

環境変化に対抗し息子の適応度を上げようとする昆虫の親と共生菌

～昆虫と共生菌の柔軟な子への投資術を発見～

ポイント

- ① 悪環境に対抗し、昆虫は自らの包括適応度を上げるため、卵（子）を大きく産みますが、内部共生菌の影響や、性別の卵サイズ変化は知られていませんでした。
- ② 本研究は、高温・高 CO₂ 環境下では、内部共生菌ボルバキアの共感染によって昆虫が雄卵（息子）を大きく産むことを初めて発見しました。
- ③ 今後、性染色体による性決定をするヒトを含む他の生物でも、内部共生菌による宿主の可塑的な卵サイズ調節が見つかるかもしれません。悪環境では、なぜ娘でなく息子に多く投資するのかという疑問にも答えが必要です。

概要

急速に悪化する環境下で、昆虫は自らの包括適応度を上げるため、卵（子）を大きく産みます。しかし、内部共生菌に感染する昆虫（宿主）では、卵サイズを可塑的に変更する際に共感染（※1）の果たす役割が知られていませんでした。

本研究は、悪環境にさらされた親は、共感染によって卵サイズの増大が可能になることを解明しました。また、卵サイズは雄卵（息子）だけで増大しました（図1、右）。大卵は小卵より生存しやすく、発育も早くなりました。早く成熟した息子は交尾相手を得やすく有利になる一方で、早く成熟した娘は多くの雄から交尾を迫られ、産卵数の減少や寿命の短縮につながり不利になる可能性があります。そこで、悪環境を察した親は、息子に優先的に多く投資し、包括適応度を上げたと推測されます。

本研究は、九州大学大学院農学研究院の津田みどり教授、生物資源環境科学府博士課程3年の高思変らの研究グループおよび、ボルドー国立農業技術大学院のEllies-Oury教授、Gonzalez助教、修士課程のLeroyらの研究グループとの共同研究で行われました。内部共生菌の一種であるボルバキア（*Wolbachia*）に共感染、単感染、または非感染のアズキゾウムシ集団（コウチュウ目：ハムシ科：マメゾウムシ亜科、図1、左）を作り、温度と二酸化炭素（CO₂）濃度の高い環境で産卵・飼育実験を行うことで本研究成果の発見に至りました。

今回の発見により、ボルバキア感染が悪環境下で宿主昆虫に利益をもたらすこと、親の子への投資が子の性別に依存することを示しました。性依存的投資は、半倍数性生物では少数報告があるものの、性染色体による性決定を行う生物（ヒトを含む）では初めての発見です。今後、他の宿主生物と内部共生菌で同様の可塑性の解明や、卵サイズ調節におけるボルバキアの役割について作用機作の解明が期待されます。本研究成果は、国際誌 *Scientific Reports* に2025年4月16日（水）に掲載されました。

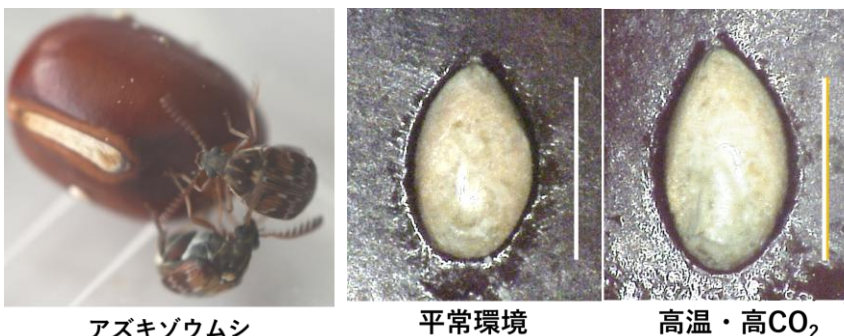


図1.

左：アズキゾウムシの親。

右：環境変化にさらされると雄卵（息子）を大きく産んだ。

（スケール：0.5 mm）

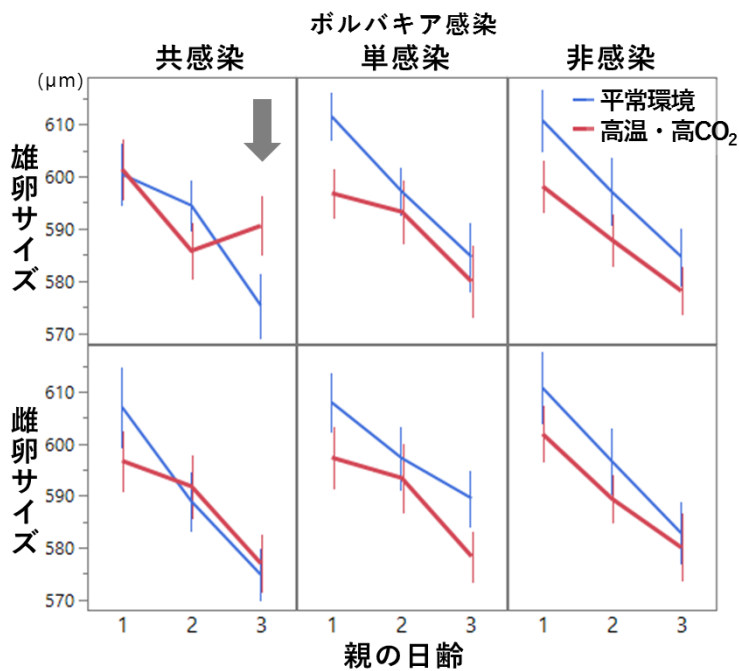


図2. ボルバキアに共感染したアズキゾウムシだけが環境変化にさらされると大きな雄卵(息子)を産んだ(矢印)。

研究者からひとこと：

環境悪化に伴い親が大卵を産むことはわかっていましたが、内部共生菌の感染や卵の性別との関連について調べた研究はありませんでした。今回、成虫になるまで卵を個別に追跡調査したことで、悪環境では親が雄の卵だけを大きく産み、適応度を上げたことを明らかにしました。この内部共生細菌に母親が感染していないと細胞質不和合(※2)を起こし子が死にます。内部共生菌は通常、母親から子へ垂直伝搬するため、感染した雌卵を大きくし生かした方が細菌にとっては有利です。反対に、雄卵が大きくなった本研究では、細菌側の利益より宿主側の利益が上回ったようにも見えます。共生菌と宿主の間の攻防と協力という観点からも、大変興味深い現象です。

【研究の背景と経緯】

急速に悪化する環境下で、昆虫は自らの包括適応度を上げるため、卵(子)を大きく産みます。しかし、内部共生菌に感染する昆虫(宿主)では、卵サイズを可塑的に変更する際に共感染の果たす役割が知られていませんでした。アズキゾウムシの野外集団はほとんどがボルバキア(*Wolbachia*)の2系統に共感染していることが知られていました。二酸化炭素(CO₂)濃度が上昇し地球温暖化が進む将来、アズキゾウムシのような農業害虫の命運を予想する必要があります。

【研究の内容と成果】

ボルバキアの1系統のみに感染(単感染)した宿主、または非感染の宿主では、高温・高CO₂環境下で産まれた卵サイズに、平常環境下で産まれた卵サイズとの差はありませんでした(図2)。大卵は小卵より生存しやすく、発育も雌雄とも速くなりました(図3、4)。早く成熟した息子は交尾相手を得やすく有利になる一方で、早く成熟した娘は多くの雄から交尾を迫られ、産卵数の減少や寿命の短縮につながり不利になる可能性があります。そこで、悪環境を察した親は、息子に優先的に多く投資し、包括適応度を上げたと推測されます。半倍数性生物ではボルバキア感染した親の子への投資が子の性別に依存する(雌卵がより大きい)ことがダニやアザミウマで報告されていましたが、性染色体で性決定をする生物(ヒトを含む)では初めての発見です。

このようにボルバキアに感染した害虫は、抗生物質や除菌剤などで除菌すれば、地球温暖化時に可塑的な卵サイズ変化を行えず、駆逐されやすくなると予想できます。しかし一方で、昆虫のおよ半数がボルバキアに感染しているため、害虫以外の感染昆虫も除菌されれば環境変化に柔軟に対応できず死滅する危険があります。ネイチャーポジティブの観点からは、対象を選ばない非選択的除菌は控えるべきだと提言します。

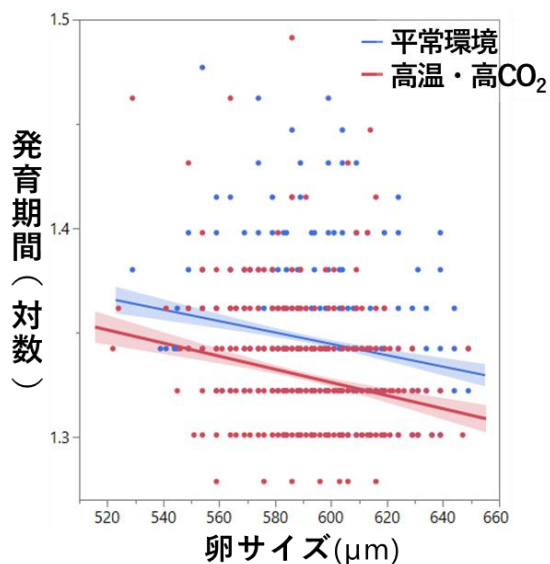


図3. 大きい卵ほど発育期間が短縮し、早く成虫になる。

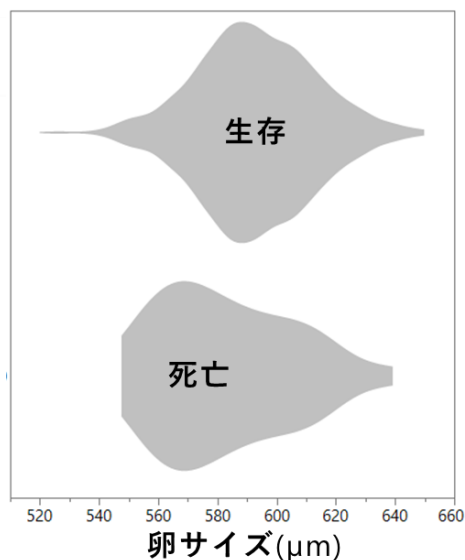
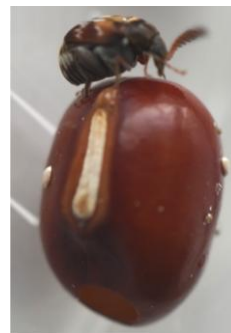


図4. 大きい卵ほど生存しやすい（孵化卵から成虫まで）。



【用語解説】

(※1) 共感染

複数系統（または種）の内部共生菌に感染していること。

(※2) 細胞質不和合

母親が非感染で父親が感染していると、子が発育の初期段階で死に至る現象。両親が感染しているか、母親だけが感染していれば子は無事発育できる。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費（19K06840）、文部科学省ダイバーシティ研究環境実現イニシアティブ（先端型）の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：Scientific Reports

タイトル：Wolbachia infection facilitates adaptive increase in male egg size in response to environmental changes

著者名：Leroy E, Gao S, Gonzalez M, Ellies-Oury M-P, Tuda M

D O I : 10.1038/s41598-025-96680-6

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学 大学院農学研究院 教授 津田みどり（ツダミドリ）

TEL : 092-802-4580 FAX : 092-802-4577

Mail : tuda.midori.022@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

 **VISION 2030**
総合知で社会変革を牽引する大学へ