

昆虫の生存に必須な腸内微生物—その起源、機能、進化

深津 武馬

産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門
東京大学大学院 理学系研究科 生物科学専攻
筑波大学大学院 生命環境科学研究科 生物機能科学専攻

略歴

1989年 東京大学理学部動物学教室卒業
1991年 東京大学大学院理学系研究科動物学専攻修士課程修了
1994年 東京大学大学院理学系研究科動物学専攻博士課程修了 博士（理学）
1995年 通商産業省工業技術院生命工学工業技術研究所生物反応工学部生物化学工学研究室 研究員
2001年 産業技術総合研究所生物遺伝子資源研究部門生物資源情報基盤研究グループ主任研究員
2004年 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
2013年 産業技術総合研究所生物プロセス研究部門 首席研究員（兼）生物共生進化機構研究グループ長
2017年～現在 産業技術総合研究所生物プロセス研究部門 首席研究員

2005年～2010年 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻 教授（客員）
2011年～現在 筑波大学大学院生命環境科学系 教授（連携大学院）
2013年～現在 東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻 教授（併任）
2019年～現在 ERATO 深津共生進化機構プロジェクト 研究総括

受賞

2002年 日本進化学会研究奨励賞
2004年 日本動物学会奨励賞
2007年 日本学術振興会賞
2008年 産業技術総合研究所理事長賞
2010年 日本動物学会賞
2011年 日本応用動物昆虫学会学会賞
2014年 日本進化学会学会賞
2014年 木村資生記念学術賞
2023年 日本動物学会動物学教育賞
2023年 日本進化学会教育啓発賞

主な研究成果

- ・昆虫は「変態」で腸内共生細菌とそのすみかのかたち・はたらきを切り替える（2023）PNAS
- ・大腸菌を昆虫共生細菌に進化させることに成功（2022）Nat Microbiol
- ・トンボの幼虫から成虫への変態に必須な遺伝子群の同定（2022）PNAS
- ・母から子への共生細菌の伝達に必須な宿主タンパク質を発見（2021）PNAS

- ・共生細菌が宿主昆虫の幼虫と成虫で異なる機能を担うことを解明 (2020) Curr Biol
- ・兵隊アブラムシが放出する体液で巣を修復する仕組みを解明 (2019) PNAS
- ・トンボ由来の紫外線反射物質を同定 (2019) eLife
- ・セミの共生菌は冬虫夏草由来であることを解明 (2018) PNAS
- ・ハムシは共生細菌の酵素の助けで葉を消化することを解明 (2017) Cell
- ・ゾウムシが硬いのは共生細菌によることを解明 (2017) PNAS
- ・共生細菌が宿主昆虫をメスだけにするしくみを解明 (2016) Nat Commun
- ・環境細菌から進化する共生細菌の解明 (2016) Nat Microbiol
- ・昆虫の共生のための細胞がどのようにできるかを解明 (2015) PNAS
- ・トンボは異なる光環境ごとに光センサーを使い分けていることを解明 (2015) PNAS
- ・クヌギカメムシの共生細菌入り卵塊ゼリーの機能を解明 (2014) Curr Biol
- ・トコジラミの生存を支える共生細菌ボルバキアのビタミン B7 合成能力 (2014) PNAS
- ・コナカイガラムシの代謝経路を構築する複雑な共生システムを発見 (2013) Cell
- ・昆虫と細菌との共生におけるポリエステルの新たな機能 (2013) PNAS
- ・昆虫が植物の性質を改変し、究極の「巣ごもり」生活を実現 (2012) PNAS
- ・アカトンボがどうして赤くなるのかを解明 (2012) PNAS
- ・生存に必須な共生細菌が子孫へ伝達される瞬間をとらえた (2012) PNAS
- ・害虫に殺虫剤抵抗性を持たせる共生細菌を発見 (2012) PNAS
- ・昆虫の体色を変化させる共生細菌を発見 (2010) Science
- ・トコジラミに必須栄養素を供給する細胞内共生細菌ボルバキアの発見 (2010) PNAS
- ・昆虫による植物組織の修復・再生現象の発見 (2009) Proc R Soc B
- ・共生細菌による昆虫の害虫化の発見 (2007) Proc R Soc B
- ・兵隊アブラムシの攻撃毒プロテアーゼ (2004) PNAS
- ・昆虫の植物適応が共生細菌で変わる (2004) Science
- ・共生微生物から宿主昆虫へのゲノム水平転移の発見 (2002) PNAS

公職等

- 2011年～現在 日本学会会議 連携会員
- 2013年～現在 米国微生物学アカデミー フェロー
- 2016年～現在 国際昆虫学会議 評議員
- 2020年～2022年 日本進化学会 会長

参考情報

- ・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
<https://bpri.aist.go.jp/symbio>
- ・ERATO 深津共生進化機構プロジェクト
<https://www.jst.go.jp/erato/fukatsu/>
- ・YouTube チャンネル「ERATO 深津共生進化機構プロジェクト」
<https://www.youtube.com/@eratosymbiosis>

- ・ JST news 特集「昆虫－大腸菌実験共生進化系を確立 生命現象と進化の謎の解明目指す」
<https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2024/202404/index.html>
- ・ ヨビノリ学術対談【閲覧注意！？】昆虫に共生する微生物研究の最前線
https://youtu.be/M3_OsZ8TFeI
- ・ ヨビノリ学術対談【速報】共生関係の進化を目の前で起こすことに成功
<https://youtu.be/xIrw0BQzF5M>
- ・ カメムシの腸内細菌は進化の途上－共生細菌の進化プロセスの謎に迫る－ Nature Microbiology 著者インタビュー
<https://www.natureasia.com/ja-jp/nmicrobiol/interview/1>
- ・ 虫たちの体に潜む共生微生物が宿主の行動、性別までも変える不思議
<https://www.terumozaidan.or.jp/labo/interview/69/>

要約

自然界の生物は、周囲の物理的な環境はもとより、他のさまざまな生物とも密接なかかわりをもって生存しています。すなわち、個々の生物は生態系の一部を構成する一方で、体内に存在する多様な微生物群集を含めると、個々の生物それ自体が1つの生態系を構築しているという見方もできます。

ほとんどの動物は消化管をもっていて、摂食して、消化して、吸収して、代謝して、排泄して生きています。消化管内は豊富な栄養が定期的に供給される安定な環境であり、必ず微生物が棲みつきます。「動物である」ことは「腸内微生物叢をもつ」ことであるといっても過言ではありません。

微生物がもつ高度な物質生産、分解、改変能力は、生態系において重要な役割を果たすだけでなく、人間社会においてもさまざまな形で利用されてきました。特に近年は、腸内細菌が人間の病気や心身の健康に深く関わることも明らかになり、生物体内の細菌、すなわち共生細菌がもつ多様な生物機能が注目されています。

昆虫類は人類がこれまでに記載してきた生物多様性の過半数を占め、陸上生態系の中核をなす生物群ですが、その大部分は恒常的もしくは半恒常的に微生物を体内に保有しています。このような現象を「内部共生」といい、これ以上のない空間的近接性で成立する共生関係のため、きわめて高度な相互作用や依存関係がみられます。このような関係からは、しばしば新しい生物機能が創出されます。共生微生物と宿主昆虫がほとんど一体化して、あたかも1つの生物のような複合体を構築する場合も少なくありません。それは腸内共生においても同様です。

共生関係からどのような新しい生物機能や現象があらわれるのか？共生することにより、いかにして異なる生物のゲノムや機能が統合されて1つの生命システムを構築するまでに至るのか？共に生きることの意義と代償はどのようなものか？個と個、自己と非自己が融け合うときになにが起こるのか？

今回は特に昆虫類を中心に、微生物との共生によって可能になるさまざまな環境適応の進化及び機構について、特に高度な腸内共生に焦点をあててご紹介します。

Gut microbiota essential for insect survival – origin, function and evolution

Takema Fukatsu

Bioproduction Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science
and Technology (AIST)

Department of Biological Sciences, Graduate School of Science, the University of Tokyo
Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

Education

1989 B.Sc. Department of Zoology, University of Tokyo, Japan

1991 M.Sc. Department of Zoology, University of Tokyo, Japan

1994 Ph.D. Department of Zoology, University of Tokyo, Japan

Career History

1995-1998 Researcher, National Institute of Bioscience and Human-Technology (NIBH), Japan

1998-2001 Appointed Researcher, National Institute of Bioscience and Human-Technology (NIBH),
Japan

2001-2004 Senior Research Scientist, National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology (AIST), Japan

2004-2018 Group Leader, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST),
Japan

2013-present Prime Senior Researcher, National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology (AIST), Japan

2003-2011 Associate Professor, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of
Tsukuba, Japan

2011-present Professor, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of
Tsukuba, Japan

2005-2010 Professor, Department of General Systems Studies, University of Tokyo, Japan

2013-present Professor, Department of Biological Sciences, Graduate School of Science, University
of Tokyo, Japan

2019-present Research Director, JST-ERATO Evolving Symbiosis Project

Awards

2023 The Educational Award, the Zoological Society of Japan

2023 The Educational Award, the Society of Evolutionary Studies, Japan

2014 The Motoo Kimura Memorial Prize, the Motoo Kimura Trust Foundation for the Promotion
of Evolutionary Biology

2014 The SESJ Prize, the Society of Evolutionary Studies, Japan
2011 The JSAEZ Prize, the Japanese Society of Applied Entomology and Zoology
2010 The ZSJ Prize, the Zoological Society of Japan
2008 AIST President Award, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
2007 JSPS Prize, Japan Society for the Promotion of Science
2004 Young Scientist Prize, the Zoological Society of Japan
2002 Young Scientist Prize, the Society of Evolutionary Studies, Japan
1995 The Zoological Science Award, the Zoological Society of Japan

Expertise

Evolutionary Biology; Microbiology; Entomology

Honorary Position in Scientific Communities

2013-present Fellow, American Academy of Microbiology
2011-present Associate Member, Science Council of Japan
2020-2022 President, the Society of Evolutionary Studies, Japan

Abstract

Organisms in the natural world survive not only in the surrounding physical environment, but also in close association with a wide range of other organisms. This means that while individual organisms form part of an ecosystem, when the diverse microbial communities within their bodies are included, each organism can be seen as a compact ecosystem.

Most animals have a digestive tract and live by feeding, digesting, absorbing, metabolizing and excreting. The gastrointestinal tract is a stable environment with a regular supply of abundant nutrients and is invariably inhabited by microorganisms. It is no exaggeration to say that being an animal means having a gut microbiota.

The potent capabilities of microorganisms such as chemical production, decomposition and modification not only play an important role in the ecosystem but have been utilized in a variety of ways in human societies. In recent years, in particular, it has become clear that intestinal bacteria are deeply involved in human health of both physical and mental aspects, which attract much attention to the diverse biological functions of bacteria within organisms, i.e. symbiotic bacteria.

Insects represent the majority of the biodiversity described so far and are the core group of organisms in the terrestrial ecosystem. Most of them harbor microorganisms in their bodies, which is termed as 'endosymbiosis', a symbiotic relationship established in an ultimate spatial proximity, resulting in an extremely high degree of interactions and interdependence. New biological functions are often

created from such relationships. In many cases, symbiotic microorganisms and host insects almost become one and build a complex as if they were a single organism. This is also the case in gut symbioses.

What new biological functions and phenomena emerge from symbiotic relationships? How does symbiosis lead to the integration of genomes and functions of different organisms into a single living system? What are the significance and costs of living together? What happens when the individual and the individual, the self and the non-self, merge?

This time, I will talk about the evolution and mechanisms of various environmental adaptations of insects enabled by symbiosis with microorganisms, with a particular focus on advanced gut symbiosis.