

群れをなすメリットがコハナバチの社会進化を導く

～生物の社会性進化の要因解明へさらなる一歩～

ポイント

- ・働きバチが子を産まず母の子を育てる「真社会性」の進化に、血縁利益はほぼ貢献しないことを解明。
- ・子を産まない働きバチの利益の増加のほとんどが、群れを作るメリットに由来することを解明。
- ・従来信じられてきた通説を覆す成果であり、生物の協力の進化解明のさらなる進展に期待。

概要

北海道大学大学院農学研究院の長谷川英祐准教授らの研究グループは、働きバチ（ワーカー）が子を産まず、代わりに母親の子を育てる「真社会性」という性質を持つシオカワコハナバチで、不妊のワーカーの次世代への遺伝子コピー数（適応度）のほとんどが、妹への遺伝子共有程度が自分の娘に対するものの1.5倍になるメリットではなく、群れを作るメリットに由来することを解明しました。本成果は従来信じられてきた通説を覆すものであり、過去10年間、理論論文100本以上で論争された、近年の進化生態学の最大の問題に対する初めての実証データです。

ハチ、アリの仲間のようにオス（1倍体）の染色体がメス（2倍体）の半分しかない生物では、女王が1匹で1回しか交尾していない場合、女王の娘には同一の父親ゲノムが伝わるので、娘であるワーカーから見て次世代の女王になる妹は対立遺伝子^{*1}を75%の確率で共有しており、自らの娘との共有率50%より1.5倍高くなります。そのため自分で娘を産むより妹を育てた方が自らの遺伝子を効率的に遺すことができ、真社会性が進化したと考えられてきました。一方10年ほど前から、群れを作ることで「妹経由で増える次世代への遺伝子コピー数」が「ワーカー自身が子を産まなくなることで失われる次世代への遺伝子コピー数」より大きくなる効果が重要だと異議が唱えられ、大きな論争になっており、精緻な実証研究が待たれていました。

夏の2回目の繁殖期に単メス巣と複メス巣が混在するシオカワコハナバチでは、複メス巣の不妊ワーカーの包括適応度^{*2}は単メスの直接適応度の約9倍であることがわかっています。両者の1日の採餌回数を比較したところ、複メス巣では一日中誰かが採餌に出ているのに対して、単メス巣では1～2回しか採餌に出ないことがわかりました（参考図）。複メス巣ではいつも門番が天敵のアリから巣を守っていますが、単メス巣では採餌に出たときの防衛は不可能です。複メス巣における採餌と防衛効率の上昇度合いをデータから定量化し、複メス巣の不妊ワーカーが得る包括適応度が血縁度1.5倍^{*3}のメリットと群形成のメリットのどちらにどれだけ由来するかを計算しました。その結果、不妊ワーカーの包括適応度の92%が群形成に由来し、血縁度1.5倍の効果はわずか8%しかありませんでした。結論として、本種では、群形成の利益が協力の進化の主導因であると示すことができました。

他の社会性種でも、複数の仕事を同時にこなせる群形成のメリットが適応度増加にどれだけ貢献しているか量ることで、ヒトを含む協力の進化を推し進めた要因のさらなる解明が期待されます。

なお、本研究結果は、米国東部時間2018年10月3日（水）公開のScience Advances誌に掲載されました。

【背景】

ワーカーが子を産まず、親のために働く真社会性は、親という血縁者を通してワーカー内にある利他行動の遺伝子が次世代に伝わるため、血縁選択で進化したと考えられていました。また、ハチ、アリの仲間のように、メスが2倍体でオスが1倍体である単数倍数性生物では、母が1回交尾の場合、娘間の血縁度（遺伝子共有の程度）は0.75となり、自分で娘を産む場合の0.5より1.5倍大きくなるため社会生がより進化するしやすくとされており、実際、真社会性生物の大部分が単数倍数性です。

ハミルトンは1964年の論文で、 $br-c > 0$ （ b : 利他行動の受け手が増やす次世代への遺伝子コピー数, c : 利他行動をする個体が子を産まなくなることで失う次世代への遺伝子コピー数, r : 両者の間の遺伝子共有程度（血縁度））という条件を満たすときに社会進化が起こるとしましたが、血縁度 r が1.5倍になることのメリットと、群形成により $|b| > |c|$ となることのメリットのどちらが社会進化の主要因であるかについては、この10年ほど100本以上の論文が出た、近年の進化生態学上最大の論争となっていました。これらの論文はすべてモデル論文だったため、現実にはどちらが重要なのかはわかっておらず、同一集団内に単メスと複メスが混在する種での実証データが待望されていました。

【研究手法】

同一巣集団内に単メス巣と複メス巣が混在するシオカワコハナバチを用い、両タイプの日中の採餌活動と巣の防衛効率の違いを検討しました。北海道内5つの巣集団で、あらかじめ各巣のメス数を調べ、ビデオで採餌活動を記録し、単メス巣と複メス巣の間で比較を行いました。また、その記録から、巣が空になり、防衛が不可能になる時間（空巣時間）を計算しました。さらに、その結果から、不妊ワーカーが得た包括適応度のどれだけが群形成の効果（群れを作ることで $|b| > |c|$ になる効果）に由来し、 $|b| = |c|$ の仮定の下で、どれだけが血縁度1.5倍の利益に由来するかを計算しました。

【研究成果】

北海道内5つの地域の巣集団で、単メス巣は午後1~2回採餌しただけだったのに対して、複メス巣は夜明け1時間後から日没直前まで数十回の採餌を行い、1回あたりの平均時間も単メス巣より長いことがわかりました。また、巣の防衛が不可能になる空巣時間は、複メス巣ではごく短かった一方、単メス巣はメスが一匹しかいないので必然的に採餌時間と同じになりました。「個体は互いの行動に無関係にランダムに出入りしている」と仮定したシミュレーションから予測される空巣時間より、複メス巣で観察された空巣時間は有意に短かったので、複メス巣では空巣時間を短くするような協働があることが示されました。これらのデータから、先行研究で得られた、真社会性巣の不妊ワーカーが単メスより増やす包括適応度を、群形成の効果と血縁度1.5倍の効果がどの程度説明するかを $|b| > |c|$ の仮定の下で推定したところ、群形成効果が約92%、血縁効果が8%となり、社会生の進化の理由として、群形成のメリットが大部分を占めていることが示されました。

【今後への期待】

他の真社会性生物でも同様の測定を行い、社会性の進化に対して、群効果と血縁効果の相対的重要性を評価することで、ヒトを含め、社会性（=協力）が進化する理由への一般的回答が得られることが期待されます。

論文情報

論文名	The benefits of grouping as a main driver of social evolution in a halictine bee. (コハナバチにおける社会進化の主導因は群れを作ることの利益である)
-----	---

著者名 大久保祐作¹, 山本達紘¹, 小楠なつき¹, 渡邊紗織¹, 村上優花¹, 八木議大², 長谷川英祐¹
(¹北海道大学大学院農学研究院生物生態・体系学講座動物生態学研究室, ²北海道庁後志総合振興局)

雑誌名 Science Advances (科学一般を扱うオンライン専門誌)

DOI 10.1126/sciadv.1700741

公表日 米国東部時間 2018 年 10 月 3 日 (水) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院農学研究院 准教授 長谷川英祐 (はせがわえいすけ)

T E L 011-706-3690 F A X 011-706-2494 メール ehase@res.agr.hokudai.ac.jp

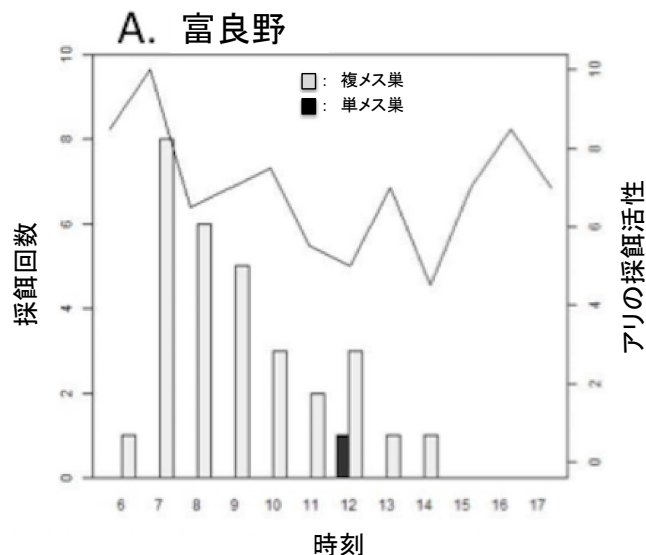
U R L <http://lab.agr.hokudai.ac.jp/ecosys/ecology/aml.htm>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

【参考図】



北海道富良野の巣集団における、複メス巣と単メス巣の採餌活動

【用語解説】

- *1 対立遺伝子 … 遺伝子座 (ある特定の遺伝情報が存在する染色体の部位) にある遺伝子は、父親と母親それぞれから遺伝情報を引き継ぐため、異なる遺伝情報を持っている。同じ遺伝子座にあって異なる遺伝情報をもつ遺伝子を対立遺伝子という。
- *2 包括適応度 … ある個体が他個体に貢献したときに、自らが子を通じて次世代に伝えた遺伝子のコピー数 (直接適応度) と、貢献により他個体が増やした次世代への伝達遺伝子コピー数を血縁度で割り引いた物 (間接適応度) を足した値。包括適応度が高いほど、次世代へ効率的に遺伝子を遺せたことを表す。
- *3 血縁度 … ある個体に対立遺伝子があるとき、別個体が同一遺伝子を持っている程度を表す数字で、-1 から +1 の間の値を取る。今回の例では、ワーカーと、次世代の女王になる妹の血縁度は 0.75。
- *4 $|x|$ … x の絶対値と読み、 x がマイナスの数であるときに、マイナス記号をとる処理を表す。例えば、 $|-1|$ は 1 である。