

ほとんどオスを産まないハチの 謎から見えてきた協力の進化

安部 淳

私はメリトビアという小さなハチの仲間のオスとメスの割合（性比）の進化について研究を続けている。近頃、研究に進展があり、その成果を共著者らと共に「A solution to a sex ratio puzzle in *Melittobia wasps*（寄生バチメリトビアが示す性比の謎への解答）」というタイトルで、PNAS（米国科学アカデミー紀要）に発表した（Abe et al. 2021）。明治学院大学の広報からもプレスリリース（https://www.meijigakuin.ac.jp/corporations/release/PDF/MG_210511.pdf）を配信していただき、新聞やインターネット上の記事など各種メディアにも取り上げていただいた。2021年7月7日の教養教育センター附属研研究報告会では、論文のサマリーを紹介させていただいた。本稿では、その概要を振り返るとともに、特に発見の意義についてまとめてみたい。

今回の発見のポイントは、異なる視点から捉えることにより3つに大別することができる。まずは、具体的な現象として、(1) これまで謎とされてきたメリトビアというハチがほとんどオスを産まない理由を明らかにすることができた。次に、その成果は特定のハチの行動の理解に留まらず、(2) 母親どうしが血縁関係によって性比を調節することの発見につながり、性比調節の分野の発展へ貢献した。さらに、そこで確認されたオスを少なく産むという行動は、(3) 母親どうしの協力行動と解釈でき、社会行動全般への理解に応用することができる。ここではこれら3つのポイントについて、順に紹介していく。



図1. メリトビア (*Melittobia australica*) のオス（右側の茶色い個体）とメス（左側の黒い個体）の成虫。寄生バチの仲間では他のハチ類の蛹に寄生する。オスの成虫は羽化後分散することなく、その場で交尾だけに専念する。1匹の蛹に単独もしくは複数の母親が産卵するが、それらの母親の子供どうしで交尾を行うことになる。

(1) メリトビアがほとんどオスを産まない謎の解明

メリトビアは体長1mm程度の小さなハチであり、他の昆虫に寄生する寄生バチと呼ばれる仲間的一种である（図1）。メリトビアのメスは、他のハチ（ハキリバチやドロバチなど）の仲間の蛹に産卵し、孵化した幼虫は産み付けられた蛹から栄養を摂取して成長する。このハチでは圧倒的にオスの割合が少なく（オス率1-3%程度）、このような性比が進化した理由は既存理論では説明できないことから、進化生物学や性比調節の分野における謎とされてきた。

メリトビアのオスは複眼を持たず、翅が小さくて飛ぶことができない。オスは羽化すると一緒に育ったメスたちと交尾を繰り返して一生を終える。一方、メスはそこで交尾すると精子を体

内に蓄え、新たに寄生できる蛹を求めて分散する。一緒に育った雌雄が配偶する生物では、後述するようにメスの割合が勝ることが知られているが、そのような生物でも性比がメスに偏るのは状況依存的で、メリトビアのように常にほとんどメスばかりを産む性比は理論的に説明することができない。これまで様々な仮説が提唱され検討されてきたが、その理由は十分に説明されてこなかった (Matthews et al. 2009; West 2009; Abe et al. 2014)。

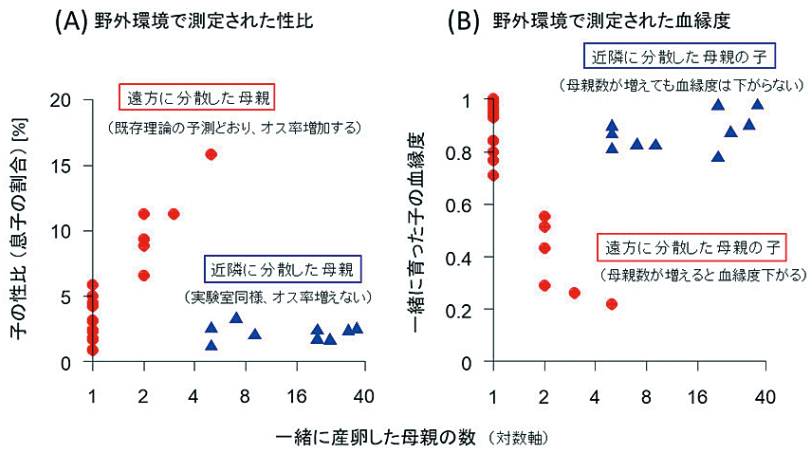


図2. 野外環境で測定されたメリトビアの性比 (A) と血縁度 (B). 血縁度は個体間の血縁の濃さの指標であり、血縁関係が弱いほど0に近づき、強いほど1に近づく。一緒に産卵する母親数が増えれば、そこで育つ子との間の血縁度はふつう減少すると考えられる。近隣に分散した母親の子の間に血縁度が高く維持されているのは、血縁度の高い近隣の母親同士が一緒に産卵したためと考えられる。Abe et al. (2021) から改訂, 安部 (2021) から転用。

私はこれまでに報告されてきたメリトビアの性比はすべて実験室内で測定されていることに着目し、この性比が実際に進化したはずの野外環境において調査を行った。9年間に渡り野外調査を継続してデータを蓄積したところ、実験室と同様に常にほとんどメスばかりを産む場合も確認されたが、他の寄生バチや既存理論の予測どおりオス率を上げて産む場合もあることが新たに示された (図2A)。次に、遺伝マーカーを開発しDNA解析によって、これら2つの性比パターンとそこで産卵した母親どうしの血縁関係を明らかにすることを可能にした。その結果、母親が近隣の蛹に分散した場合は、血縁関係の濃いメス同士が一緒に産卵し、常にほとんどメスばかりを産んでいたのに対し、遠方の蛹に分散した場合は、血縁関係のない赤の他人と一緒に産卵し、オス率を高めて産んでいることがわかった (図2AとB)。さらに、数理モデルを作成し、母親の分散様式に伴う血縁関係を考慮して理論的な解析を行ったところ、野外環境で観察された2つの性比パターンと定性的によく合う結果が得られた。以上の結果から、メリトビアでは母親の分散様式に応じた血縁関係によって性比を調節し、近隣の蛹に分散した場合は血縁関係のある母親と一緒に産卵するため、血縁のあ

る息子どうしがメスをめぐって競争するのを避けるため、オスの割合を少なく産んでいると解釈された (図3)。

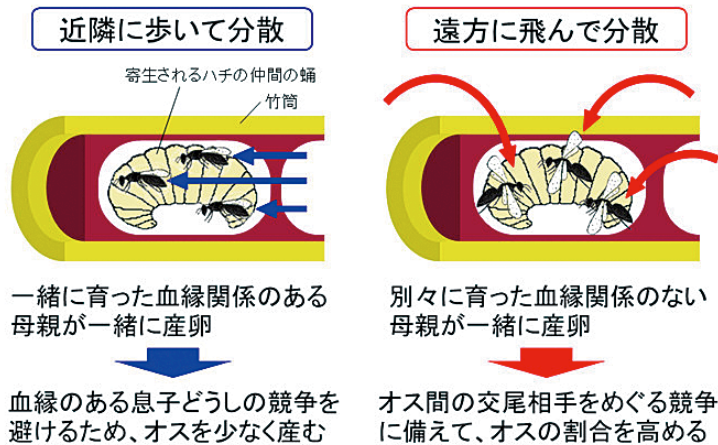


図3. メリトビアの分散様式の違いによる母親どうしの血縁関係と性比に関する概略図。寄生されるハキリバチやドロバチは、竹筒などの間に巣を作り、その蛹は連続して存在する。そのため、メリトビアのメスは歩いて同じ巣の中の別の蛹を探るか、飛翔して別の巣の蛹を探るかいずれかの方法によって分散する。安部 (2021) から転用。

(2) 親どうしの血縁関係に応じた性比調節の発見

多くの生物ではオスとメスが同じ割合で存在するが、性比がどちらかの性に偏る生物も少なくない。それらの性比はそれぞれの生物が置かれた状況に応じて、産卵する母親にとって最も効果良く子孫を残せる値に進化していることがこれまでの研究で明らかにされてきた。例えば、一緒に育った雌雄が配偶する生物では、一緒に繁殖する母親の数に応じて性比がメスに偏る場合がある (Hamilton 1967)。単独もしくは少数の母親と一緒に繁殖する場合、自身の息子どうしが配偶相手をめぐって競争することになるため、母親にとって無駄な競争を避けるようオスを少なく産むと考えられる。実際に、そのような生物ではメスに偏った性比を示すことが多くの生物で報告されている。しかし、一緒に育った雌雄が配偶する生物でも、複数の母親と一緒に繁殖する場合は、息子どうしが競争する頻度が下がるため、性比は1:1に近づく。寄生バチの仲間は特殊な性決定機構を持つため、産卵時に性を調節して産むことが可能である。この理論に従うように、一緒に産卵する母親数に応じて性比を調節し、母親数の増加に伴いオス率を上げて産卵することが多くの寄生バチで示されている。

このため、メリトビアで報告されてきた母親数に寄らず一定して極端にメスに偏った性比は、この分野における大きな問題であった。今回私たちは野外環境における性比と母親の分散様式との関係を解析することにより、メリトビアの性比は母親の数だけでなく、母親間の血縁関係によっても

調節されていることを世界で初めて明らかにするに至った。自身の息子の競争を避けるだけでなく、血縁のある息子どうしが競争する状況では、そのような競争も避けていたのである。性比を偏らせる要因を新たに示し、その顕著な具体例を提示することにより、性比調節の分野に新たな一石を投じる結果となった。

(3) 社会行動全般への応用

性比調節の問題は、協力や利己的な行動の調節がどのようになされるのかを明らかにする社会行動一般の問題としてとらえることができる。実際に子孫を生産するのはメスであり、オスは複数のメスを授精させることができるので、メスの割合が高い集団ほど集団全体の生産性は高まる。しかし、メスが多い集団では、オスを多く産む母親のほうが多くの子孫を残せるため有利となる。このため、集団全体の生産性を最大化するメスに偏った性比はふつう進化せず、それぞれの個体にとって有利となる方向に進化が進み、性比は多くの場合で1:1に近づく。ここで、メスに偏った性比はお互いの利得を上げるので協力的、それよりオスを多く産むことは個々の利得を上げるので利己的ととらえることができる。ちなみに、このように個人がそれぞれ利益を追うため集団全体の利益が達成されない状況は、経済学や社会学では「囚人のジレンマ」や「共有地の悲劇」と呼ばれよく研究されている。

このような視点で見ると、メリトビアでは他の母親と一緒に産卵する状況においても、お互いの生産性を高めるようにメスを多く産むため興味深い。このような産み方は、母親どうしに血縁関係がある場合になされることが今回示され、共通の遺伝子を共有する血縁個体どうしの協力的行動と解釈することができた。今回はこのような協力的行動が、母親自身が経験した分散様式の違いによって顕著に切り替えられることも示した。協力的行動などの社会行動の理解は、ハチの行動や性比調節の問題に留まらず、人間社会においても重要であり、明治学院大学が掲げる「Do For Others」の精神にも通じるテーマでもある。メリトビアの性比調節の理解は今回大きく進展したが、母親の分散様式の具体的な認識メカニズムや、このような協力的な雌雄の産み分けを可能にした前提条件の解明など、明らかにすべき残された課題も多い。今後、それらを解明していくと同時に、そこから得られた理解を社会行動全般の理解へと応用させて研究を発展させていきたい。

【引用文献】

- Abe, J., Iritani, R., Tsuchida, K., Kamimura, Y. & West, S. A. "A solution to a sex ratio puzzle in *Melittobia* wasps" *Proceedings of the National Academy of Science, USA* 118, (2021) e2024656118.
- Abe, J., Kamimura, Y. & West, S. A. "Inexplicably female-biased sex ratios in *Melittobia* wasps" *Evolution* 68, (2014) 2709–2717.

Hamilton, W. D. "Extraordinary Sex Ratios" *Science* 156, (1967) 477–488.

Matthews, R. W., González, J. M., Matthews, J. R. & Deyrup, L. D. "Biology of the parasitoid *Melittobia* (Hymenoptera: Eulophidae)" *Annual Review of Entomology* 54, (2009) 251–266.

West, S. A. *Sex Allocation*. Princeton University Press (2009).

安部 淳. "寄生バチの仲間が母親どうしの血縁関係によって息子と娘の割合を調節してうむことを発見" 神奈川大学理学部ホームページ 研究レポート (https://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/news/img/document/news_pdf20210520.pdf) (2021)