

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870121

研究課題名(和文)生理機構の“使い回し”から見る社会性進化

研究課題名(英文)Evolution of eusociality mediated by the co-option of physiological mechanisms

研究代表者

岡田 泰和 (OKADA, Yasukazu)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：10638597

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：トゲオオハリアリを用いて、脳、卵巣および腹部脂肪体における生理活性物質や遺伝子の発現解析を行った。脳内物質の順位やカーストごとの定量化および、投与実験によって、脳で作られるドーパミンが卵巣発達を促す神経ホルモン作用を持ち、女王や高順位個体で脳内濃度が上昇することを突き止めた。また、次世代シーケンサーを用いた網羅的な遺伝子発現解析によって、インスリン経路や糖・脂質・アミノ酸の代謝に関わる経路がカースト間で大きく異なっていることを明らかにした。さらに、貯蔵タンパクがワーカー特異的に発現しており、ワーカーの不妊化が単独性種の休眠状態を模した表現型としてもたらされていることを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, using a monomorphic queenless ant, *Diacamma* sp., we identified genes associated with monomorphic caste differentiation, specifically focusing on the onset of queen-worker differentiation. Using RNA-seq, qPCR and topical application of drugs, the study revealed 1) queen has heightened level of brain dopamine and this dopamine has gonadotropic neurohormonal effects, 2) genes involved in nutrition processing and storage, such as insulin-signaling genes and hexamerins, were strongly altered soon after dominance rank formation. These lines of evidence suggest that workers deploy physiological characteristics of diapause phase in solitary insects, so that they can reduce metabolic and reproductive activities.

研究分野：生態発生学 行動学 生理学

キーワード：カースト分化 分業 表現型可塑性 生態発生学 社会性昆虫 進化発生学

### 1. 研究開始当初の背景

社会性昆虫の女王とワーカーによる繁殖分業は、動物の繁殖生態の進化の極みであり、特殊な現象と見られることもある。だが、育児、採餌、繁殖という行動レパートリー（生活史段階）は単独性の動物にも存在し、こうした行動レパートリーを決める生理状態が個体ごとに“振り分けられる”ことで分業が実現する。こうした考えは、“繁殖グラウンドプラン仮説” (West-Eberhard 1996)として理論が提唱されたが、その実体はいまだ未解明である。

### 2. 研究の目的

本研究は、分子発生学および比較生理学的アプローチによって、分業の背景にある生理機構を理解し、その“使い回し”のパターンを種間で比較することで、繁殖生態の進化メカニズムを具体的に解明する。

### 3. 研究の方法

トゲオオハリアリを用いて、高順位で文化する女王と、低順位で分化するワーカーを人為的に誘導する。そして、RNA-seqによりカースト特異的に発現する遺伝子を組織ごとに同定する。人為的ホルモン投与・RNAiによるロックダウンによるカースト運命の人為操作実験を行い、行動・内分泌中枢の脳、代謝や貯蔵の中枢である脂肪体および、繁殖活性をきめる卵巣について相互の制御機構を明らかにする。巻末図 1

### 4. 研究成果

脳内、卵巣および腹部脂肪体における生理活性物質や遺伝子の発現解析を行い、単独性の種における遺伝子機能がどのように使われることで繁殖分業が成立するかを解析した（巻末図 2 など）。

脳内物質の順位やカーストごとの定量化および、投与実験によって、本種では脳で作られるドーパミンが卵巣発達を促す神経ホルモン作用を持ち、女王や高順位個体で脳内濃度が上昇することを突き止めた。また、次世代シーケンサーを用いた比較トランスクリプトーム（網羅的な遺伝子発現解析）によって、インスリン経路や糖・脂質・アミノ酸の代謝に関わる経路がカースト間で大きく異なっていることを明らかにした。さらに、昆虫で休眠や栄養貯蔵を行う貯蔵タンパク（ヘキサメリン）がワーカー特異的に発現しており、これはワーカーの不妊化は単独性種の休眠状態を模した表現型としてもたらされていることを示唆している。

本研究は、トゲオオハリアリにおいて、順位によって休眠状態や栄養代謝にかかわる生理経路が活性化するか否かがカーストを決定づけていることを示しており、単独性種の生理的性質の使い分けで繁殖分業の主要な部分を説明できたと考えている。

### 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 6 件)

(1) Ant circadian activity associated with brood care type  
Fujioka H, Abe MS, Fuchikawa T, Tsuji K, Shimada M, Okada Y\*.  
**Biology Letters** (2017) 13: 20160743.  
DOI: 10.1098/rsbl.2016.0743  
日本経済新聞、読売新聞 [online](#)、[共同通信](#)、[Yahoo!ニュース](#) などで紹介

(2) Queen contact and among-worker interactions dually suppress worker brain dopamine as a potential regulator of reproduction in an ant.  
Shimoji H\*, Aonuma H, Miura T, Tsuji K, Sasaki K, Okada Y\*.  
**Behavioral Ecology and Sociobiology** (2017) 71: 35.  
doi:10.1007/s00265-016-2263-3

(3) Social dominance alters nutrition-related gene expression immediately: transcriptomic evidence from a monomorphic queenless ant.  
Okada Y\*, Watanabe Y, Mandy MYT, Tsuji K, Mikheyev AS\*.  
**Molecular Ecology** in press  
10.1111/mec.13989

(4) Mutual intra- and interspecific social parasitism between parapatric sister species of *Vespa* wasps.  
Saga T, Kanai M, Shimada M, Okada Y.  
**Insectes Sociaux** (2017) 64: 95  
doi:10.1007/s00040-016-0519-6

(5) Social dominance and reproductive differentiation mediated by the dopaminergic signaling in a queenless ant.  
Okada Y\*, Sasaki K, Miyazaki S, Shimoji H, Tsuji K, Miura T.  
**Journal of Experimental Biology** (2015) 218, 1091-1098  
doi: 10.1242/jeb.118414  
[財経新聞](#) にて紹介

(6) Social dominance modifies behavioral rhythm in a queenless ant.  
Fuchikawa T#, Okada Y\*\*, Miyatake T, Tsuji K (#equal contribution)  
**Behavioral Ecology and Sociobiology** (2014) 68(11), 1843-1850.

〔学会発表〕(計7件)

(1) カースト特異的遺伝子の異時的発現が駆動する社会形態の進化

岡田泰和

進化学会 2015年8月20-23日 中央大学  
(東京, 文京区)

(2) アリは子煩悩? - 育児による概日リズムの消失 -

藤岡春菜, 阿部真人, 嶋田正和, 岡田泰和  
日本行動学会 2015年11月21日 東京海洋大学  
(東京, 港区)

(3) 社会性昆虫の概日リズムと社会的相互作用

藤岡春菜, 阿部真人, 嶋田正和, 岡田泰和  
日本生態学会 2016年3月 ポスター発表  
東北大学 (宮城, 仙台市)

(4) 栄養生理からみたアリのコロニー統合

岡田泰和 藤岡春菜  
日本応用動物昆虫学会 2017年3月 東京農工大学  
(東京, 小金井市)

(5) 自動追尾システムを用いたアリ類の活動リズムと社会的相互作用の解析

藤岡春菜, 阿部真人, 岡田泰和  
日本応用動物昆虫学会 2017年3月 東京農工大学  
(東京, 小金井市)

(6) 昆虫の大アゴに蓄積する Zn 分布の測定

中村 ちひろ, 横山 政昭, 藤岡 春菜, 岡田 泰和

(7) Evidence for shift work in the soldiers of *Camponotus nipponicus*

日本生態学会 2017年3月 早稲田大学  
(東京, 新宿区)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<https://purpleandorange.jimdo.com/%E7%A0%94%E7%A9%B6%E5%86%85%E5%AE%B9/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 泰和 (OKADA Yasukazu)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

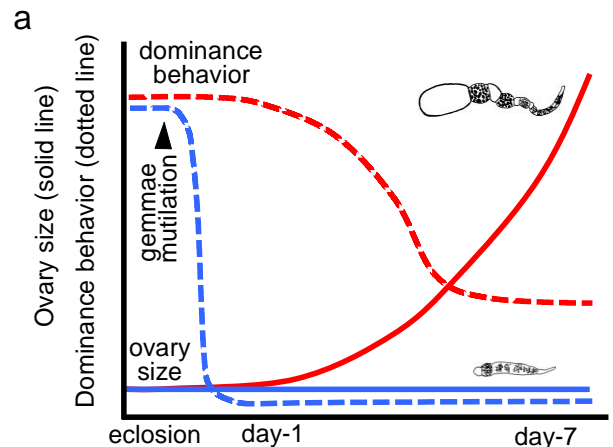
研究者番号: 10638597

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者 Alexander S. Mikheyev

図1

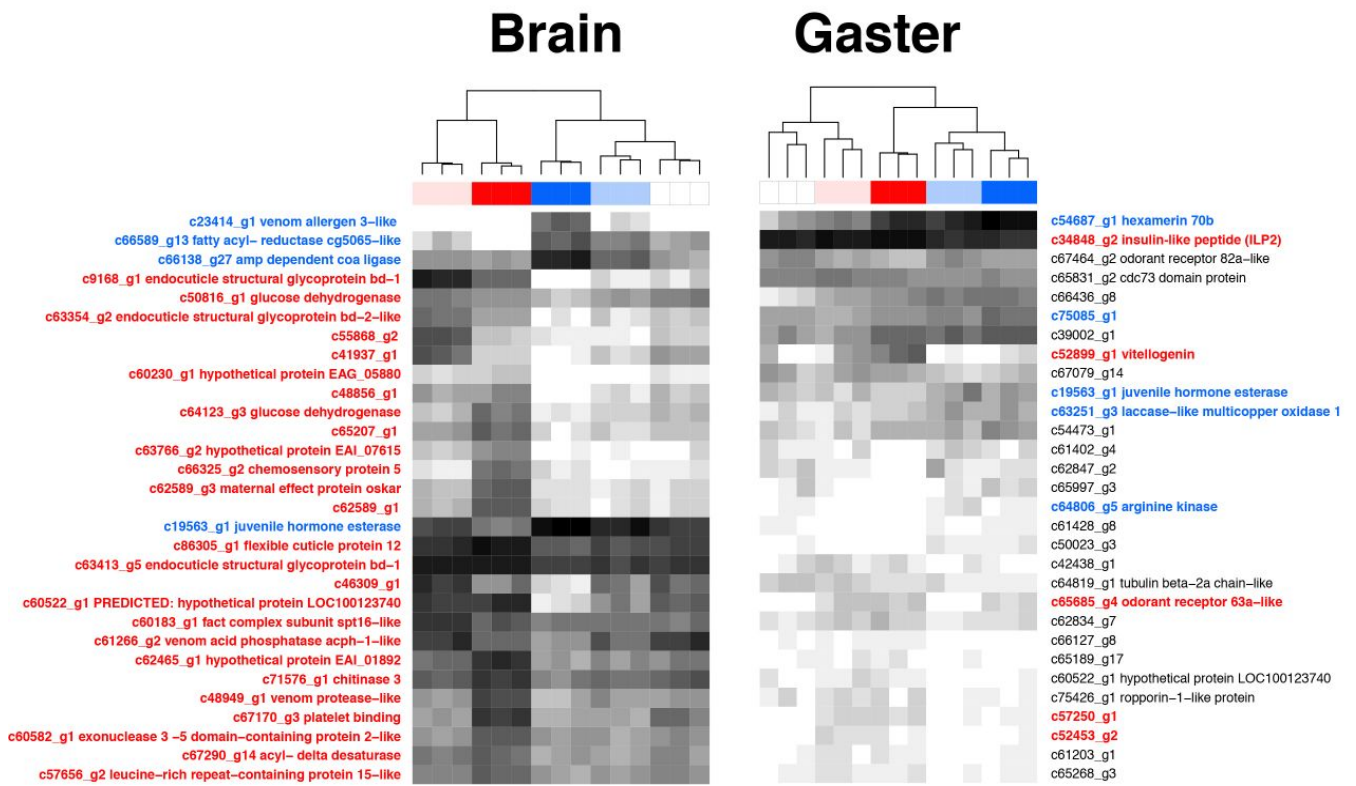


トゲオオハリアリのカースト分化

A. 卵巣と攻撃性の発達過程. 赤が女王, 青がワーカー. 実線が卵巣発達度, 破線は攻撃性(順位行動).

B. 順位行動. 痕跡翅を切り取る儀式的行動.  
Molecular Ecology 2017より改変.

図2



網羅的遺伝子発現解析の結果(女王とワーカーの比較)

最上部のパネル色はカースト(赤が女王, 青がワーカー)

白黒のパネルは遺伝子発現量. 文字色は発現が高いカーストを表す.

上位30遺伝子を示している. Molecular Ecology 2017より改変