

## 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産むことを発見

### 【ポイント】

- 寄生バチの仲間は一緒に産卵する母親の数によって息子と娘の割合を調節して産むことが知られていましたが、メリトビアという寄生バチでは母親どうしの血縁関係によってもその割合を調節して産むことを、世界で初めて明らかにしました。
- 血縁のある母親と一緒に産卵する状況で、常にオスを少なく産んでいました（オス率約2%）。このような産み方は、血縁のある息子どうしのメスをめぐる競争を避けるための、母親どうしの協力的な産み方であることが理論的にも解析されました。



写真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。体長1 mm 程度で、性的二型が顕著。オスは複眼を欠き、翅が小型で飛ぶことはできない。羽化後オスが分散することはなく、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。交尾したメスは、新たな寄生先を求めて分散する。



写真2. 神奈川大学湘南ひらつかキャンパスに仕掛けられた竹筒トラップ。竹筒の間隙にオオハキリバチなどの単独性狩りバチやハナバチが営巣し、それらのハチ類の幼虫は母親が蓄えた餌を食べて育つ。メリトビアのメスはこのようなハチ類の巣に侵入し、生育中の蛹に寄生する。

## 【概要】

生物が産むオスとメスの割合（性比）は必ずしも 1:1 ではなく、どちらかの性に偏る場合も多く見られます。その割合は、それらの子を産む母親にとって、最も子孫を多く残せる値に進化していることがこれまでの研究によって明らかにされてきました。特にハチの仲間では、状況に応じて子の性比を調節して産むことが知られています。本研究は、寄生バチの一種であるメリトビアが、一緒に産卵する母親の数に加えて、母親間の血縁関係によっても性比を調節して産むことを世界で初めて明らかにしました。神奈川大学湘南ひらつかキャンパスとその近郊において、メリトビアの野外個体群を調べたところ、母親の分散状況によって異なる性比で産んでいることがわかりました。DNA 解析を行い血縁関係を調べたところ、メスが産まれた場所から近くに分散した場合は、血縁のある母親と一緒に産卵し、ほとんどメスばかり（オス率約 2%）を産んでいました。一方、遠くに分散すると赤の他人と一緒に産卵し、オスの割合を高めて産んでいました。数理的にも解析したところ、このようなオスとメスの産み方によって、母親は最も効率よく子孫を残していることが理論的にも確認されました。遠くに分散した場合は赤の他人とのメスをめぐり競争に備えてオスを多く産むが、近くに分散した母親は血縁のある息子間のメスをめぐり競争を避けるため、協力的にオスを少なく産むものと解釈されます。

以上の成果は、日本時間の 2021 年 5 月 11 日に PNAS（米国科学アカデミー紀要）にオンライン掲載されました。

## 【論文情報】

表題：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）

著者：安部 淳（神奈川大学・明治学院大学）、入谷亮介（理化学研究所）、土田浩治（岐阜大学）、上村佳孝（慶應義塾大学）、Stuart A. West（オックスフォード大学）

掲載誌：Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America（米国科学アカデミー紀要）

DOI：10.1073/pnas.2024656118

公開日：2021 年 5 月 11 日（日本時間）

\*本論文のプレスリリース（[https://www.meijigakuin.ac.jp/corporations/release/PDF/MG\\_210511.pdf](https://www.meijigakuin.ac.jp/corporations/release/PDF/MG_210511.pdf)）は、明治学院大学等から配信されています。

## 【研究の詳細】

### （研究の背景）

生物が産むオスとメスの割合（性比）は、子を産む母親にとって最も効率的に子孫を残せる値を示すことが、これまでの進化生物学における研究によって明らかにされてきました。例えば、一緒に育ったオスとメスが交配する生物では、オスよりもメスを多く産むことが知られています。これは、同じ母親から生まれた息子どうしがメスをめぐって無駄に競争するのを避け、その分多くのメスを産めるため、母親にとって適応的な産み方であると考えられます。

さらに、ハチの仲間は特殊な性決定機構を持つため、産卵時の状況に応じて性比を調節することが可能です<sup>[注1]</sup>。このため、一緒に育ったオスとメスが交配する寄生バチ<sup>[注2]</sup>などでは、一緒に産卵する母親の数によって性比を調節して産むことが予測されます。単独もしくは少数の母親と産卵する場合は、メ

スをめぐる競争を避けるようにオスを少なく産み、一緒に産卵する母親の数が増えるにつれ、メスをめぐる競争に備えてオス率を上げて産むと予測されます (図 1 A)。実際に、多くの寄生バチの仲間では、この予測に合うように母親の数に応じて性を調節して産むことが知られています (図 1 B)。しかし、寄生バチの一種であるメリトビアは、この予測に反して母親数に寄らず常にオスを極端に少なく産む (オス率約 2%; 図 1 B) ため、メリトビアの性は本分野における謎とされてきました。そこには何らかの理由が隠されているはずであり、様々な仮説が提唱され検討されてきましたが、これまでその謎が明らかにされることはありませんでした。

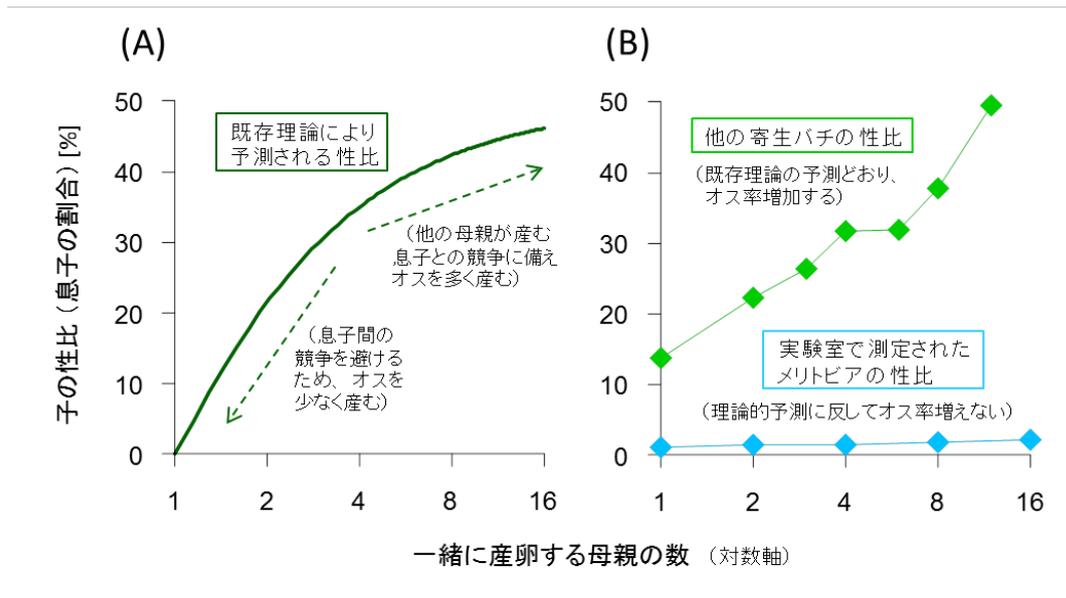


図 1. 一緒に育ったオスとメスが交配する場合に理論的に予測される性比 (A), および他の寄生バチとこれまでに報告されているメリトビアの性比 (B). 他の寄生バチとしてここではキョウソヤドリコバチの例を示したが、他の多くの寄生バチでも同様に、一緒に産卵する母親数が増えるほどオス率を高めて産むことが知られている。

### (研究内容)

これまでメリトビアの性の報告は主に実験室内におけるデータがもとになっていました。本研究では神奈川県湘南ひらつかキャンパスとその近郊において、9年間に渡って野外調査を行い、野外環境における性を測定しました。その結果、メリトビアではメスの分散状況に応じて、2つの性比パターンを示すことがわかりました (図 2 A)。メリトビアのメスはオオハキリバチなどの他のハチ類の蛹に産卵し、孵化した幼虫はその蛹を摂食して成長します。羽化すると育った蛹の周りで交尾を行い、メスだけが新たな産卵先を求めて分散します。自然界で寄生できる蛹はまとまって存在しますが、メスが近隣の蛹に歩いて分散した場合は、これまでの実験室におけるデータと同様に、母親数に寄らずごく少数しかオスを産んでいませんでした (図 2 A)。その一方で、遠方の蛹に飛んで分散した場合は、他の寄生バチのように、一緒に産卵する母親数が増えるにつれてオスの割合を高めて産んでいました (図 2 A)。DNA 解析によって一緒に育った個体どうしの血縁関係を解析したところ、メスが近隣に歩いて分散した場合は血縁関係のある母親と一緒に産卵し、遠方に飛んで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ていることが推定されました (図 2 B)。

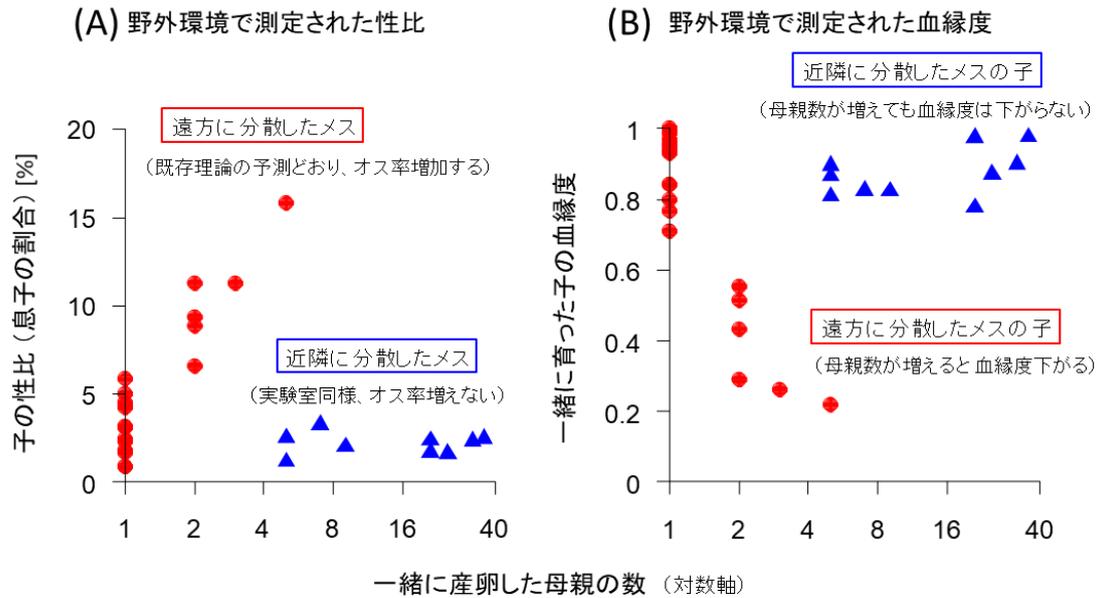


図2. 本研究により野外環境で測定されたメリトビアの性比 (A) と血縁度 (B). 血縁度は個体間の血縁の濃さの指標であり、血縁関係が弱いほど0に近づき、強いほど1に近づく. 一緒に産卵する母親数が増えれば、そこで育つ子の間の血縁度はふつう減少すると考えられる. しかし、血縁の濃い血縁者の母親と一緒に産卵すると、母親数が増えても子どもたちの血縁度の減少は穏やかになるか、下がらない場合もあると考えられる.

メスの分散状況に応じて母親どうしの血縁関係が変化することを考慮し、新たに数理モデルを作成して包括適応度理論<sup>[註3]</sup>にもとづき理論的な解析を行ったところ、野外で観察された性比と定性的に一致する結果が得られました (図3). さらに操作実験によって、メスどうしはお互いの血縁関係を直接認識できないことも示されたため、メスは自身の分散経験に応じて性比を調節して産んでいると考えられました. 以上の結果を総合すると、メリトビアのメスは分散状況に応じて一緒に産卵する母親との血縁関係を推定し、最も効率的に子孫を残せる性比で産んでいると考えられます. 赤の他人の母親と一緒に産卵する場合は、他の多くの寄生バチで示されてきたように、メスをめぐる競争に備えて息子の割合を高めて産みます. それに対し、血縁関係のある母親と一緒に産卵する場合は、自身の息子だけでなく、血縁のある息子どうしのメスをめぐる競争を避けるように、オスを少なく産んでいると解釈されます (図4).

これまで実験室では、遠方に飛んで分散したことのないメスによる性比が測定されていたため、近隣に歩いて分散した場合の性比しか測定されてこなかったと考えられます. これまで謎とされてきた性比を明らかにすることにより、メリトビアでは母親どうしの血縁関係によっても性比を調節しているという新たな発見に至りました. これまでメリトビアで報告されていた母親数に寄らない極端にメスに偏った性比は、自然界では血縁関係がある母親と一緒に産卵するときに見られ、母親どうしがお互いの子孫を効率良く残すためにオスを少なく産むという、ある種の協力的行動であることが示されました.

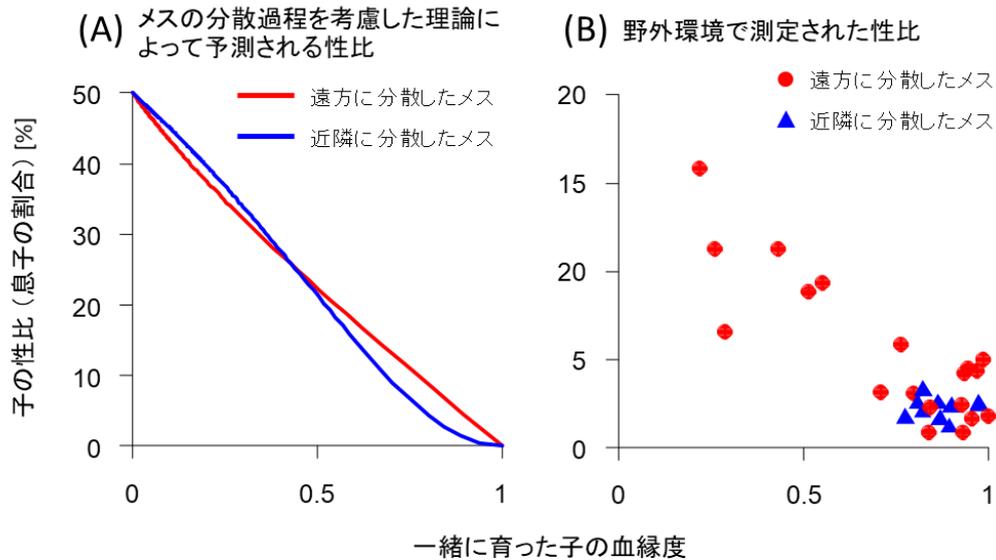


図3. メスの分散様式を考慮して作成した数理モデルによって予測される性比(A)と野外環境で測定された性比(B). 一緒に育った子の血縁度(個体間の血縁の濃さの指標)は、母親の数と母親間の血縁関係の両方の影響を受ける. 性比を一緒に育った子の血縁度に対してプロットすると、予測される性比も観測された性比も直線状に減少し、よく一致した傾向を示すことが確認できる. ただし、パネルAとBでは縦軸のスケールが異なり、定量面では一致しないことに注意.

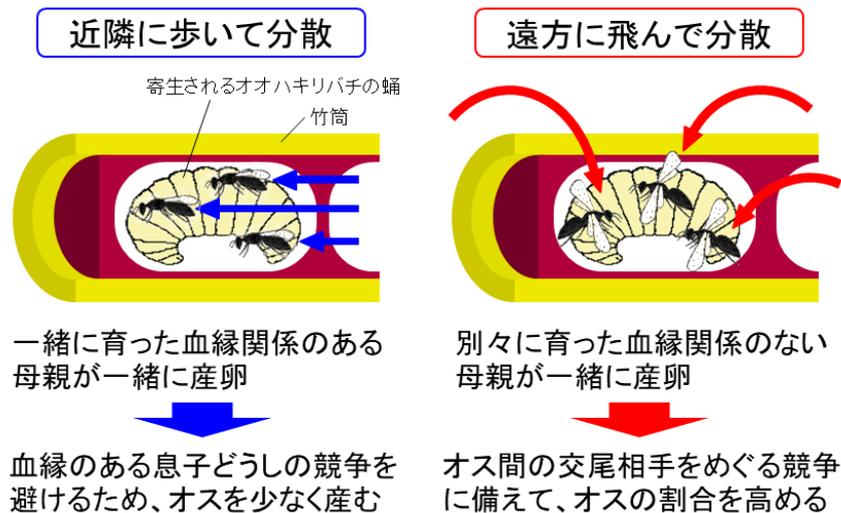


図4. メリトビアの分散様式の違いによる母親どうしの血縁関係と性比に関する概略図. 寄生されるオオハキリバチなどの単独性狩りバチやハナバチは、竹筒などの間隙に巣を作り、その蛹は連続して存在する. そのため、メリトビアのメスは歩いて同じ巣の中の別の蛹を探すか、飛翔して別の巣の蛹を探すかのいずれかの方法によって分散する.

#### (今後の展望)

今回の野外調査によって、メリトビアのメスは自身の分散状況に応じて、子の性比を適応的に調節していることが示されましたが、その具体的なメカニズムについてはまだわかっていません. 特に、メス

が何をもって自身が近隣に分散したのか、遠方に分散したのかを区別しているのかについては、今後明らかにしていきたいと考えています。さらに、野外で観察された性比は、母親の分散様式や血縁関係を考慮した数理モデルの予測に定性的に一致するものの、定量面では現実の性比はまだよりメス側に偏っています。今後はその理由についても詰めていく必要があります。

ここで見てきた性比調節の問題は、社会行動一般の問題としてとらえることもできます。一緒に育ったオスとメスが交配する生物において、複数の母親と一緒に産卵する場合は、メスをめぐる競争に備えてそれぞれの母親はオスを多く産んでしまい、その分メスは産めずに集団全体の生産性を下げてしまいます。これは、個人と集団全体の利害が対立する「共有地の悲劇」の状況に一致します。今回私たちは自然環境下において、そのような状況でも個体どうしが協力してお互いの利益を高める場合を示すことができました。ここで得られたような理解は、ハチの行動や性比調節の問題にとどまらず、社会行動一般の理解とも連携して発展されることが期待されます。

#### (用語解説)

##### [注 1] ハチの仲間の性比調節

ハチの仲間は単数倍数性という性決定機構を持ち、遺伝子のセットを2組持つ(二倍体)とメスに、1組持つ(一倍体)とオスに成長する。そのため、母親は産卵時に精子を受精させて受精卵によりメスを産むか、受精させず未受精卵によりオスを産むかにより、子の性を調節することができる。

##### [注 2] 寄生バチ

他の昆虫類等の体内もしくは体表に産卵し、孵化した幼虫が産み付けられた昆虫を摂食して育つハチの仲間の総称。寄生バチの種類ごとに、ある程度決まった範囲の昆虫類に寄生する。

##### [注 3] 包括適応度理論

進化の過程で生物の生存や繁殖に有利な遺伝子は、世代を経るごとに頻度を増すと考えられるが、親から子に伝わる遺伝子だけでなく、相互作用する血縁者を介して次世代に伝わる遺伝子も含めて遺伝子の頻度が増えたかどうかを解析するための理論。血縁者間の協力行動等、社会行動の進化の解析に用いられる。

#### 【研究者情報および研究に関するお問い合わせ】

氏名： 安部 淳 (あべ じゅん)

所属： 神奈川大学理学部非常勤講師・総合理学研究所客員研究員 (明治学院大学教養教育センター付属研究所研究員を兼任)

E-mail： [melittobia@gmail.com](mailto:melittobia@gmail.com)

URL： <https://researchmap.jp/melittobia>