

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 8 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25291073

研究課題名(和文) 仲間識別感覚の分子基盤と社会階級・社会形態による行動特性の形成

研究課題名(英文) Molecular bases of the olfactory system for nestmate discrimination and social behavior

研究代表者

尾崎 まみこ (Ozaki, Mamiko)

神戸大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00314302

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：クロオオアリの全ゲノム解析と、触角(嗅覚器)の遺伝子発現解析を、カースト別に網羅的に行ない、完成度の高い嗅覚受容体遺伝子のカタログを取得した。また、バイオインフォマティクス解析により、社会行動を保証する単仲間識別機構の中心的働きを担う、100～130個の嗅覚受容神経をもつ炭化水素感覚子で発現する121種の嗅覚受容体遺伝子とCSP遺伝子を特定、その進化的分岐点を推定し、これらの嗅覚受容体遺伝子群が社会性を持つアリ類で爆発的に進化したことを証明した。これらの嗅覚受容体遺伝子群は、女王と働きアリ(共に雌)で、発現しているが、結婚飛行時以外に巣外に出ることのない雄アリには発現していないことを確認した。

研究成果の概要(英文)：Using the Japanese carpenter ant, *Camponotus japonicus*, we determined the total genome. By the RNAseq analysis in the antennae, we made a complete catalogue of chemosensory receptor-related genes, including the olfactory, gustatory receptor genes, IR genes and CSP genes. In our research, 443 olfactory receptor genes were identified and 212 of them were first estimated to express in the particular olfactory sensilla, which play important role for the nestmate- and non-nestmate discrimination. This group of olfactory receptor genes has widely evolved in ant species, however expressed specifically in female castes but not in male, who need not contact with non-nestmates but for mating in their lives.

研究分野：動物生理・行動

キーワード：社会性 アリ フェロモン 化学感覚 ケミカルコミュニケーション 嗅覚受容体遺伝子

1. 研究開始当初の背景

社会性昆虫特有の行動様式は巣仲間と非巣仲間を識別することから始まる。この識別を可能にするための特殊な感覚子は既に特定済みであったが、その分子基盤、とくに、嗅覚受容に必要な受容体などについての分子基盤が明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

クロオオアリの触角に発現する遺伝子を網羅的に決め、巣仲間識別に関わる嗅覚受容体遺伝子他を特定し、その分子進化の改正を行って、種別、カースト別の考察を加える。

3. 研究の方法

主に次世代シーケンサーを用いた、ゲノム解析と触角におけるトランスクリプトーム解析でデータ収集を行い、インフォマティックスの手法でデータ解析を行う。

4. 研究成果

〔結果〕

次世代シーケンサーの研究で、クロオオアリ(*Camponotus japonicus*)のドラフトゲノムを解読、カースト別の触角のRNA-seq解析と照らし合わせて化学感覚関連遺伝子のデータを抽出し、嗅覚受容体、味覚受容体、イオンチャンネル型受容体、化学感覚タンパク質、イネキシン等の遺伝子群を明らかにした。それらのデータをまとめて、量質ともに、これまで発表されたどの昆虫のNGSデータに引けをとらない、嗅覚受容体遺伝子の配列・発現データを得ることができた。その上で、クロオオアリが敵・味方を識別に用いる嗅覚受容体遺伝子群を特定することができた。その結果、次いで、化学感覚受容体遺伝子のカタログを完成し、嗅覚受容体遺伝子を中心とする化学感覚関連遺伝子について、様々な社会形態をとる昆虫や他のアリ類とを比較したシンテニー解析を行った。具体的には、化学受容体遺伝子のカタログの決定版ゲノム解析の際、特に、同属別種の*Camponotus floridanus*との比較を丁寧に行う。昆虫ゲノムの相互比較によるシンテニー解析については、嗅覚、味覚受容体遺伝子などの分化を推定する調査を行う際に、特に、原始的な種であるハリアリ、多女王制のヒアリ、キノコ栽培をするハキリアリなど特徴的な社会形態をとる種と比較してシンテニー解析を行った。

特記すべきこととして、敵・味方識別センサ内で働く受容体遺伝子群は遺伝子重複を繰り返すことによってアリ類で特異的に多様化してきたことが分かった。また、この遺伝子群は働きアリと

女王(いずれも雌)で発現しているが、結婚飛行時以外は異巣どうしの個体間交渉のない雄では発現していないことが分かった。

〔考察及び展望〕

嗅覚受容体と同時に、触角での発現が予想される5種類のイネキシン(ギャップジャンクション/ヘミチャンネルの構成分子)の局在を調べたところ、“イネキシン 3”が敵・味方識別感覚子内において電子顕微鏡で観察した感覚突起の微小ネットワークを形成していることが示唆された。また“イネキシン 8”は機械感覚子のたわみ検出部に存在していた。モダリティーの違う感覚に注目してイネキシンの使い分けが示されたのはこれが初めてである。今後、ギャップジャンクション/ヘミチャンネルの分子系統という新たな視点から、その進化的位置づけと役割を合わせて生物の感覚情報処理システムの多様化との関係を明らかにしていきたい。

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) Neuronal projections and putative interaction of multimodal inputs in the subesophageal ganglion in the blowfly, *Phormia regina*. Maeda T, Tamotsu S, Iwasaki M, Nisimura T, Shimohigashi M, Hojo MK, Ozaki M. *Chem Senses*, 39, doi:10.1093/chemse/bju007, (2014)
- 2) Wendurige, Li X, Hojo M, Ozaki M, and Iwasa T., The structure-function studies on chemosensory protein found in the sensillum of *Camponotus japonicus*. *Jap. J. Taste Smell Res.*, 21, 419-420 (2014)
- 3) Antennal RNA-seq analysis reveals evolutionary aspects of chemosensory proteins in the ant *Camponotus japonicus*. Masaru K. Hojo, Kenichi Ishii, Midori Sakura, Katsushi Yamaguchi, Shuji Shigenobu, Mamiko Ozaki. *Scientific reports* 5, Article 13541 (2015)
- 4) Effects of Floral Scents and Their Dietary Experiences on the Feeding Preference in the Blowfly, *Phormia regina*. Toru Maeda, Miwako Tamotsu, Ryohei Yamaoka and Mamiko Ozaki. *Frontiers in Integrative Neuroscience* 9, Article 59 (2015).
- 5) Suppressive effects of dRYamides on feeding behavior of the blowfly, *Phormia regina*. Maeda T, Nakamura Y, Shiotani H, Hojo M, Yoshii T, Ida T, Sato T, Yoshida M, Miyazato M, Kojima M, Ozaki M. *Zoological Letters*, 1:35, DOI:10.1186/s40851-015-0034-z (2015).
- 6) Relationship among establishment durations, kin relatedness, aggressiveness, and distance Between Populations of Eight Invasive Argentine ant (Hymenoptera: Formicidae) supercolonies in Japan. K.Sato, H.Sakamoto, M.Hirata, M.Kidokoro-kobayashi, M.Ozaki, S.Higashi, and

〔学会発表〕(計 20 件)

- 1) 仲村祐紀, 尾崎まみこ, ハエの新規ペプチドの脳内局在と食行動修飾効果
日本味と匂学会第 47 回大会 仙台 2013
- 2) Ozaki M., “Feeding strategy in a wild-derived strain of *Drosophila melanogaster*: starvation-induced elevation of responsiveness of the sugar receptor neuron and expression of a sugar receptor gene.” NeuroTalk 2013, Xi’an, China (2013) 招待講演
- 3) Ozaki M., Maeda T, Hojo MK, Asano Y. “Integration of olfaction and taste information for feeding preference in the fly.” International Chemical Ecology Conference 2013, Melbourne, Australia (2013)
- 4) Ozaki M., Sakura M., Shigenobu S, Hojo MK, Ishii K, Ozaki K. “Sex/cast specific chemoreceptor analyses based on RNAseq data in *Camponotus japonicus*.” The 13th European Symposium for Insect Taste and Olfaction, Sardinia, Italy (2013)
- 5) Ozaki M., Sakura M., Shigenobu S, Hojo MK, Ishii K, Ozaki K. “Chemoreceptor protein and chemosensory protein analyses using next generation RNAseq: Cast specificity and its meaning for nestmate recognition in *Camponotus japonicus*.” The 11th International Symposium on Molecular and Neural Mechanisms of Taste and Olfactory Perception, Fukuoka, Japan (2013)
- 6) Hojo MK, Ozaki M. “Olfactory and gustatory signals mediate the symbiotic relationship between ants and butterflies.” The 11th International Symposium on Molecular and Neural Mechanisms of Taste and Olfactory Perception, Fukuoka, Japan (2013)
- 7) 尾崎まみこ, 次世代ソシオゲノミクスの視点からみた社会性生物個体の感覚・行動制御機構, 日本昆虫学会 札幌 2013
- 8) 池田凌, 北條賢, 松原亮介, 堤智彬, 尾崎まみこ, クロオオアリの仲間識別フェロモン(体表炭化水素)によるアルゼンチンアリの忌避行動誘発, 第 58 回日本応用動物昆虫学会大会 高知 2014
- 9) 前田徹, 保智己, 岩崎雅行, 西村知良, 下東美樹, 北條賢, 尾崎まみこ, クロキンバエにおける味覚・嗅覚情報統合と摂食調節機構, 第 58 回日本応用動物昆虫学会大会 高知 2014
- 10) 仲村祐紀, 井田隆徳, 吉田守克, 宮里幹也, 児島将康, 尾崎まみこ, ハエの摂食行動調節新規神経ペプチドの脳内局在と作用機序, 第 58 回日本応用動物昆虫学会大会 高知 2014
- 11) 尾崎まみこ, 北條賢, 佐倉緑, 石井健, 重信秀治, 尾崎浩一, クロオオアリ嗅覚感

覚関連タンパク質遺伝子の網羅的探索と発現解析. 第 58 回応用動物昆虫学会 高知 2014

12) 竹市裕介, クロオオアリの巣仲間非巣仲間識別感覚機構: 受容体タンパク質と受容体神経に着目して 日本味と匂学会第 48 回大会 清水 2014

13) Ozaki M., Hojo MK, Sakura M, Shigenobu S, Hojo MK, Ishii K, Ozaki K. Sex/cast specific chemoreceptor analyses from RNAseq data in *Camponotus japonicus*. 17th Congress of the International Union for the Study of Social Insects Cairns, Australia, 2014.7.13-18.

14) Ozaki M., Takeichi Y, Hojo M, Ishii K, Sakura M., Shigenobu S, Ozaki K., Yasuyama K, Miyazaki N, Murata K. “Sensory system for nestmate-nonnestmate discrimination of ant, *Camponotus japonicus*: Receptor molecules and neurons” 11th International Congress of Neuroethology, Sapporo, Japan (2014)

15) Masaru K. Hojo, Yusuke Takeichi, Kenichi Ishii, Midori Sakura, Shuji Shigenobu, Koichi Ozaki, Koji Yasuyama, Nobuyuki Miyazaki, Kazuyoshi Murata, Mamiko Ozaki, Ultrastructure and chemoreceptor gene expression of peripheral chemosensory system for nestmate-nonnestmate

discrimination in the ant, *Camponotus japonicus*. The 12th International Symposium on Molecular and Neural Mechanisms of Taste and Olfactory Perception, Fukuoka, Japan (2014)

16) Mamiko Ozaki, Neurological insight of behavioral control by parasites or symbiosis. 11th International Congress of Neuroethology, Sapporo, Japan (2014)

17) Wndurige, X. Li, M. Hojo, M. Ozaki, T. Iwasa, “The structure-function relationships of chemosensory protein found in the sensillum of *Camponotus japonicus*”, The 22nd International Congress of Zoology, Okinawa Japan, (2016)

18) T. Maeda, S. Tamotsu, T. Nisimura, M.K. Hojo, M. Ozaki, “Neuronal projections and putative interaction between olfaction and taste inputs in the suboesophageal ganglion in the blowfly, *Phormia regina*”, The 22nd International Congress of Zoology, 14-19 November 2016, Okinawa Japan (2016)

19) M.K. Hojo, S. Shigenobu, K. Ishii, K. Yamaguchi, M. Sakura, M. Ozaki, “Evolution of odorant receptor gene family in social Hymenoptera”, 17th International Symposium on Olfaction and Taste, Yokohama Japan (2016)

20) Y. Takeichi, K. Yasuyama, N. Miyazaki, K. Murata, M.K. Hojo, K. Inoue, M. Ozaki, “Ultrastructure of the olfactory sensory unit with 100 receptor neurons for nestmate-nonnestmate discrimination in *Camponotus japonicus*”, 17th International Symposium on Olfaction and Taste, Yokohama Japan (2016)

〔図書〕(計 6 件)

- 1) 尾崎まみこ 第1節 アリの匂いセンサーの仕組みに学ぶ:-未来の危機管理センサーはアリの嗅覚システムによって変わる「生物模倣技術と新材料・新製品開発への応用」情報技術協会 2014
- 2) 研究者が教える動物実験 第1巻 感覚, 尾崎まみこ, 村田芳博, 藍浩之, 定本久世, 吉村和也, 神崎亮平, 日本比較生理生化学会(監修) 共立出版 2015
- 3) 研究者が教える動物実験 第2巻 神経・筋, 尾崎まみこ, 村田芳博, 藍浩之, 定本久世, 吉村和也, 神崎亮平, 日本比較生理生化学会(監修) 共立出版 2015
- 4) 研究者が教える動物実験 第3巻 行動, 尾崎まみこ, 村田芳博, 藍浩之, 定本久世, 吉村和也, 神崎亮平, 日本比較生理生化学会(監修) 共立出版 2015
- 5) 生物科学特集味覚研究の最前線 - 生理学から進化、センサ開発まで 尾崎まみこ(監修) 生物科学 2016
- 6) とことんやさしいバイオミメティクス, 尾崎まみこ, 竹市裕介, 日刊新聞社 2016

〔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 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 尾崎まみこ (Mamiko Ozaki)
(神戸大学大学院 理学研究科 教授)

研究者番号：00314302

- (2) 研究分担者 佐倉緑 (Midori Sakura)
(神戸大学大学院 理学研究科 准教授)

研究者番号：60421989

- (3) 連携研究者 尾崎浩一 (Koichi Ozaki)
(島根大学 生物資源科学部 教授)

研究者番号：90194539

- (4) 研究協力者 なし