

白亜紀にはカマキリに似た感覚系をもつゴキブリがいた！

～薄片作製技術で明らかになった琥珀内昆虫のリアルな生態～

ポイント

- ・1億年前の琥珀に保存された化石ゴキブリの微小感覚器官を詳細に解析。
- ・複眼・触角の特徴から現生カマキリに類似した感覚システム・生態を復元。
- ・理学研究院薄片技術室が誇る高い技術力により微細構造まで見える琥珀プレパラートを作製。

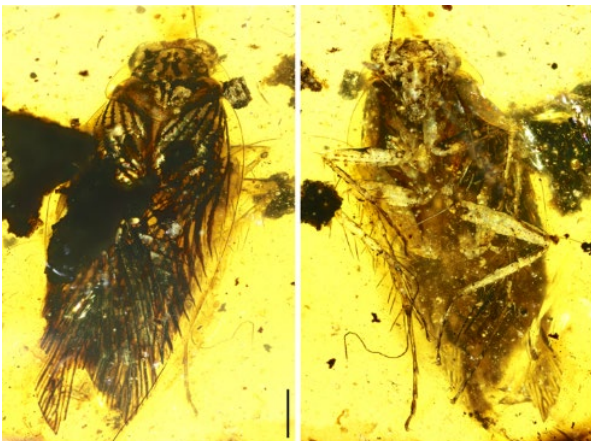
概要

北海道大学大学院理学院修士課程の谷口諒氏，同大学大学院理学研究院の伊庭靖弘准教授，同大学電子科学研究所の西野浩史助教，同大学総合博物館の山本周平博士，福岡大学理学部地球圏科学科の渡邊英博助教は，約1億年前（白亜紀中ごろ）のミャンマーに生息していたゴキブリの仲間 *Huablattula hui*（フアブラツツラ・ファイ）の微小な感覚器官を詳細に解析し，感覚システムや生態の高精度な復元を行いました。

昆虫の感覚器官は微小ながらも非常に優れた情報処理能力を有しており，全動物種の70%を占める昆虫の大繁栄を支えてきた主要因の一つであると考えられます。そのため，昆虫を対象とした進化古生物学的研究を展開する上で，彼らの感覚器官は強力なツールになると期待できます。しかしながら，昆虫感覚器官はその微小さ・脆さゆえに，ほとんど化石として保存されないこと，分析手法の分解能不足により詳細に可視化できないことなどの理由から，これまでの研究ではその重要性すら見過ごされてきました。

本研究では，従来手法を用いた複眼の解析に加えて，北海道大学大学院理学研究院薄片技術室の中村晃輔技術専門職員と共同で開発した新規の破壊的手法を適用した触角の解析から，本種が多くの現生ゴキブリに比べて視覚機能に優れており，明るく開けた生息環境に適応していたことが明らかになりました。また，触角上の性フェロモン受容器の特徴から，現生のカマキリに類似した異性間コミュニケーションをとっていた可能性も示唆されました。これらの結果は，白亜紀以前のゴキブリが現在よりも多様な生態的地位を占めていた可能性が高いこと，微小感覚器官の解析が化石昆虫の詳細な生活スタイルの復元に極めて有効であることを示しています。

なお，本研究成果は2021年9月28日（火）公開の *The Science of Nature* 誌にオンライン公開されました。



本研究で使用した琥珀に保存された化石ゴキブリ
Huablattula hui（フアブラツツラ・ファイ）

【背景】

昆虫の感覚器官は外界の情報を探知する極めて重要な役割を担っています。これらは小さいサイズや少ない神経細胞数により強い制約を受けている一方で、我々脊椎動物にも劣らない非常に優れた情報処理能力を有しています。このことが、全動物種の70%を占める昆虫の大繁栄を支えてきた核心的要因のひとつであると考えられます。

この“地球上で最も成功した感覚システム”の進化・多様性を、億年スケールの時間軸上で議論するに当たり、唯一の物的証拠となるのが化石です。しかしながら、昆虫の感覚器官は小さく脆いため通常は化石として保存されません。また、例外的に琥珀内ではこうした微小器官まで三次元的に良好保存されるポテンシャルがありますが、実体顕微鏡観察やX線CTといった既存の分析手法では、分解能不足から昆虫感覚器官を詳細に可視化することができていませんでした。

本研究で着目したゴキブリは非常に身近な昆虫のひとつですが、その起源は3億年ほど前にまで遡ることができます。彼らの多くは林床・洞窟・夜間といった暗闇環境に適応しており、比較的小さな複眼や発達した触角といった、生態をよく反映する感覚器官の特徴をもちます。したがって、ゴキブリは地質学的時間スケールにおける昆虫感覚器官の進化史・多様性のモデル生物とみなすことができます。

【研究手法】

本研究には、オスの化石ゴキブリ（フアブラツツラ・ファイ）を1個体含むミャンマー北部カチン州から産出した琥珀を用いました。化石標本を一眼レフカメラとマクロレンズで撮影した画像と、苫小牧市テクノセンターが持つX線CTで撮影した三次元データから、複眼を構成する個眼^{*1}の数を推定しました。また、本学大学院理学研究院薄片技術室の中村技術専門職員の協力で薄片作製法^{*2}を応用し、右触角を琥珀ごと切断した後、回転砥石を用いた手作業で厚さ200 μmまで研磨することで、琥珀プレパラートを作製しました（図1）。プレパラートは、北海道大学ニコンイメージングセンターが持つレーザー共焦点顕微鏡で高倍率観察し、非破壊分析では可視化できない触角上の感覚子^{*3}を観察・分類しました。

【研究成果】

フアブラツツラ・ファイの複眼は約6,000個の個眼で構成されていました。この数は体サイズが5倍も大きい現生の夜行性ゴキブリ（ワモンゴキブリなど）の1.2–1.5倍に当たります。また、洞窟や木材内部といった極端な暗闇環境に生息する種には、ほとんど退化した複眼を持つもの（キゴキブリのなかまなど）も知られています。これらの暗闇適応した現生種に比べて、本化石種は極めて発達した複眼を持っていることがわかりました。

また、フアブラツツラ・ファイの触角上には多数の感覚子が精細に保存されており、現生種と詳細に比較できました（図2）。その結果、多くの現生の夜行性・洞窟性のゴキブリ（ワモンゴキブリなど）に比べて、機械刺激を受容する棘状感覚子の数が顕著に少ないことがわかりました。棘状感覚子は周囲を手探りして外界の情報を探る役割を担っており、この感覚子が少ないという特徴は、視覚に強く依存する昼行性のカマキリの仲間にも共通しています。フアブラツツラ・ファイの発達した複眼と少ない触角感覚子は、彼らが多くの現生ゴキブリとは異なり明るく開けた環境で生活していたことを支持すると解釈できます。

加えて、今回観察したフアブラツツラ・ファイはオス個体であり、多くのカマキリのオス（オオカマキリなど）と同様に、錐状タイプの感覚子が触角上に多数存在していました。この感覚子はカマキリのオスがメスのフェロモンを認識する際に用いられていることから、フアブラツツラ・ファイでもカマキリと

類似した異性間コミュニケーションをとっていた可能性が示唆されました。

【今後への期待】

本研究により、琥珀内昆虫化石の微小感覚器官を詳細に解析し、感覚システムの機能や生態を高解像に復元する手法が確立されました。また、従来の古生物学における神経系の研究材料は、主に脊椎動物の中樞神経（脳・脊髄）に限定されていましたが、本研究では地球上で最も繁栄している昆虫の末梢感覚システムの活用に成功しました。今後、更に多くの化石昆虫類の感覚システムが明らかになり、彼らを新たなモデルとした古生物の神経科学研究が発展していくことが期待されます。

【謝辞】

本研究は、琥珀を 10～数 100 μm の厚さでシームレスに加工可能な中村技術専門職員（薄片技術室）の卓越した技術力無しには遂行不可能でした。また、CT 撮影に当たっては齊藤倫正氏（苫小牧市テクノセンター）、レーザー共焦点顕微鏡撮影に当たっては小林健太郎氏（北海道大学ニコイメーキングセンター）に多大なご協力をいただきました。

論文情報

| | |
|-----|---|
| 論文名 | Reconstructing the ecology of a Cretaceous cockroach: destructive and high-resolution imaging of its micro sensory organs（白亜紀ゴキブリの生態復元：高解像な破壊的手法による微小感覚器官の可視化） |
| 著者名 | 谷口 諒 ¹ 、西野浩史 ² 、渡邊英博 ³ 、山本周平 ⁴ 、伊庭靖弘 ⁵ （ ¹ 北海道大学大学院理学院、 ² 北海道大学電子科学研究所、 ³ 福岡大学理学部地球圏科学科、 ⁴ 北海道大学総合博物館、 ⁵ 北海道大学大学院理学研究院） |
| 雑誌名 | The Science of Nature（ドイツの生物学系雑誌） |
| DOI | 10.1007/s00114-021-01755-9 |
| 公表日 | 2021年9月28日（火）（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（代）メール nabehide@fukuoka-u.ac.jp

配信元

北海道大学総務企画部広報課（〒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

福岡大学企画部広報課（〒814-0180 福岡市城南区七隈8丁目19-1）

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

【参考図】

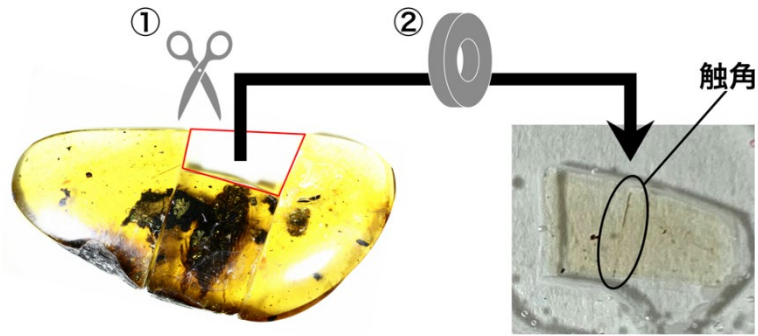


図 1. 琥珀プレパラートの作製手順。①岩石カッターで触角のみを切断。②回転砥石で触角ギリギリまで研磨。

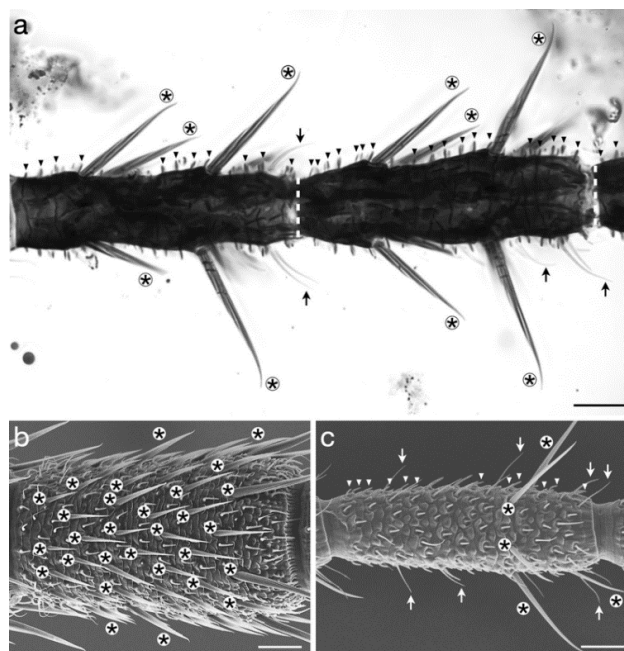


図 2. ファブラツツラ・フィの触角先端部のレーザー共焦点顕微鏡画像 (a), 及び現生ワモンゴキブリ (b), オオカマキリの触角先端部の電子顕微鏡画像 (c)。ファブラツツラ・フィとオオカマキリの棘状感覚子 (アスタリスク) はワモンゴキブリに比べて顕著に少なく、錐状感覚子 (三角形) は多い。スケールバー : a=20 μm , b,c=50 μm

【用語解説】

- *1 個眼 … 昆虫などの複眼を構成する個々の眼。見る対象は各個眼で分割されて結像されるため、個眼が多いほど視覚解像度が高くなる。
- *2 薄片作製法 … 岩石などの試料をスライドガラスに接着し、通常 30 μm の厚さに均一に研磨した「薄片」を作製する技術。本研究では触角のサイズに合わせて試料の厚さを 200 μm に調整した。
- *3 感覚子 … 昆虫などの体表にある突起状の感覚器官。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。