

# 1億年前には高度なコミュニケーションと社会が存在した

～琥珀に保存された最古の化石記録から迫るアリの生態と進化～

## ポイント

- ・1億年前の琥珀に保存された最古のアリ化石の微小感覚器官を詳細に解析。
- ・現在のアリと共通した感覚システムから化学コミュニケーション様式と社会性を復元。
- ・コミュニケーションや社会システムの進化について、世界で初めて化石に基づく直接的証拠を提示。

## 概要

北海道大学大学院理学院博士後期課程の谷口 諒氏、同大学院理学研究院の伊庭靖弘准教授、福岡大学理学部地球圏科学科の渡邊英博助教、アメリカ自然史博物館のデイヴィッド・グリマルディ教授は、約1億年前（白亜紀中期）のミャンマーから産出したアリの化石種、*Gerontofornica gracilis*（ゲロントフォルミカ・グラキリス）の微小な感覚器官を詳細に解析し、最古の化石アリ類が発達した化学コミュニケーションシステムや社会性を獲得していたことを明らかにしました。

本研究の実施にあたり、北海道大学グローバルファシリティセンター/薄片技術室の中村晃輔技術専門職員と共同で琥珀内微小化石の新たな可視化法を開発しました。本手法を用いてゲロントフォルミカ・グラキリスの触角に存在する微小な感覚器官を解析した結果、本化石種の触角感覚システムが現在のアリと高い共通性を有していることが明らかになりました。これにより、アリの仲間は進化的最初期の段階から警報や巣仲間識別といったフェロモン\*<sup>1</sup>を利用した化学コミュニケーションを行っており、複雑な社会システムを構築していた可能性が示されました。

なお、本研究成果は、2024年6月14日（金）公開の Science Advances 誌に掲載されました。



本研究で使用した白亜紀の化石アリ *Gerontofornica gracilis*（ゲロントフォルミカ・グラキリス）

## 【背景】

現在の地球上には実に2京匹を超えるアリが存在し、その総重量は我々ヒトにも匹敵すると考えられています。現生のアリ類は、ほぼ全ての種が発達した社会性を有していますが、これを支える重要な基盤が多様なフェロモンを利用した複雑な化学コミュニケーションシステムです。アリの化石記録は約1億年前の白亜紀中期まで遡ることができ、これらを活用して彼らの洗練された社会性の起源や進化を明らかにする研究が試みられてきました。ところが、コミュニケーションや社会性の存在を示す主要な証拠（行動・血縁関係・情報伝達シグナルなど）は化石として保存されません。そのため、これまでは絶滅した祖先的なアリのコミュニケーション様式や社会システムを詳細に復元できていませんでした。

## 【研究手法】

本研究では、アメリカ自然史博物館に収蔵されている北部ミャンマー産の白亜紀の琥珀に保存されたアリ化石（ゲロントフォルミカ・グラキリス）、計3個体を用いました。本種は現在知られている中で最も古いアリ化石種であるため、初期のアリの生態・進化を議論する上で最適な材料といえます。アリの触角に存在する微小な感覚器官である感覚子<sup>\*2</sup>を観察するために、中村技術専門職員（本学グローバルファシリティセンター/薄片技術室）が有する特殊技術を用いて、触角化石を含む厚さ100~200 $\mu$ mの琥珀プレパラートを作製しました。加えて、触角上での感覚子の分布を明らかにするために、同技術専門職員と共同で「回転可視化法（Rotation Imaging of Amber Microinclusions）」を開発し、一度作製したプレパラートを90度回転して再度プレパラート化しました（図1）。作製した琥珀プレパラートは共焦点レーザー顕微鏡（北海道大学ニコンイメージングセンター）で高倍率観察しました。さらに、現生種のアリの触角感覚子を走査型電子顕微鏡（福岡大学）で観察し、化石アリの感覚子と比較しました。

## 【研究成果】

ゲロントフォルミカ・グラキリスの触角上には多数の感覚子が精細に保存されており、現生種が持つ5種類の突起状の感覚子のうち、少なくとも4種類が本化石種にも存在していました（図2）。確認された感覚子のうち、湾曲毛状感覚子は全昆虫の中でもアリ類だけが独自に進化させた感覚子であり、警報フェロモンに応答することが現生種の研究で示されています。白亜紀のゲロントフォルミカは、このアリ固有の湾曲毛状感覚子をすでに獲得していたことから、フェロモンによる警報シグナルをコロニーの仲間と送受信していたと考えられます。また、アリ類の錐状感覚子は触角上において背側と内側に偏って分布しており、体の表面に存在するフェロモンを感知することで、コロニーメンバーを識別する役割を担っています。これは巣の仲間と部外者を見分けるために必要な機能であり、社会形成において極めて重要です。ゲロントフォルミカでも現生種と同様に錐状感覚子が存在し、かつ触角の背側と内側のみ分布していることが回転可視化法により明らかになりました（図3）。このことは、本化石種がフェロモンを介した巣仲間識別システムを利用していたことを示しています。

以上のように、ゲロントフォルミカ・グラキリスは最古の化石アリでありながら、現生種と共通した触角感覚システムを進化させており、アリ類が進化的最初期の段階から複雑なフェロモンコミュニケーションと社会システムを獲得していた可能性が明らかになりました。

## 【今後への期待】

本研究では、絶滅した動物が行っていた化学的なコミュニケーションを、情報伝達シグナルを処理する感覚システムの化石に基づいて復元することに世界で初めて成功しました。これにより、過去の生物の痕跡である化石を直接的証拠として、社会的行動や相互作用の進化を議論できるようになりました。

また、今回開発した手法は、琥珀内の微小な構造をあらゆる方向から観察可能とするものであり、琥珀に保存された極めて状態の良い化石の詳細な形態解析を通して、多様な絶滅生物の生態・進化の解明に貢献することが期待されます。

### 【謝辞】

本研究の遂行にあたり、齊藤倫正氏（苫小牧市テクノセンター）に多大なご協力をいただきました。また、本研究では JSPS 科研費 JP22KJ0139、JP23K05861、JP23H02544 の助成を受けました。

### 論文情報

論文名	Sensory evidence for complex communication and advanced sociality in early ants（感覚システムの復元に基づく原始的なアリの複雑なコミュニケーションと発達した社会性）
著者名	谷口 諒 <sup>1</sup> 、David A. Grimaldi <sup>2</sup> 、渡邊英博 <sup>3</sup> 、伊庭靖弘 <sup>4</sup> （ <sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院、 <sup>2</sup> アメリカ自然史博物館、 <sup>3</sup> 福岡大学理学部地球圏科学科、 <sup>4</sup> 北海道大学大学院理学研究院）
雑誌名	Science Advances（アメリカ科学振興協会 AAAS のオープンアクセス総合学術誌）
DOI	10.1126/sciadv.adp3623
公表日	2024年6月14日（金）（オンライン公開）

### お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 准教授 伊庭靖弘（いばやすひろ）

T E L 011-706-3538 メール iba@sci.hokudai.ac.jp

福岡大学理学部地球圏科学科 助教 渡邊英博（わたなべひでひろ）

T E L 092-871-6631 メール nabehide@fukuoka-u.ac.jp

### 配信元

北海道大学社会共創部広報課（〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目）

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

福岡大学企画総務部広報課（〒814-0180 福岡市城南区七隈八丁目19-1）

T E L 092-871-6631 F A X 092-864-9415 メール kohopr@adm.fukuoka-u.ac.jp

【参考図】

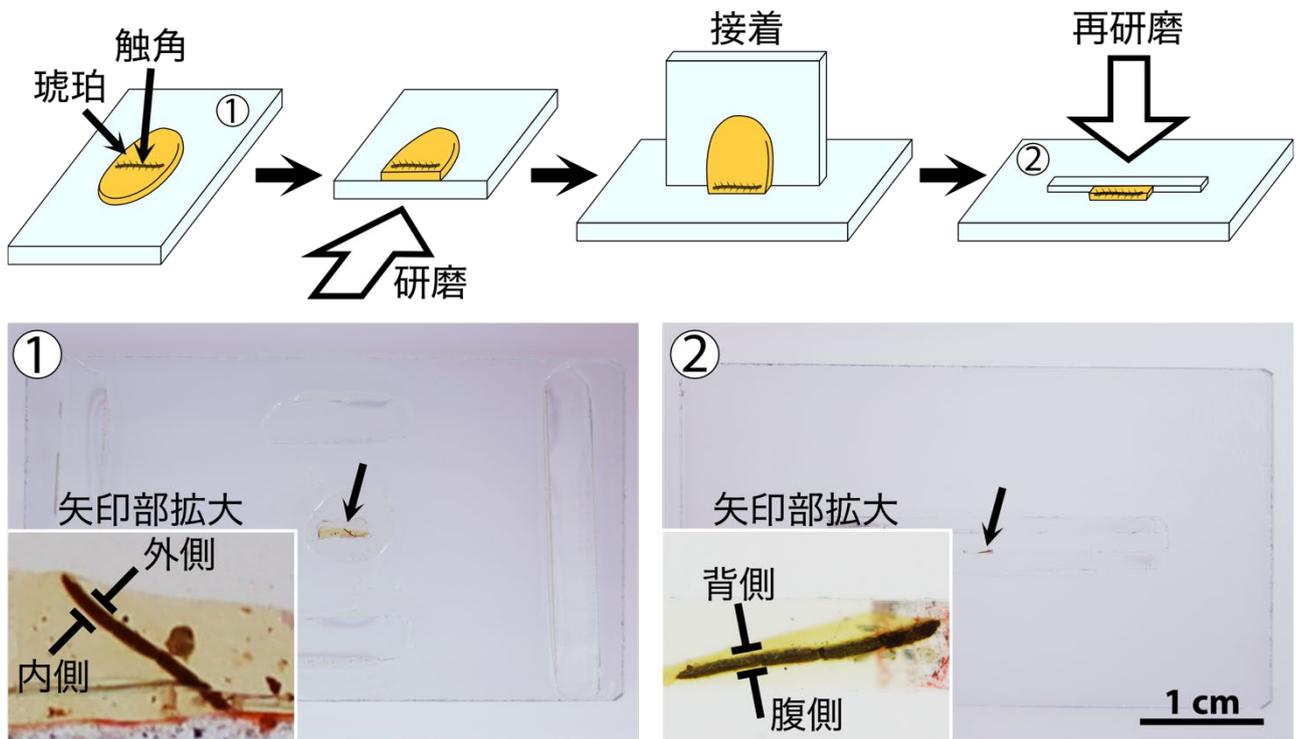


図 1. 本研究で開発した琥珀内微小化石の回転可視化法。化石触角の共焦点レーザー顕微鏡撮影では側方に突出した感覚子が可視化される (図 3A、B)。そのため、一度作製・観察した琥珀プレパラート (①) を 90 度回転させて再度プレパラート化することで、異なる側面の感覚子を観察可能になる (②)。

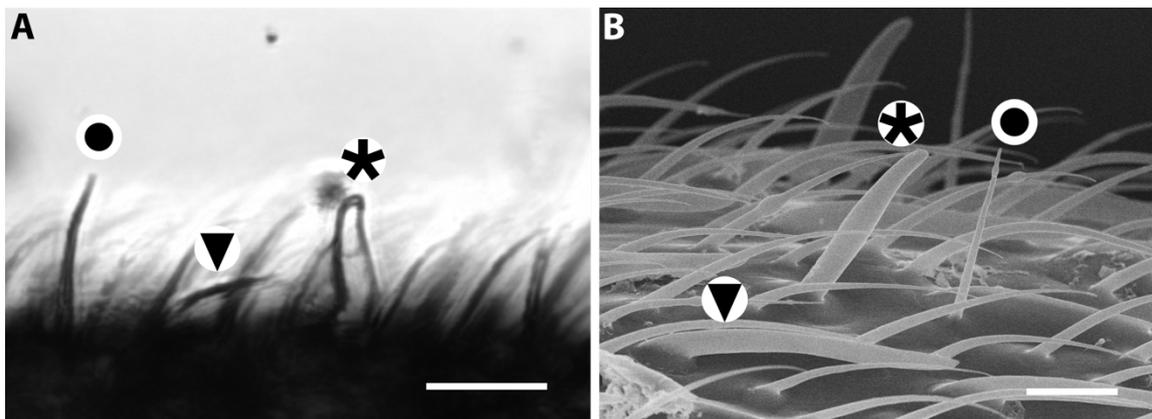


図 2. ゲロントフォルミカ・グラキリスの化石触角感覚子の共焦点レーザー顕微鏡画像 (A)、及び現生オオハリアリの触角感覚子の電子顕微鏡画像 (B)。湾曲毛状感覚子 (三角)、錐状感覚子 (アスタリスク)、毛状感覚子 (丸) などを観察できる。スケールバー：10  $\mu\text{m}$

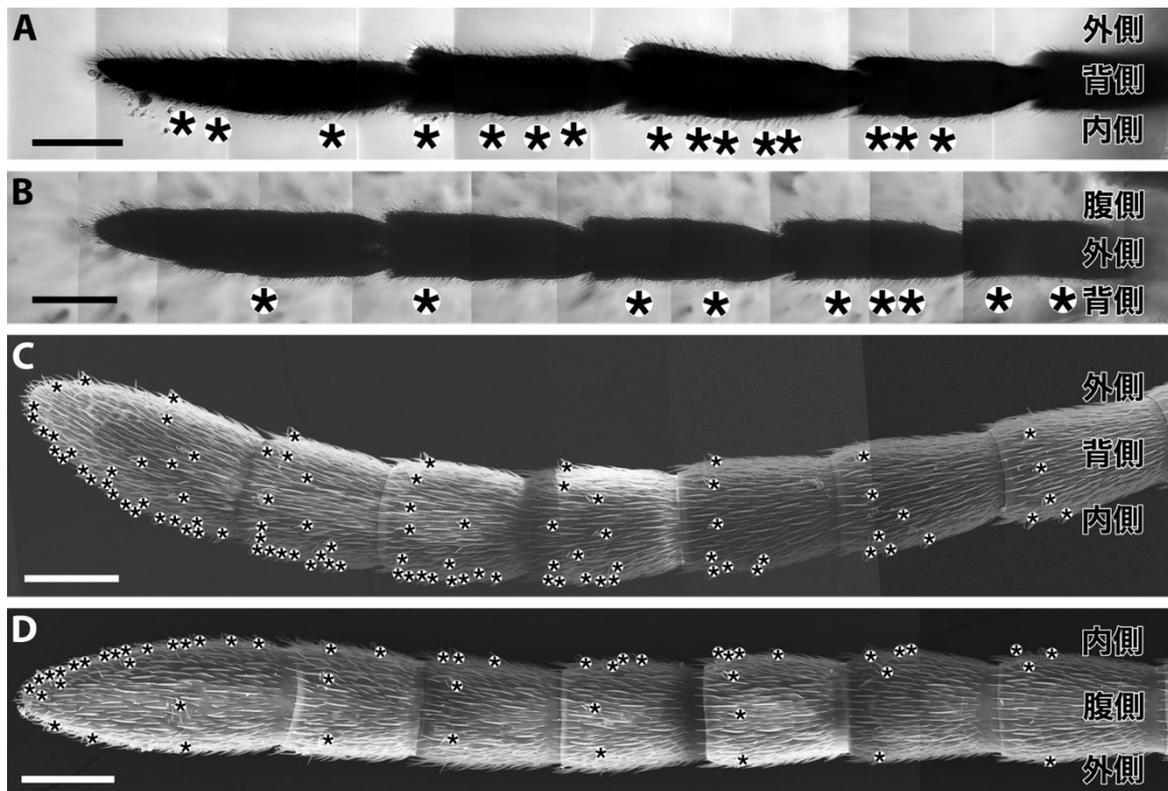


図 3. ゲロントフォルミカ・グラキリスの化石触角の共焦点レーザー顕微鏡画像 (A、B)、及び現生ヨツボシオオアリの触角の電子顕微鏡画像 (C、D)。いずれの種でも錐状感覚子 (アスタリスク) は触角の背側と内側に偏って存在しており、巣仲間識別に適した分布となっている。スケールバー：100  $\mu\text{m}$

#### 【用語解説】

- \*1 フェロモン … 生物が体外に分泌し、同種他個体に行動・生理的変化を誘発する化学物質。アリなどの社会性昆虫では様々な種類のフェロモンを介して、コロニーの間に必要な情報を伝達する。
- \*2 感覚子 … 昆虫などの体表に存在する感覚器官。種類の違いにより、匂い、温湿度、機械刺激など様々な情報を受容する。