

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25450483

研究課題名(和文) チクシトゲアリ創設女王どうしの協力行動の適応的意義と生体アミンが行動に与える影響

研究課題名(英文) Adaptive significance of cooperative behaviors between founding queens of *Polyrhachis moesta* and the effect of biogenic amine on the queen behaviors

研究代表者

佐藤 俊幸 (Sato, Toshiyuki)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80242238

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：無脊椎動物における非血縁者間の協力行動の研究は社会性の進化の普遍的な原理を理解するうえで重要である。チクシトゲアリは血縁のない創設女王どうし共同越冬し、協力してコロニーを創設するが、成熟したコロニーでは単女王となり、女王は攻撃的になる。(1)越冬前の創設女王は巣仲間かどうかに関係なく協力するが、越冬後は巣仲間に対してより協力的にふるまうこと、(2)成熟したコロニーの敵対性を示す女王の脳内オクトパミン濃度は有意に増加すること、(3)オクトパミンを創設女王に経口摂取させると敵対的な行動を誘導できることを明らかにした。本研究は協力行動が維持される要因の解明に貢献する重要な研究へと発展しうる。

研究成果の概要(英文)：The study of cooperative behaviors between non-kin individuals in invertebrates is important for the better understanding of the general rule of social evolution. Founding queens of an ant species, *Polyrhachis moesta*, cooperatively overwinter and found new colonies, however, matured colonies become single-queened, and those queens are hostile with each other. This study revealed that: (1) founding queens are cooperative before overwintering irrespectively they were nestmates or not, however, they become cooperative to only nestmates after overwintering; (2) brain octopamine level of queens from mature colonies is significantly higher than founding queens; (3) octopamine fed founding queens can be induced hostility against different founding queens. Those findings will contribute the better understanding of factors supporting the maintenance of cooperative behaviors.

研究分野：行動生態学

キーワード：協力行動 社会性 オクトパミン 血縁 敵対行動 社会性昆虫 栄養交換 創設女王

1. 研究開始当初の背景

血縁のない個体どうしの協力行動に関しては、ヒトを含めた霊長類では多数の研究がなされている。しかしながら、無脊椎動物では非血縁者間の協力行動は報告例が少なく、ほとんど研究されていない。無脊椎動物における協力行動、利他行動の進化は、これまで血縁選択の文脈で説明されてきた。非血縁者間の協力は、互恵的利他行動の観点から、協力しないよりは協力した方が個体の適応度が高まるなら、進化しうると考えられる。本研究は、無脊椎動物では非常にまれな血縁のない個体どうしの協力行動の究極要因（適応的意義）と至近要因（生理的メカニズム）を明らかにする点で先駆的なものとなる。

2. 研究の目的

無脊椎動物における非血縁者間の協力行動の研究は、脊椎動物とは独立に進化した現象として、協力行動・社会性の進化の普遍的な原理を理解するうえで重要な示唆を与えるものと期待される。チクシトゲアリは血縁のない創設女王どうし同じ営巣場所で越冬し、栄養交換・共同育児しコロニーを創設するが（図1）成熟したコロニーでは単女王となり、女王は攻撃的になる。本研究では、血縁のない創設女王どうしの協力行動が維持される条件、女王の行動が協力から敵対へとスイッチするメカニズムを明らかにする。



図1：創設女王どうしの栄養交換

3. 研究の方法

血縁のない創設女王どうしの協力行動を解析するため、越冬前の創設女王を採集し、創設女王のペアからなる実験コロニーを作成し、女王にオクトパミンを経口投与し、個体間のインタラクションを観察する。野外の成熟コロニーは全て単女王制であるが、コロニーが単女王制となる過程も、飼育観察、野外調査により明らかにする。また、創設女王やオクトパミンを与えた女王、成熟コロニーの女王の脳内のオクトパミン濃度を比較するとともに、RNA-Seq解析を導入し、オクトパミン関連遺伝子の発現の比較解析も行う。それにより、女王の行動が協力から敵対へと変化するメカニズムを明らかにする。

4. 研究成果

血縁のない創設女王どうし協力してコロ

ニーを創設するチクシトゲアリにおいて、越冬前の創設女王は巣仲間かどうかに関係なく協力するが、越冬後は巣仲間に対してより協力的にふるまうことを明らかにした。また、成熟したコロニーの敵対性をもつようになった女王の脳内オクトパミン濃度は有意に増加すること（図2）オクトパミンを創設女王に経口摂取させると、栄養交換（口移しで素囊から液状の餌を吐き戻して与える行動）アログルーミング（相手の体を舂めて掃除してあげる行動）などの協力的な行動の頻度が低下し（図3）敵対的な行動を誘導できることを明らかにした（図4）。

また、オクトパミンを経口摂取させた女王の脳内オクトパミン濃度は成熟巣の女王のそれと同じレベルまで上がっていることを確かめた。それらの成果は、研究分担者の佐々木謙氏・小山哲史氏らと共著でこれまでに2つの論文として公表している。また、研究内容から派生した関連論文も1報発表した。

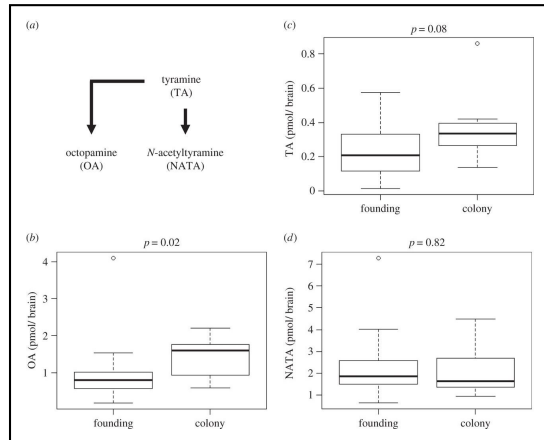


図2. フェノールアミンの合成・代謝経路 (a) 創設女王 (n=30)、コロニー女王 (n=9) の脳内オクトパミン (b)、チラミン (c)、NATA (d) 濃度。A synthetic and metabolic pathway of phenolamines (a) and the amount of OA (b), TA (c) and NATA (d) in the brain of founding (n = 30) and colony queens (n = 9). Box plots indicate first and third quartiles, median, minimum and maximum values.

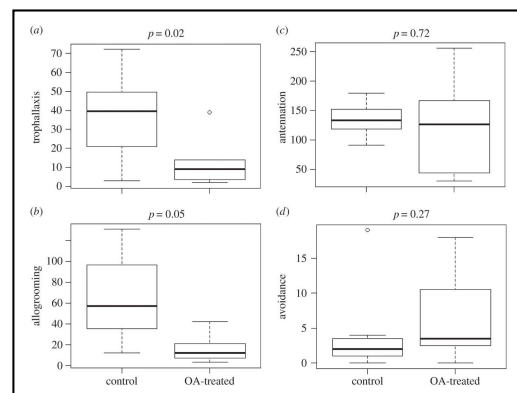


図3. オクトパミン摂取女王と非摂取女王の行動頻

度。(a)栄養交換、(b)アログルーミング、(c)アンテナレーション、(d)忌避。

Frequency of behaviours in OA-treated and control queens. (a) Trophallaxis, (b) allogrooming, (c) antennation and (d) avoidance. Box plots indicate first and third quartiles, median, minimum and maximum values. n = 8.

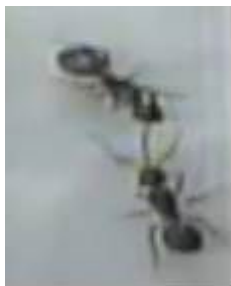


図4：オクトパミン経口投与により敵対的な行動を示すチクシトゲアリの創設女王

創設女王 A(下)が創設女王 B(上)の触角を噛んで引っ張っている。オクトパミン(2 mg/ml)が入った10% ショ糖水を双方に経口投与した。攻撃が開始されたのは投与から約5時間後で、計5回、トータルで約75分間見られた。(Koyama et al. 2015, *Biology Letters* 11: 20150206.)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3件)

Toshiyuki Satoh, Tomohiro Yoshida, Satoshi Koyama, Akira Yamagami, Mamoru Takata, Hayato Doi, Takuma Kurachi, Shinya Hayashi, Takuya Hirobe and Yasuo Hata (2016) Resource partitioning based on body size contributes to the species diversity of wood-boring beetles and arboreal nesting ants. *Insect Conservation and Diversity*, 9(1): 4-12. (査読有)

Koyama S., Matsui S., Satoh T., Sasaki K. (2015) Biogenic amine and cooperation: octopamine regulates the disappearance of cooperative behaviours between genetically unrelated founding queens in the ant *Polyrhachis moesta*. *Biology Letters*, 11: 20150206. (査読有)

Hashimoto A., Sasaki K., Koyama S., Satoh T. (2013) Food exchange behavior between multiple founding queens of *Polyrhachis moesta* (Hymenoptera: Formicidae) changes during hibernation. *Applied Entomology and Zoology*, 48 (2): 141-145. (査読有)

[学会発表](計 3件)

野村浩介・小山哲史・山口剛・平岡毅・佐藤俊幸「アリの学習が行動と意思決定に与える影響」日本動物行動学会第35回大会、2016

年11月11-12日、新潟大学五十嵐キャンパス

Satoshi Koyama, Shingo Matsui, Toshiyuki Satoh, Ken Sasaki

“Octopamine reduces social behaviors between unrelated ant queens.”

IUSSI (国際社会性昆虫学会) オーストラリア・ケアンズ、2014年7月15日

小山哲史・松井伸吾・佐藤俊幸・佐々木謙「脳内オクトパミン量の上昇がチクシトゲアリ女王の協力行動を減少させる」第58回日本応用動物昆虫学会、2014年3月28-29日、高知大学朝倉キャンパス

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 俊幸 (SATO, Toshiyuki)

東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 80242238

(2) 研究分担者

佐々木 謙 (SASAKI, Ken)

玉川大学・農学部・准教授

研究者番号: 40387353

小山 哲史 (KOYAMA, Satoshi)

東京農工大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 10549637

大松 勉 (OOMATSU, Tsutomu)

東京農工大学・農学部・講師

研究者番号: 60455392

(3)連携研究者
()

研究者番号：

(4)研究協力者
松井 伸吾 (MATSUI, Shingo)