

# シロアリの王と女王の特別食を世界初解明

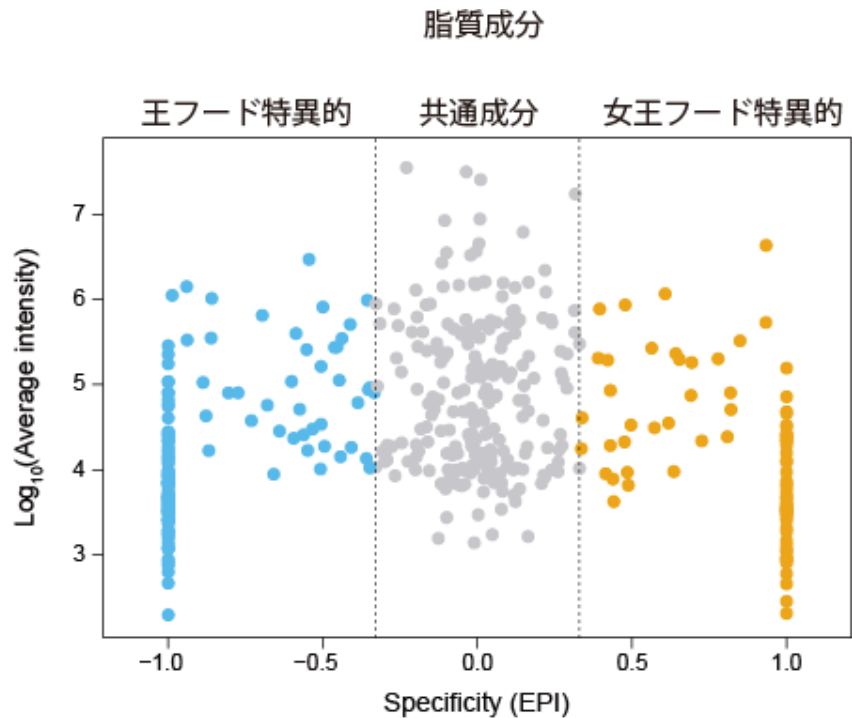
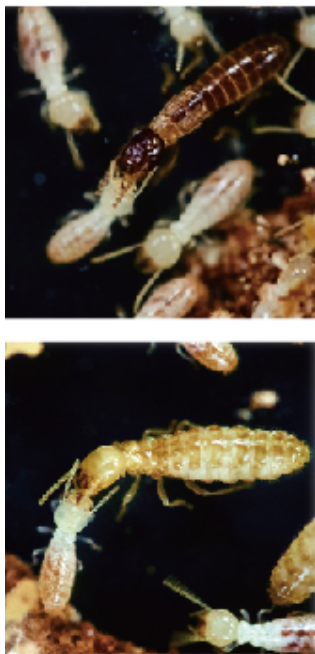
## —王と女王の繁殖と長寿を支えるロイヤルフード—

### 概要

シロアリが木を食べ、それを腸内微生物の働きによって栄養に変えて生活していることはよく知られています。しかし、木を食べるのは専ら働きアリの仕事で、王や女王は働きアリから特殊な食べ物を与えられて、繁殖に専念しています。そして、その特別食（本研究でロイヤルフードと命名）によって王や女王は何十年も活発な繁殖を続けることができます。このロイヤルフードが一体どのような成分なのか、これまで謎に包まれていました。

松浦健二（京都大学大学院 農学研究科・教授）、高田守（同助教）、田崎英祐（同日本学術振興会特別研究員・研究当時、現：新潟大学助教）、三高雄希（同特定研究員・研究当時、現：日本学術振興会海外特別研究員）らの研究グループは、浜松医科大学国際マスメージングセンターとの共同研究により、ヤマトシロアリを用いて王と女王の給餌物の採取と分析に成功し、世界で初めてシロアリのロイヤルフードの成分を特定しました。

本成果は、2023年7月4日に国際学術誌「PNAS Nexus」にオンライン掲載されました。



左上) 王への給餌、左下) 女王への給餌。右) ロイヤルフードの脂質成分の王・女王特異性

### 1. 背景

社会性昆虫であるアリやハチ、シロアリは洗練された分業システムを確立することで繁栄してきました。彼らは繁殖する個体と労働する個体で分業し、それぞれの役割に特化することで効率的な社会生活を営んでいます。異なる役割の個体は、形態、行動、生理的特徴だけでなく、遺伝子発現パターン、代謝、化学受容、寿命、抗酸化物質、免疫システムなども異なります。生物は一般的に、活発に活動するほど寿命は短くなるというト

レードオフを抱えています。しかし、社会性昆虫では、巣の中で最も活発に繁殖する個体が最も長寿であり、このトレードオフを打破しています。それを根底で支えているのが繁殖虫の特別な食べ物です。例えば、ミツバチでは、女王になる幼虫に与えられるロイヤルゼリーが良く知られており、盛んに研究されています。

シロアリは、アリ・ハチとは全く独立に社会性を進化させてきた昆虫です。彼らは高度な社会性とセルロースの効率的な消化能力を有しており、著しい進化的成功を収めています。特に熱帯地域では土壤中の昆虫バイオマスの95%をシロアリが占めています。アリ・ハチとは異なり、シロアリのコロニーには王と女王の両方が存在し、彼らは完全に働きアリからの給餌によって高い繁殖力を維持しています。しかし、シロアリの王と女王の特別食（ロイヤルフード）については全く未解明でした。シロアリの王や女王をたくさん採集することの難しさや、給餌物の採取、微量サンプルの分析の困難さが大きなハードルとなっていました。

## 2. 研究手法・成果

本研究では、まず、シロアリの王と女王を効率的に採集する技術を確認し、化学分析のために十分な量のロイヤルフードを直接サンプリングする方法を開発しました。野外のヤマトシロアリのコロニーから王と女王を採集し、行動観察とロイヤルフードの採取のために開発したガラス製の容器で飼育しました。働きアリによる王・女王への給餌過程の行動分析により、働きアリが王と女王を識別し、食べ物を選択的に与えていることが分かりました。王・女王それぞれに給餌中のワーカーから直接ロイヤルフードを採取することに成功し、この直接給餌物と中腸内容物のLC-MS/MS分析<sup>(注1)</sup>により、シロアリの王と女王の食べ物が異なる成分組成であることを突き止めました。ロイヤルフードの成分にはスフィンゴ脂質、ジアシルグリセロール、短鎖ペプチド、タンパク質などが含まれていました。安定同位体 ( $^{13}\text{C}$ ) 標識したセルロースを働きアリに食べさせ、脱離エレクトロスプレーイオン化-質量分析イメージング (DESI-MSI)<sup>(注2)</sup> により  $^{13}\text{C}$  標識物質を追跡したところ、セルロースからロイヤルフード成分であるホスファチジルイノシトールとアセチル-L-カルニチンが作られ、働きアリの経口給餌によって女王の体内に移行することが確認されました。マイクロCT<sup>(注3)</sup> を用いた消化管の構造の比較では、王・女王と働きアリの間で中腸と後腸の体積比に顕著な違いがあり、働きアリは共生微生物を保有して木の分解を行う場である後腸が大きな割合を占め、一方、王・女王は栄養吸収器官である中腸が大きかったことが分かりました。採餌と消化の役割分担が基盤となり、労働と繁殖の分業システムを支えていることが明らかになりました。

## 3. 波及効果、今後の予定

高い活動性と長寿を実現している社会性昆虫の繁殖虫の食べ物は、機能性成分の宝庫です。ミツバチでは女王になる幼虫に与えられるロイヤルゼリーがよく知られており、盛んに研究されてきました。これらの研究はミツバチの生物学だけでなく、人間の医学や健康科学にも重要な知見を提供し、食品や化粧品にも応用されています。本研究によって、シロアリのロイヤルフードという新たな研究領域の扉を開くことが出来ました。私たちが構築したロイヤルフードの採取・分析技術や化学成分データベースを用いてさらに研究を進めることにより、ヒトの健康長寿にも貢献する新たな機能性成分や情報を得ることが期待されます。

## 4. 研究プロジェクトについて

本研究は科研費基盤研究 (S) JP18H05268 (研究代表者：松浦健二) などの助成を受けたものです。

### <用語解説>

注1 LC-MS/MS 分析

液体クロマトグラフ質量分析(Liquid Chromatograph-Mass Spectrometry/ Mass Spectrometry)の略で、高速液体クロマトグラフと2つの質量分析部(MS/MS)を組合わせた装置。LC-MS/MSでは、2つ連結したMS部により、LC-MSよりもさらに高感度な分析が可能。

注2 脱離エレクトロスプレーイオン化-質量分析イメージング (DESI-MSI)

イメージング質量分析の手法の一つで、試料表面に存在する特定の化合物の空間分布を可視化する手法。

注3 マイクロCT

昆虫など小さな生物の内部構造を非破壊的に三次元的に可視化することができる装置。

#### <研究者のコメント>

本研究は、最先端のシロアリの研究技術を有するチームと最先端の質量分析技術を有するチームの共同によって、世界で初めてシロアリのロイヤルフードの採取や成分特定に成功しました。特に働きアリが王と女王を識別して食べ物を選択的に与えており、王食と女王食が異なる組成であることは、大きな発見でした。

#### <論文タイトルと著者>

論文タイトル：The royal food of termites shows king and queen specificity

著者：Eisuke Tasaki, Yuki Mitaka, Yutaka Takahashi, A.S.M. Waliullah, Zinat Tamannaa, Takumi Sakamoto, Ariful Islam, Masaki Kamiya, Tomohito Sato, Shuhei Aramaki, Kenji Kikushima, Makoto Horikawa, Katsumasa Nakamura, Tomoaki Kahyo, Mamoru Takata, Mitsutoshi Setou\*, Kenji Matsuura\*  
(\* 責任著者)

掲載誌：PNAS Nexus, pgad222, <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad222>

[https://academic.oup.com/pnasnexus/advance-article-abstract/doi/10.1093/pnasnexus/pgad222/7218884?utm\\_source=advanceaccess&utm\\_campaign=pnasnexus&utm\\_medium=email](https://academic.oup.com/pnasnexus/advance-article-abstract/doi/10.1093/pnasnexus/pgad222/7218884?utm_source=advanceaccess&utm_campaign=pnasnexus&utm_medium=email)

< 参考図表 >

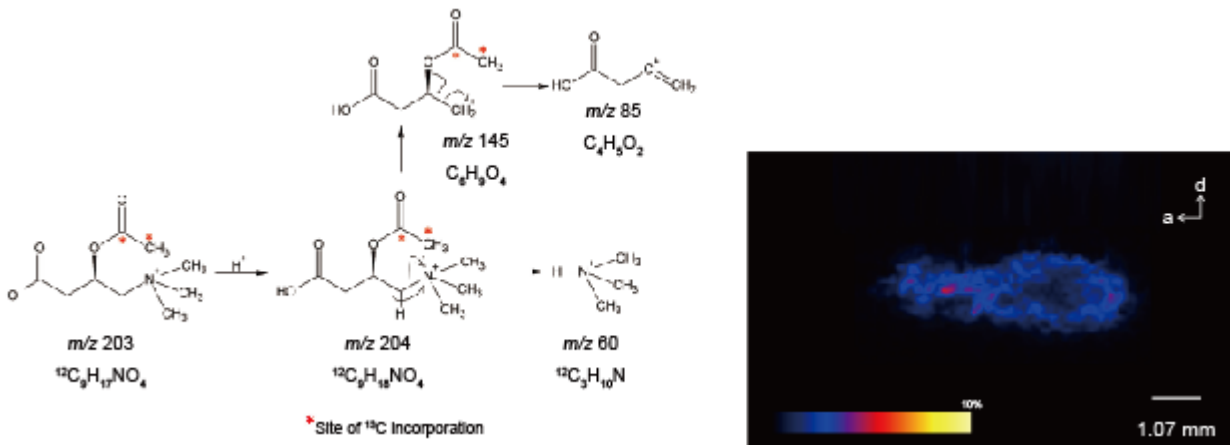


図1. (左) 働きアリが食べた安定同位体標識セルロースの  $^{13}\text{C}$  がロイヤルフード成分の一つアセチル-L-カルニチンに取り込まれる過程。(右) 経口給餌によって与えられた  $^{13}\text{C}$  をもつアセチル-L-カルニチンの女王体内における局在。

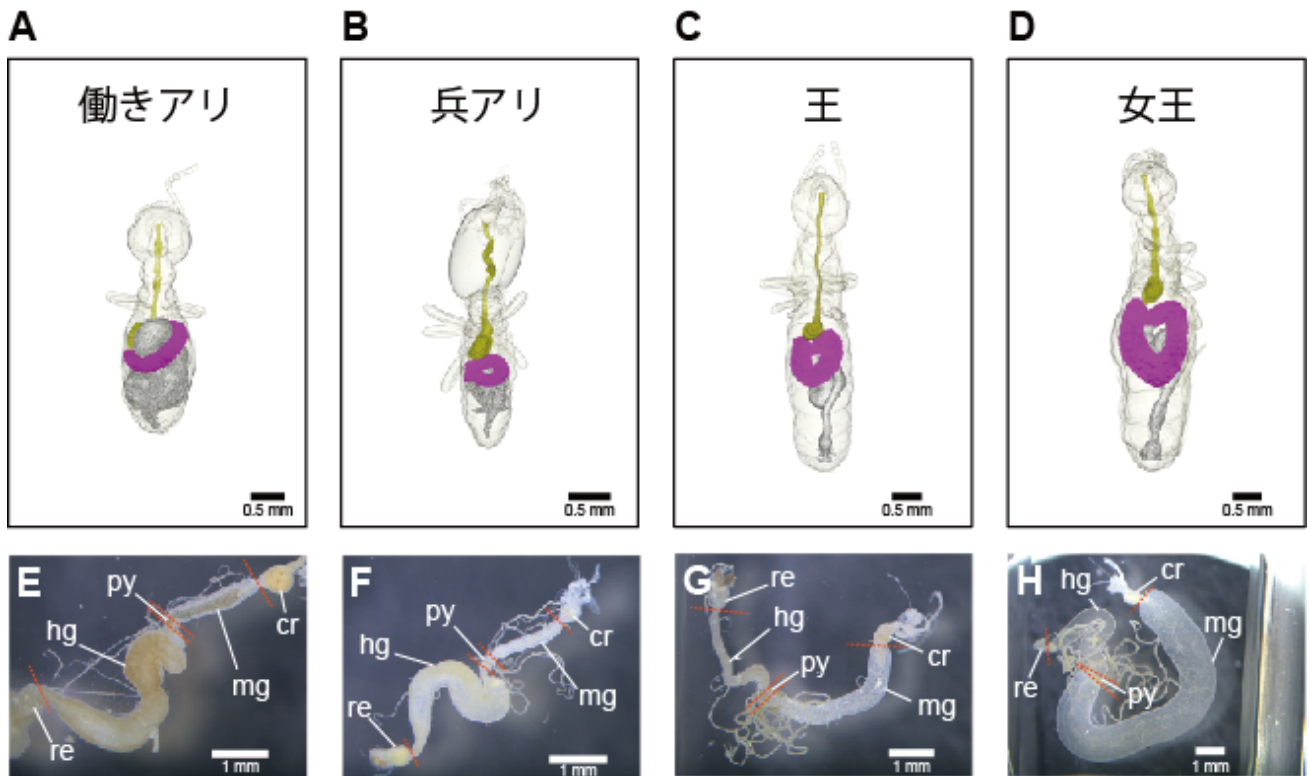


図2. (上段) 腸の構造のマイクロCT画像。前腸(黄)、中腸(赤)、後腸(灰色)。(下段) 解剖写真。mg:中腸、hg:後腸。王・女王は栄養の吸収器官である中腸が大きく、働きアリは共生微生物を保有する後腸が大きい。