

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301  
研究種目：基盤研究(S)  
研究期間：2018～2022  
課題番号：18H05268  
研究課題名（和文）極限寿命生物の活動的長寿を支える抗老化システム

研究課題名（英文）Antiaging system of long-lived termite kings

## 研究代表者

松浦 健二（Matsuura, Kenji）

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：40379821

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 149,600,000円

研究成果の概要（和文）：エピジェネティックインヘリタンスがシロアリにおいて子のカースト決定に影響することを世界で初めて実証し、それに関わる候補遺伝子を精子の網羅的メチル化解析とカースト分化の相関分析によって特定した。また、王の恒常性維持機構の解明についても王と女王の特殊な食物であるロイヤルフードの採取と化学分析により、その成分を世界で初めて明らかにし、イメージング質量分析を用いて経口給餌によって女王体内に移行するまでのプロセスを解明することができた。王・女王特異的な抗老化関連遺伝子の特定、カースト特異的なエピジェネティック修飾関連遺伝子発現の解明など、シロアリの王・女王の長寿を支える分子機構の理解を大きく発展させた。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

世代を越えるエピジェネティックインヘリタンスによる子のカースト決定機構を明らかにしたことは、配偶子のエピジェネティック修飾が子世代の発生に影響することを明らかにしたものであり、社会性昆虫のみならず、広く生物学におけるパラダイムシフトをもたらす重要な発見である。また、ミツバチのロイヤルゼリーの機能性について多くの研究がなされてきたが、シロアリの王・女王の食べ物については全くの未知の領域であった。本研究で初めて採取とその成分の特定に成功した。今後のさらに機能解析が進むことによって、多くの機能性成分が特定される可能性を含んでおり、大きなブレイクスルーを達成した。

研究成果の概要（英文）：We demonstrated that epigenetic inheritance affects caste determination in termites, and identified candidate genes involved in this process through comprehensive methylation analysis of sperm and correlation analysis of caste differentiation. In addition, to elucidate the mechanism of king/queen homeostasis, we collected and chemically analyzed royal food, a special food of kings and queens, to clarify its components for the first time in the world, and were able to elucidate the process of transfer into the queen's body through oral feeding using imaging mass spectrometry. The identification of king- and queen-specific anti-aging-related genes and the elucidation of caste-specific epigenetic modification-related gene expression have greatly advanced our understanding of the molecular mechanisms that support the longevity of termite kings and queens.

研究分野：昆虫生態学

キーワード：シロアリ 寿命 エピジェネティクス 社会性昆虫 抗老化

## 1. 研究開始当初の背景

科学の歴史において、極限を知ることが、その物事の本質を理解する上で重要な役割を果たしてきた。長寿の仕組みを理解することは、人類史上、最大の課題の一つである。長寿の極限を知るとは、寿命に関する理解を飛躍的に深めるだろう。我々は、その長寿の極限をシロアリの王に見出した。シロアリには、2000 万年にわたる強力な長寿化選択の結果、王の寿命が少なくとも 70 年以上、つまり単独性昆虫の 400 倍以上にもなった種が存在する。さらに、彼らは生物一般にみられる「繁殖と寿命のトレードオフ」を打破しており、巣の中で最も生殖活動を行う個体でありながら最も長命である。このような他に類を見ない「活動的長寿」を実現するシステムとはどのようなものなのか。本研究では、極限寿命をもつシロアリの王の活動的長寿を支える社会システムと分子・生理機構を最先端の分析手法を駆使して解明し、従来の短命なモデル生物の研究では到達しえない寿命研究の全く新しい領域を開拓する。世界のシロアリ研究を牽引してきたグループと寿命研究で世界をリードしてきたグループが結集し、盤石の研究体制で革新的な寿命研究を展開する。

## 2. 研究の目的

本研究は、歴史的に未だ扱われたことのない極限寿命生物を材料として寿命研究の未踏領域に世界で初めて挑むものである。シロアリの王という極限寿命生物に着目した寿命研究は本研究が世界初である。また、外の巣から大量の王や女王を採集する技術自体、世界で我々の研究チームのみが有するものである。本研究は、最先端の生態学的アプローチに、最先端の分子生物学的アプローチを導入し、世界で他に成し得ない寿命研究を展開する。本研究は、次の3つの観点から王・女王の長寿を支える仕組みを解明することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### **研究目的 1 . 王はどのように生み出されるのか**

**1 - 1 . 雌雄のワーカーと羽アリのメチローム解析：** ゲノムDNAからショットガンバイサルファイトシーケンス用のDNAライブラリーを作成し、PacBio RS II/Sequel システムにより大規模シーケンス解読を行い、DNAメチロームマップを作製する。DNAメチロームのカースト特異性と遺伝子発現のカースト特異性の関連性を解析し、王特異的遺伝子発現をもたらしメチル化パターンを明らかにする。

**1 - 2 . エピジェネティック操作実験：** カースト決定に関わる王のインプリンティング因子を特定するため、王にDNAメチル化阻害剤のインジェクションやDNAメチル基転移酵素をターゲットとしたRNAiを行い、精子のエピジェネティック修飾を操作し、子のカースト分化への影響を評価する。

### **研究目的 2 . 王の恒常性維持機構の解明**

**2 - 1 . 王の代謝解析：** 王の代謝活性は全体として年齢とともに変化するのか、また、どの代謝経路が駆動しているのかを判別するために代謝フラックス解析を行う。水同位体比アナライザーを用いた二重標識水法および<sup>13</sup>C標識化合物(グルコース、脂質、アミノ酸)を用いた代謝経路の特定を行う。

**2 - 2 . ロイヤルフードの成分分析：** ワーカーから王と女王に口移しで与えられる給餌物(ロイヤルフード)を回収し、LC-MS/MSを用いて成分分析を行う。ロイヤルフード成分の抗酸化能等の機能を評価する。MALDI-IT-TOF 型顕微質量分析装置を用いてロイヤルフー

ド分泌部位の特定を行う。

**2 - 3 .精子幹細胞の培養：** 王の精子幹細胞の培養株を樹立する。これまで各種昆虫の細胞培養に用いてきた修正MGM-450培地を基本培地として条件検討を行い、長期にわたって培養するための最適な培養条件を決定する。

**2 - 4 .王室の低酸素環境と代謝：** 王室の低酸素環境と王の活動的長寿の関係を明らかにするため、マルチガスインキュベータを用いて酸素濃度の異なる環境で王を維持し、代謝の比較解析を行う。

### **研究目的3 . 王の活動的長寿の実態解明**

**3 - 1 .年齢推定法の確立：** 羽アリの飛翔時に必要なメラニンは、営巣後に不要となるため、王の体色は、加齢とともに黒色から薄褐色へと変化する。この変化を用いた王の年齢推定法を確立する。

**3 - 2 .王の年齢間比較解析：** 王の交尾行動、精子形成、代謝、免疫が年齢とともにどのように変化するのか、行動観察、組織観察、代謝解析、遺伝子発現解析による比較解析を行う。

#### 4 . 研究成果

**ヤマトシロアリの全ゲノム解読：** ヤマトシロアリのニンフ型二次女王(単為生殖で生産されたホモ型の女王)からDNAを抽出し、ゲノム解読に用いた。PacBioのロングリードとHi-Cシーケンスを合わせてアセンブルすることで、21本の染色体レベルでの全ゲノム配列の解読に成功した(873Mb、N50 = 44Mb)。

**子のカースト決定に関わる王・女王由来の遺伝効果：** 大規模な野外調査により数百に上る巣から王・女王を含むコロニーを採集し、野外のコロニー内で育った幼虫のカースト分化運命を巣ごとに調査した。これと並行し、産卵直後から別の巣のワーカーに養育させた幼虫の分化運命を調査し、先述の分化運命と比較した。その結果、野外コロニーの分化運命が産卵時点で決まっていることを明らかにした。さらに、この生来の分化運命によりニンフの性比が決まり、翅アリの性比に反映されることも突き止めた。これらの結果は、王と女王の生殖細胞を介して伝わる因子が、子のカースト決定だけでなく、社会レベルでのオスとメスの生殖虫生産量にも関与することを示す。

**子のカースト決定に関わる王のメチル化部位の特定：** 社会性昆虫の個体のカースト運命を決定する要因については、長い間論争が続いてきた。過去20年の間に、分業に遺伝的な影響があることを支持する証拠が増えつつあるが、社会性昆虫では、この遺伝的影響の根底にある遺伝子は特定されていない。我々は、ヤマトシロアリにおいて、世代を超えたエピジェネティックインヘリタンスがカースト決定に影響を与えることを明らかにした。また、王の年齢が子孫のカースト運命に影響を与え、若い王の子孫は老いた王の子孫よりも生殖カーストへの分化率が高いことを示した。王の精子のゲノムワイドメチローム解析から、加齢に伴いDNAメチル化パターンが劇的に変化することが明らかになった。17,678,188箇所メチル化部位のうち、14,905箇所メチル化レベルに有意な年齢差が見られた。その結果、特に集中的にメチル化され、そのメチル化レベルが子孫の生殖経路への分化と強い相関を示す7つの遺伝子を特定した。この結果は、シロアリのカースト分化は、少なくとも部分的にはカースト分化の決定に関わる遺伝子のDNAメチル化レベルによって制御されており、これらのレベルは王の年齢によって変化することを示唆している。この結果は、社会性昆虫のカー

スト分化に広く応用できる可能性がある。

**王特異的なロイヤルフードの成分を特定：** ヤマトシロアリのワーカーから王と女王に口移しで与えられる給餌物（ロイヤルフード）を回収し、LC-MS/MSを用いて脂質およびペプチド成分の分析を行った。その結果、王と女王のロイヤルフード成分組成は互いに大きく異なっていることが明らかになった。特定できた脂質成分のうち、3種類が王のロイヤルフードに、側鎖の脂肪酸の構造が互いに異なる6種類が女王のロイヤルフードに多く含まれていることが判明した。また、王と女王のロイヤルフードの両方に同程度含まれる3種の化合物も特定した。ペプチド成分に関しては1種類のみ構造推定に成功し、このペプチドは王のロイヤルフードに多く含まれることも明らかとなった。加えて、DI-MS/MSを用いてより低分子の脂質成分の分析を行ったところ、王と女王のロイヤルフードの両方に、抗老化機能を持つ成分として知られる物質も含まれていることも明らかとなった。さらに、上記の化合物のうち、少なくとも2種の主要化合物はワーカーが摂食したセルロースの代謝産物であり、口移しでワーカーから女王へ渡されていることが、DESI-MSIを用いた<sup>13</sup>C標識セルロースのトレーサー実験により明らかとなった。現在、上記の特定できた化合物群の機能性評価を行っており、多くの機能性物質の特定につながる重要なロイヤルフード成分データベースを構築できた。

**シロアリの細胞培養系の確立：** これまで世界でのシロアリの細胞培養の成功例がないため、まずシロアリの細胞培養に必要な培地条件の検討を行った。比較的入手が容易なシロアリの卵を用いて、胚子培養を行った。昆虫細胞培養用のシュナイダー培地を基本とした改良培地により良好な細胞の生育が見られた。この培養条件を用いて王の精巣由来細胞の培養株を樹立するため、野外コロニーから成熟した王を採集し解剖学的に精巣を取り出した後、胚子細胞と同様の条件で培養を行なった。培養開始24時間後、いくつかの精巣由来細胞が培養皿底面へ定着し生存することを確認したが、その後の細胞増殖は観測できなかった。結果として、細胞株の樹立には至らなかったが、シロアリの胚子細胞だけでなく生殖細胞を安定に培養する初代培養条件の確立に成功した。

**王室の低酸素環境が女王の繁殖活性を高めていることを発見：** シロアリの巣内の酸素・二酸化炭素濃度を測定した結果、巣外の大気環境に比べ、有意に酸素濃度が低く、二酸化炭素濃度が高いことが明らかになった。特に、王と女王のいる王室内は酸素濃度15%、二酸化炭素濃度5%と顕著な違いがみられた。そこで、マルチガスインキュベータを用いて酸素・二酸化炭素濃度の異なる環境で女王に産卵させたところ、王室と同等の低酸素・高二酸化炭素条件において有意に繁殖活性が上昇することが明らかになった。

**王の年齢推定法の確立：** コロニー創設後の王の色素後退（体表メラニン量の減少）に基づく年齢推定技術を開発した。年齢の異なる様々な王を野外から採集し、室内で1年間飼育し、はじめの色素量と1年後の色素量の差分を求め、この関数を積分して年齢と色素量の推定関数を求めた。この年齢推定関数に基づいて王の年齢の分布を解析した結果、少なくとも44歳以上の王がいることが明らかになった。これは、現在知られている昆虫の中で最長寿の昆虫であることを示す。

**王・女王特異的尿酸代謝酵素：** シロアリのコロニー内において、繁殖を担う王と女王のみが尿酸分解酵素（尿酸オキシダーゼ）を発現していることが明らかとなった。C/N比の高い

資源を利用するシロアリにとって、尿酸は重要な窒素資源の一つだと考えられている。遺伝子発現解析の結果、尿酸利用のための第一代謝反応を担う尿酸オキシダーゼは、非繁殖個体では発現しておらず王と女王の脂肪体でのみ発現していることが明らかとなった。また、RNAi と阻害薬を用いた操作実験により、尿酸オキシダーゼの遺伝子発現抑制または酵素活性阻害をおこなった女王において、コントロールのものと比較して有意に繁殖活性が低下することが明らかになった。これは、王と女王だけが有する生体内の尿酸分解能力が、彼らの高い繁殖力を支持する重要な代謝機構であることを示す。

**王の加齢に伴う脳の形態と機能変化：** 社会的昆虫の社会は高度な労働分業によって維持されており、カーストによって異なる専門的な仕事に従事している。脳の形態は行動と密接に関係しており、脳の解剖学的構造がカーストによって異なる可能性がある。ヤマトシロアリの脳形態が、カースト分化と年齢によって顕著に変化することを明らかにした。脳形態は生殖分業と関連しており、生殖個体(羽アリと新生殖個体)は非生殖個体(ワーカーと兵アリ)よりも脳のサイズが大きいことが分かった。マイクロCT画像と解剖観察から、王の脳の形態は、暗所での長い生活の中で、視葉の縮小とともに著しく変化することがわかった。行動実験から、成熟した王は視葉の収縮の結果、視覚機能を失っていることが分かった。これらの結果から、シロアリはカースト分化の過程で神経系を再構築して必要な仕事をこなし、最終脱皮後も脳の形態が大きく変化することが示された。本研究は、社会性昆虫の脳形態がカーストや加齢と関連していること、分業の進化が特殊なタスクに対応した多様な神経系の発達に支えられていることを明らかにした。

**エピジェネティック修飾関連遺伝子発現のカースト特異性：** ヤマトシロアリの RNA-seq データベースからエピジェネティック修飾関連遺伝子群(DNAメチル化酵素、ヒストン修飾酵素、サーチユイン等をコードする遺伝子)をアノテーションし、qPCRを用いて各遺伝子の発現量をカースト間・体組織間で比較した。その結果、DNAメチルトランスフェラーゼ3が王の精巣と脂肪体で特異的に発現しており、サーチユイン2やヒストン修飾酵素のASH1、CBP、Ring、Su(z)12が王の精巣と女王の卵巣で特異的に発現していることが明らかとなった。今後、これらの遺伝子がカースト分化運命や王・女王の長寿命を実現する代謝機構にどのように寄与するか明らかにする予定である。

**王・女王特異的抗老化関連遺伝子の特定：** 老化の原因となる活性酸素種(ROS)の一つスーパーオキシドを代謝する代表的な抗酸化酵素Cu/Zn-SODが、女王において高い活性を示すことを明らかにした。また、女王の高いCu/Zn-SOD活性が遺伝子発現レベルの差ではなく、Cu/Zn-SODの活性中心に必須な銅イオンレベルの差によってもたらされていることを示した。さらに、ヒトのがん抑制遺伝子として知られるBRCA1の相同遺伝子がシロアリの王で顕著に高発現していることを明らかにした。組織特異的発現量解析により、BRCA1遺伝子発現がワーカーのものと比較して王の脂肪体で4倍高いことを示した。これらの我々が見出した抗老化関連遺伝子の情報を加えた最新の論分情報をまとめ、シロアリの王と女王の長寿性をもたらす究極要因と至近要因の両面について議論した総説論文を発表した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 24件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tamaki Chihiro, Takata Mamoru, Matsuura Kenji	4. 巻 17
2. 論文標題 The lose-to-win strategy of the weak: intraspecific parasitism via egg abduction in a termite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biology Letters	6. 最初と最後の頁 20210540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsbl.2021.0540	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 Yashiro Toshihisa, Tea Yi-Kai, Van Der Wal Cara, Nozaki Tomonari, Mizumoto Nobuaki, Hellemans Simon, Matsuura Kenji, Lo Nathan	4. 巻 118
2. 論文標題 Enhanced heterozygosity from male meiotic chromosome chains is superseded by hybrid female asexuality in termites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 e2009533118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2009533118	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
1. 著者名 Tasaki Eisuke, Takata Mamoru, Matsuura Kenji	4. 巻 376
2. 論文標題 Why and how do termite kings and queens live so long?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences	6. 最初と最後の頁 20190740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rstb.2019.0740	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 Nozaki Tomonari, Matsuura Kenji	4. 巻 131
2. 論文標題 Oocyte resorption in termite queens: Seasonal dynamics and controlling factors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Insect Physiology	6. 最初と最後の頁 104242 ~ 104242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jinsphys.2021.104242	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 Konishi T., Matsuura K.	4. 巻 68
2. 論文標題 Royal presence promotes worker and soldier aggression against non-nestmates in termites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Insectes Sociaux	6. 最初と最後の頁 15 ~ 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00040-020-00799-w	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 Nozaki Tomonari, Matsuura Kenji	4. 巻 131
2. 論文標題 Oocyte resorption in termite queens: Seasonal dynamics and controlling factors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Insect Physiology	6. 最初と最後の頁 104242 ~ 104242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jinsphys.2021.104242	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 Konishi T., Matsuura K.	4. 巻 68
2. 論文標題 Royal presence promotes worker and soldier aggression against non-nestmates in termites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Insectes Sociaux	6. 最初と最後の頁 15 ~ 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00040-020-00799-w	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 Takata M., Inagaki T., Ishibashi T., Tasaki E., Matsuura K.	4. 巻 67
2. 論文標題 A non-invasive method for sexing first and second instar larvae of termites using external morphology	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Insectes Sociaux	6. 最初と最後の頁 487 ~ 493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00040-020-00785-2	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 Mitaka Yuki, Matsuura Kenji	4. 巻 46
2. 論文標題 Age-Dependent Increase in Soldier Pheromone of the Termite <i>Reticulitermes speratus</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Ecology	6. 最初と最後の頁 483 ~ 489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10886-020-01182-6	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 Mitaka Yuki, Matsuyama Shigeru, Mizumoto Nobuaki, Matsuura Kenji, Akino Toshiharu	4. 巻 10
2. 論文標題 Chemical identification of an aggregation pheromone in the termite <i>Reticulitermes speratus</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-64388-4	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 Inagaki Tatsuya, Yanagihara Saki, Fuchikawa Taro, Matsuura Kenji	4. 巻 74
2. 論文標題 Gut microbial pulse provides nutrition for parental provisioning in incipient termite colonies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Behavioral Ecology and Sociobiology	6. 最初と最後の頁 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00265-020-02843-y	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 Tasaki Eisuke, Takata Mamoru, Matsuura Kenji	4. 巻 376
2. 論文標題 Why and how do termite kings and queens live so long?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences	6. 最初と最後の頁 20190740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rstb.2019.0740	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 Tasaki Eisuke, Komagata Yasuyuki, Inagaki Tatsuya, Matsuura Kenji	4. 巻 16
2. 論文標題 Reproduction deep inside wood: a low O2 and high CO2 environment promotes egg production by termite queens	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biology Letters	6. 最初と最後の頁 20200049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsbl.2020.0049	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 Matsuura Kenji	4. 巻 62
2. 論文標題 Epigenetic inheritance and a paradigm shift in evolutionary ecology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Population Ecology	6. 最初と最後の頁 15 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/1438-390X.12034	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 Matsuura Kenji	4. 巻 62
2. 論文標題 Genomic imprinting and evolution of insect societies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Population Ecology	6. 最初と最後の頁 38 ~ 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/1438-390X.12026	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 Nozaki Tomonari, Matsuura Kenji	4. 巻 9
2. 論文標題 Evolutionary relationship of fat body endoreduplication and queen fecundity in termites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 11684 ~ 11694
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ece3.5664	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 Mitaka Y, Matsuyama S, Mizumoto N, Matsuura K, Akino T	4. 巻 10
2. 論文標題 Chemical identification of an aggregation pheromone in the termite <i>Reticulitermes speratus</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-64388-4	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 Tasaki Eisuke, Mitaka Yuki, Nozaki Tomonari, Kobayashi Kazuya, Matsuura Kenji, Iuchi Yoshihito	4. 巻 10
2. 論文標題 High expression of the breast cancer susceptibility gene BRCA1 in long-lived termite kings	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Aging	6. 最初と最後の頁 2668 ~ 2683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18632/aging.101578	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 Inagaki T. and Matsuura K	4. 巻 105
2. 論文標題 Extended mutualism between termites and gut microbes: Nutritional symbionts contribute to nest hygiene	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Science of Nature	6. 最初と最後の頁 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00114-018-1580-y	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 Yashiro Toshihisa, Lo Nathan, Kobayashi Kazuya, Nozaki Tomonari, Fuchikawa Taro, Mizumoto Nobuaki, Namba Yusuke, Matsuura Kenji	4. 巻 16
2. 論文標題 Loss of males from mixed-sex societies in termites	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BMC Biology	6. 最初と最後の頁 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12915-018-0563-y	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 Tasaki E., Matsuura K., Iuchi Y.	4. 巻 27
2. 論文標題 Hypoxia adaptation in termites: hypoxic conditions enhance survival and reproductive activity in royals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Insect Molecular Biology	6. 最初と最後の頁 808 ~ 814
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/imb.12519	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 Matsuura Kenji, Mizumoto Nobuaki, Kobayashi Kazuya, Nozaki Tomonari, Fujita Tadahide, Yashiro Toshihisa, Fuchikawa Taro, Mitaka Yuki, Vargo Edward L.	4. 巻 191
2. 論文標題 A Genomic Imprinting Model of Termite Caste Determination: Not Genetic but Epigenetic Inheritance Influences Offspring Caste Fate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The American Naturalist	6. 最初と最後の頁 677 ~ 690
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1086/697238	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 Yanagihara Saki, Suehiro Wataru, Mitaka Yuki, Matsuura Kenji	4. 巻 14
2. 論文標題 Age-based soldier polyethism: old termite soldiers take more risks than young soldiers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biology Letters	6. 最初と最後の頁 20180025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsbl.2018.0025	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 Nozaki T., Yashiro T., Matsuura K.	4. 巻 65
2. 論文標題 Preadaptation for asexual queen succession: queen tytoparthenogenesis produces neotenic queens in the termite Reticulitermes okinawanus	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Insectes Sociaux	6. 最初と最後の頁 225-231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00040-018-0603-1	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 -

〔学会発表〕 計48件（うち招待講演 14件 / うち国際学会 18件）

1. 発表者名 松浦健二
2. 発表標題 シロアリのカースト分化に関わるゲノムインプリンティング
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会(オンライン) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高田守・永井秀弥・稲垣辰哉・大久保祐作・田崎英祐・松浦健二
2. 発表標題 親が決めるシロアリの分化運命とコロニーレベルでの性比投資
3. 学会等名 日本動物行動学会第40回大会 (オンライン開催)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jiaming Chen・Eisuke Tasaki・Kenji Matsuura
2. 発表標題 Unveiling the Role of DNA Methylation in the Termite <i>Reticulitermes speratus</i>
3. 学会等名 日本動物行動学会第39回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 昇佑樹・松浦健二
2. 発表標題 シロアリの卵運搬行動から探る集団がだまされる原理
3. 学会等名 日本動物行動学会第39回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉岡亜姫・高田守・松浦健二
2. 発表標題 シロアリの異種共存は資源利用率を上昇させる
3. 学会等名 日本動物行動学会第39回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 玉置千紘・高田守・松浦健二
2. 発表標題 亡国のシロアリ卵、敵国女王の座を奪う
3. 学会等名 日本動物行動学会第39回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高田守・Chen Jiaming・Wu Yao・田崎英祐・松浦健二
2. 発表標題 男女共同参画社会の性役割分業：体格の性差で決まる兵隊シロアリの性比
3. 学会等名 日本動物行動学会第39回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本咲人・松浦健二
2. 発表標題 実は肉食もするシロアリ：木だけではなく知られざる食性
3. 学会等名 日本動物行動学会第39回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jiaming Chen・Eisuke Tasaki・Kenji Matsuura
2. 発表標題 Unveiling the Role of DNA Methylation in the Termite Reticulitermes speratus
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 昇佑樹・松浦健二
2. 発表標題 ヤマトシロアリの分業体制の解明にむけて：卵運搬行動におけるパーソナリティの発見
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 玉置千紘・高田守・松浦健二
2. 発表標題 シロアリ創設コロニーの托卵戦略：創設コロニーは他巣から襲撃されることでその巣の女王の座を獲得する
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 埜田寛生・田崎英祐・松浦健二
2. 発表標題 ヤマトシロアリの巣内二酸化炭素濃度勾配がカースト配置に与える影響
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 小西堯生・田崎英祐・松浦健二
2. 発表標題 The end of colony: termite workers steal nitrogen source under king-absent condition
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 松浦健二
2. 発表標題 ヤマトシロアリの単為生殖の発見から20年、拓かれた社会生物学の領域
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 田崎英祐・井内良仁・松浦健二
2. 発表標題 社会性昆虫の個体を越えた代謝ネットワーク研究に挑む
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 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Genomic imprinting and social evolution in termites
3. 学会等名 Biology & Genomics of Social Insects (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Termite colony foundation strategies
3. 学会等名 Termite Course 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Evolution of sexual division of labor in termites
3. 学会等名 Termite Course 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Parasites in termite nests and host manipulation
3. 学会等名 Termite Course 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Epigenetic regulations in termites
3. 学会等名 Termite Course 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Parthenogenesis in termites and role of asexual reproduction
3. 学会等名 Termite Course 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Potential use of termite egg-tending behavior for control strategies
3. 学会等名 Termite Course 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuaki Mizumoto, Kenji Matsuura
2. 発表標題 Self-organization systems in termites
3. 学会等名 Termite Course 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Genomic imprinting influences offspring caste fate in termites
3. 学会等名 Department Seminar, Department of Entomology, University of Kentucky (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Genomic imprinting and the origin of eusociality in termite
3. 学会等名 アメリカ昆虫学会大会 Entomology 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦健二, 伊東啓, 小林和也, 大崎遥, 吉村仁
2. 発表標題 Genomic imprinting drives eusociality
3. 学会等名 第35回個体群生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 呉瑶, 高田守, 田崎英祐, 松浦健二
2. 発表標題 Queens in conflict: clonal drive in secondary queen population of AQS termite
3. 学会等名 第35回個体群生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣辰哉, 松浦健二
2. 発表標題 Gut microbial pulse provides nutrition for parental provisioning in incipient termite colonies
3. 学会等名 第35回個体群生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Guo Xiaoyu, Kenji Matsuura
2. 発表標題 Threshold and effective accumulative temperature for the development of eggs in the Japanese subterranean termite <i>Reticulitermes speratus</i> (Isoptera: Rhinotermitidae)
3. 学会等名 第35回個体群生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田崎英祐, 三高雄希, 小林和也, 井内良仁, 松浦健二
2. 発表標題 高い生産性の維持を実現するシロアリの王と女王のエネルギー代謝機構
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三高雄希, 田崎英祐, 野崎友成, 淵側太郎, 小林和也, 松浦健二
2. 発表標題 ヤマトシロアリにおけるエピジェネティック修飾関連遺伝子の王・女王特異的発現
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Genomic imprinting and the origin of termite eusociality
3. 学会等名 第35回国際生物学賞記念シンポジウム(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田守, 永井秀弥, 稲垣辰哉, 田崎英祐, 松浦健二
2. 発表標題 息子の将来とオヤジの背中: 王の成熟度で決まるシロアリの羽アリ性比
3. 学会等名 日本動物行動学会第38回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田守・永井秀弥・稲垣辰哉・田崎英祐・松浦健二
2. 発表標題 Sexual maturation level in termite king determines alate sex ratio
3. 学会等名 第67回日本生態学会(名古屋)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野崎友成, 松浦健二
2. 発表標題 シロアリの繁殖分業と核相倍加: 卵生産へ特化した女王ほど高度に倍数化した脂肪体をもつ
3. 学会等名 第63回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田崎英祐, 三高雄希, 野崎友成, 小林和也, 井内良仁, 松浦健二
2. 発表標題 シロアリの王の活動的長寿を実現するDNA修飾関連遺伝子の特定
3. 学会等名 第63回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦 健二
2. 発表標題 The biology of termite: a window to another world
3. 学会等名 第63回日本応用動物昆虫学会大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松浦 健二
2. 発表標題 Genomic imprinting drives eusociality
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田崎英祐, 松浦健二, 井内良仁
2. 発表標題 長寿かつ多産を実現する抗酸化システム：シロアリの女王特異的に発現するカタラーゼの機能解析
3. 学会等名 第41回日本分子生物学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松浦 健二
2. 発表標題 真社会性の作り方：ゲノムインプリンティング説の提唱
3. 学会等名 第34回個体群生態学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Waiker P, Rueppell O, Vargo EL, Matsuura K
2. 発表標題 Estimation of genomic recombination rates of termites.
3. 学会等名 International Union for the Study of Social Insects (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tasaki E, Komagata Y, Yoshihito Iuchi Y, Matsuura K
2. 発表標題 Subterranean adaptation in termites: a low O <sub>2</sub> and high CO <sub>2</sub> condition enhances reproduction of queens
3. 学会等名 International Union for the Study of Social Insects (IUSSI2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nozaki T, Yashiro T, Matsuura K
2. 発表標題 Queen-destined parthenogenetic daughters as a preadaptation for asexual queen succession in termites
3. 学会等名 International Union for the Study of Social Insects (IUSSI2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mitaka Y, Yanagihara S, Mori N, Matsuura K
2. 発表標題 Multifunctionality of soldier pheromone in a termite
3. 学会等名 International Union for the Study of Social Insects (IUSSI2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Inagaki T, Matsuura K
2. 発表標題 Extended symbiosis: gut microbes protect termite nests from opportunistic microorganisms
3. 学会等名 International Union for the Study of Social Insects (IUSSI2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Matsuura K, Mizumoto N, Kobayashi K, Yashiro T, Vargo EL
2. 発表標題 Genomic imprinting drives the evolution of termite eusociality
3. 学会等名 International Union for the Study of Social Insects (IUSSI2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田崎英佑, 小林和也, 松浦健二, 井内良仁
2. 発表標題 長寿昆虫シロアリ女王の優れた抗酸化システム
3. 学会等名 第71回日本酸化ストレス学会 第18回日本NO学会 合同学術集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Matsuura
2. 発表標題 Evolution of termite reproductive systems and genomic imprinting
3. 学会等名 Special Lecture: Huazhong Agricultural University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京都大学昆虫生態学研究室ホームページ  
<https://sites.google.com/view/insecteco>  
京都大学昆虫生態学研究室ホームページ  
<http://www.insecteco.kais.kyoto-u.ac.jp/index.html>

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	瀬藤 光利  (Setou Mitsutoshi)  (20302664)	浜松医科大学・国際マスメージングセンター・センター長   (13802)	
研究分担者	小林 和也  (Kobayashi Kazuya)  (00648280)	京都大学・フィールド科学教育研究センター・准教授   (14301)	
研究分担者	伊東 啓  (Ito Hiromu)  (80780692)	長崎大学・熱帯医学研究所・助教   (17301)	
研究分担者	岩淵 喜久男  (Iwabuchi Kikuo)  (00203399)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・名誉教授   (12605)	
研究分担者	吉村 仁  (Yoshimura Jin)  (10291957)	静岡大学・創造科学技術大学院・教授   (13801)	



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
---------	---------