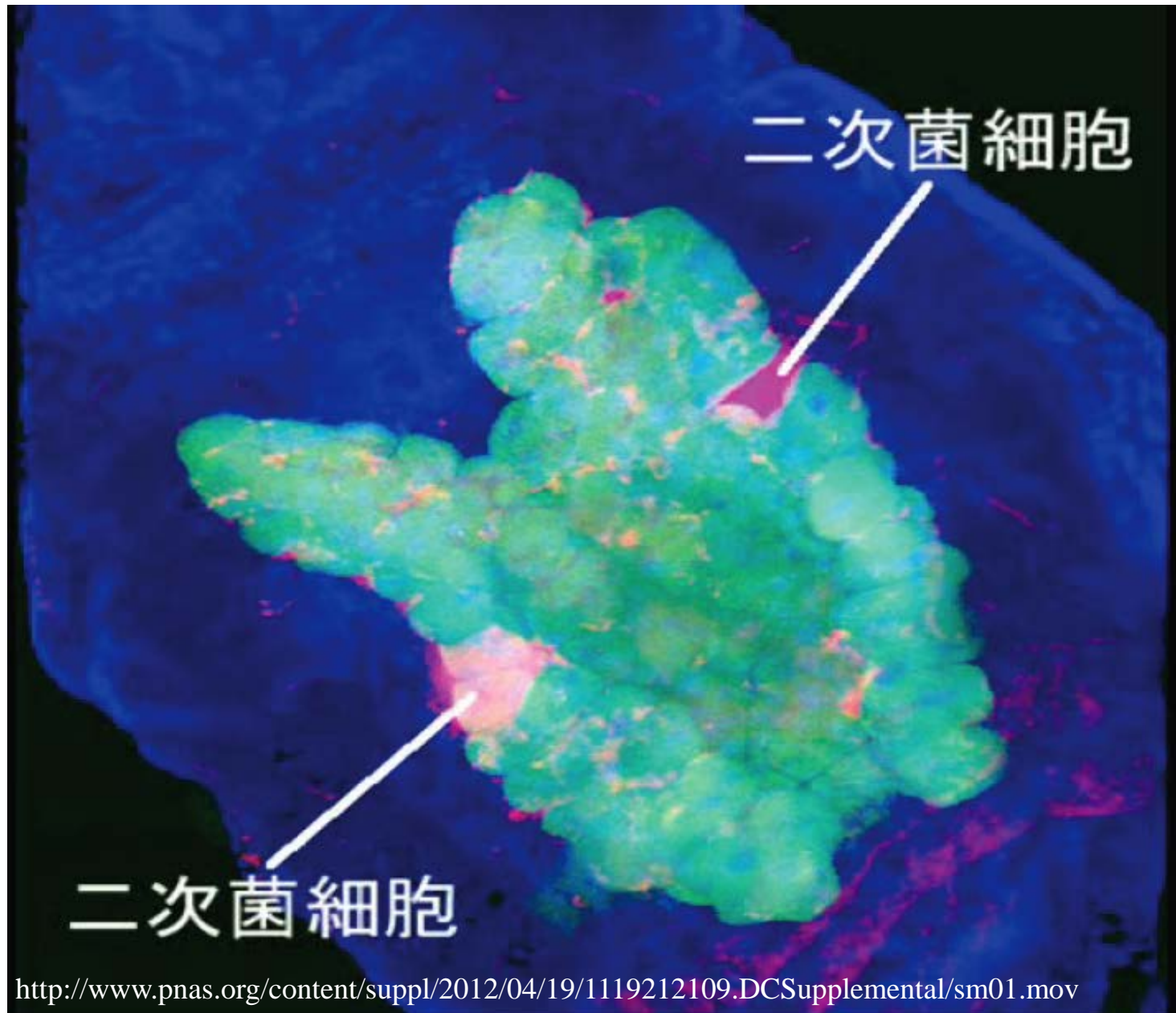
Any indirect effects?



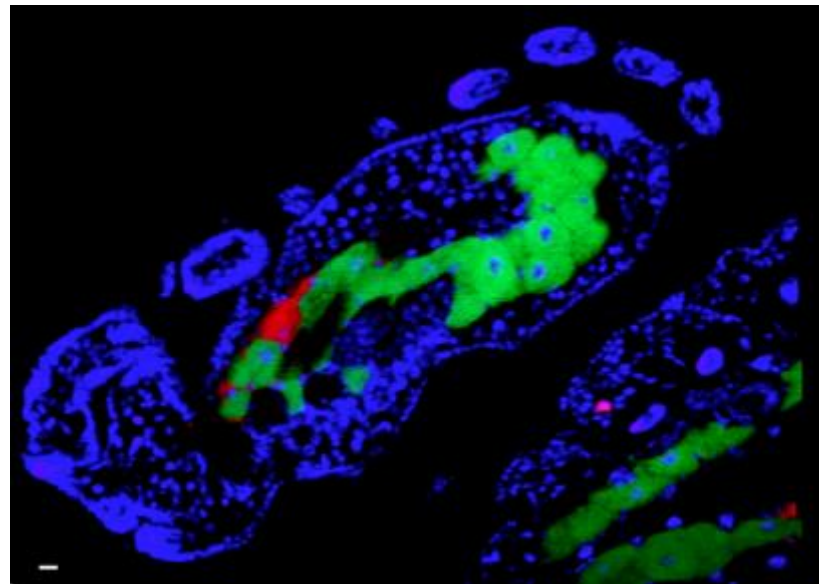
Sakurai *et al.* (2005)
Appl. Environ. Microbiol. 71: 4069

Koga *et al.* (2003)
Proc. R. Soc. Lond. B
 270: 2543

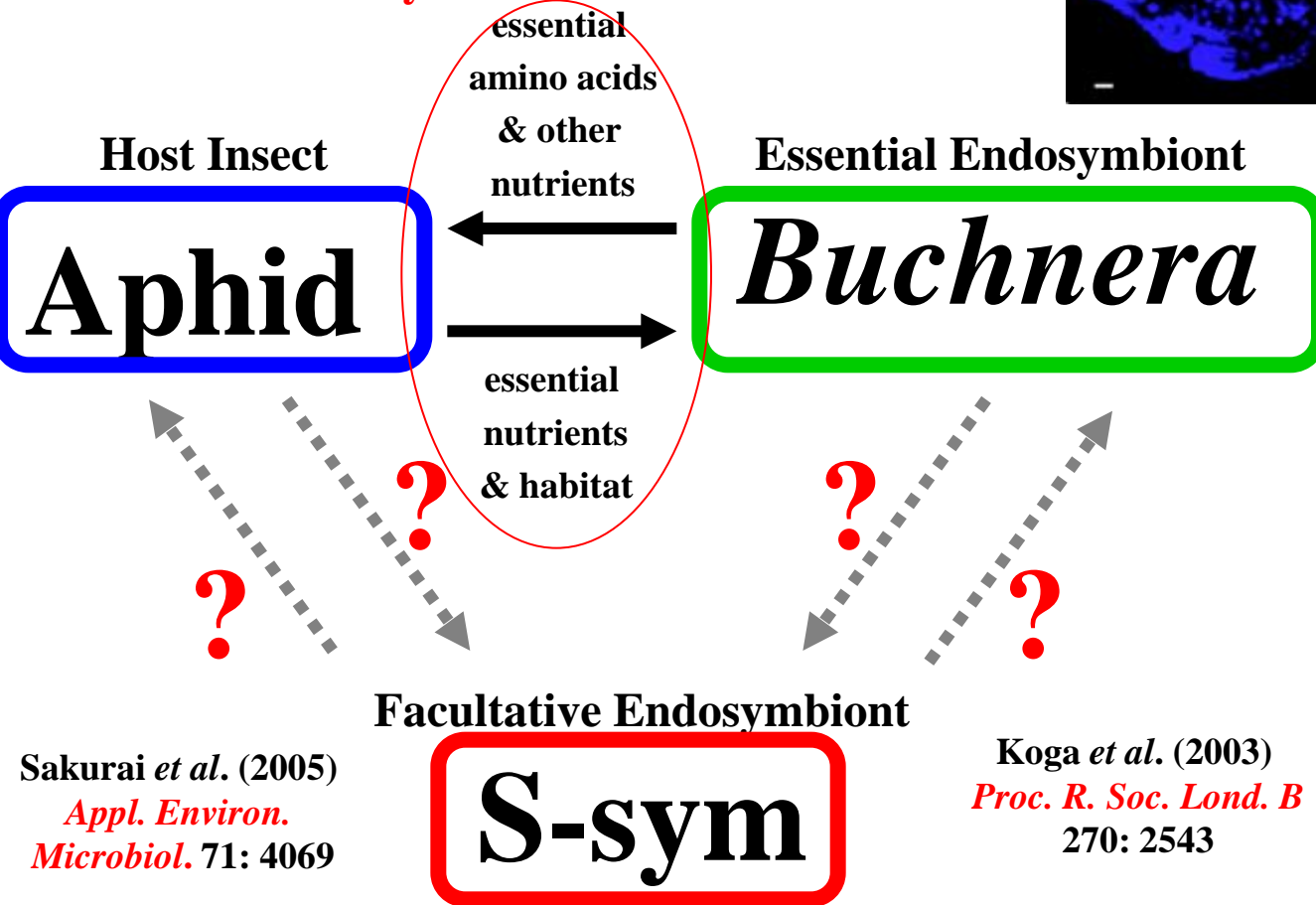
アブラムシ複合内部共生系の3D再構築像



宿主アブラムシ
 必須共生細菌ブクネラ
 二次共生細菌の間の
 生理学的・生態学的相互作用



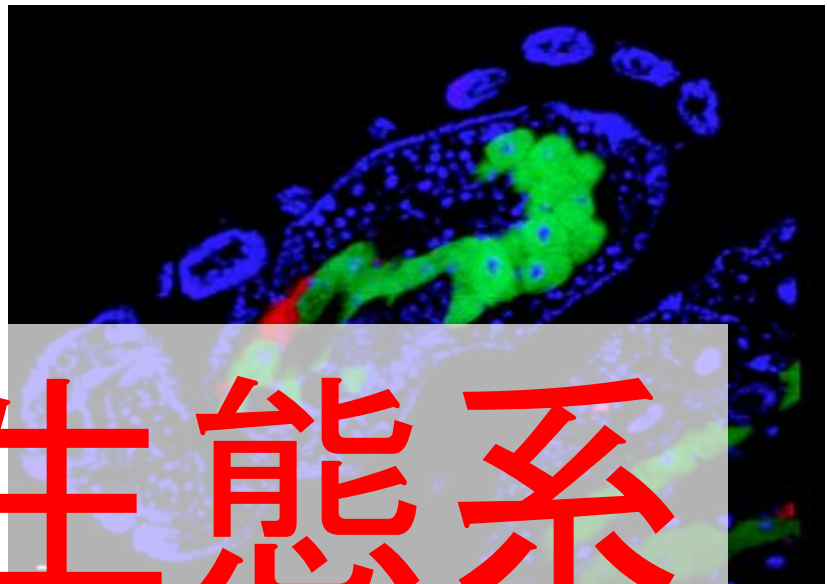
Any indirect effects?



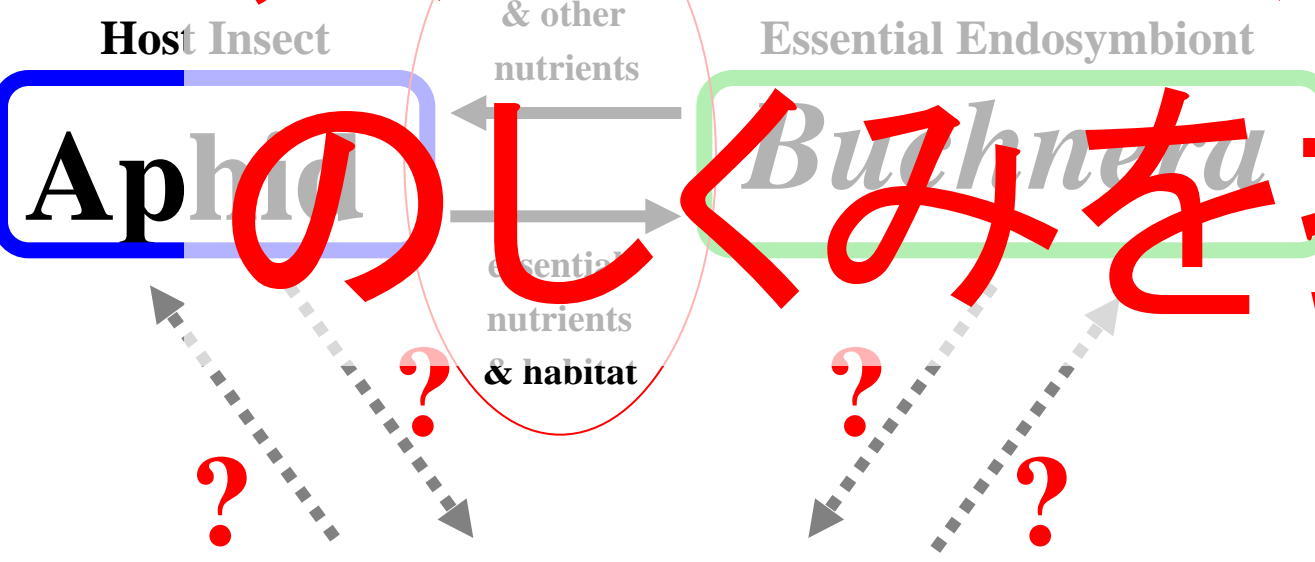
Sakurai *et al.* (2005)
Appl. Environ. Microbiol. 71: 4069

Koga *et al.* (2003)
Proc. R. Soc. Lond. B
 270: 2543

宿主アブラムシ
 必須共生細菌ブフネラ
 二次共生細菌の間の
 生理学的・生態学的相互作用



共生の生態系

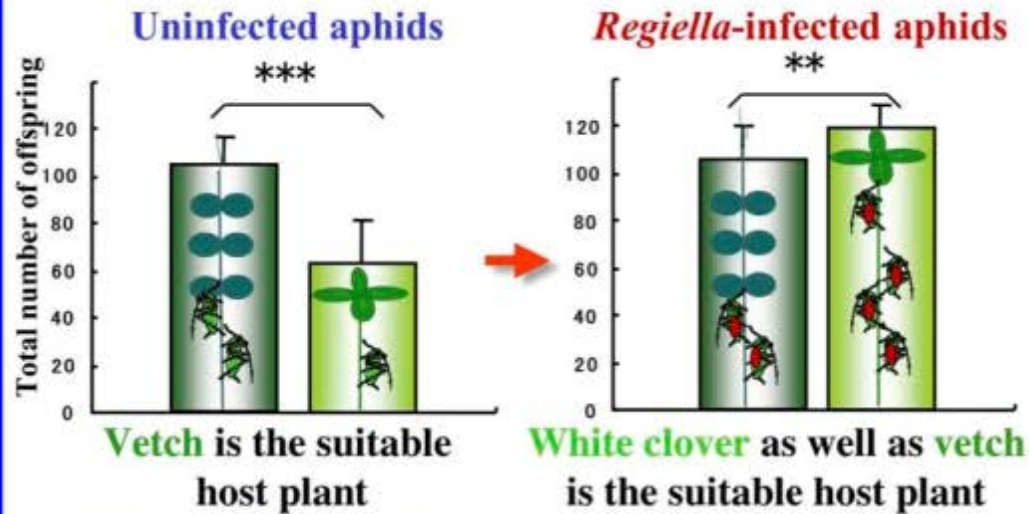


Sakurai *et al.* (2005)
Appl. Environ. Microbiol. 71: 4069

S-sym

Koga *et al.* (2003)
Proc. R. Soc. Lond. B
 270: 2543

アブラムシの 寄主植物利用能力 を変化させる 二次共生細菌 レジエラの発見



夏季に降雨量多い



カラスノエンドウ

西南日本:カラスノ
エンドウとシロツメクサ



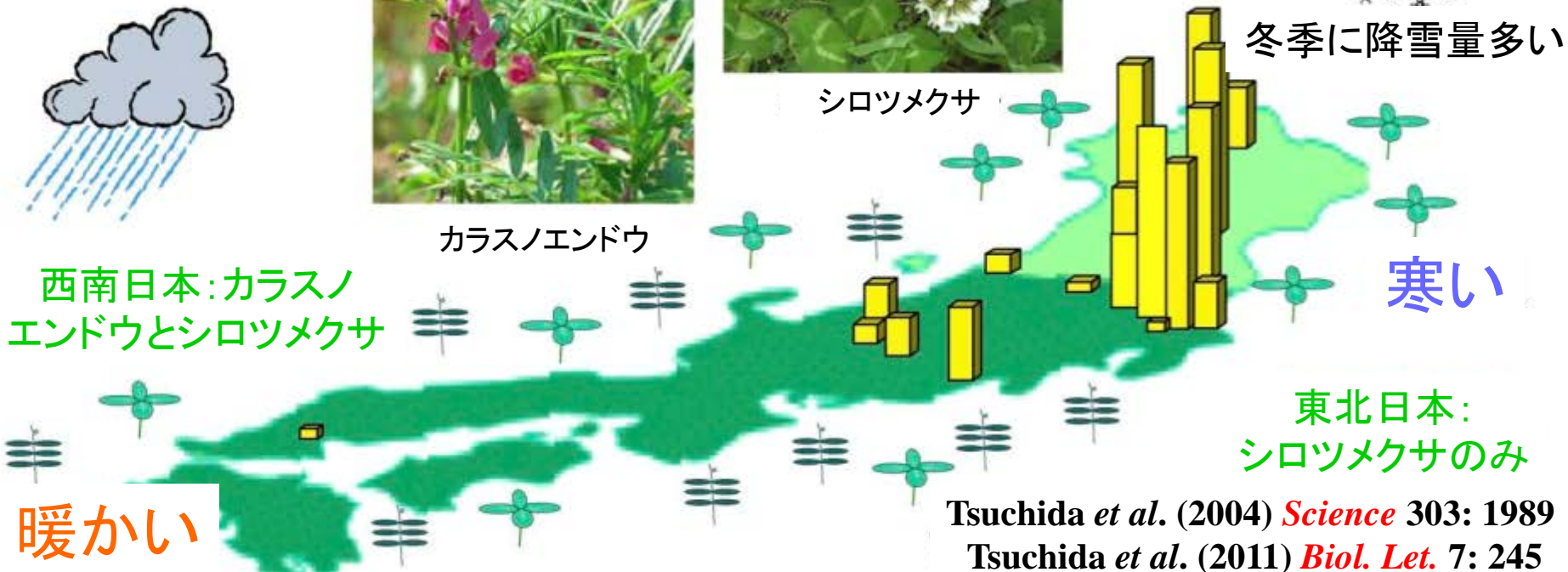
シロツメクサ



冬季に降雪量多い

寒い

暖かい



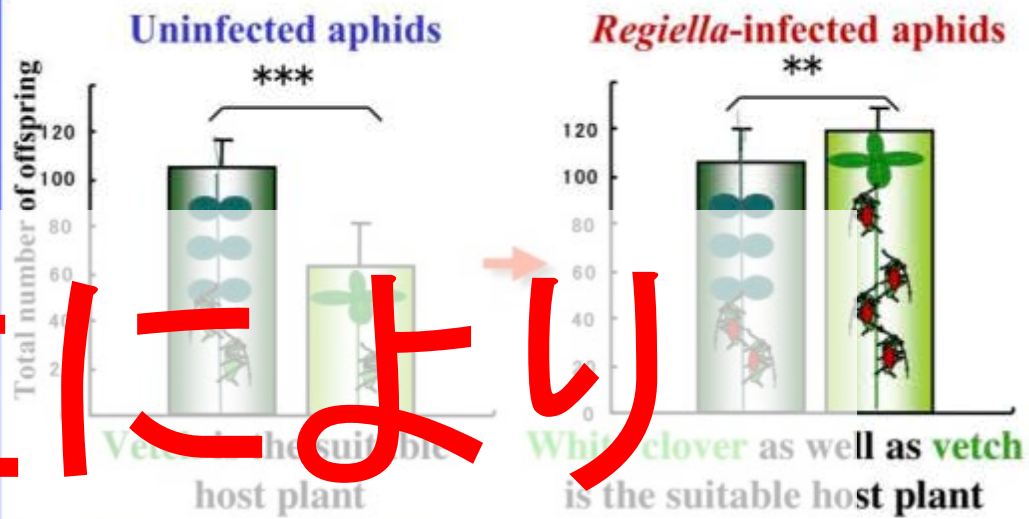
東北日本:
シロツメクサのみ

Tsuchida *et al.* (2004) *Science* 303: 1989

Tsuchida *et al.* (2011) *Biol. Lett.* 7: 245

アブラムシの 寄主植物利用能力

を変化させる
二次共生細菌
レジエラの発見



共生により 新しい植物に 適応する

夏季に降雨量多い



西南日本: カラスノ
エンドウとシロツメクサ

暖かい



シロツメクサ



冬季に降雪量多い

寒い

東北日本:
シロツメクサのみ

Tsuchida et al. (2004) *Science* 303: 1989

Tsuchida et al. (2011) *Biol. Lett.* 7: 245

2004.3.26 発表

■昆虫の植物適応が共生細菌で変わる
-微生物の新機能の発見-

ポイント

- ・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ことを発見
- ・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うること示した世界初の報告
- ・微生物学、昆虫学、生態学、農学、害虫防除といった生物学の基礎から応用にわたるさまざまな分野に広く影響を与える新知見

概要

独立行政法人産業技術総合研究所【理事長 吉川 弘之】（以下「産総研」という）**生物機能工学研究部門**【部門長 栗山 博】の 深津 武馬 主任研究員のグループは、エンドウヒゲナガ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ことを明らかにした。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**によって支配されうること示した世界初の報告となる。

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、当然のことながら、その生物自身の性質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、じつは体内に共生するミクロの共生微生物群集の存在や機能が、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とらえかたや研究アプローチに広く影響を与える研究成果である。

本研究成は、米科学誌サイエンス2004年3月26日号*に掲載された。



写真 エンドウヒゲナガアブラムシ

※ (独)産業技術総合研究所ご提供

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

毎日新聞 2004年3月26日
『好き、嫌い 体内細菌が支配
アブラムシが食べる植物』

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

朝日新聞 2004年4月3日
『昆虫の生態 細菌が変える
食や攻撃性、感染で影響』

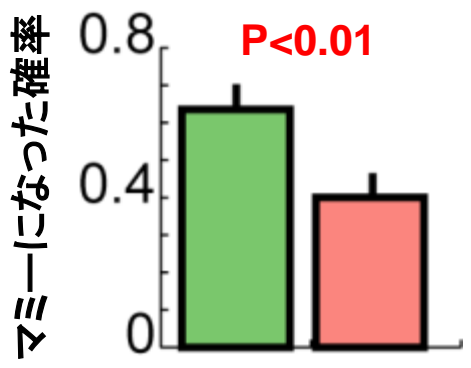
著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

日刊工業新聞 2004年3月26日
『昆虫の寄生植物特異性
共生細菌が規定 産総研』

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

しんぶん赤旗 2004年4月4日
『自然の不思議
食べ物の“好み”左右する共生細菌』

エンドウヒゲナガアブラムシの体色多型と生態的重要性



Libbrecht et al. (2006)
J. Insect. Behav. 20: 32より改変

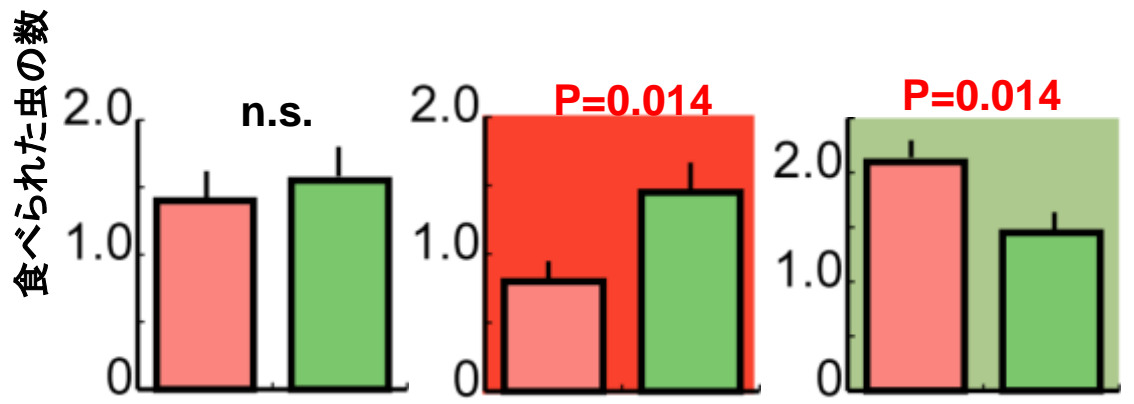


† © Kerry M. Oliver
**エルビアブラバチは
緑色の虫に好んで寄生**



† ©entomart
<http://www.entomart.be/INS-1605.html>

従来の定説: 異なる捕食者による異なる色彩選好性がアブラムシ体色多型を維持してきた



Losey et al. (1997) *Nature* 388: 269-272. より改変

ナナホシテントウは、背景色との対比で目立つ色の虫を捕食

→植物上では、赤色を多く捕食

アブラムシ体色を変える共生細菌*Rickettsiella*の発見

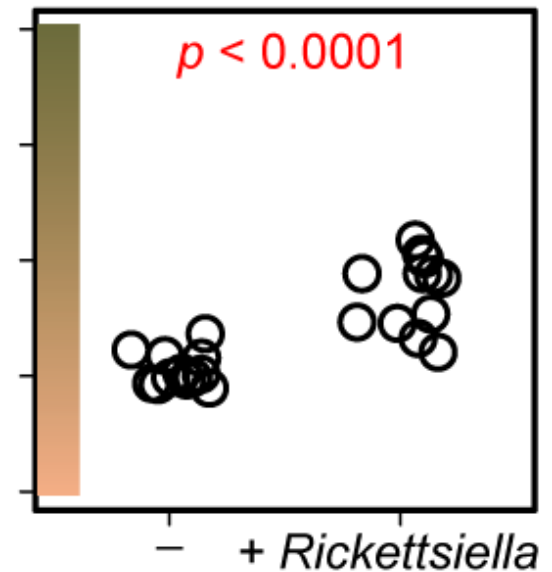
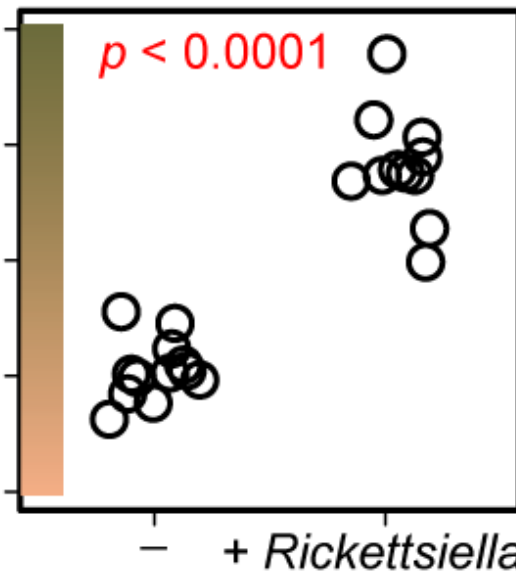
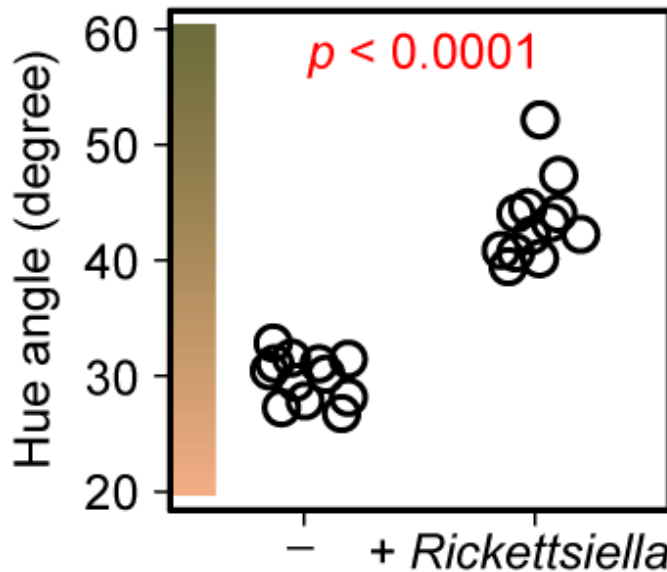
10TV^{amp}



4TV^{amp}



YR2^{amp}



Tsuchida *et al.*
(2010) *Science*
330: 1102

宿主アブラムシの系統に関わらず
感染により体色が赤から緑に変化

アブラムシ体色を変える共生細菌*Rickettsiella*の発見

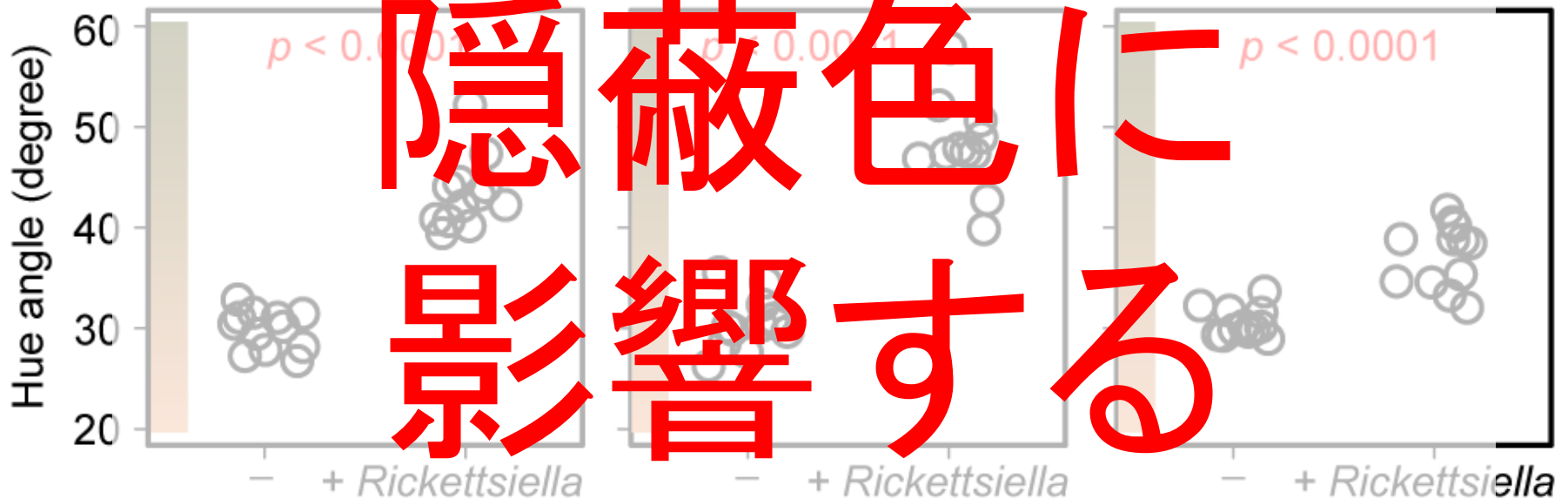
10TV^{amp}

4TV^{amp}

YR2^{amp}

共生が擬態や

隠蔽色に
影響する



Tsuchida *et al.*
(2010) *Science*
330: 1102

宿主アブラムシの系統に関わらず
感染により体色が赤から緑に変化

昆虫の体色を変化させる共生細菌を発見

ー 共生細菌が赤色のアブラムシを緑色に変える ー

平成22年11月18日

独立行政法人 産業技術総合研究所

独立行政法人 理化学研究所

■ ポイント ■

- ・ 体の色という生物にとって重要な性質を左右する微生物を発見
- ・ 隠蔽色の変化によって天敵との相互作用に影響の可能性
- ・ 生物の生態や環境適応の理解へ新たな観点を提示

■ 概要 ■

独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 野間口 有】(以下「産総研」という)生物プロセス研究部門【研究部門長 鎌形 洋一】生物共生進化機構研究グループの古賀 陸一 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【理事長 野依 良治】(以下「理研」という)基幹研究所【所長 玉尾 皓平】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嫁色、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* に2010年11月20日(日本時間)にオンライン発表される。

_____ は別紙【用語の説明】参照



図1 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、共生細菌リケッチエラの感染により体色が緑色に変化した。

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

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

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

日経産業新聞 2010年11月19日
『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』

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

化学工業日報 2010年11月19日
『共生細菌が昆虫の体色を変化』

マルカメムシの
腸内共生細菌の
カプセル伝達
を利用した
共生機構、共進化
の実験的解析



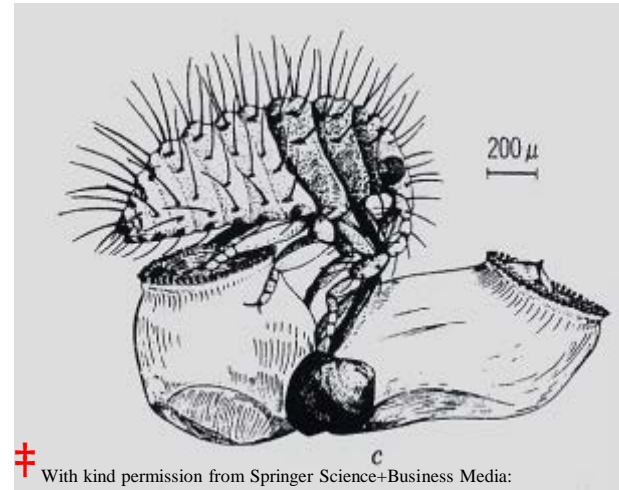
共生細菌を摂取しないマルカメムシ
(右)は生育や形態に異常を示す



0.5mm



クズ上に群れるマルカメムシ *Megacoctea punctatissima*



†

With kind permission from Springer Science+Business Media:
Zoomorphology, Experimentelle studien an der symbiose von *Coptosoma*
scutellatum Geoffr. (Hem. heteropt.), 44, 1956, 459-482, H. J. Müller, Abb.1.

Hosokawa et al. (2006)

***PLoS Biol.* 4: e337**

Hosokawa et al. (2005)

***FEMS Microbiol. Ecol.* 54: 471**

Fukatsu and Hosokawa (2002)

***Appl. Environ. Microbiol.* 68: 389**

マルカメムシの
腸内共生細菌の

カプセル伝達
を利用した
共生機構、共進化
の実験的解析

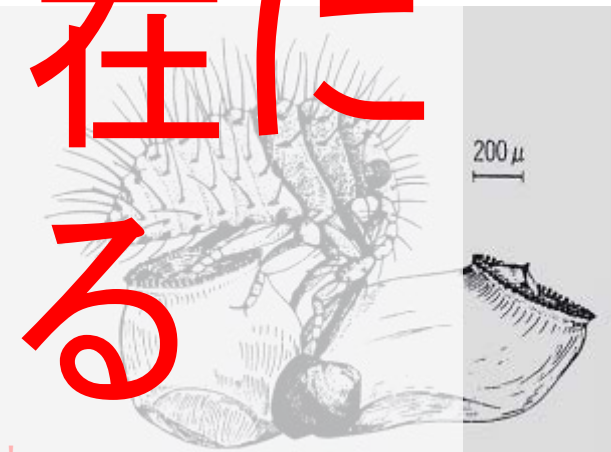
共生関係を 実験的に自在に 操作できる 新規モデル系



共生細菌を摂取しないマルカメムシ
(右)は生育や形態に異常を示す



0.5mm



200 μm

† With kind permission from Springer Science+Business Media:
Zoomorphology, Experimentelle Studien an der Symbiose von Coptosoma
scutellatum Geoffr. (Dipt., Hymenopt.), 44, 1956, 459-482, H. J. Müller, Abb. 1.

Hosokawa et al. (2006)

PLoS Biol. 4: e337

Hosokawa et al. (2005)

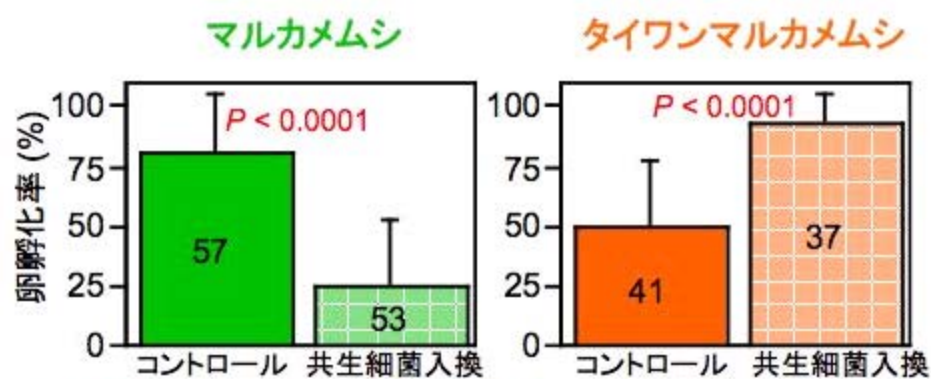
FEMS Microbiol. Ecol. 54: 471

Fukatsu and Hosokawa (2002)

Appl. Environ. Microbiol. 68: 389

クズ上に群れるマルカメムシ *Megacocta punctatissima*

マルカメムシにおける 共生細菌による 害虫化の発見



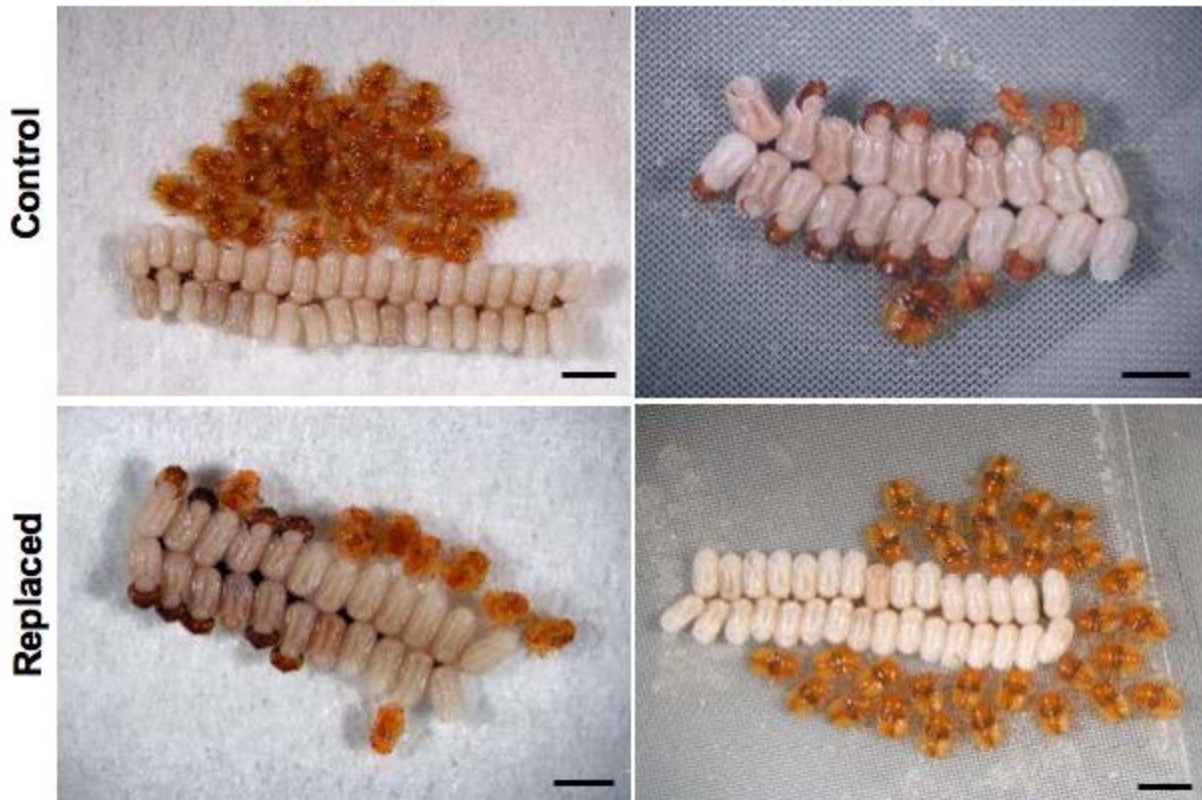
ダイズの害虫のマルカメムシ



共生細菌の入れ換えにより、ダイズ上でのマルカメムシ
と台湾マルカメムシの卵孵化率が完全に逆転する

マルカメムシ

台湾マルカメムシ



非害虫の台湾マルカメムシ



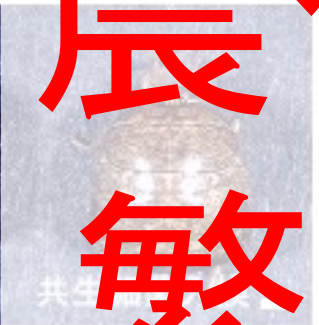
マルカメムシにおける
共生細菌による
害虫化の発見

共生により

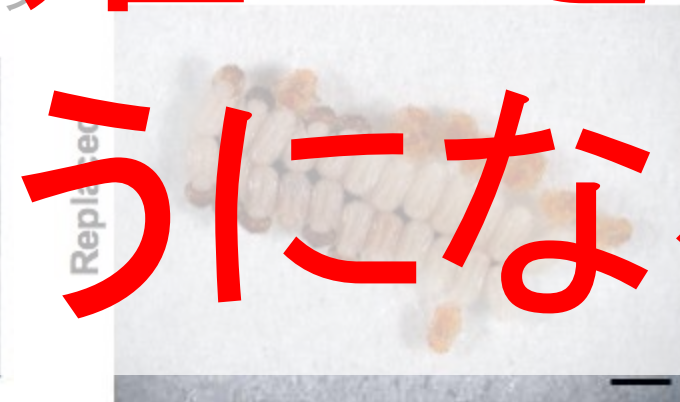


ダイズの害虫のマルカメムシ

共生細菌の入れ換えにより、ダイズ上でのマルカメムシとタイワンマルカメムシの卵孵化率が完全に逆転する



非害虫のタイワンマルカメムシ



農作物上で 繁殖できる ようになる

2007年6月13日 発表

■共生細菌による昆虫の害虫化の発見

-昆虫自身の遺伝子ではなく腸内共生細菌によって決まる食餌-

ポイント

- ・マルカメムシという豆類の害虫について、ダイズなどの作物を食物として利用できる性質が、昆虫自身の遺伝子ではなく腸内共生細菌によって決まることを発見。
- ・昆虫の進化や害虫化の起源に新たな観点を与えるとともに、害虫防除の新規標的として共生細菌の可能性を示唆する。

概要

独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 吉川 弘之】（以下「産総研」という）生物機能工学研究部門【部門長 巖倉 正寛】生物共生相互作用研究グループ 深津 武馬 研究グループ長、細川 貴弘 協力研究者らは、マルカメムシという豆類の害虫が、ダイズなどの農作物を食物として利用できる性質を、昆虫自身の遺伝子ではなく腸内共生細菌が決定していることを明らかにした。

昆虫はもともと自然界で野生の植物を食物として利用していた。その中から多量かつ単一に栽培される農作物を利用する能力を獲得した特定の遺伝的系統が、「新選害虫」として蔓延して大きな農業被害を引き起こす場合がある。従来、このような害虫系統というのは昆虫自身の遺伝子型によって決まると考えられていた。ところが本研究により、体内に共生する微生物が害虫としての性質を与えることが実際に示された。これは昆虫の進化や害虫化の起源に新たな観点を与えるとともに、害虫防除の新規標的として共生細菌の可能性を示唆し、微生物学、昆虫学、生態学などの基礎科学のみならず、農学や害虫防除などの応用分野からも注目される研究成果である。

本研究成果は英国の学術専門誌「Proceedings of the Royal Society B」（英国王立協会紀要）のウェブサイトで2007年6月13日にオンライン発表される。



写真：マルカメムシの成虫。足下に脚が見える。† (独)産業技術総合研究所ご提供

著作権の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました。

毎日新聞 2007年6月13日
『腸の共生細菌で害虫化』

東京新聞 2007年6月13日
『“害虫化”共生細菌が規定
一産総研、実験で解明』

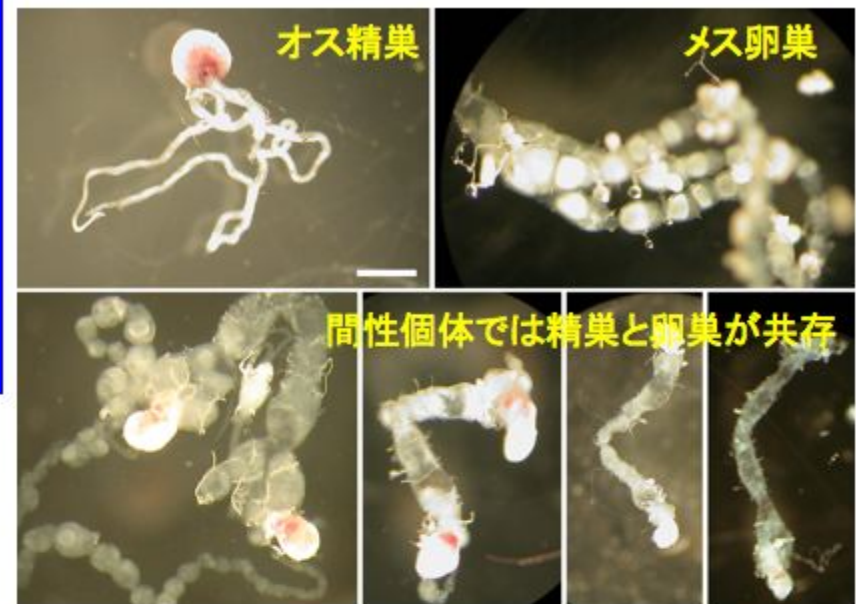
読売新聞 2007年6月24日
『マルカメムシ腸内細菌で害虫化』

日刊工業新聞 2007年6月14日
『えさ選び 腸内細菌次第』

共生細菌ボルバキア による宿主昆虫の 性転換機構の解析

Narita *et al.* (2007) *Appl. Environ. Microbiol.* 73: 4332

Narita *et al.* (2006) *Mol. Ecol.* 15: 1095

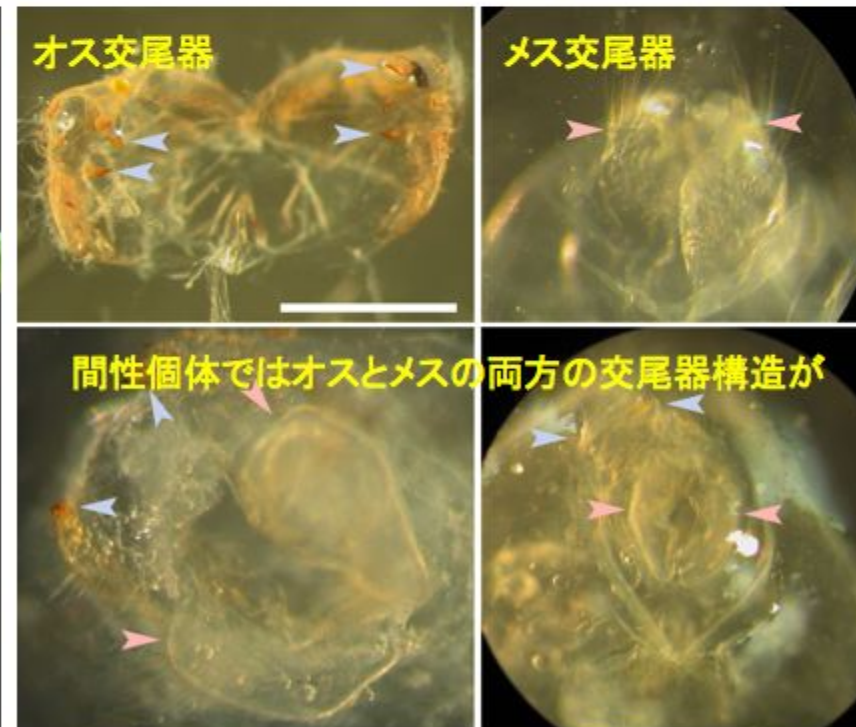


キチョウ *Eurema hecabe*



正常個体

間性個体



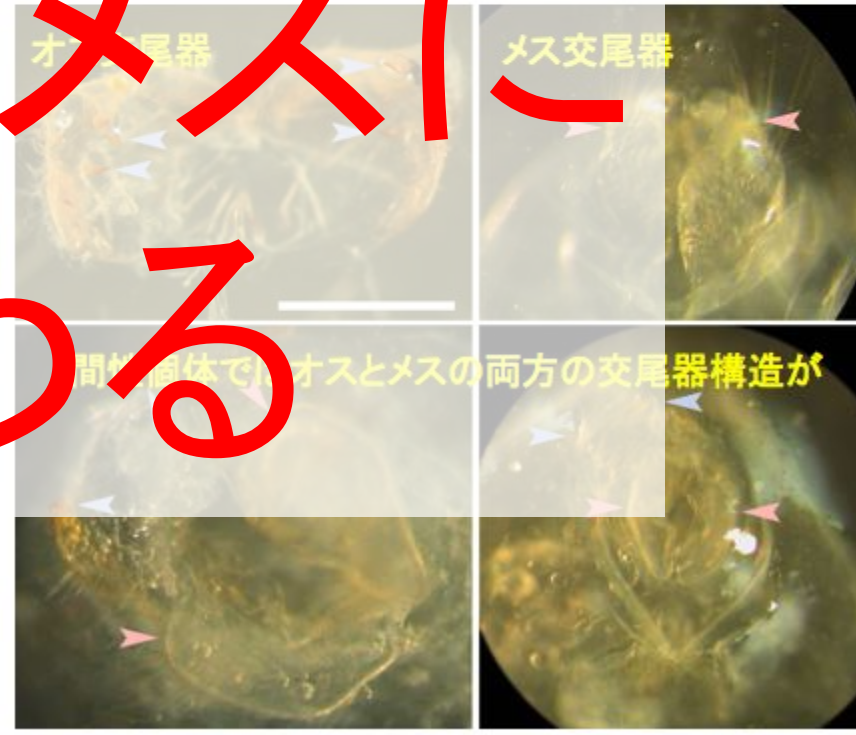
共生細菌ボルバキア による宿主昆虫の 性転換機構の解析

共生により オスがメスに かわる



Narita *et al.* (2007) *Appl. Environ. Microbiol.* 73: 4532

Narita *et al.* (2006) *Mol. Ecol.* 15: 1095



共生細菌抑制によりオスとメスの中間的なチョウができる

-産業的にも害虫防除・生殖工学の観点から注目される-

深津 武馬
E-mail: 1-fukatsu@aist.go.jp
生物機能工学研究部
生物共生相互作用研究グループ
2007年7月2日掲載

ポイント

- キチョウという昆虫の幼虫に抗生物質を食べさせると、オスとメスの中間的な性質をもった「両性個体」が高頻度であらわれることを発見。
- 共生細菌が昆虫のオスをメスに性転換をおこなう時期は初期発生段階に限定されず、長く幼虫期にわたることが明らかになった。
- 産業的にも昆虫の性制御や害虫防除・生殖工学の観点から注目される。

概要

独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 古川 弘之】(以下「産総研」という) **生物機能工学研究部**【部門長 鎌倉 正寛】**生物共生相互作用研究グループ** 深津 武馬 研究グループ長らは、千葉大学と共同で、キチョウという昆虫において性転換を行うボルバキアという共生細菌の作用が、初期発生段階に限定されず、長く幼虫期にわたることを明らかにした。

ある種のチョウやダンゴムシでは、ボルバキアという共生細菌に感染することで、性染色体はオスなのに完全なメス個体として発生する「共生細菌による性転換」という現象が知られていた。このような共生細菌に感染したキチョウの幼虫に抗生物質を食べさせたところ、さまざまなパターンでオスとメスの特徴をあわせもつ「両性個体」があらわれたのである。

今回の発見は、昆虫の性転換が初期発生段階に限定されず、後発発生の過程においても可能なことを示す知見である。これは産業的にも昆虫の性制御や害虫防除・生殖工学の観点からも注目される成果である。

本研究成果は米国の学術専門誌「Applied and Environmental Microbiology」(応用環境微生物学)に2007年7月2日に発表され、キチョウが同誌の表紙を飾る。



写真：キチョウの正常個体(左)と両性個体(右)

⊕ (独)産業技術総合研究所ご提供

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

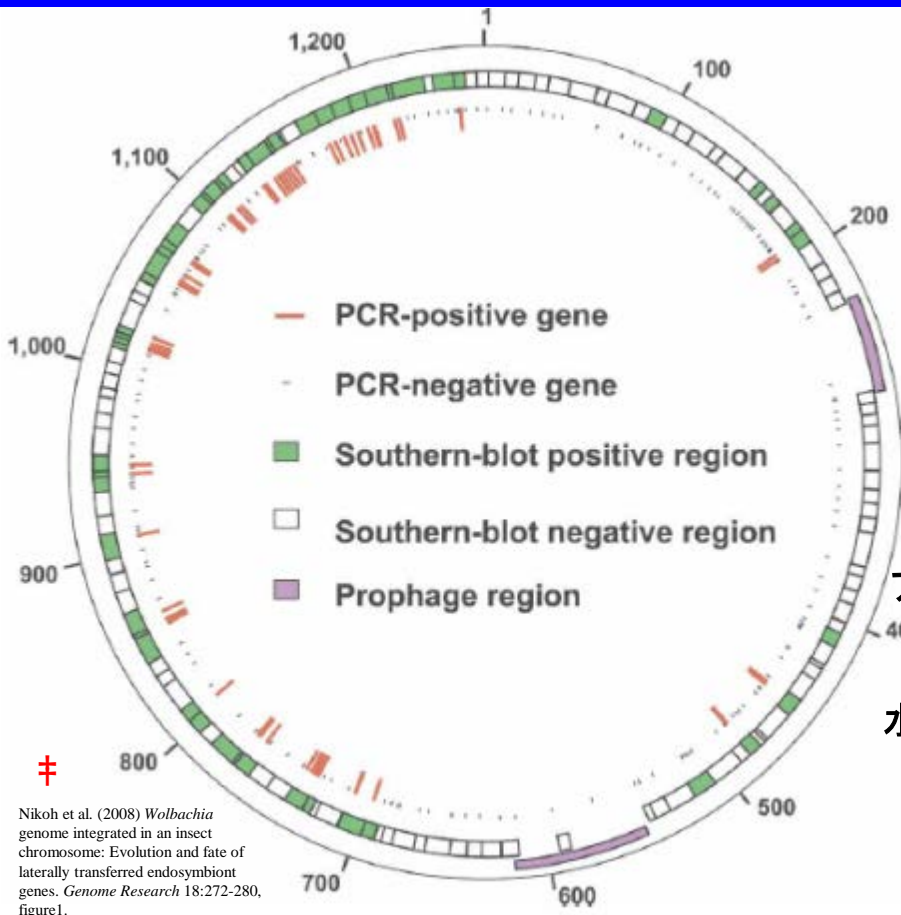
しんぶん赤旗 2007年07月22日
『自然の不思議
性転換促す共生細菌』

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

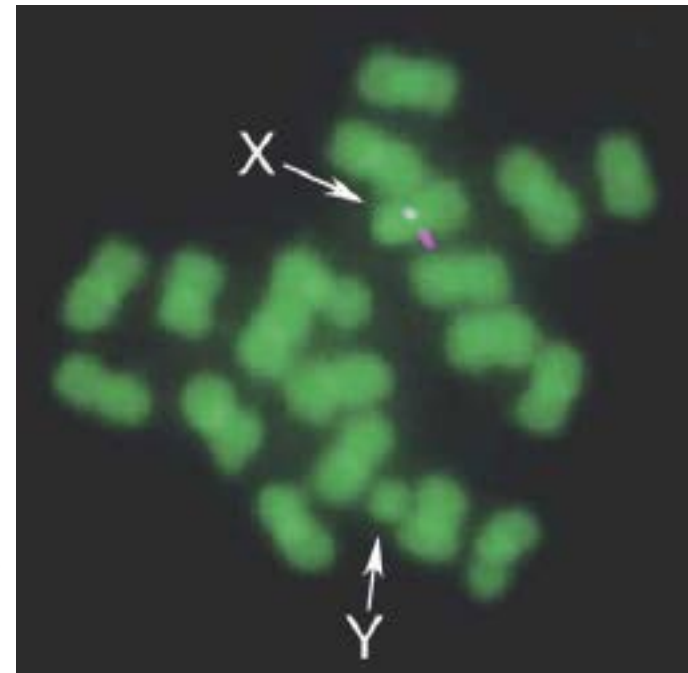
毎日新聞 2007年07月05日
『産総研など解明
キチョウの性別 幼虫時、細菌が決める』

共生細菌ボルバキアから アズキゾウムシ染色体への ゲノム水平転移の発見

アズキゾウムシ *Callosobruchus chinensis*



ボルバキア
ゲノム上に
マップした
アズキゾウムシ
から検出
された
水平転移遺伝子



アズキゾウムシ
X染色体上の
ボルバキア由来
水平転移遺伝子
のin situハイブリ
ダイゼーション
による可視化

† Nikoh et al. (2008) *Wolbachia* genome integrated in an insect chromosome: Evolution and fate of laterally transferred endosymbiont genes. *Genome Research* 18:272-280, figure2A.

Kondo et al. (2002) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*
99: 14280

Nikoh et al. (2008) *Genome Res.* 18: 272

Aikawa et al. (2009) *Proc. R. Soc. B* 276: 3791

† Nikoh et al. (2008) *Wolbachia* genome integrated in an insect chromosome: Evolution and fate of laterally transferred endosymbiont genes. *Genome Research* 18:272-280, figure1.

共生細菌ボルバキアから アズキゾウムシ染色体への ゲノム水平転移の発見

アズキゾウムシ *Callosobruchus chinensis*

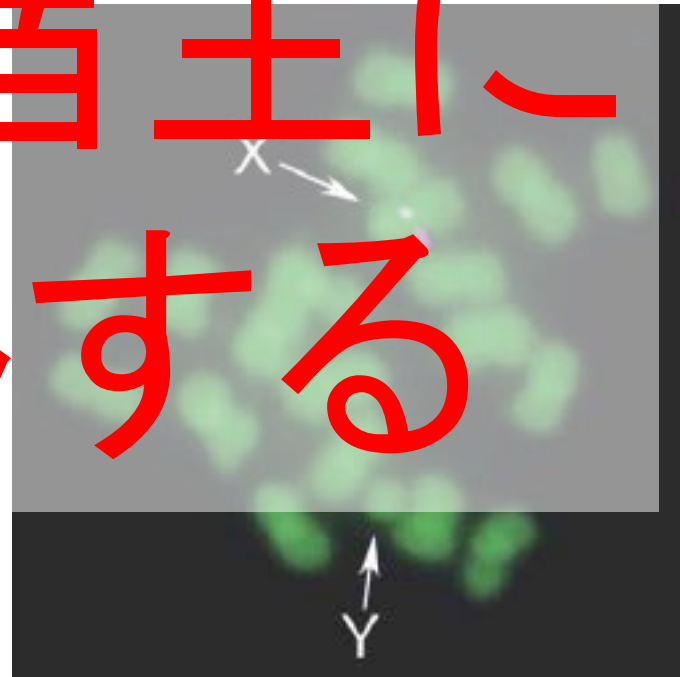


共生細菌の 遺伝子が宿主に 水平転移する



ボルバキア
ゲノム上に
マップした
アズキゾウムシ
から検出
された
水平転移遺伝子

アズキゾウムシ
X染色体上の
ボルバキア由来
水平転移遺伝子
のin situハイブリ
ダイゼーション
による可視化



Kondo *et al.* (2002) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*
99: 14280

Nikoh *et al.* (2008) *Genome Res.* 18: 272

Aikawa *et al.* (2009) *Proc. R. Soc. B* 276: 3791

† Nikoh *et al.* (2008) *Wolbachia* genome integrated in an insect chromosome: Evolution and fate of laterally transferred endosymbiont genes. *Genome Research* 18:272-280, figure2A.

2002.10.29 発表
 共生微生物から宿主昆虫へのゲノム水平転移の発見
 -生物進化、組織体管理などへインパクト-

ポイント

1. 昆虫のゲノムの中に共生細菌の大きなゲノム断片が入り込んでいることを発見
2. 微生物から高等生物への遺伝子水平転移が自然状態で起こりうることを、世界で初めて証明
3. 生物進化において考慮すべき要因としてや、遺伝子組換え体を利用するにあたってのリスク評価の問題など、様々な観点からの議論を喚起する新知見である

概要

独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 吉川 弘之】(以下「産総研」という)生物機能工学研究部門【部門長 曾良 達生】は、東京大学【総長 佐々木 毅】と協力して、豆類の害虫として知られるアズキゾウムシのX染色体の中に、微生物の大きなゲノム断片が入り込んでいることを明らかにした。この微生物はボルバキアと呼ばれる共生細菌で、昆虫の細胞の中に生息する性質をもっている。本研究結果によって、微生物から高等生物への遺伝子の水平転移が自然界で実際に起こったという明確な証拠が、世界で初めて示された。

本発見により、我々ヒトを含む高等生物においても、腸内や環境中に存在する、あるいは寄生者や共生者として共存している微生物から遺伝子を取り込む可能性がありうることが示唆された。即ち、生物進化において考慮すべき要因としてや、病原体や寄生者との相互作用を理解する上で、更には、遺伝子組換え生物を利用する際のリスク評価などにまで至る、基礎から応用に亘る生物学の広い分野にインパクトを与える新知見であり、国際的に大きな注目を集める成果である。

本成果は、「米国科学アカデミー紀要(Proceedings of the National Academy of Sciences, USA) *」(2002年10月29日発行)に掲載される。



アズキに産卵するアズキゾウムシ。

この小さな甲虫のX染色体の上に共生細菌ボルバキアのゲノム断片が存在する。

著作権の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました。

日刊工業新聞 2002年10月30日
 『「水平転移」の証拠!?
 産総研と東大 アズキゾウムシで確認』

毎日新聞 2002年10月30日
 『細菌ゲノム断片 昆虫に水平転移
 産総研初確認』

化学日報工業新聞 2002年10月30日
 『遺伝子転移を確認
 強制最近から宿主昆虫へ』

朝日新聞 2002年10月30日
 『寄生細菌→昆虫の細胞核
 移る遺伝子確認 東大など』

日本工業新聞 2002年10月30日
 『微生物の遺伝子⇒高等生物に
 自然界の転移確認
 産総研 宿主昆虫に断片』

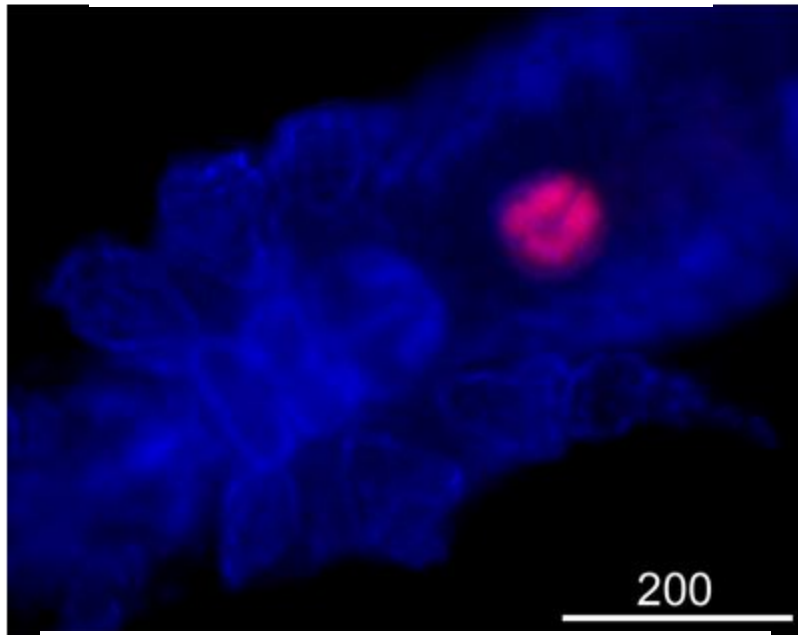
吸血性昆虫類の 共生細菌の同定 および機能解析



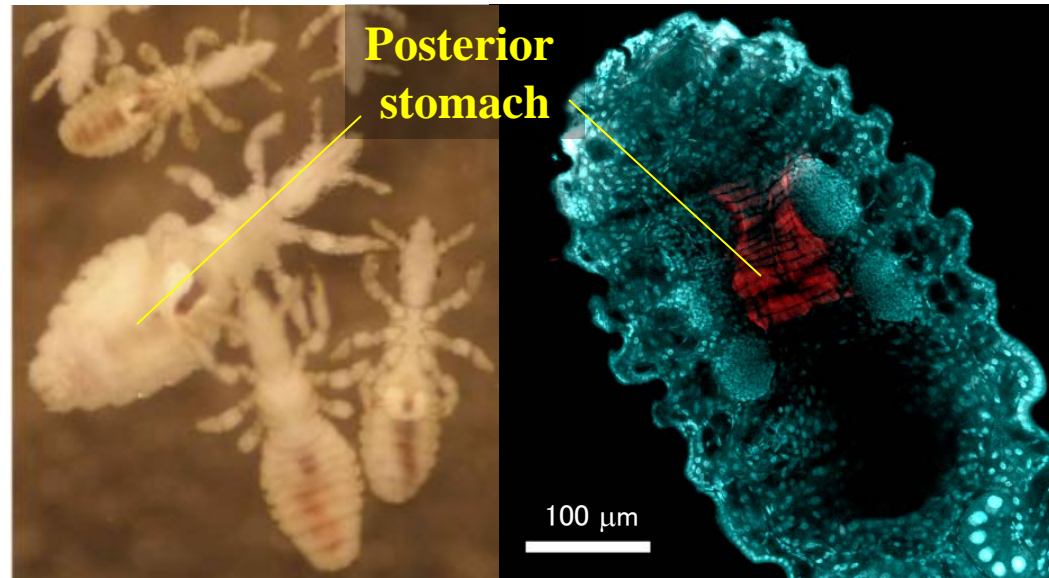
コロモジラミ *Pediculus humanus*

Sasaki-Fukatsu *et al.* (2006) *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 7349

Fukatsu *et al.* (2009) *Appl. Environ. Microbiol.* 75: 3796

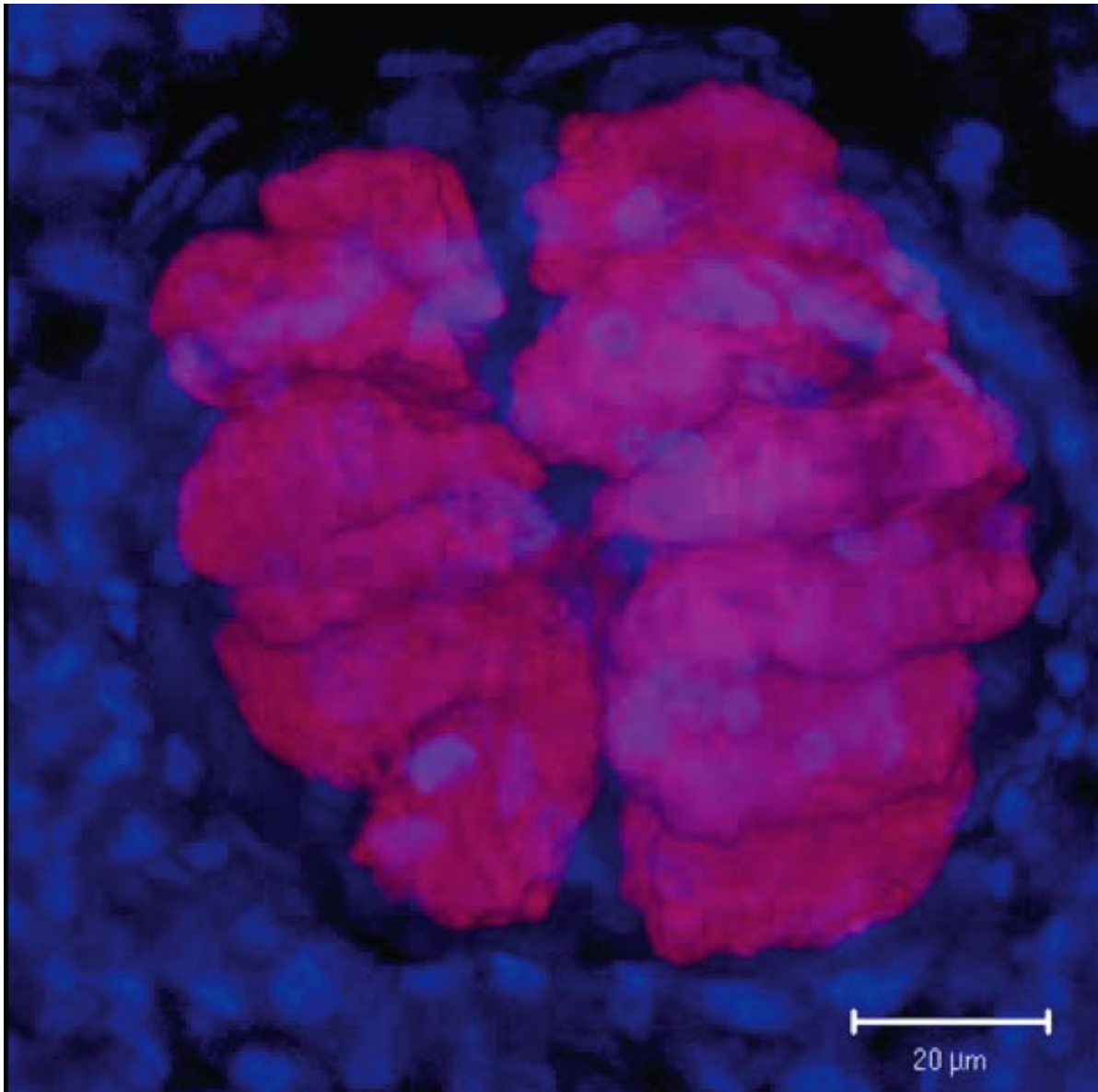


コロモジラミ胃盤中の共生細菌 *Riesia*



サルジラミ *Pedicinus obtusus* の中腸上皮に存在する
共生細菌 *Puchtella*

コロモジラミ共生器官の3D再構築像

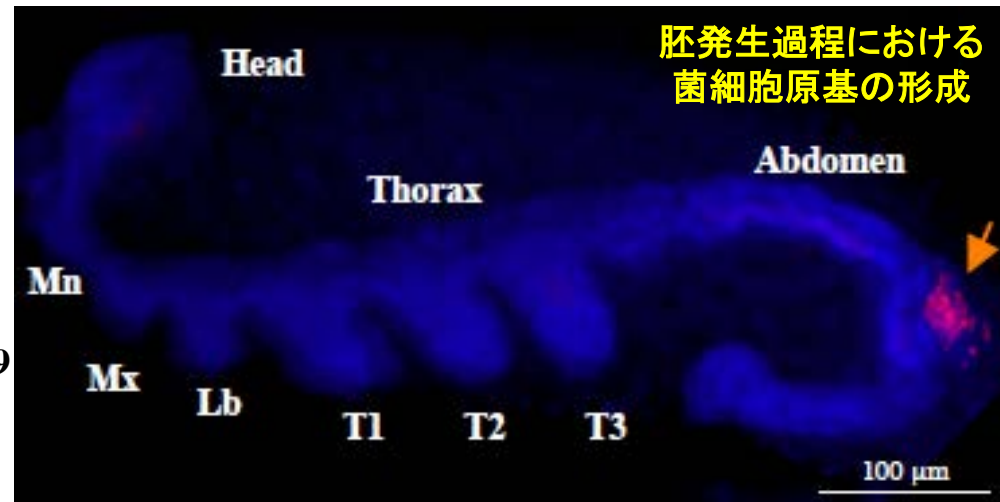
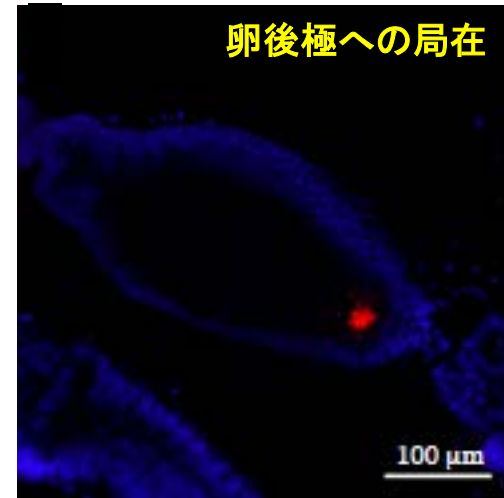
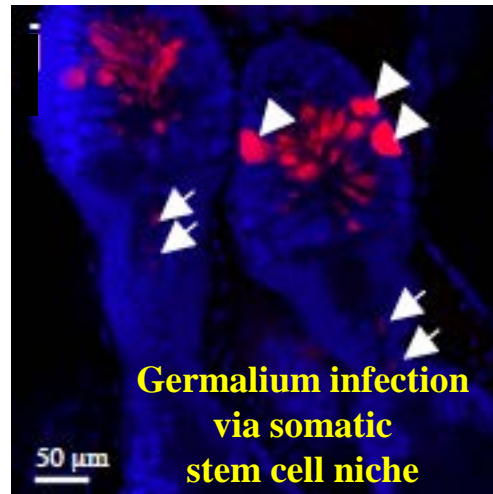
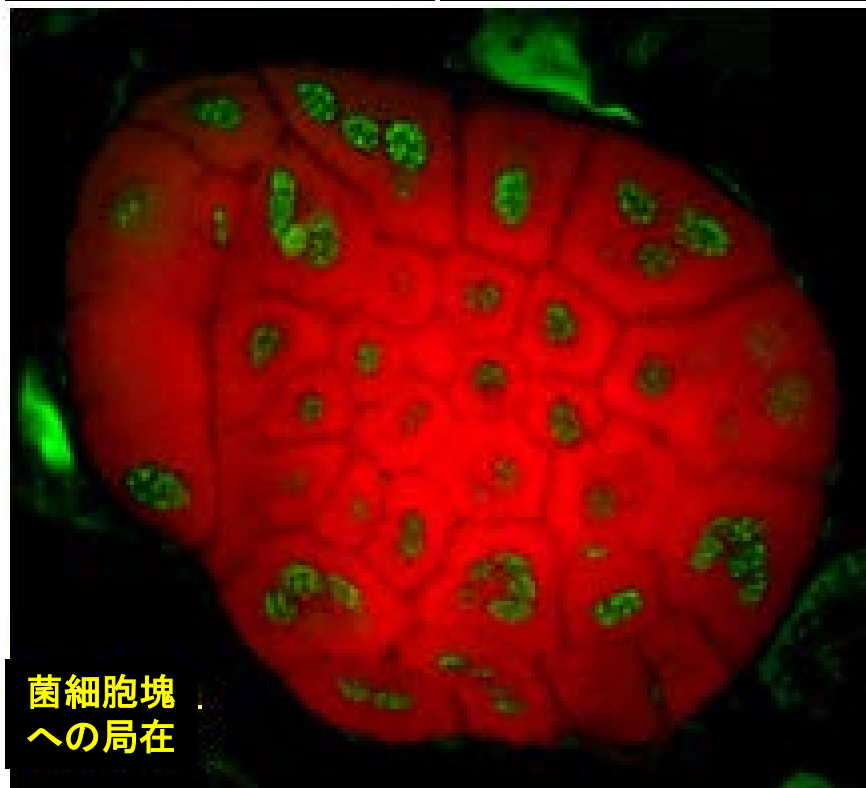
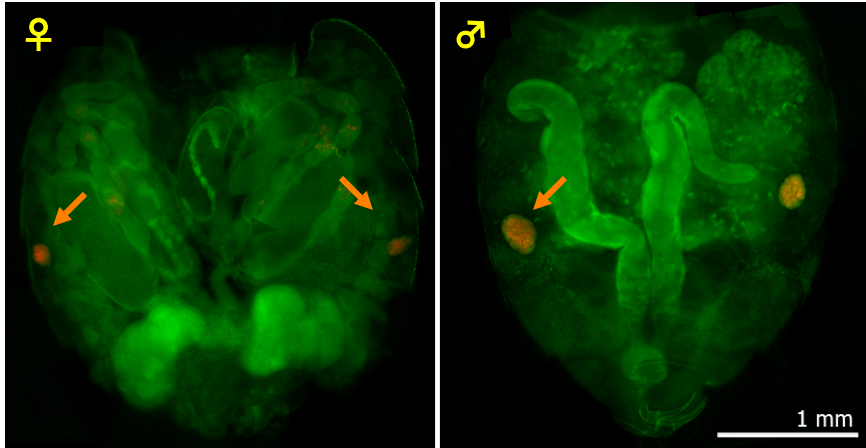


✦

<http://aem.asm.org/cgi/content/full/72/11/7349/DC1?maxtoshow=&hits=10&RESULTFORMAT=&fulltext=Sasaki-Fukatsu&searchid=1&FIRSTINDEX=0&resourcetype=HWCIT>

Ryuichi Koga

トコジラミにおける 菌細胞局在性栄養相利 共生ボルバキアの発見



Hosokawa *et al.* (2010) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107: 769

† Takahiro Hosokawa, Ryuichi Koga, Yoshitomo Kikuchi, Xian-Ying Meng, and Takema Fukatsu (2010) Wolbachia as a bacteriocyte-associated nutritional mutualist. *PNAS* 107 (2): 769-774, figure1.

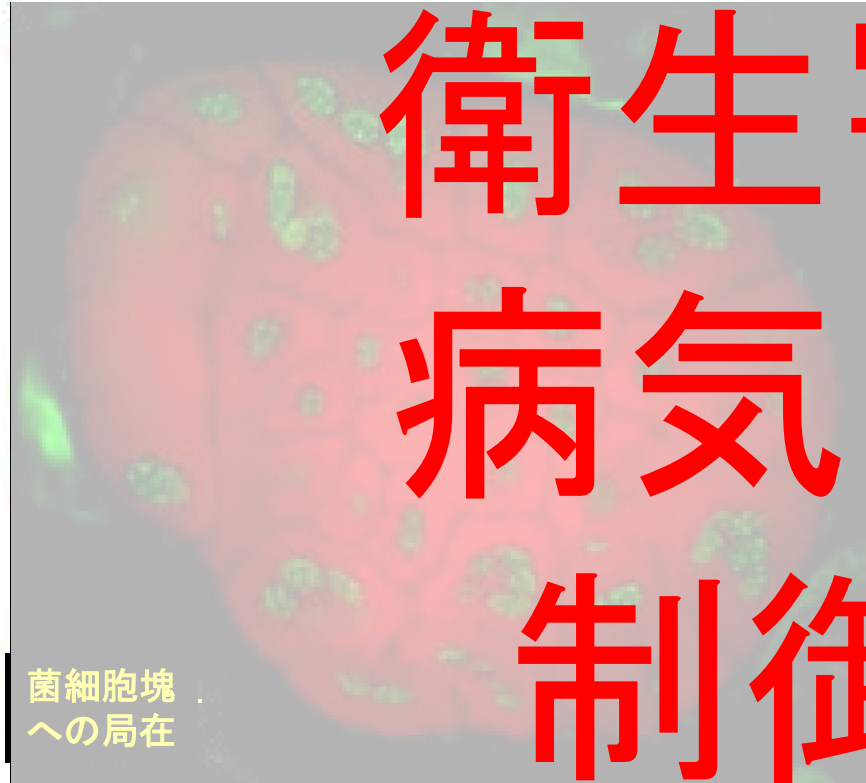
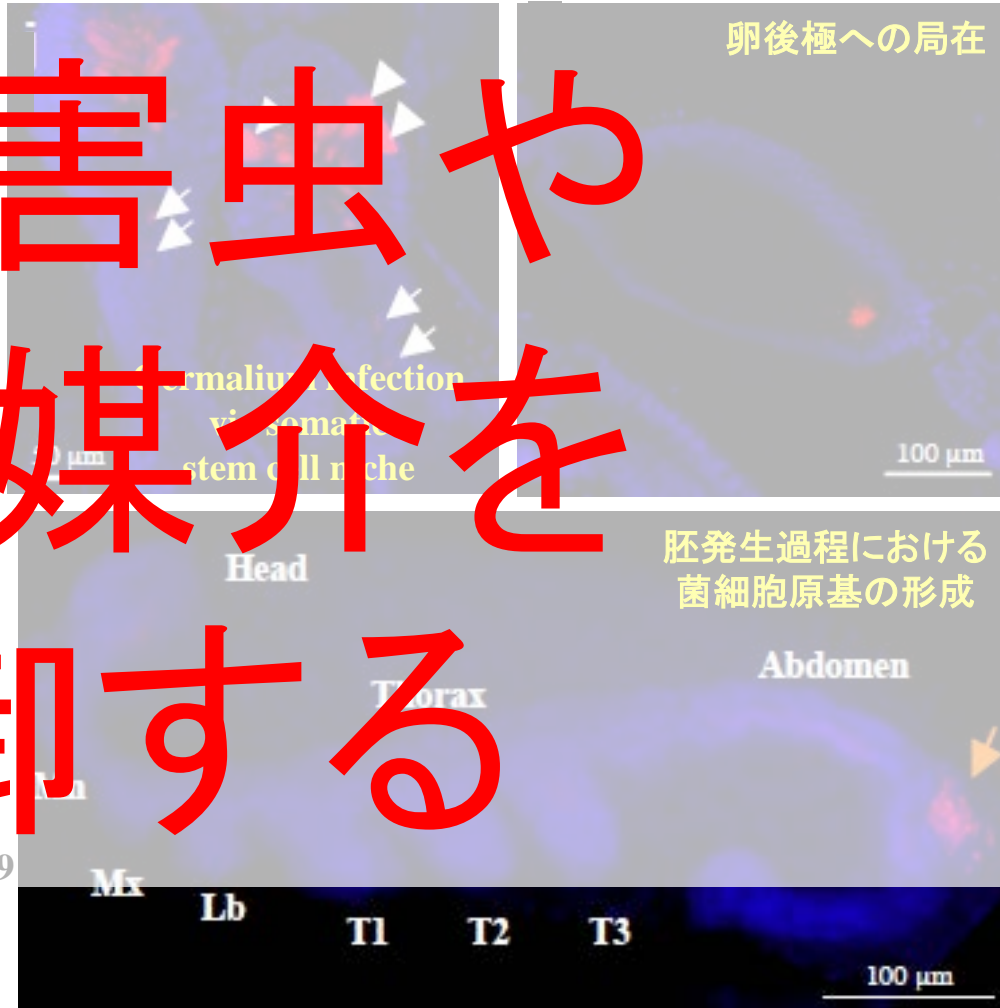
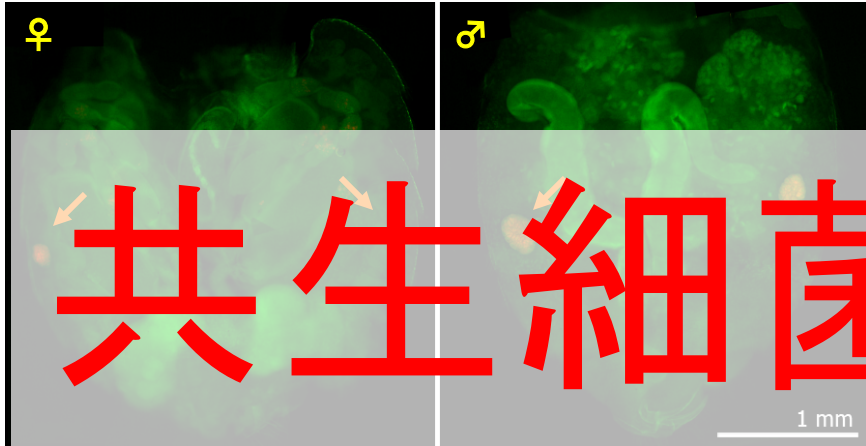
Copyright (2010) National Academy of Sciences, U.S.A.

トコジラミにおける

菌細胞局在性栄養相利
共生関係の発見

共生細菌を標的に

衛生害虫や 病気媒介を 制御する



Hosokawa et al. (2010) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107: 769

† Takahiro Hosokawa, Ryuichi Koga, Yoshitomo Kikuchi, Xian-Ying Meng, and Takema Fukatsu (2010) *Wolbachia* as a bacteriocyte-associated nutritional mutualist. *PNAS* 107 (2): 769-774, figure1.
Copyright (2010) National Academy of Sciences, U.S.A.

> [研究紹介・成果](#) > [主な研究成果](#) > [プレスリリース](#) > トコジラミに必須栄養素を供給する細胞内共生細菌ポルバキアの発見

2009年12月22日 発表

トコジラミに必須栄養素を供給する細胞内共生細菌ポルバキアの発見

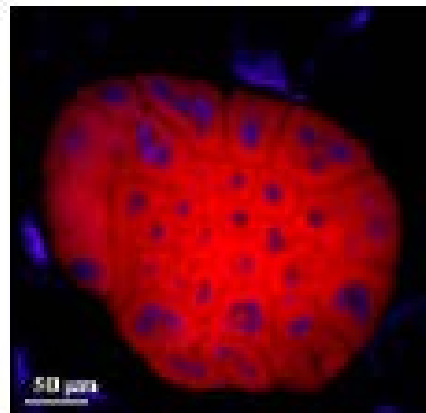
—寄生から相利共生への進化を実証—

ポイント

- 吸血衛生害虫のトコジラミ（南京虫）にとって、共生細菌ポルバキアが生存に必須であることを発見した。
- ポルバキアはトコジラミの共生器官に局在し、必須栄養素を供給することにより宿主に利益をもたらす共生細菌である。
- 共生進化過程の理解への貢献とともに、吸血衛生害虫の制御などへ応用の可能性がある。

概要

独立行政法人産業技術総合研究所【理事長 野間口 有】（以下「産総研」という）[ゲノムファクトリー研究部門](#)【研究部門長 鎌形 洋一】生物共生進化機構研究グループ 深津 武馬 研究グループ長、細川 貴弘 産総研特別研究員らは、吸血衛生害虫として古くから知られ、近年の殺虫剤耐性や先進国での再興が問題となっているトコジラミ（別名 南京虫）にとって、ポルバキアという共生細菌が生存に必須であり、その生理機能が必須栄養素ビタミンB類の供給にあることを解明した。



著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

朝日新聞 2009年12月23日
『南京虫対策 共生菌たたく
産総研 ビタミン補給のつながり解明』

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

読売新聞 2009年12月26日(夕刊)
『「かゆい布団」解消？
南京虫駆除 新薬に道』

角質食性昆虫の 細胞内共生細菌の 同定と機能解析

Fukatsu *et al.* (2007) *Appl. Environ. Microbiol.* 73: 6660



著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

Fukatsu *et al.* (2007)
Bacterial Endosymbiont of the Slender Pigeon Louse, *Columbicola columbae*, Allied to
Endosymbionts of Grain Weevils and Tsetse Flies.
Applied and Environmental Microbiology 73(20):6660-6668, figure4(K)(L)(M)

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

Fukatsu *et al.* (2007)
Bacterial Endosymbiont of the Slender Pigeon Louse,
Columbicola columbae, Allied to Endosymbionts of
Grain Weevils and Tsetse Flies.
Applied and Environmental Microbiology
73(20):6660-6668, figure3, figure4(K)(L)(M)

角質食性昆虫の
細胞内共生細菌の
同定と機能解析

共生により

栄養的に

困難な食物

に適応する

Fukatsu *et al.* (2007) *Appl. Environ. Microbiol.* 73: 6660



ハトナガハジラミ(ドノドノ科寄生)

Females



Males

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

Fukatsu *et al.* (2007)

Bacterial Endosymbiont of the Slender Pigeon Louse,
Columbicola columbae, Allied to Endosymbionts of
Grain Weevils and Tsetse Flies.
Applied and Environmental Microbiology
73(20):6660-6668, figure 4(K)(L)(M)

著作権の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

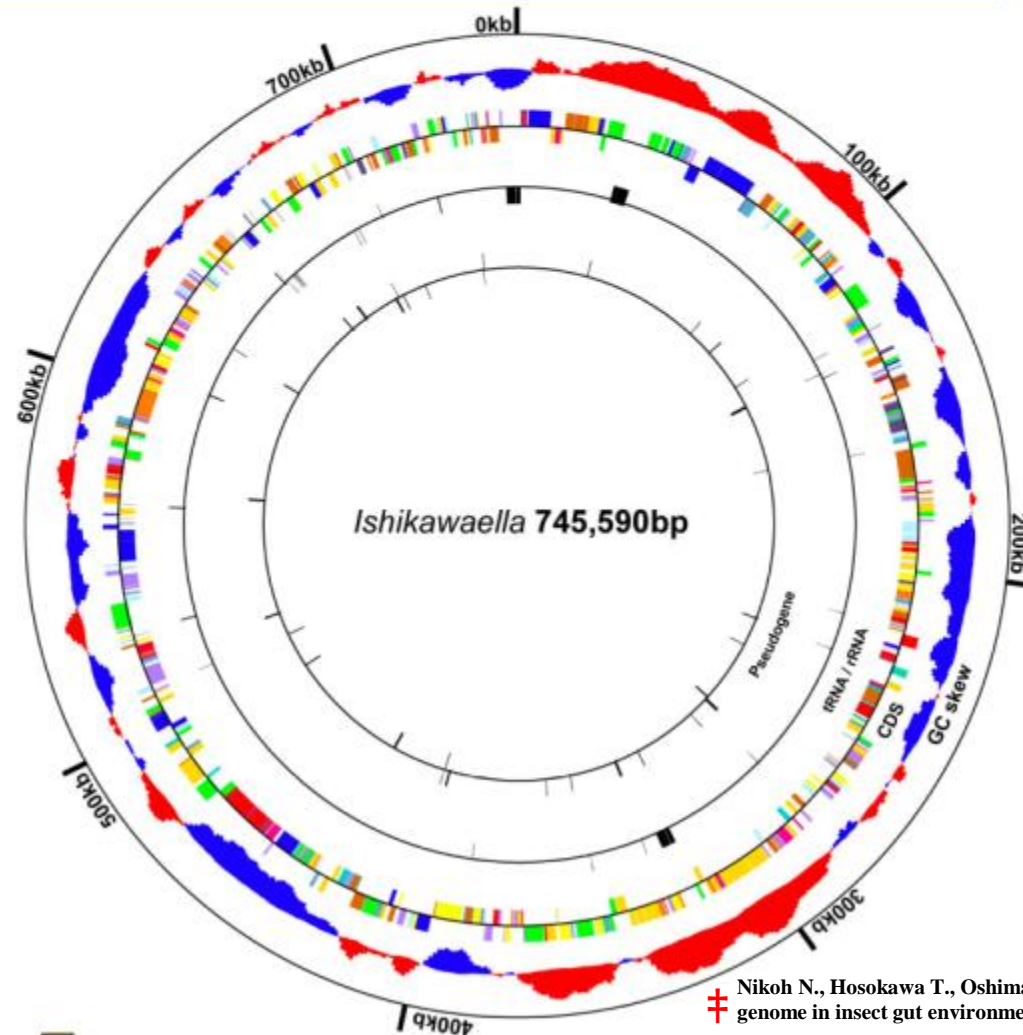
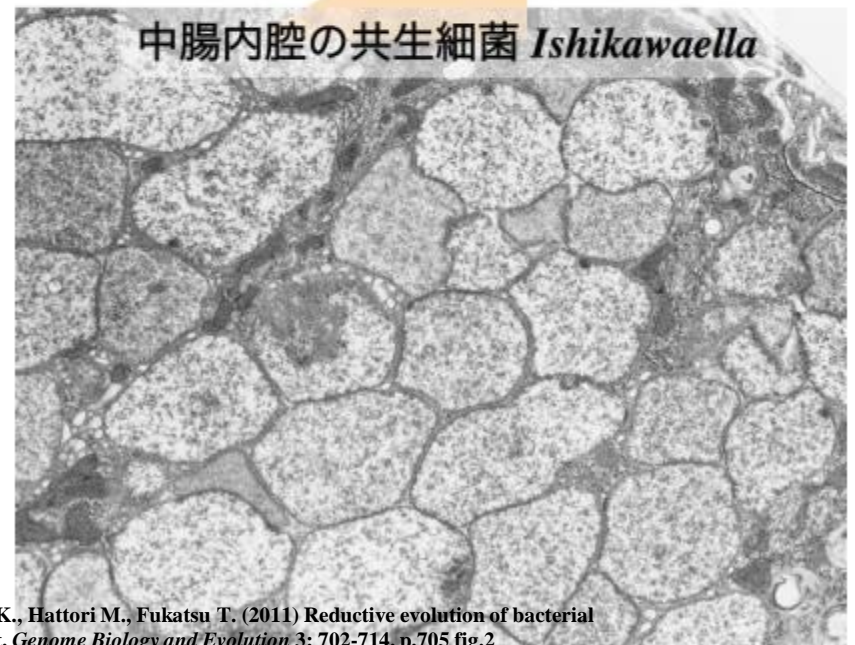
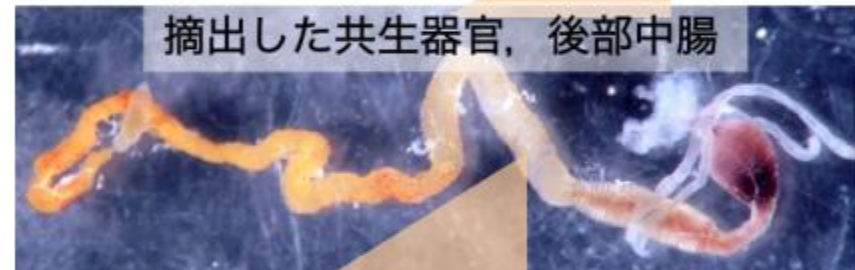
Fukatsu *et al.* (2007)

Bacterial Endosymbiont of the Slender Pigeon Louse, *Columbicola columbae*, Allied to
Endosymbionts of Grain Weevils and Tsetse Flies.
Applied and Environmental Microbiology 73(20):6660-6668, figure 4(K)(L)(M)

高度な生物機能を有する昆虫共生細菌の全ゲノム解析

Nikoh *et al.*
(2011)
Genome Biol. Evol. 3: 702

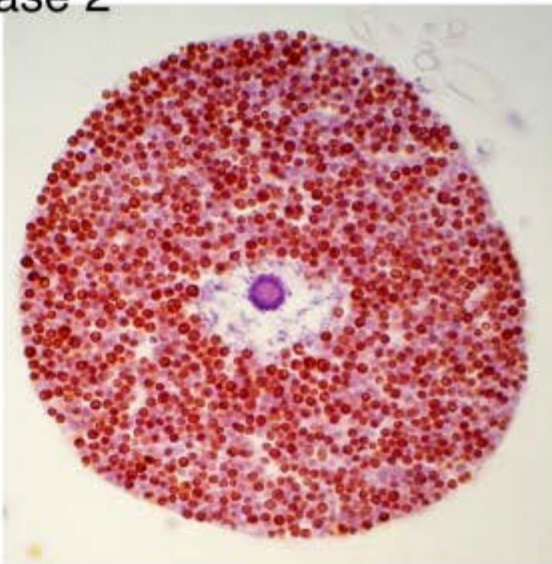
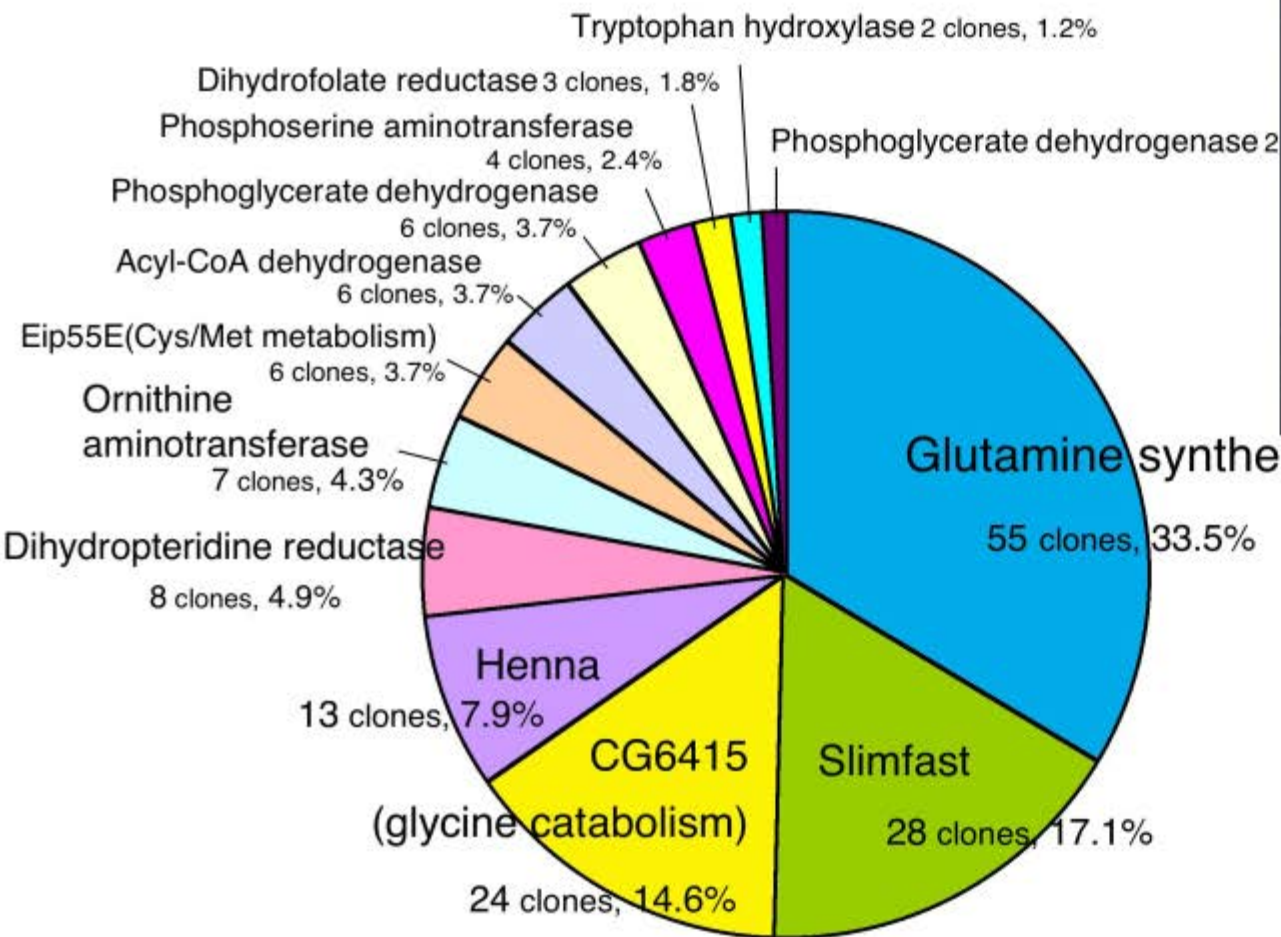
Nikoh *et al.*
in prep.



† Nikoh N., Hosokawa T., Oshima K., Hattori M., Fukatsu T. (2011) Reductive evolution of bacterial genome in insect gut environment. *Genome Biology and Evolution* 3: 702-714. p.705 fig.2

宿主共生細菌で発現する 遺伝子群のEST解析

Nakabachi *et al.* (2005) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102: 5477



† 中鉢淳先生ご提供

共生細菌

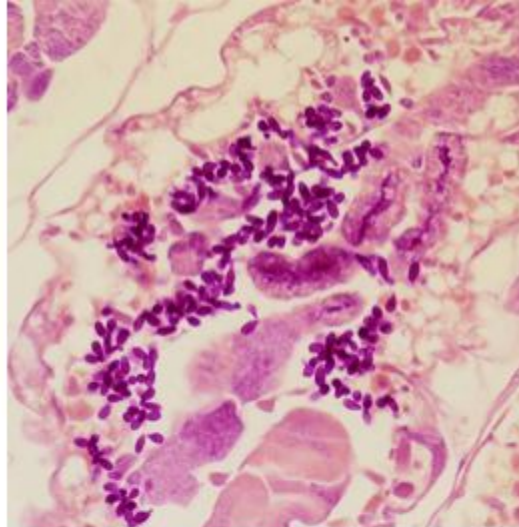
縮小ゲノム; 全遺伝子レパートリーの把握が容易;
共生の機能や歴史がゲノムをみればかなりわかる



共生器官

特殊化した新規細胞, 組織, 器官の進化;
共生器官に特異的な発現遺伝子群の網羅的把握
から共生に関わる機能を明らかにできるのでは

冬虫夏草類の 系統関係および 寄主特異性の 進化過程に 関する研究



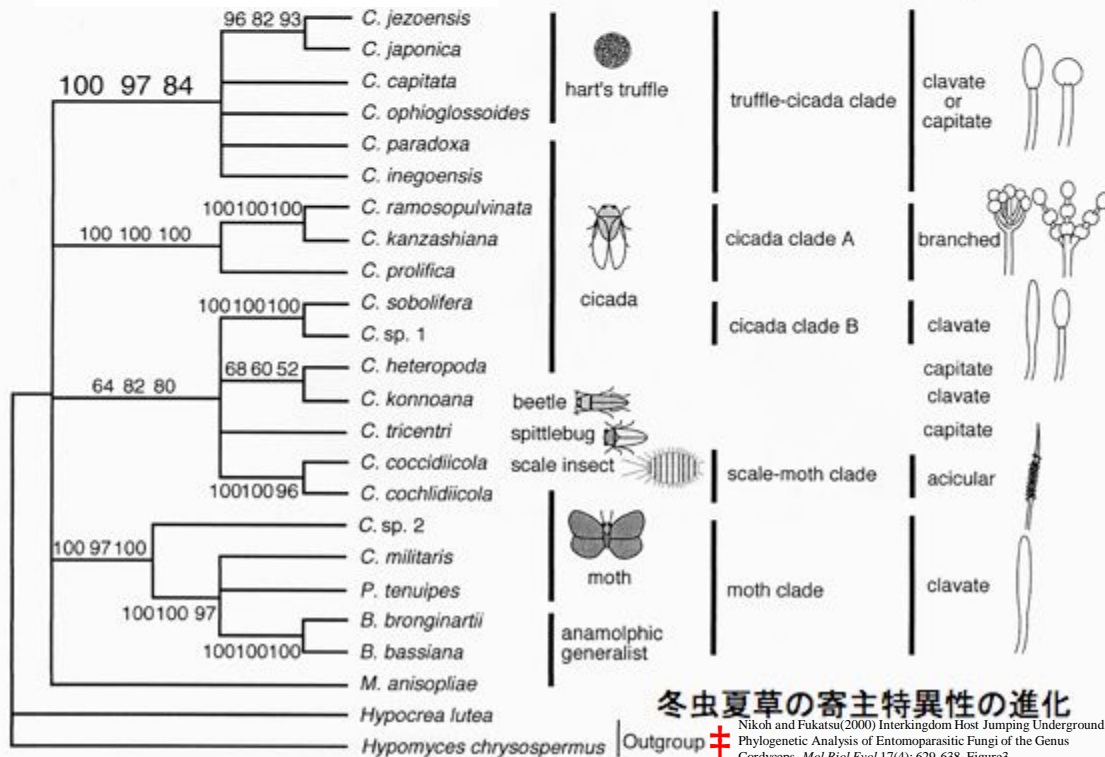
アブラムシの酵母様共生体も
冬虫夏草を進化的起源としている

Nikoh and Fukatsu (2001)

Mol. Biol. Evol. 18: 1631

Nikoh and Fukatsu (2000)

Mol. Biol. Evol. 17: 629



カイガラムシツブタケ



オオセミタケ



ヤンマタケ

冬虫夏草類の
系統関係および
寄主特異性の
進化過程に
関する研究

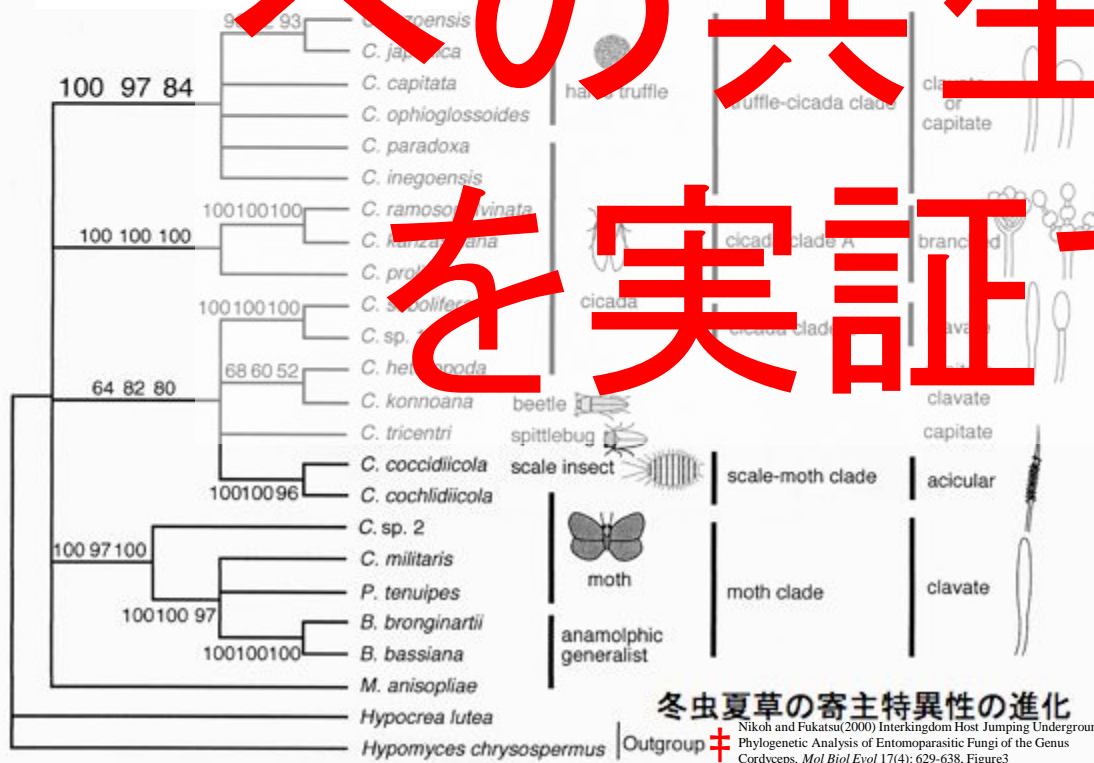


アブラムシの酵母様共生体も冬虫夏草を進化的起源としている



イガラムシツブタケ

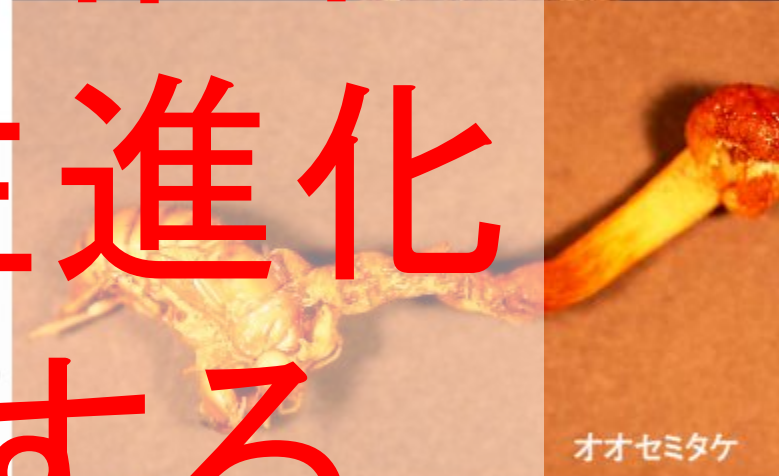
Nikoh and Fukatsu (2001)
Mol. Biol. Evol. 18: 1631
Nikoh and Fukatsu (2000)
Mol. Biol. Evol. 17: 629



冬虫夏草の寄主特異性の進化

Nikoh and Fukatsu(2000) Interkingdom Host Jumping Underground: Phylogenetic Analysis of Entomoparasitic Fungi of the Genus Cordyceps. *Mol Biol Evol* 17(4): 629-638, Figure3

寄生から相利
への共生進化
を実証する

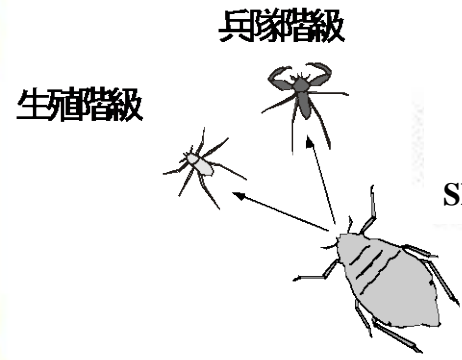


オオセミタケ

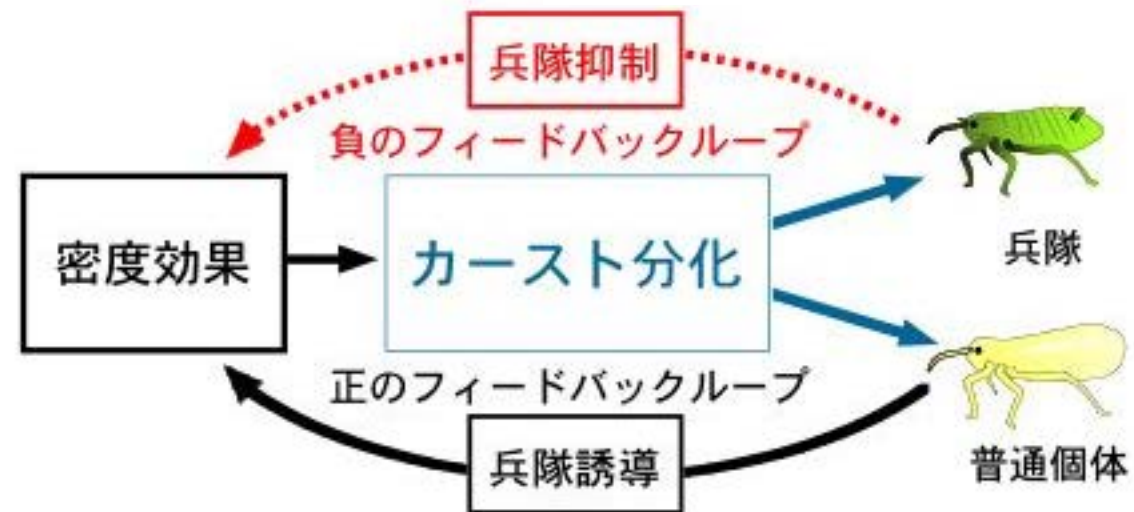
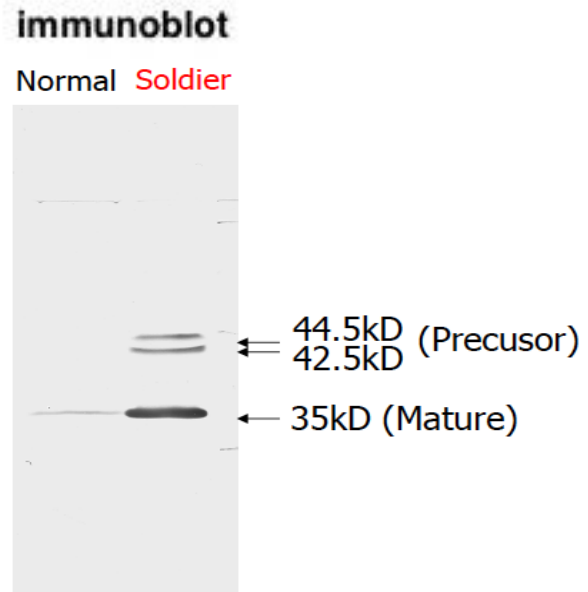


ヤンマタケ

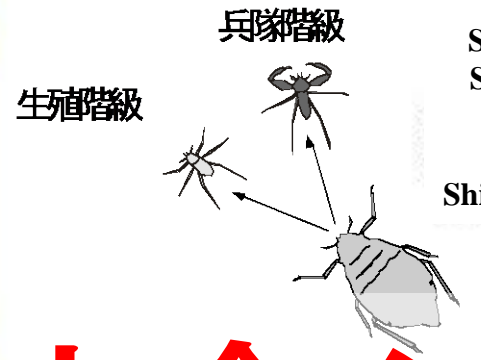
社会性アブラムシにおける兵隊階級分化の生態, 生理, 分子機構の解明



Shibao et al. (2004) *J. Insect Physiol.* 50: 995
 Shibao et al. (2004) *J. insect Physiol.* 50: 143
 Shibao et al. (2004) *Proc. R. Soc. Lond. B* 271: S71
 Shibao et al. (2003) *Naturwissenschaften* 90: 501

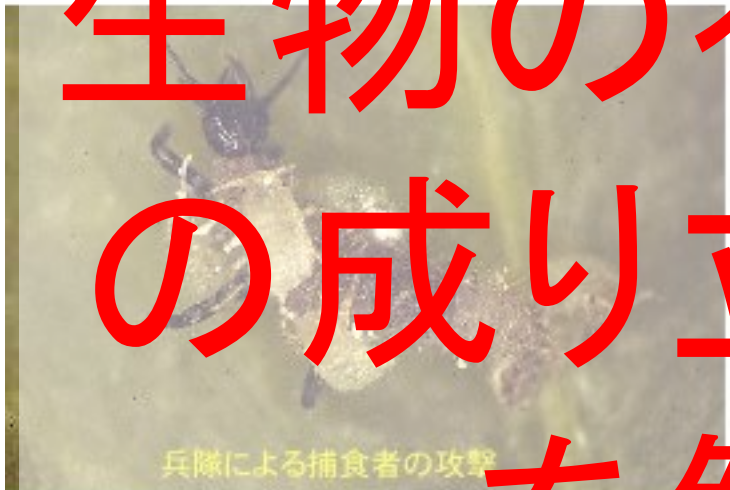


社会性アブラムシにおける兵隊階級分化の生態, 生理, 分子機構の解明



Shibao et al. (2004) *J. Insect Physiol.* 50: 995
Shibao et al. (2004) *J. insect Physiol.* 50: 143
Shibao et al. (2004) *Proc. R. Soc. Lond. B* 271: S71
Shibao et al. (2003) *Naturwissenschaften* 90: 501

生物の社会システムの成り立ちと仕組みを解明する



兵隊による捕食者の攻撃



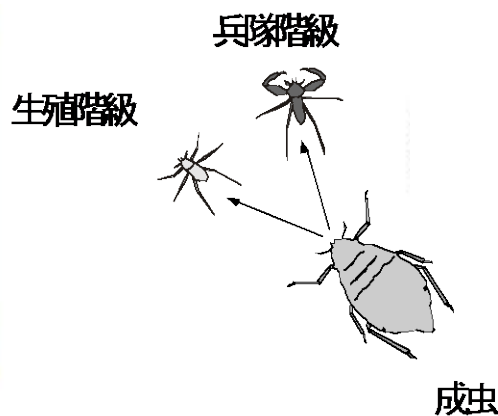
兵隊によるゴール開口のガード



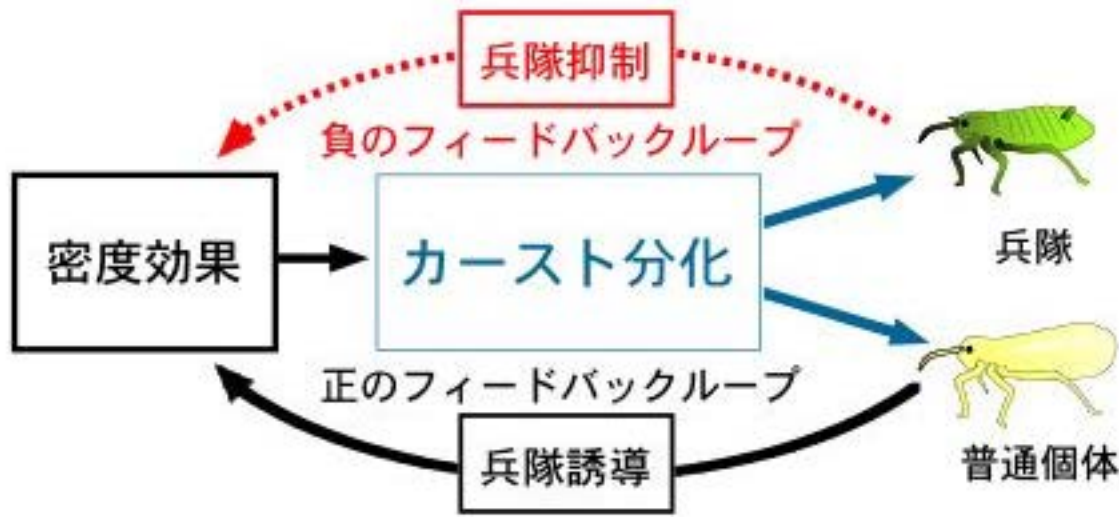
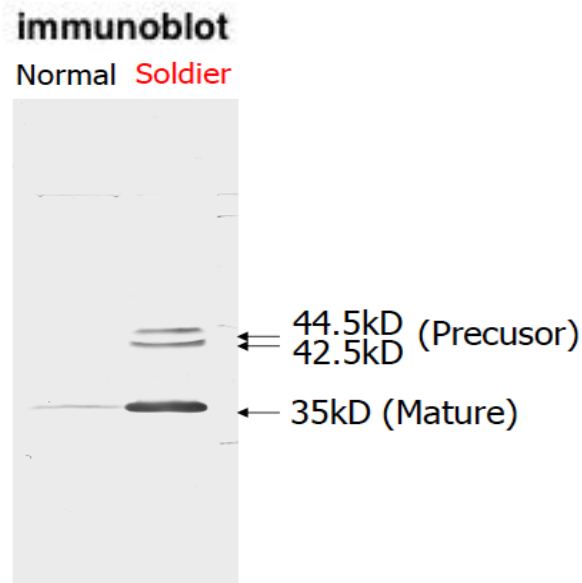
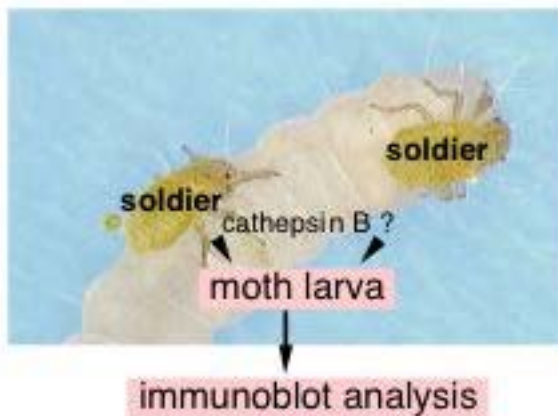
ハクウンボクハナフシアブラムシ兵隊の攻撃行動

著作権の都合により、
ここに挿入されていた動画を削除しました。

社会性アブラムシにおける兵隊階級分化の生態, 生理, 分子機構の解明

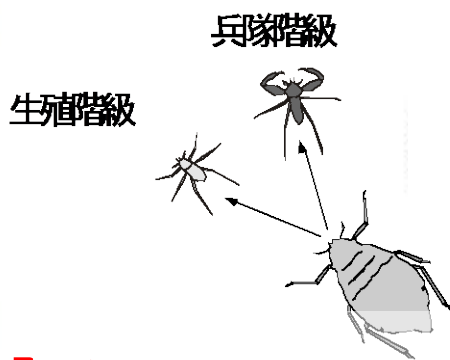


Kutsukake *et al.* (2004)
Proc. Natl. Acad. Sci. USA
101: 11338
Kutsukake *et al.* (2008)
Mol. Biol. Evol. 25: 2617



社会性アブラムシにおける兵隊階級分化の生態, 生理, 分子機構の解明

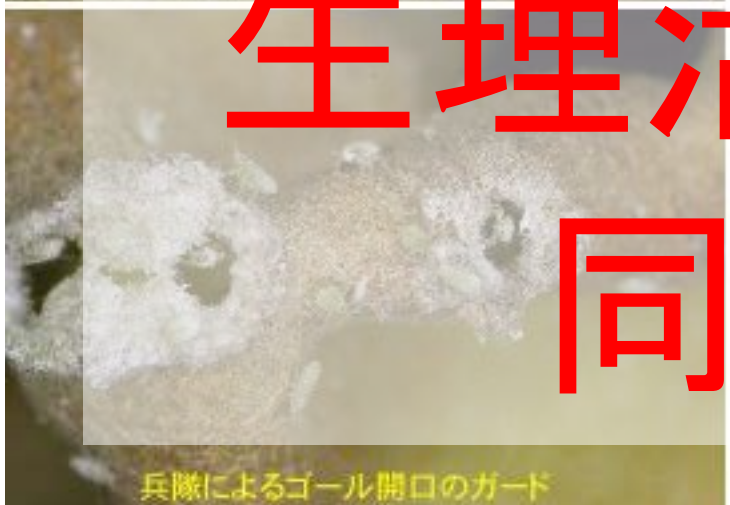
Kutsukake *et al.* (2004)
Proc. Natl. Acad. Sci. USA
101: 11338
Kutsukake *et al.* (2008)
Mol. Biol. Evol. 25: 2617



immunoblot
Normal Soldier



外敵への社会防衛に関わる生理活性物質を同定する



> 研究紹介・成果 > 主な研究成果 > プレスリリース > 兵隊アブラムシの攻撃毒プロテアーゼ

2004.7.27 発表

-兵隊アブラムシの攻撃毒プロテアーゼ

-未探索の生物資源からの生理活性物質-

ポイント

- 社会性アブラムシの兵隊階級において特異的に発現しているプロテアーゼ（タンパク質分解酵素）を同定し、兵隊が外敵を攻撃する際に注入する毒液の主成分であることを解明
- 兵隊アブラムシの特異的発現遺伝子について明らかにした初めての研究
- これまでにまったく未探索のユニークな生物から得られた生理活性物質
- 生物の社会性や兵隊階級の機能と進化、生物毒の起源と進化などに新たな洞察を与える成果

概要

独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 古川 弘之】（以下「産総研」という）生物機能工学研究部門【部門長 巖倉 正寛】の 深津 武馬 生物共生相互作用研究グループ長らの研究チームは、ミツバチやアリなどのように社会性を有する“社会性アブラムシ”の兵隊階級において特異的に発現しているプロテアーゼ（タンパク質分解酵素）を同定し、兵隊が外敵を攻撃する際に注入する毒液の主成分であることを解明した。

本研究は、兵隊アブラムシの分化にかかわる分子機構や、兵隊特異的な生物機能の分子基盤の解明を目指して行われたもので、兵隊アブラムシの特異的発現遺伝子を初めて明らかにした研究である。このプロテアーゼはこれまでまったく未探索のユニークな生物由来の生理活性物質であり、生物の社会性や利他的階級の機能と進化、生物毒の起源と進化などにも新たな洞察を与える知見といえる。



図1 天敵のヒメカゲロウの幼虫に襲いかかって攻撃するハクウンボクハナフシアブラムシの兵隊幼虫。

† (独)産業技術総合研究所ご提供

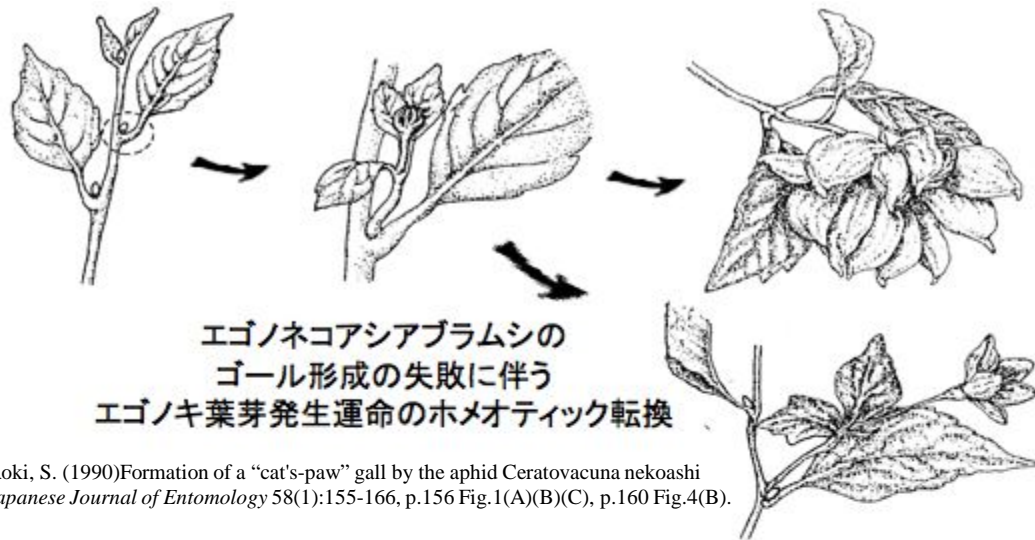
著作権の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました。

日刊工業新聞 2004年7月27日
『アブラムシの兵隊幼虫
プロテアーゼで敵攻撃
産総研 毒液の主成分解明』

著作権の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました。

化学工業日報 2004年7月27日
『アブラムシ 攻撃毒プロテアーゼ発見
産総研など新規殺虫剤に応用へ』

昆虫による 植物形態の操作 の機構の解明



† Kurosu, U. & Aoki, S. (1990) Formation of a "cat's-paw" gall by the aphid *Ceratovacuna nekoashi* (Homoptera). *Japanese Journal of Entomology* 58(1):155-166, p.156 Fig.1(A)(B)(C), p.160 Fig.4(B).

エゴノネコアシアブラムシ
Ceratovacuna nekoashi



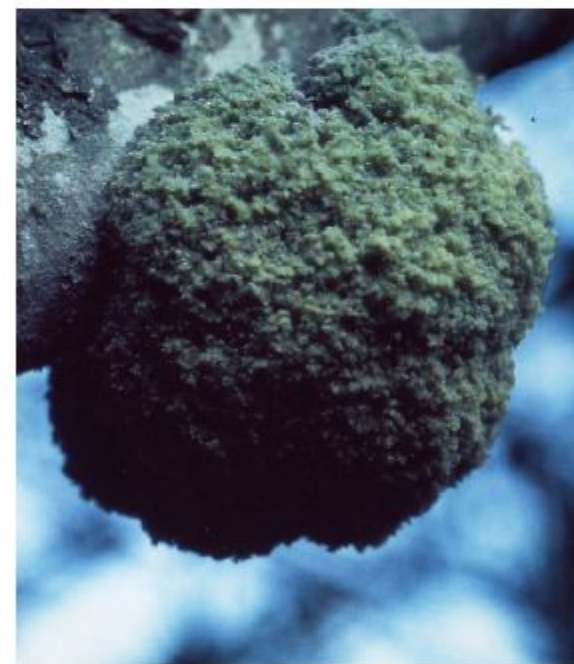
エゴノキの側芽に
バナナ状のゴールを形成

台湾ヤドリギアブラムシ
Tuberaphis taiwana



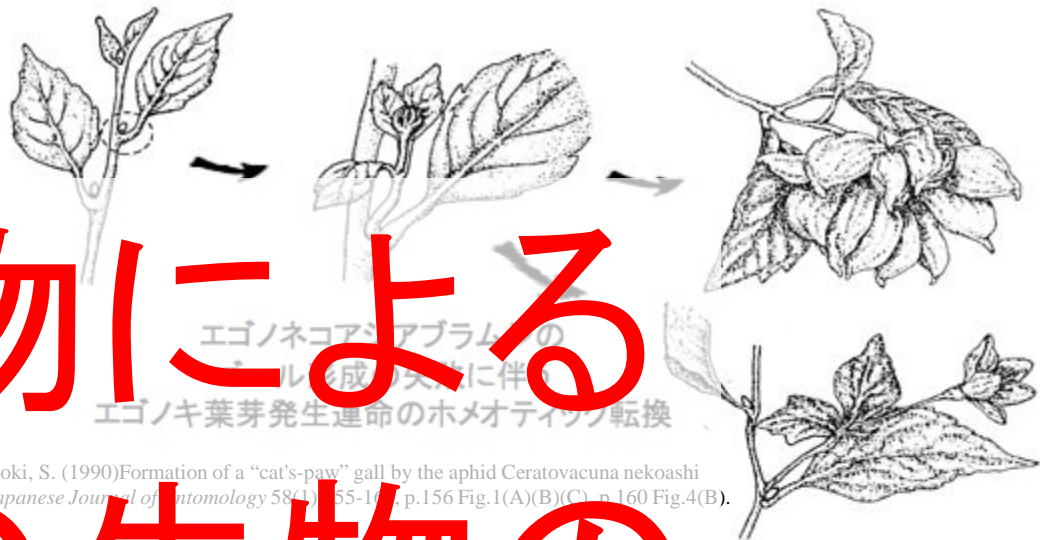
エゴノキの枝上に
巨大なサンゴ状のゴールを形成

タケノウチエゴアブラムシ
Tuberaphis takenouchii



エゴノキの幹上に
カリフラワー状のゴールを形成

昆虫による
植物形態の操作
の機構の解明



† Kurosu, U. & Aoki, S. (1990) Formation of a "cat's-paw" gall by the aphid *Ceratovacuna nekoashi* (Homoptera). *Japanese Journal of Entomology* 58(1): 55-104, p.156 Fig.1(A)(B)(C), p.160 Fig.4(B).

エゴノネコアシアブラムシ
Ceratovacuna nekoashi

アイワンノドリヤシガラムシ
Tuberaphis taiwana

イケノウチエゴアブラムシ
Tuberaphis takenouchii

生物による
他の生物の
形態操作の
謎を探る



エゴノキの側芽に
バナナ状のゴールを形成



エゴノキの枝上に
巨大なサンゴ状のゴールを形成



エゴノキの幹上に
カリフラワー状のゴールを形成

兵隊アブラムシによる 自己犠牲的ゴール修復 の分子基盤の解明

Nipponaphis monzeni



1st instar nymph



Adult



Spring gall
(Soft & thin wall)



Summer gall
(Hard & thick wall)

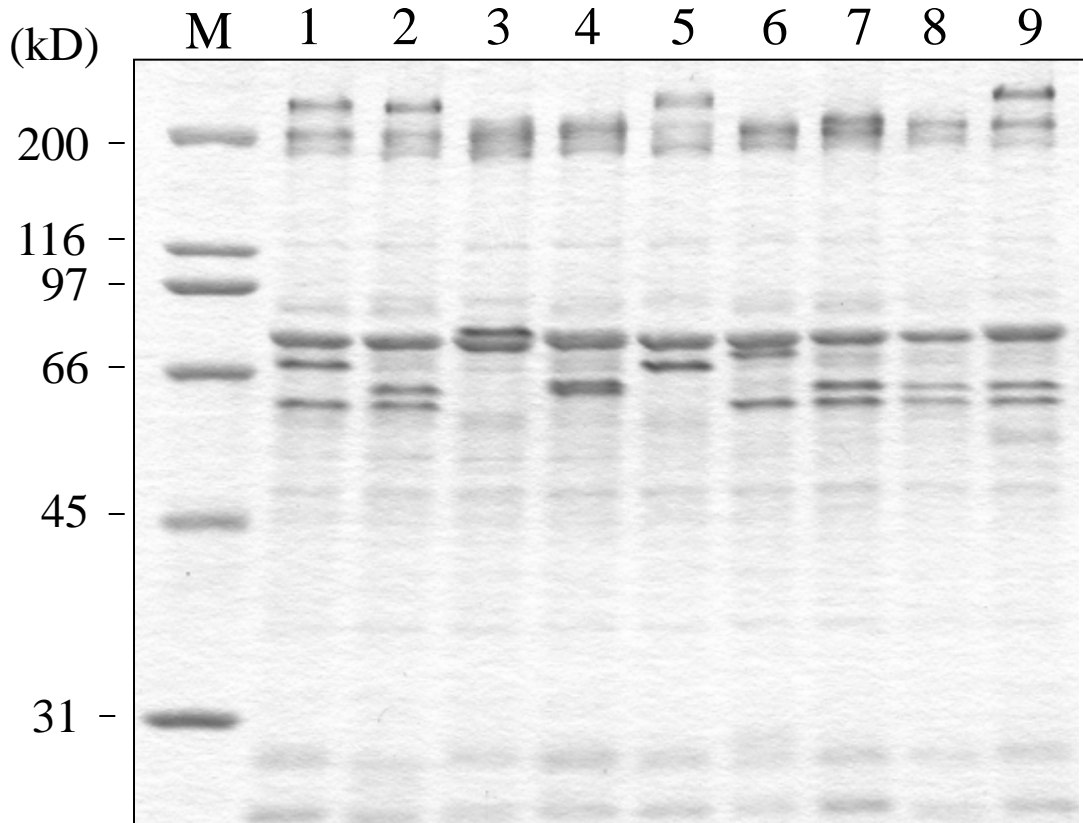


Attack



Gall repair

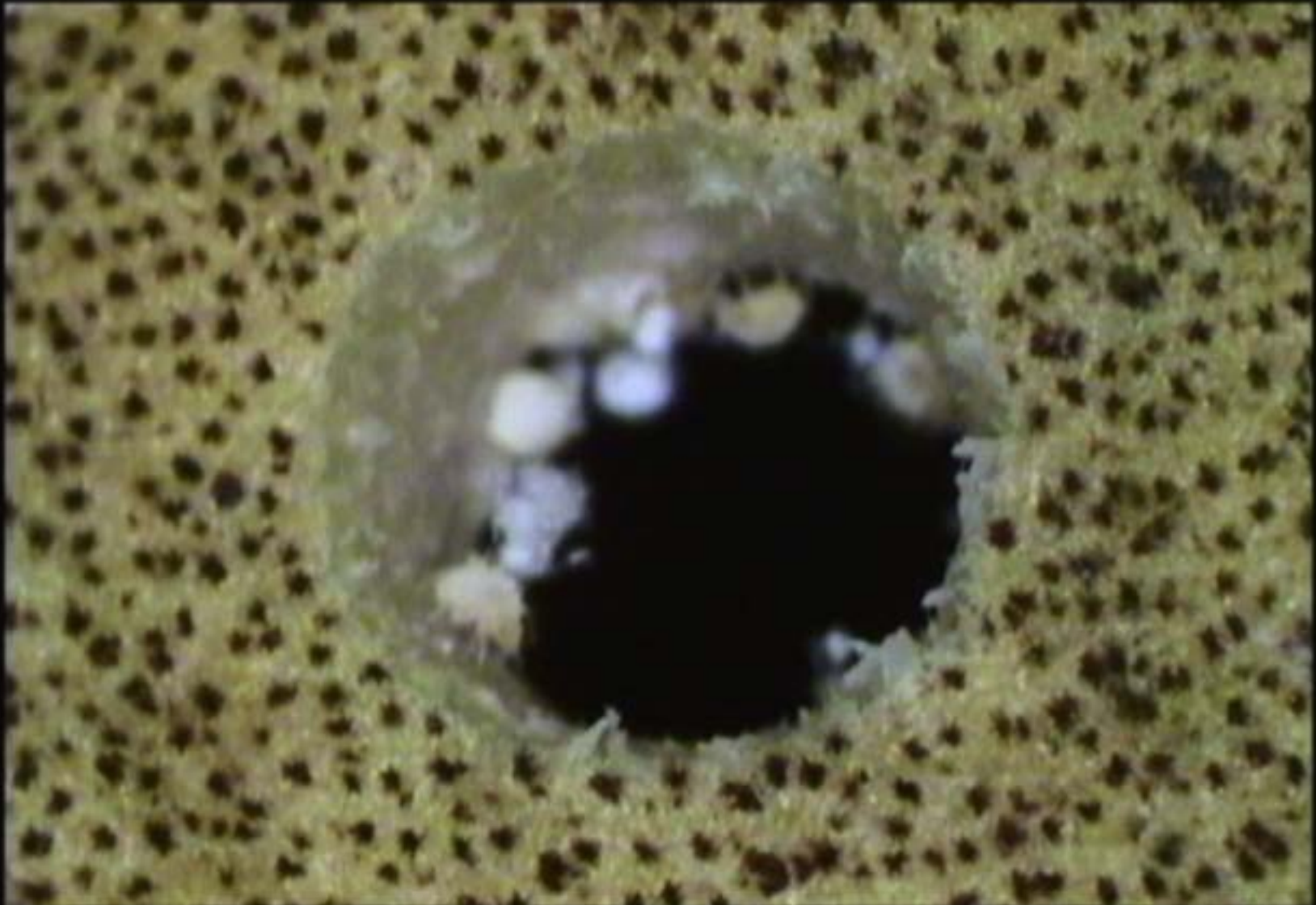
Gall No. (Discharged fluid)



Kurosu *et al.*
(2003) *Proc. R. Soc. Lond. B*
270: S12

Kutsukake
et al. (2009)
Proc. R. Soc. B 276: 1555

モンゼンイスアブラムシのゴール修復行動



兵隊アブラムシによる 自己犠牲的ゴール修復 の分子基盤の解明

Nipponaphis monzeni



1st instar nymph



Adult



Spring gall
(Soft & thin wall)



Summer gall
(Hard & thick wall)

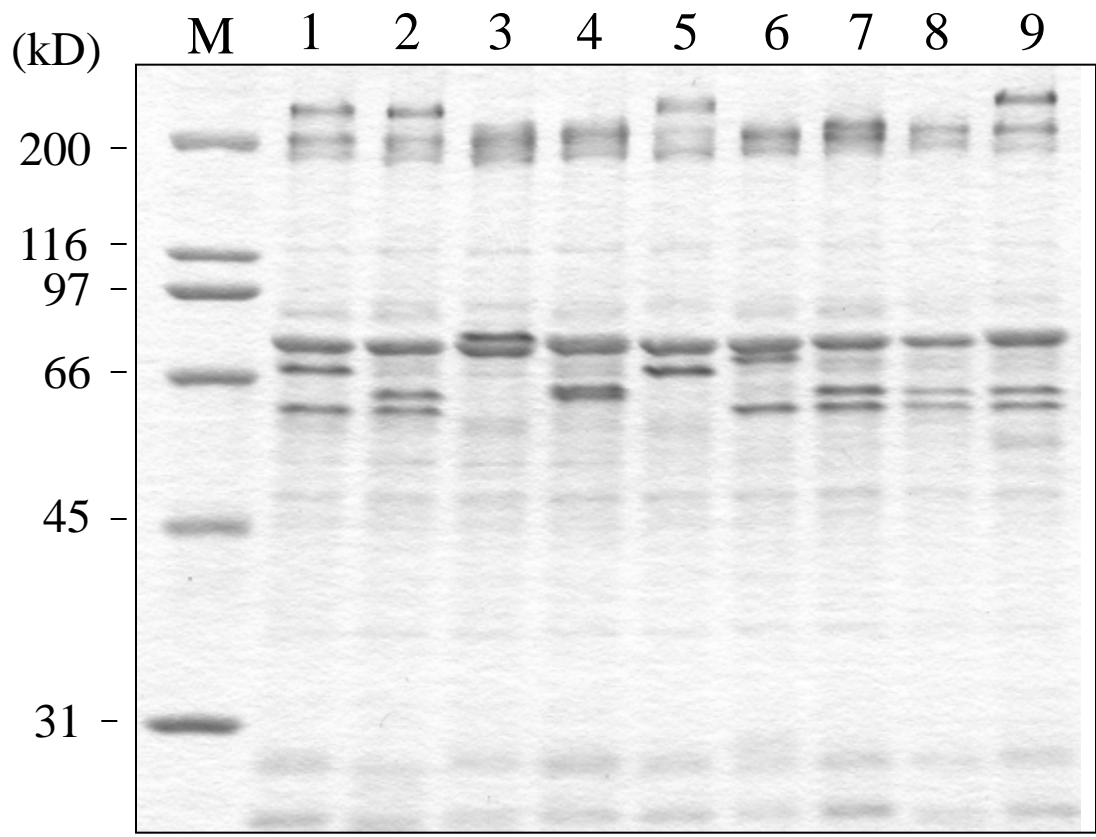


Attack



Gall repair

Gall No. (Discharged fluid)



Kurosu *et al.*
(2003) *Proc. R. Soc. Lond. B*
270: S12

Kutsukake
et al. (2009)
Proc. R. Soc. B 276: 1555

兵隊アブラムシによる
自己犠牲的ゴール修復
の分子基盤の解明

Nipponaphis monzeni



1st instar nymph



Adult



Spring gall (Soft & thin wall)

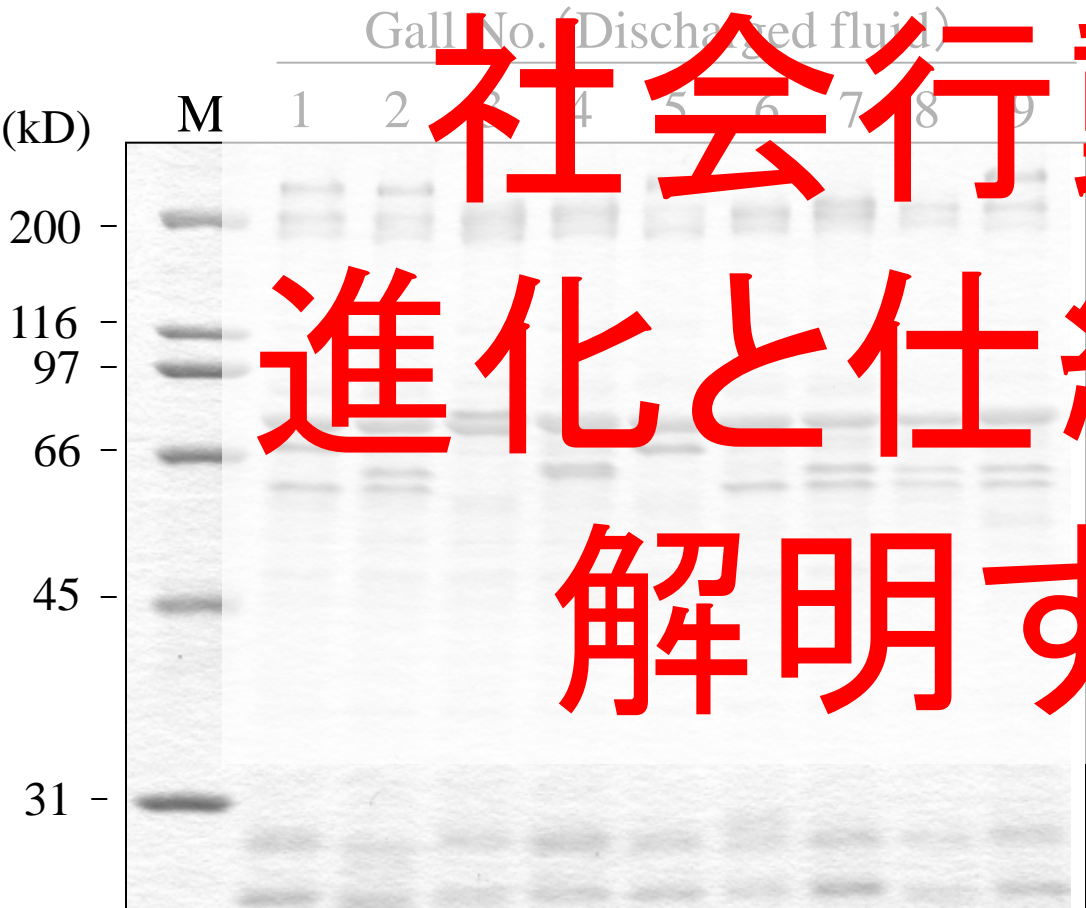


Summer gall (Hard & thick wall)

自己犠牲的な
社会行動の

進化と仕組みを

解明する



Kurosu *et al.* (2003) *Proc. R. Soc. Lond. B* 270: S12

Kutsukake *et al.* (2009) *Proc. R. Soc. B* 276: 1555



Attack



Gall repair

昆虫による植物組織の修復・再生現象の発見

— 植物の傷を自己犠牲的に自分の体液で塞ぎ、口針で癒す兵隊アブラムシ —

平成21年2月25日

独立行政法人 産業技術総合研究所

■ ポイント ■

- ・ 兵隊アブラムシが植物の傷を自身の体液凝固を利用して塞ぐのみならず、口針で再生を促す。
- ・ 動物が植物の創傷を治癒するという前代未聞の現象。
- ・ 植物の成長や育成の制御に応用できる新たな展開を期待。

■ 概要 ■

独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 吉川 弘之】(以下「産総研」という)生物機能工学研究部門【研究部門長 藤倉 正寛】生物共生相互作用研究グループ 杏掛 磨也子 研究員、深津 武馬 研究グループ長らは、ミツバチやアリなどのように社会性を有する“社会性アブラムシ”において、兵隊アブラムシが自己犠牲的に多量の体液を放出し、その固化によって植物組織の傷を塞ぐのみならず、塞いだ傷の周りに兵隊アブラムシが集結して植物組織を口針で刺激することで、その再生治癒を誘導するという驚くべき現象を発見した。

体液凝固によるかさぶた形成で傷口を迅速に塞いで安定化し、続いて周囲の組織の補償増殖により傷がゆっくり完全に治るといふ、いわゆる「創傷治癒過程」は我々ヒトを含む脊椎動物のみならず、昆虫などの無脊椎動物にも広くみられる。しかし、昆虫がまったく異なる生物種である植物の傷を、自身の体液凝固による“かさぶた”の形成で応急処置し、さらには植物組織の治癒促進までするという現象は前代未聞である。植物組織の成長や増殖の外部要因による制御の観点から基礎生物学的に興味深いのみならず、将来的には植物の成長や育成の制御技術にも新たな展開を期待できる知見である。

本研究成果は、英国の学術専門誌「Proceedings of the Royal Society B」(英国王立協会紀要)のウェブサイトにて2009年2月25日にオンライン発表される。

_____は別紙【用語の説明】参照



写真: 自己犠牲的に放出した体液で植物組織の傷を修復するモンゼンイスアブラムシの兵隊幼虫(お尻から白色の体液を出し、体長は1/3ほどに縮んでしまう)。

†(独)産業技術総合研究所ご提供

著作権の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました。

Aphids Play Doctor
by Elisa Youngsteadt
ScienceNOW Daily News
25 February 2009

<http://news.sciencemag.org/sciencenow/2009/02/25-01.html?ref=hp>

著作権の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました。

毎日新聞 2004年3月7日
『アブラムシの傷修復
産総研発見 体液放出し組織再生』

著作権の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました。

しんぶん赤旗 2004年3月29日
『虫こぶは わが“すみか”
穴が開いたら体液で修復』

何を知りたいのか、追求できるのか？

内部共生に関わる分子機構にはどのようなものがあり
そこで実際にはどのような遺伝子が機能しているのか？

共生関係や寄生関係の進化的起源はなにか？

遺伝子水平転移や細胞内小器官の進化などの過程への洞察は？

内部共生によってどのような新規機能が獲得されるのか？

内部共生系がなぜバランスを崩さず安定に維持されるのか？

宿主生物の体を1つの生態系としてとらえたとき
宿主と共生微生物の間にはどんな相互作用がみられるのか？

ある生物がどうやって他の生物の生殖、行動、形態
といった高次の生物現象を自在に操作できるのか？

どのような生態的、生理的、分子的機構によって
生物の社会性が構築され、維持されているのだろうか？

我々のめざすもの

博物学の有する
めくるめく生物現象の多様性に
根ざした興奮に

現代生物学の最新の技術を駆使して
取り組み、新たな生命を吹き込む

博物学と現代生物学の
発展的統合へ