

# 世界で初めて兵隊フェロモンを特定

## –衛生兵としての役割も担う兵隊シロアリ–

### 概要

三高雄希 京都大学大学院農学研究科博士後期課程学生、森直樹 同教授、松浦健二 同教授らの研究グループは、長年謎に包まれていたシロアリの兵隊アリの分化を抑制するフェロモンを世界で初めて特定し、さらにこのフェロモンが、働きアリの兵隊アリの側に引き留めておく機能と、昆虫病原菌の成長を抑える機能も併せ持つことを明らかにしました。今回の研究成果は、社会性昆虫のシロアリにおいて、巣内の役割分業がどのように制御されているのか、それに関わるフェロモンがどのように進化してきたのかを理解する上で、極めて重要な意味を持ちます。

本研究成果は、2017年7月26日午前0時(英国夏時間)に、英国王立協会紀要(Proceedings of the Royal Society B)にてオンライン掲載されました。

### 研究者からのコメント

シロアリにおける兵隊アリの分化抑制フェロモンの存在は30年以上前から予想されていました。フェロモン成分の特定には、人工的に合成した候補物質でフェロモン活性を再現することが必要不可欠ですが、これまで合成した物質で兵隊フェロモンの活性を再現した研究は存在しませんでした。最終的に兵隊フェロモンの成分特定に成功した研究は、本研究が初めてとなります。

また、シロアリの兵隊アリが、天敵を物理的に攻撃することにより巣を防衛する“門番”としての役割を担うだけでなく、病原菌が蔓延るのを化学的に防ぐことで巣内の衛生環境を維持する“衛生兵”の役割を担うことも、本研究によって強く示唆されました。

今後は、兵隊アリが持つ多面的機能について深く掘り下げて研究を進めていきたいと考えています。

### 1. 背景

動物の世界において、同じ種の他の個体に対して、ある特定の行動や生理的変化を引き起こす化学物質はフェロモンと呼ばれています。動物の中でも、嗅覚や味覚に大きく依存した生活を営む昆虫では、フェロモンは極めて重要な物質であり、交尾相手の探索や、同種同士の集合、天敵からの逃避など、様々な場面においてフェロモンが用いられています。特に、社会性昆虫(アリ・ハチ・シロアリ)は数多くの種類のフェロモンを用いていることが知られており、採餌や繁殖、巣の建設、カースト(特定の役割に特化した個体の集まり)分化の制御など、全ての社会活動にフェロモンが関わっていると考えられています。

社会性昆虫の巣内では、各カーストが異なる仕事に従事する分業体制がとられています。シロアリでは、巣の防衛は兵隊アリと呼ばれるカーストによって行われています。シロアリの兵隊アリは働きアリから分化し、体内で幼若ホルモン\*濃度が上昇した働きアリが2回の脱皮を経て兵隊アリに分化します(図1A)。興味深いことに、巣内で兵隊アリの割合が増加すると、働きアリから新しい兵隊アリが分化

するのが抑制されるということが知られており（図1B）、昔から「シロアリの兵隊アリは、新しい兵隊アリの分化を抑制するフェロモンを分泌しているのではないか」と予測されてきました。しかし、今までこの“分化抑制フェロモン”の特定に成功した研究はなく、実態は未解明のままでした。そこで我々は、日本に広く分布するヤマトシロアリを用いて、兵隊アリのフェロモンの成分特定に挑みました。

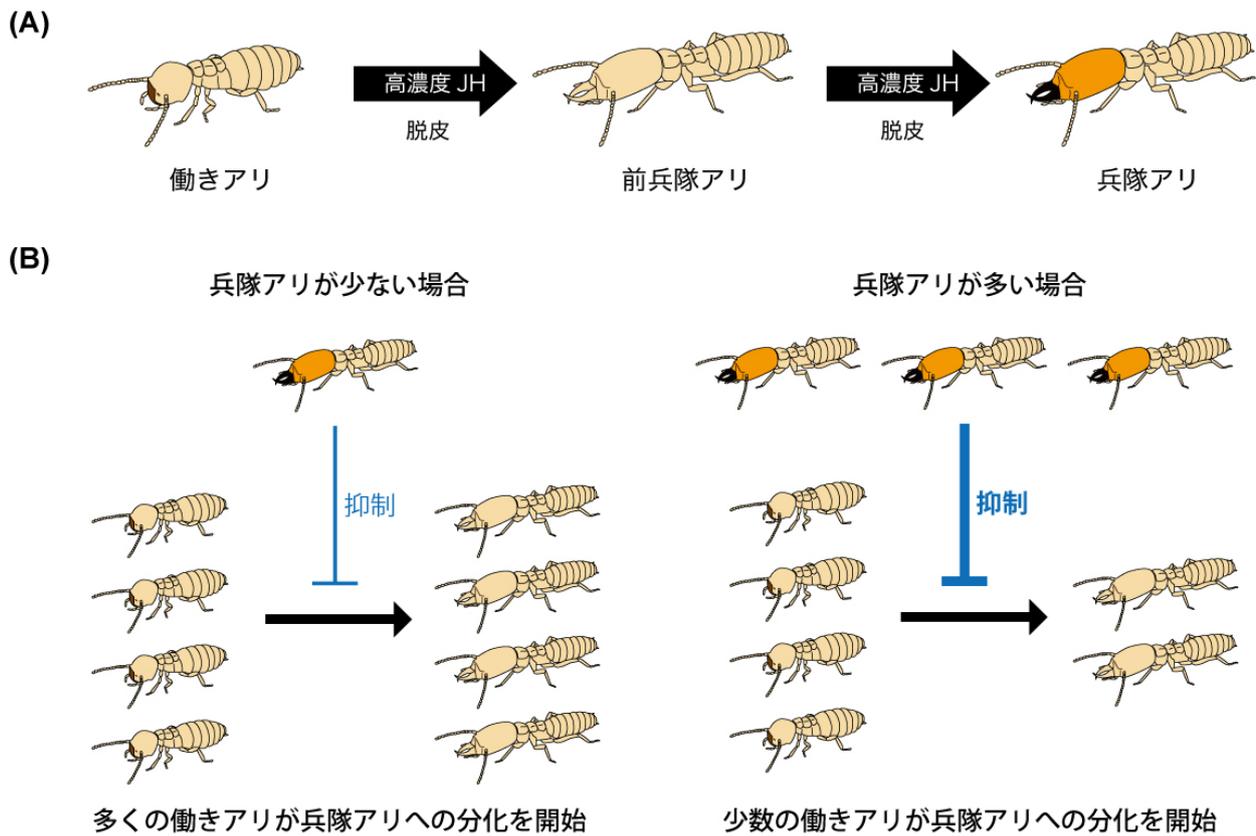


図1. (A) シロアリにおける働きアリから兵隊アリへの分化。働きアリの体内で幼若ホルモン（Juvenile hormone, JH）の濃度が上昇すると、2回の脱皮を経て兵隊アリに分化する。1回目の脱皮で前兵隊アリに、2回目の脱皮で兵隊アリとなる。(B) 兵隊アリの分化抑制効果。働きアリの体内で幼若ホルモン濃度が上昇した際、巣内の兵隊アリの数が少ないと、多くの働きアリが前兵隊アリとなり、最終的に兵隊アリとなる。しかし巣内の兵隊アリの数が多いと、新しく前兵隊アリになる個体の数が減ることが知られていた。そして、もし兵隊アリ分化抑制フェロモンが存在するならば、働きアリから前兵隊アリへの変化を抑制するのではないかと予想されていた。

## 2. 研究手法・成果

まず、ヤマトシロアリの巣から兵隊アリと働きアリを取り出し、それぞれのカーストの体表面にある物質を有機溶媒で抽出しました。そしてその抽出液に対し、GC-MS\*分析などを用いて成分分析を行なった結果、(-)-β-エレメンと呼ばれる、炭素数 15 個の揮発性のテルペン類が兵隊アリでのみ大量に検出されました。次に、幼若ホルモンの類縁体を経口摂取させることで人工的に兵隊アリへの分化を誘導した働きアリに、この(-)-β-エレメンを与えた結果、(-)-β-エレメンには兵隊アリへの分化を抑制する効果があることが明らかとなりました。さらにこの物質には、兵隊アリの分化を抑制するだけでなく、働きアリ

りを集合拘束させる効果や、黒きょう病菌（メタリジウム菌）や白きょう病菌（ボーベリア菌）といった昆虫病原糸状菌（昆虫に感染し死に至らしめる菌類）の成長を抑制する効果もあることが明らかとなりました。ちなみに、ヤマトシロアリの巣内の卵塊には、シロアリの卵に物理的にも化学的にも擬態している菌（卵擬態菌核菌ターマイトボール）がしばしば紛れ込んでいますが、(-)- $\beta$ -エレメンはこのターマイトボールの成長は抑制できないことも明らかとなりました（図2）。

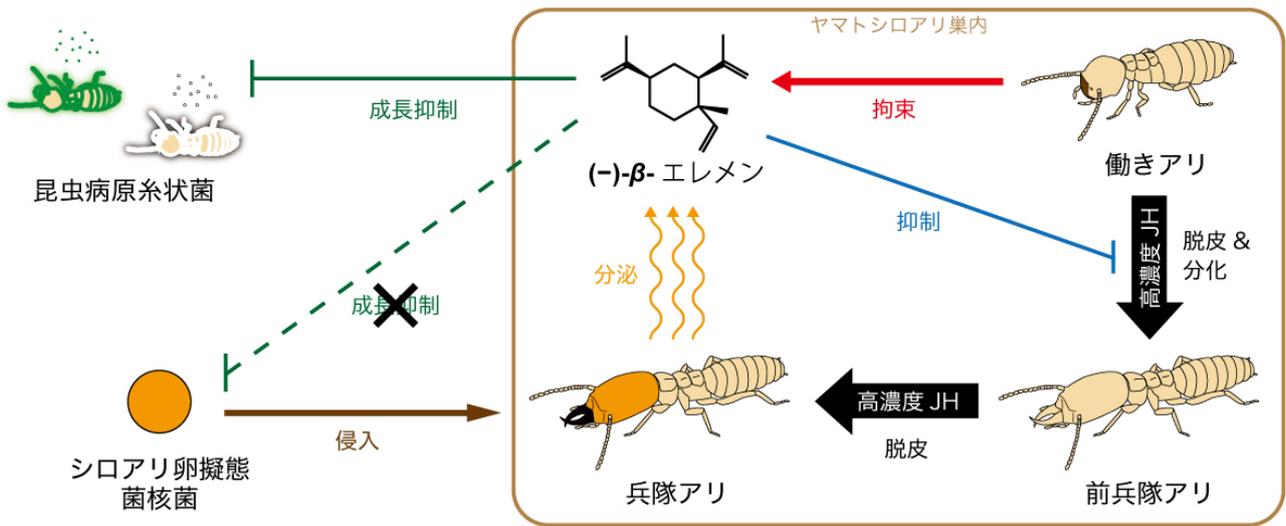


図2. 本研究で明らかとなった兵隊フェロモンの機能の概念図。兵隊アリ特異的に分泌される(-)- $\beta$ -エレメンは、働きアリから前兵隊アリへの分化を抑制する。一方で、兵隊アリは自力で餌を食べたり、グルーミングしたりすることができないため、働きアリに世話してもらう必要がある。その際に(-)- $\beta$ -エレメンを分泌して働きアリを呼び止めると考えられる。さらに、(-)- $\beta$ -エレメンは昆虫病原糸状菌の成長も抑制する。ただし、(-)- $\beta$ -エレメンはシロアリ卵擬態菌核菌の成長を止めることはできないことから、シロアリ卵擬態菌核菌は(-)- $\beta$ -エレメンに対して耐性を持っていることが示された。

### 3. 波及効果と今後の展望

本研究により、世界で初めてシロアリで兵隊フェロモンが特定され、このフェロモンには複数の機能（兵隊アリ分化抑制、働きアリ拘束、抗菌作用）があることが明らかとなりました。このことは、ヤマトシロアリの兵隊アリは (-)- $\beta$ -エレメンを分泌することで、新たな兵隊アリが分化してくるのを抑制するだけでなく、働きアリの世話を受ける必要のある時に働きアリを引き留め、なおかつ巣内で病原菌が蔓延のを防いでいることを示しています。

本研究成果は、兵隊アリで特異的に生産されていた抗菌物質が、フェロモンとしての機能をもつようになったことを示唆しています。また、これまでシロアリの兵隊アリは天敵から巣を守る役割としてのみ考えられてきましたが、本研究によって病気から巣を守る化学的防衛の役割も担っていることが分かりました。今後、さらに様々なフェロモンの起源を探っていくことによって、社会性昆虫の役割分業の進化や、その制御に関わる分子メカニズムの理解が深まっていくと期待されます。

### <用語解説>

- \*テルペン類： 植物の精油で初めて発見された、イソプレン ( $C_5H_8$ ) を構成単位とする化合物群。植物や昆虫、菌類などで広く生合成されている生体物質。
- \*幼若ホルモン： 昆虫の脱皮・変態を制御する重要なホルモンの一つ。社会性昆虫では幼若ホルモン濃度がカースト分化にも影響を与えることが知られている。
- \*GC-MS： ガスクロマトグラフ質量分析計 (gas chromatograph mass spectrometer) の略。複数の揮発性物質が混ざった混合気体から各成分の分離を行うガスクロマトグラフ (gas chromatograph、GC) と、分離された各成分をイオン化しその質量を検出する質量分析計 (mass spectrometer、MS) から成る分析機器。揮発性のフェロモンの成分を特定する際に広く用いられている。

### <書誌情報>

[DOI]

<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2017.1134>

論文タイトル：

Multi-functional roles of a soldier-specific volatile as a worker arrestant, primer pheromone and an antimicrobial agent in a termite

著者：

Yuki Mitaka\*, Naoki Mori, Kenji Matsuura

\*) 責任著者

著者の所属機関

京都大学大学院 農学研究科

ジャーナル名

Proceedings of the Royal Society B