

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K06860

研究課題名(和文) 派生的なアリ類で獲得された女王の育児戦略：餌生産の至近機構の解明

研究課題名(英文) Evolution of brood-care strategies of queens throughout the ant phylogeny

研究代表者

宮崎 智史 (MIYAZAKI, Satoshi)

玉川大学・農学部・准教授

研究者番号：20547781

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：アリ類の生態学的成功を可能にした一因に、蟻居型創設及び分巢というコロニー創設戦略の獲得が挙げられる。本研究ではトビロケアリの蟻居型創設において餌物質の生産・貯蔵に伴う組織の変化を調べるとともに、蟻居型創設と分巢の両方を採用しうるカドフシアリを対象に、各戦略に関連して発現変動する遺伝子の特定を試みた。それらの結果、蟻居型女王は食道形態が胸嚢形成に特殊化していること、飛翔筋の形成とエネルギー代謝に関連する遺伝子の発現が上昇することが示された。分巢に関連する発現遺伝子は特定できなかったが、遺伝子発現情報についてのリソースを拡充できた。今後これらの活用により分巢に関連する遺伝子を特定する必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

巨大な分類群の一つであるアリ科のほとんどの種は蟻居型創設か分巢を採用する。それによって本来は死亡率が高いはずである生活史の最初のステージにおいて生存率を向上させ、多様なニッチへの進出を可能にしてきた。本研究ではそれらの戦略に注目し、蟻居型創設への形態的な特殊化やそれに関連する発現遺伝子群を明らかにすることができた。今後はこれらの情報を基盤として、アリがいかにして新たなコロニー創設様式を獲得したか、ひいてはいかにして生態学的成功を成し得たのかという謎を解き明かすことが期待される。

研究成果の概要(英文)：One of the factors contributing to the ecological success of ants is the acquisition of colony founding strategies, such as claustral independent colony foundation (claustral ICF) and colonial budding. We investigated tissue changes during claustral ICF in *Lasius japonicus* and explored differentially expressed genes associated with each strategy. Our findings revealed specialized esophageal structures in claustral founding queens for thoracic crop formation, along with elevated expression of genes involved in flight muscle development and energy metabolism. Although we couldn't identify gene expression associated with colonial budding, our study expanded the resources for comprehensive gene expression information. Further utilization of these resources is needed to identify genes associated with colonial budding in future research.

研究分野：進化生物学、分子昆虫学、生態発生学、社会生態学

キーワード：蟻居型創設 アリ 育児 胸嚢 トビロケアリ 女王 カドフシアリ 女王多型

## 1. 研究開始当初の背景

アリ類は陸上生態系で際立った成功を遂げている。アリはハチ目のなかの単一の科 (アリ科) に属するにもかかわらず、記載種だけで 14,000 種を超える種多様性、そして全ての哺乳類・鳥類のバイオマスをも超える圧倒的なバイオマスを誇る。それらが陸上生態系のあらゆるニッチに進出し、多くの動植物と防衛共生の関係を結び、生態系エンジニアの機能を果たすなど、アリ類が陸上生態系で果たす役割は極めて重要である。

アリの生態学的成功を可能にした要因の一つとして新たなコロニー創設様式の獲得が挙げられる。真社会性昆虫であるアリでは、ワーカーが採餌や育児などの労働を担い、女王は安全な巢内で繁殖に専念する。ただし、その多くの種でコロニーの創設は 1 個体の女王により行われるため、その創設初期には育児を含む全ての労働を女王が単独で担う。この時、祖先的な系統では他のハチ類と同様に、育児のための餌資源を女王自らが巢外に採りに行く必要があるが (非蟻居型創設)、一方で派生的な系統の女王は自らの組織を分解することで生産した餌資源を育児に用いることができ、巢外に出る必要がない (蟻居型創設)。餌を採らず絶食を強いられるこの育児戦略は一見過酷だが、女王の分散と定着に伴う被食リスクを大幅に軽減することで、多様なニッチへの進出を可能にしてきた。さらに、女王が単独ではなく、複数のワーカーとともに母巢を離れて新しいコロニーを創設する分巢 (巣分かれ) 戦略もアリの系統進化の過程で独立に 50 回以上も進化してきた。分巢戦略は分散距離が短くなるものの、女王が単独で複数のタスクを強いられる期間自体をスキップでき、分巢直後から育児などの労働をワーカーに任せて女王自身は繁殖に専念できる点で適応的である。したがって蟻居型創設や分巢、それらに伴う育児戦略に注目することで、アリがいかにして新たなコロニー創設様式を獲得したか、ひいてはいかにして生態学的成功を成し得たのかという生態学上の重要な「問い」に迫ることができると考えた。

## 2. 研究の目的

蟻居型コロニー創設は、母巢を飛び立った新女王が交尾と飛翔分散を終え、自ら脱翅したのちに開始される。蟻居型女王の育児戦略については 1900 年代に幾つかの解剖学的研究が行われ、創設過程における女王の胸部内では、翅を動かすための飛翔筋が分解されることや、そして胸部を通る食道の一部が嚢状に膨れて胸嚢となることが示された。しかし、飛翔筋分解や胸嚢形成の過程を調べた研究はなく、その仕組みに関する知見はなかった。そこで本研究ではまず、(1) 蟻居型創設の代表種であるトビイロケアリの創設女王を対象に、コロニー創設過程における餌物質の生産・貯蔵に伴う組織の変化を調べた。

また、(2) 蟻居型女王アリ自らが給餌するという育児戦略の至近機構をするため、トビイロケアリ創設女王の育児に関連して発現する遺伝子の特定を試みた。それに際して、ワーカーの育児に関連して発現する遺伝子との比較も重要になる。そこで無女王制のトゲオオハリアリのワーカーの労働タスクを人為的に操作することで、育児行動に関連して発現変動する遺伝子も特定した。

蟻居型創設から分巢戦略への進化はアリの系統で 50 回以上も起こってきたが、そのなかには蟻居型創設と分巢の両方を採用する種もみられる。そのような種を対象に蟻居型創設集団と分巢集団の遺伝子発現を比較することで分巢戦略の進化に伴う遺伝子発現の変化を調べることが可能になる。そこで本研究では、(3) 蟻居型創設を行う有翅女王と分巢を行う無翅女王の両方を有するカドフシアリを対象に、両女王のトランスクリプトームを比較することで分巢の獲得に伴って発現様式が変化した遺伝子の特定を試みた。

## 3. 研究の方法

本研究では下記の(1)–(3)の方法で解析を実施した。

### (1) 蟻居型女王における飛翔筋分解及び胸嚢形成の過程

結婚飛行直後のトビイロケアリ女王を採集し、個別にコロニー創設させたのち、1 週間ごとに 10 個体程度ずつ固定した。それらの女王を解剖し、飛翔筋の状態と食道のサイズを調べることで、飛翔筋分解の進行と胸嚢形成の過程を経時的に調べた。また、胸嚢形成前後の胸部食道の構造を共焦点顕微鏡で観察した。

### (2) 蟻居型女王とワーカーにおける育児関連遺伝子

1) で採集・飼育された創設女王のうち蟻居型創設直後 (0 週目) と育児期間中 (3 週目) の創設女王を 3 個体ずつサンプリングし、それぞれ頭部・胸部・腹部の 3 部位に分けて RNA を抽出した。それらの RNA サンプルを用いて RNA-seq 解析を実施した。



することを意味する。そして有翅女王特異的な発現を示す転写産物の多くはエネルギー代謝及び筋肉形成にアノテーションされた。この結果から、蛹期中期及び新成虫期にカースト間で発現差が大きくなる遺伝子は飛翔筋の形成と飛翔活性に、つまり結婚飛行とそれに続く蟄居型創設に強く関連することが示唆された。また、分巢に重要な役割を果たす遺伝子はその発現が低レベルであるか脳など一部の組織に限定される、あるいはアノテーションのつかなかった未知の遺伝子はその役割を果たすと示唆される。

以上の結果より、結婚飛行に続いて蟄居型創設を行う女王アリにおいては蛹の期間から新成虫期にかけて、エネルギー代謝及び飛翔筋形成に関連する遺伝子の発現上昇が重要な役割を果たすことが分かった。加えて、蟄居型創設過程における遺伝子発現情報やワーカーの育児に関連する遺伝子発現情報などの利用可能なリソースを拡充することができた。これらを活用することで、アリの種多様性や多様なニッチの進出を可能にした蟄居型創設や分巢の至近機構を解明できると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shigenobu S., Hayashi Y., Watanabe D., Tokuda G., Hojo M. Y., Toga K., Saiki R., Yaguchi H., Masuoka Y., Suzuki R., Suzuki S., Kimura M., Matsunami M., Sugime Y., Oguchi K., Niimi T., Gotoh H., Hojo M. K., Miyazaki S., Toyoda A., Miura T., Maekawa K.	4. 巻 119
2. 論文標題 Genomic and transcriptomic analyses of the subterranean termite <i>Reticulitermes speratus</i> : Gene duplication facilitates social evolution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2110361119	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sugiura Naoto, Shikata Kei ichiro, Miyazaki Satoshi	4. 巻 26
2. 論文標題 Notes on the foraging habits of adult <i>Protohermes</i> dobsonflies (Megaloptera: Corydalidae): Further evidence for anthophilous megalopterans	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Entomological Science	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ens.12542	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kurihara Yuta, Ogawa Kota, Chiba Yudai, Hayashi Yoshinobu, Miyazaki Satoshi	4. 巻 69
2. 論文標題 Thoracic crop formation is spatiotemporally coordinated with flight muscle histolysis during claustral colony foundation in <i>Lasius japonicus</i> queens	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Arthropod Structure & Development	6. 最初と最後の頁 101169 ~ 101169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asd.2022.101169	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kurihara Yuta, Ogawa Kota, Chiba Yudai, Hayashi Yoshinobu, Miyazaki Satoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Thoracic crop formation is spatiotemporally coordinated with flight muscle histolysis during claustral colony foundation of a <i>Lasius japonicus</i> queen	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 1-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2022.03.03.482739	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Miyazaki Satoshi, Fujiwara Kokuto, Kai Keima, Masuoka Yudai, Gotoh Hiroki, Niimi Teruyuki, Hayashi Yoshinobu, Shigenobu Shuji, Maekawa Kiyoto	4. 巻 11
2. 論文標題 Evolutionary transition of doublesex regulation from sex-specific splicing to male-specific transcription in termites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-95423-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sugiura Naoto, Miyazaki Satoshi	4. 巻 24
2. 論文標題 Discovery of flower visiting fishflies: Adult <i>Neochauliodes amamioshimanus</i> (Megaloptera: Corydalidae) nocturnally forages on <i>Schima wallichii</i> ssp. <i>noronhae</i> trees	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Entomological Science	6. 最初と最後の頁 152 ~ 156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ens.12463	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyazaki S., Shimoji H., Suzuki R., Chinushi I., Takayanagi H., Yaguchi H., Miura T., Maekawa K.	4. 巻 30
2. 論文標題 Expressions of conventional vitellogenin and vitellogenin like A in worker brains are associated with a nursing task in a ponerine ant	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Insect Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 113 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/imb.12682	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Cronin Adam L., Azuma Noriko, Miyazaki Satoshi, Oguri Emiko, Schwarz Michael P., Ito Fuminori	4. 巻 33
2. 論文標題 Geographic patterns in colonial reproductive strategy in <i>Myrmecina nipponica</i> : Links between biogeography and a key polymorphism in ants	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Evolutionary Biology	6. 最初と最後の頁 1192 ~ 1202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jeb.13659	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計28件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Miyazaki, S., Hayashi, S., Yamaguchi, K. and Shigenobu, S.
2. 発表標題 Genomic regions associated with queen-polymorphism in <i>Myrmecina nipponica</i> .
3. 学会等名 ASAB Winter 2022, Japan hublet (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujiwara, K., Miyazaki, S., Maekawa, K.
2. 発表標題 Identification of doublesex ortholog and its target genes in termites.
3. 学会等名 The 19th Congress of International Union for the Study of Social Insects (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮崎智史, 林良信, 山口勝司, 重信秀治
2. 発表標題 カドフシアリの多型女王間でのトランスクリプトーム比較
3. 学会等名 第70回日本生態学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 古本知奈美, 宮崎智史
2. 発表標題 ウロコアリ <i>Strumigenys lewisi</i> の海綿状付属物の発生過程
3. 学会等名 関東昆虫学研究会第6回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 栗原雄太, 宮崎智史
2. 発表標題 異なる創設様式をもつハチ目女王の食道壁の種間比較
3. 学会等名 関東昆虫学研究会第6回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮崎智史, 栗原雄太, 小川浩太, 林良信
2. 発表標題 トビイロケアリのコロニー創設女王における胸囊の形成過程
3. 学会等名 日本動物学会第93回早稲田大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原克斗, 宮崎智史, 前川清人
2. 発表標題 シロアリの雄特異的に発現する性決定遺伝子doublesexの下流制御の解析
3. 学会等名 日本進化学会第24回沼津大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小泉裕人, 宮崎智史
2. 発表標題 ウロコアリ属女王の胸部形態
3. 学会等名 関東昆虫学研究会第6回大会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 栗原雄太, 小川浩太, 千葉雄大, 林良信, 宮崎智史
2. 発表標題 トビロケアリ女王の創設期間中における飛翔筋分解と同調した胸囊の形成
3. 学会等名 第66回日本応用動物昆虫学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小泉裕人, 寺崎雅人, 松田真拓, 宮崎智史
2. 発表標題 ウロコアリ <i>Strumigenys lewisi</i> の揮発性物質を用いたトビムシ捕食戦略
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮崎智史, 栗原雄太, 小川浩太, 千葉雄大, 日高利海, 田中寛海, 林良信
2. 発表標題 トビロケアリ女王の蟻居型コロニー創設における胸囊形成過程
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小泉裕人, 石間伊央里, 寺崎雅人, 松田真拓, 宮崎智史
2. 発表標題 ウロコアリ属のアリは餌とするトビムシを誘引する?
3. 学会等名 関東昆虫学研究会第4回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 栗原雄太, 千葉雄大, 宮崎智史
2. 発表標題 トビイロケアリ女王の創設期間における食道形態の解析
3. 学会等名 関東昆虫学研究会第4回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原克斗, 宮崎智史, 前川清人
2. 発表標題 ヤマトシロアリにおける性決定経路の下流遺伝子の探索
3. 学会等名 日本動物学会第92回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮崎智史, 藤原克斗, 前川清人
2. 発表標題 シロアリで獲得された性決定遺伝子doublesexの雄特異的転写制御
3. 学会等名 日本進化学会第23回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原克斗, 宮崎智史, 前川清人
2. 発表標題 ヤマトシロアリにおける性決定遺伝子の役割
3. 学会等名 日本動物学会第91回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栗原雄太, 千葉雄大, 田中寛海, 宮崎智史
2. 発表標題 トビロケアリにおける創設期間中の胸囊の発達と内容物の由来
3. 学会等名 第65回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮崎智史, 林良信, 山口勝司, 重信秀治
2. 発表標題 有翅女王と無翅女王を有するカドフシアリを対象としたRAD-seqによるゲノムワイド関連解析
3. 学会等名 第65回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原克斗, 宮崎智史, 前川清人
2. 発表標題 ヤマトシロアリの性決定遺伝子doublesexの標的遺伝子探索と発現解析
3. 学会等名 第65回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗原雄太, 千葉雄大, 田中寛海, 宮崎智史
2. 発表標題 トビロケアリの創設女王における胸囊の発達と給餌に関連する組織の変化
3. 学会等名 関東昆虫学研究会第4回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池主格, 宮崎智史
2. 発表標題 フタホシコオロギのオスの求愛行動における性決定遺伝子の役割
3. 学会等名 関東昆虫学研究会第3回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 栗原雄太, 千葉雄大, 田中寛海, 宮崎智史
2. 発表標題 トビイロケアリ女王の蟄居型創設に伴う胸部内部構造の変化
3. 学会等名 関東昆虫学研究会第3回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前川清人, 甲斐啓馬, 宮崎智史, 藤原克斗, 林良信, 重信秀治
2. 発表標題 ヤマトシロアリにおける性決定遺伝子の発現パターン
3. 学会等名 日本動物学会第90回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎智史, 山口勝司, 重信秀治
2. 発表標題 RAD-seqを用いたカドフシアリの有翅女王と無翅女王における遺伝的差異の定量
3. 学会等名 日本進化学会第21回札幌大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池主格, 宮崎智史
2. 発表標題 フタホシコオロギのオスの求愛行動におけるfruitlessとtransformer2の役割
3. 学会等名 第64回応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小泉裕人・山口俊隆・宮崎智史
2. 発表標題 クロナガアリの多雌創設で女王数が女王の生存率とブルード生産へ与える影響
3. 学会等名 第64回応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栗原雄太, 千葉雄大, 田中寛海, 宮崎智史
2. 発表標題 トビイロケアリ女王の蟄居型創設に伴う飛翔筋の退縮と胸部消化管の肥大化
3. 学会等名 第64回応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮崎智史, 山口勝司, 重信秀治
2. 発表標題 有翅女王と無翅女王を有するカドフシアリを対象としたRAD-seqによる集団遺伝学的解析
3. 学会等名 第64回応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室ホームページ  
https://ihsotasm.wixsite.com/myzklab

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	林 良信  (HAYASHI Yoshinobu)  (70626803)	慶應義塾大学・法学部(日吉)・講師   (32612)	
研究分担者	小川 浩太  (OGAWA Kota)  (40733960)	九州大学・比較社会文化研究院・助教   (17102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------