

## 昆虫のプロバイオティクス

佐藤 由也

「プロバイオティクス」という言葉が我々の周りで浸透したのはごく近年であると思う。プロバイオティクスとは人などに有益な作用をもたらす微生物を意味する。発酵食品や乳製品を介した「微生物の飲食」により腸内細菌のバランスを整え、健康を維持するという先進的な予防医学は、昆虫の世界ではなんと1億年以上前から利用されていた。本稿では、農業害虫として忌み嫌われるアブラムシとカメムシにおける、洗練された共生メカニズムと共生細菌との興味深い関係性を紹介する。

多くの昆虫の体内には微生物（主に細菌）が共生しており、近年その巧妙な分子基盤が次々と明らかにされている。驚くべきは、共生細菌が宿主昆虫に与えるきわめて大きな影響である。よく知られているのはアブラムシの例であり、細菌との共生に特化した細胞（菌細胞）の中に必須共生細菌 *Buchnera* ( $\gamma$ -プロテオバクテリア綱細菌) と、数種の通性（非必須）共生細菌が棲んでいる。必須共生細菌の名の通り、*Buchnera* はアブラムシの生存と繁殖に不可欠であり、母から子へと先祖代々受け継がれている。その伝播様式は興味深く、母体内において、母親の菌細胞から子の胚へと共生細菌が直接伝播される。この時、通性共生細菌は移動せず、*Buchnera* のみが選択的に伝播することが明らかにされている<sup>1)</sup>。二者の共生関係が成立してからは実に1億年以上が経つと推定されており、この間に *Buchnera* は多くの遺伝子を失ってしまっている。すなわち、*Buchnera* は大腸菌と近縁だが、ゲノムサイズは大腸菌の7分の1程度 (0.64 Mb) にまで縮小しており、自らの細胞壁を合成することさえできない<sup>2)</sup>。興味深いのはアミノ酸を巡る両者の関係である。*Buchnera* は10種にも上る必須アミノ酸を合成し、宿主アブラムシに供給している一方で、それ以外のアミノ酸を合成することはできず、アブラムシからの供給に頼っている。このように両者は、互いに相手なしには生きることができない、きわめて緊密な共生関係にある。

*Buchnera* 以外の通性共生細菌も宿主に大きな影響を及ぼす。アブラムシの天敵には寄生性カリバチとテントウムシがあり、前者はアブラムシの体内に卵を産み付け寄生し、後者はアブラムシを捕食する。通性共生細菌の一種は、アブラムシ体内で孵化するカリバチ幼虫の生育を阻害することで宿主を守る<sup>3)</sup>。また、アブラムシには体色が赤色と緑色の個体があり、テントウムシは赤色を捕食する傾向にあるのだが、通性共生細菌 *Rickettsiella* は、なんとアブラムシの体色を赤色から緑色に変えることでテントウムシの捕食から宿主を守ることが明らかと

なった<sup>4)</sup>。

次にカメムシの「まさにプロバイオティクス」という例を2つ紹介する。日本でよく見られるマルカメムシは、腸内の共生器官に $\gamma$ -プロテオバクテリア綱細菌を保有する。興味深いのはその共生細菌の伝達機構である。このカメムシは一度に数十個ずつ産卵をするが、その際一定の割合で茶色のカプセル凝集体を産み落とす。孵化した幼虫はこのカプセルをまず口にするが、このカプセルこそが有益な共生細菌をふんだんに含んだプロバイオティクス食品なのである。共生細菌はカメムシにとってきわめて重要であり、実験的にカプセルを取り除くと共生細菌を獲得できず、成長遅延、生存率低下、発達異常がおきる<sup>5)</sup>。

農業害虫ホソヘリカメムシも腸内に共生細菌を持つが、その獲得機構は他の昆虫とは大きく異なる。このカメムシは共生細菌の母子間伝播を行わず、毎世代環境土壤中から共生細菌を獲得する。共生器官への定着には強い選択性があり、 $\beta$ -プロテオバクテリア綱の *Burkholderia* 属細菌のみが共生する<sup>6)</sup>。この共生により、発育促進など大きなメリットを手にするが、さらに意外な能力も付与されることが近年明らかになった。*Burkholderia* の中には農薬分解能を持つものが知られているが、農薬分解菌が共生すると、なんとカメムシまでもが農薬抵抗性を獲得してしまう<sup>7)</sup>。昆虫の農薬抵抗性は「昆虫自身の遺伝子で決まる性質」と一般的に考えられてきたため、このような共生を介した抵抗性メカニズムはこれまで盲点となっていた。

昆虫-細菌共生系は、細菌の働きが昆虫の性質変化というアウトプットとして示されるため、解りやすく、学術的インパクトも大きい研究対象といえる。今後も驚くべき発見が報告されるであろう。

- 1) Koga, R. et al.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **109**, E1230 (2012).
- 2) Shigenobu, S. et al.: *Nature*, **407**, 81 (2000).
- 3) Oliver, M. K. et al.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **100**, 1803 (2003).
- 4) Tsuchida, T. et al.: *Science*, **330**, 1102 (2010).
- 5) Hosokawa, T. et al.: *PLoS Biol.*, **4**, e337 (2006).
- 6) Kikuchi, Y. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **73**, 4308 (2007).
- 7) Kikuchi, Y. et al.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **109**, 8618(2012).