

PRESS RELEASE (2024/05/07)

**世界初！ハエ幼虫が自らのフンで呼吸用シュノーケルを作ることを発見
カメムシに寄生するハエの新生態解明。将来的なカメムシ防除利用にも期待****ポイント**

- ① 呼吸は重要な生命活動であり、呼吸戦略は生物の生息環境と密接に関係しています。そのため、呼吸戦略を研究することで生物の生態や進化プロセスをより深く理解できます。
- ② 本研究では、カメムシに寄生するヤドリバエの幼虫が、カメムシの体内で呼吸するために自身のフンを固めてシュノーケルを作り、呼吸していることを明らかにしました。この“フン製シュノーケル”はカメムシ寄生の種を中心に複数のヤドリバエで確認されました。
- ③ ヤドリバエの仲間は寄生した宿主を最終的に殺してしまうため、農業害虫の密度を抑える働きをしていると考えられています。本研究のように彼らの生態を解明し知見を蓄積することは、ヤドリバエを用いた農業害虫の管理法確立に繋がると期待されます。

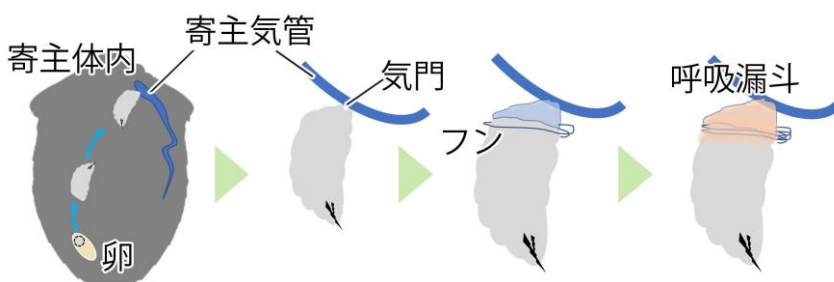
概要

多くの生物にとって呼吸は最も重要な生命活動の一つであり、呼吸戦略の研究はその生物のより深い理解に繋がります。ヤドリバエとよばれるハエの仲間はその名の通り他の昆虫の体内に宿る、すなわち内部寄生性を示すグループです。生物の体内は気体の酸素にアクセスするのが難しい環境のため、ヤドリバエのような内部寄生者にとって呼吸法の確立は寄生の成功を左右する重要な問題です。ヤドリバエの幼虫は「呼吸漏斗(ファネル)」と呼ばれる構造体によって外気を取り入れることが知られており、一部のヤドリバエの仲間がもつ幼虫の体を覆う鞘型の呼吸漏斗は宿主の免疫作用を利用して作られることが知られていました。

今回、九州大学大学院・地球社会統合科学府の駒形森さん、九州大学大学院・比較社会文化研究院の小川浩太助教、館卓司准教授らのグループは、カメムシに寄生するヤドリバエの幼虫が自らのフンを利用し、既知のメカニズムとは異なる独自の方法で呼吸漏斗を形成していることを突き止めました。本研究ではまずカメムシに寄生するマルボシヒラタヤドリバエの飼育実験系を立ち上げ、呼吸漏斗の形成過程を様々な組織形態学的解析手法を用いて多角的に解析しました。その結果、このハエの幼虫は、1) 寄主の体内で1本につながったフンを排泄し、それを体に巻きつけていくことでコーン型の呼吸漏斗を形成していること、2) 幼虫の肛門付近にはフンを固めてちぎれないようにするためと思われる分泌腺の存在が明らかとなりました。さらに、他のヤドリバエの呼吸漏斗も解析し、この“フン製シュノーケル”がカメムシに寄生するヤドリバエの仲間を中心にある程度広く見られるものであることが分かりました。

ヤドリバエの呼吸様式に関する研究がさらに進めば、ハエ類が寄生性を獲得するに至った進化的な経緯をより詳しく考察することができると期待されます。また、農業害虫であるカメムシに寄生するヤドリバエの生態解明は、ヤドリバエを防御資材として利用するための第一歩とも言えます。

本研究成果は、2024年4月17日付(日本時間)でイギリスの国際誌 *Bulletin of entomological research* に発表されました。

**【図の説明】**

カメムシの体内侵入したハエの幼虫は、2齢になるとカメムシの気管に尾端を近づけフンを放出し、体に巻き付けながら固めることで呼吸漏斗を形成します。

【研究の背景と経緯】

多くの生物にとって呼吸は最も重要な生命活動の一つです。常に空気に触れながら生活をする私たちにとって、息を吸うことは特に意識することなく当たり前に行われています。しかし、容易に空気を得ることができない環境では工夫を凝らした様々な呼吸方法が発達しています。例えば水中で生活する生物は水に溶けた酸素を得るためのエラを持っていたり、水面に呼吸管を伸ばしたり、体の一部に空気を蓄えたりします。ヤドリバエの仲間は世界で 8500 種以上が知られているグループで（図 1）、その名の通り幼虫が他の昆虫の体内に宿る、すなわち内部寄生をします（図 2）。他の動物の体内も水中同様に空気を獲得することが難しい環境であり、ヤドリバエの幼虫は寄主の体内で「呼吸漏斗(ファネル)」と呼ばれる構造物を作り、この呼吸漏斗を通して外から空気を引き込むことで呼吸します。この呼吸漏斗はしばしば幼虫の体全体を鞘のように覆います。この鞘型の呼吸漏斗についてはホストの免疫機構を利用して形成されることが先行研究から分かっていたのですが、本研究で着目したカメムシに寄生するヤドリバエでは呼吸漏斗が幼虫の一部しか覆っておらず（図 3）、ホストの免疫機構によって形成されているとは考えにくい状況でした。つまり、先行研究で対象とされていたグループとは異なるメカニズムで呼吸漏斗を形成している可能性が高いと考えられました。

【研究の内容と成果】

本研究では、九州大学伊都キャンパス内で容易に採集することができるマルボシヒラタヤドリバエを用いて、幼虫が寄主体内で作る呼吸漏斗の形成メカニズムを明らかにすることにしました。マルボシヒラタヤドリバエは幼虫のときにチャバネアオカメムシなどのカメムシの仲間に寄生することが知られています。まず、野外から採集されたマルボシヒラタヤドリバエを元に累代飼育系を立ち上げ、幼虫を安定して観察できる体制を整えました。次に、ハエの幼虫を寄生させたチャバネアオカメムシを時間経過ごとに解剖することで、呼吸漏斗がどのように形成されていくのかを観察しました。また、共焦点レーザー顕微鏡を用いた観察により、呼吸漏斗がどのような構造で成り立っているのかを明らかにしました。その結果、マルボシヒラタヤドリバエの幼虫は、カメムシの体内で 1 本につながったフンを排泄し（図 4）、それを体に巻きつけていくことで呼吸漏斗を形成することが分かりました（図 5）。このフンで形成された呼吸漏斗は、寄主の気管（空気を全身に巡らせるための器官）とハエ幼虫の尾部にある気門（呼吸に使用する器官）を繋いでおり、呼吸漏斗が完成する 2 齢幼虫以降のステージではシュノーケルとして機能していると考えられました。つづいて、本研究では幼虫の肛門板の解析を行いました。本種の幼虫は肛門を取り囲む肛門板が顕著に発達しており、その肛門板には分泌腺があることを透過型電子顕微鏡を用いた観察により確認しました。この腺は呼吸漏斗の材料であるフンを固めるための物質を分泌していると思われます。さらに、本研究では複数のグループのヤドリバエで呼吸漏斗の比較も行いました。その結果、カメムシに寄生するヤドリバエが属するグループを中心に“フン製シュノーケル”がある程度広く見られるものであることもわかりました。

本研究はカメムシ寄生のヤドリバエが自身に由来するフンと分泌物で能動的に呼吸漏斗を形成していることを示した初めての論文となります。

【今後の展開】

寄主の体内で呼吸を行うために内部寄生者は様々な呼吸戦略を進化させてきたと考えられます。ハエ類にはヤドリバエ以外にも様々なグループで内部寄生者が報告されており、これらの間でも呼吸漏斗と考えられる構造を持つ種が知られています。ヤドリバエとは独立に寄生性および呼吸漏斗を獲得したと思われるこれらのグループも含めて包括的な研究が行われれば、ハエ類が寄生性を獲得するに至った進化的な経緯をより詳しく考察することができると期待されます。また、ヤドリバエのなかには、農業害虫の密度を減らす役割を果たしている種が数多く知られています。本研究で飼育実験系を立ち上げたマルボシヒラタヤドリバエも農業害虫のチャバネアオカメムシに寄生しますが、このような寄生者の生態を正確に理解することは、天敵の力を取り入れた害虫管理を進めていく上で役立つものと期待されます。

【参考図】



図1. ヤドリバエの一種 マルボシヒラタヤドリバエ *Gymnosoma rotundata*



図2. カメムシに産卵されたヤドリバエの卵(左)と寄生されたカメムシの CT 画像(右)

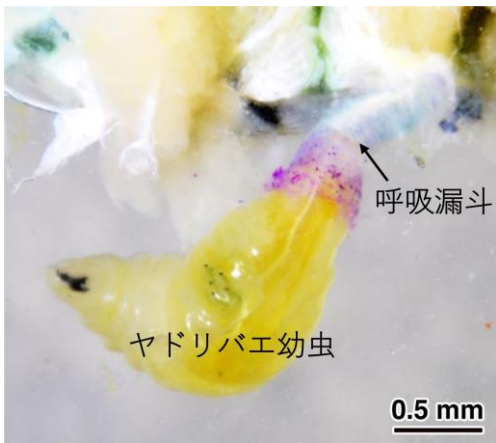


図3. マルボシヒラタヤドリバエの幼虫と呼吸漏斗(ファネル)

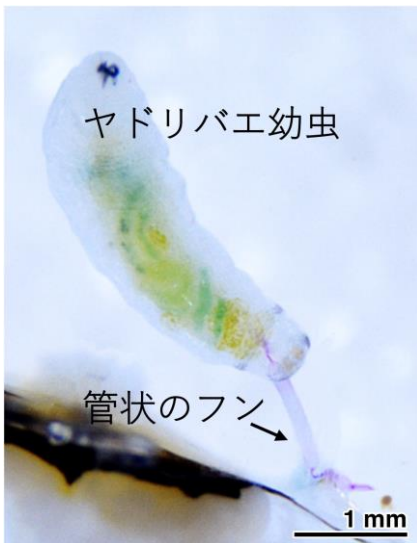


図4. 呼吸漏斗形成前のヤドリバエ幼虫。1本に繋がったフンが確認できる。

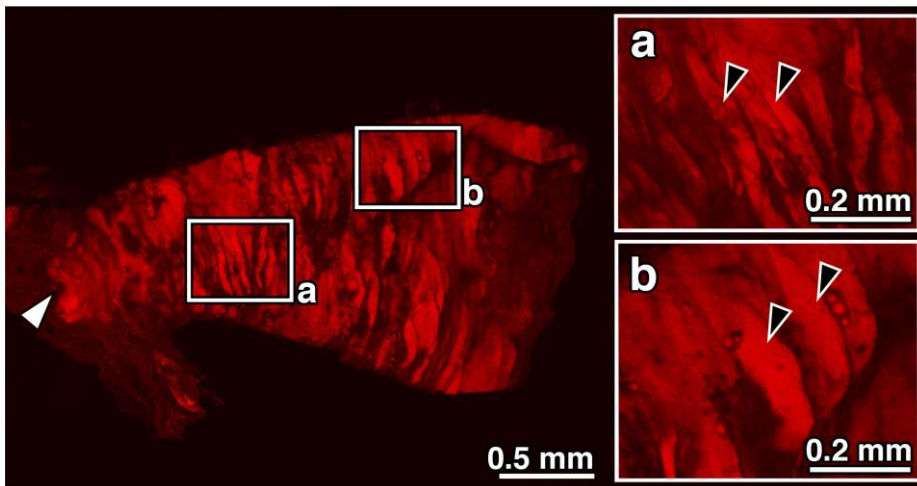


図5. 共焦点レーザー顕微鏡による呼吸漏斗の形態解析。a, bそれぞれは左図の拡大。矢頭(白)は寄主の気管との結合部分、矢頭(黒)は固まったフンが形成する層状の構造。幼虫が小さいころに形成される部位(a)に比べ、大きく成長してから形成される部分(b)では層構造の厚みが増している。これは幼虫の成長に伴い排泄されるフンが太くなっていくためである。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費（JP 19J12475）の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：Bulletin of Entomological Research. 2024 Apr 17:1-9. (Online ahead of print.)

タイトル：The bug-killer fly *Gymnosoma rotundatum* (L.) (Diptera: Tachinidae) forms the respiratory funnel independently of the host's immune response

著者名：Shin Komagata, Kota Ogawa, Takuji Tachi

DOI：https://doi.org/10.1017/S0007485324000221

【お問合せ先】

<研究に関すること>

比較社会文化研究院/昆虫科学新産業創生研究センター

小川 浩太 助教

TEL：092-802-5627

Mail：k-lepi83@scs.kyushu-u.ac.jp

比較社会文化研究院

館 卓司 准教授

TEL：092-802-5645

Mail：tachi@scs.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