

APPLICATION NOTE

共焦点レーザー顕微鏡システム A1 HD25/A1R HD25/AX/AX R

共焦点と薄片作製技術が明らかにした、 琥珀に閉じ込められた化石ゴキブリの生態

～過去の生命体はどのように世界を知覚していたのか？～

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る。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、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おり、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と考えられている。そのため、昆虫を対象とした進化古生物学的研究において、感覚器官を調査することは重要である。

北海道大学大学院理学院の谷口諒氏、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、ゴキブリの仲間である *Huablattula hui* のオスの琥珀化石において、琥珀基質をギリギリまで除去しつつ且つ感覚器官が埋没した状態のプレパラートを作製した。これを共焦点レーザー顕微鏡システムで撮影することにより、微小な感覚器官の解析が、化石昆虫の詳細な生活様式の復元に極めて有効であることを示した。本アプリケーションノートでは、その研究成果における共焦点レーザー顕微鏡システムの寄与について紹介する。

キーワード：透過像、共焦点レーザー顕微鏡システム、化石、昆虫、感覚器

研究の概要

ゴキブリは起源を3億年ほど前にまで遡ることができ、林床・洞窟・夜間といった暗闇環境に適応して、比較的小さな複眼や発達した触角などの生態をよく反映する感覚器官を持つため、昆虫感覚器官の進化史・多様性のモデル生物である。

感覚システムの進化・多様性を知る唯一の物的証拠は化石であるが、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ない。例外的に琥珀内では微小器官まで良好に保存されるが、現生種の研究で使用される電子顕微鏡による観察は、周囲の琥珀を除去して感覚器官を露出させる必要があるため、極めて困難である。また、X線CTや実体顕微鏡による観察は、分解能が不足するため、感覚器官を詳細に可視化することはできなかった。

筆者らは、北海道大学理学研究院薄片技術室の中村晃輔技術専門職員の協力で、右触角を琥珀ごと切断した後、回転砥石を用いて厚さ200 μmまで研磨することにより、琥珀プレパラートを作製した(図1)。作製したプレパラートの透過像を、共焦点レーザー顕微鏡を用いて高倍率観察し、非破壊分析では可視化できない触角上の感覚子を観察・分類した。

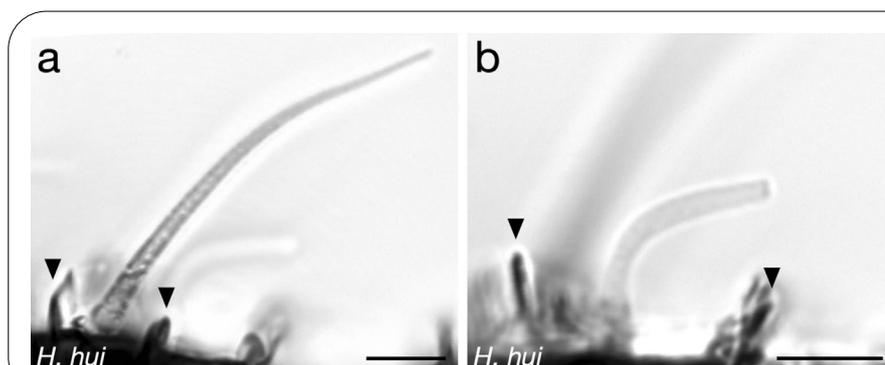
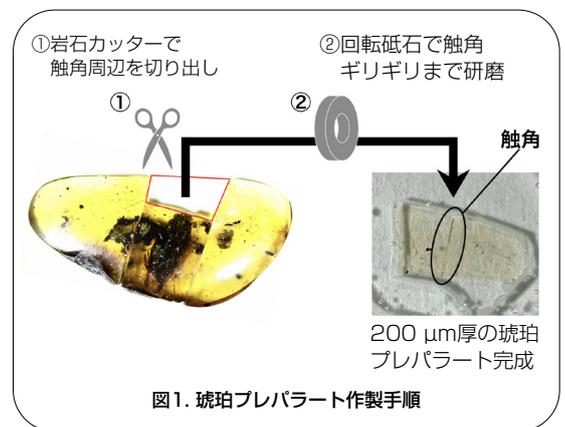
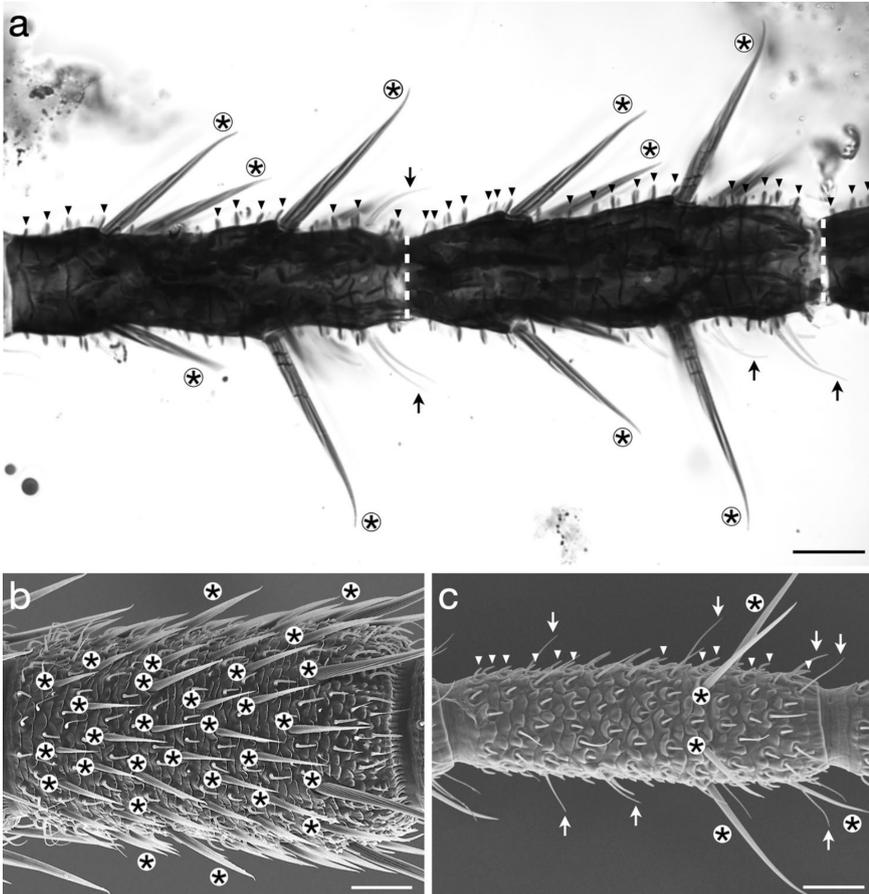


図2. *H. hui* の毛状感覚子 (a) および棒状感覚子 (b) の拡大透過画像

様々なレーザー波長を照射したところ、640 nmでコントラストが最も高く、明瞭に観察できた。また、琥珀内昆虫化石は外骨格構造をよく保存しているため、感覚子の外観の暗さはクチクラの壁の厚さを反映していると考えられる。従って、これらの感覚子は錐状感覚子(▼)に比べて透明度が高く、外壁が薄いことを示唆している。スケールバー：5 μm

対物レンズ：CFI アポクロマート Lambda S
60X Oil
波長：640 nm
ズーム倍率：7.246 X



(a)の撮影条件
 対物レンズ：CFI アポクロマート Lambda S
 60X Oil
 波長：640 nm
 スキャンズーム：1.0X

図3. 琥珀に保存された *H. hui* の触角先端部の透過画像(a)および夜行性ゴキブリ(b)と昼行性カマキリ(c)の触角のSEM画像

H. hui (a)の触角上には棘状感覚子(★)、毛状感覚子(→)、錐状感覚子(▼)などの様々な感覚子が精細に保存されている。夜行性のゴキブリ(b)と昼行性のカマキリ(c)では、突起状の感覚器官である感覚子の分布が大きく異なるが、*H. hui* (a)はカマキリ(c)に類似した感覚子を持っている。
 スケールバー：20 μm (a), 50 μm (b, c)

まとめ

複数のレーザー波長の比較から、今回の試料では640 nmの照射時に最もコントラスト良く観察できることが分かった。640 nmレーザーを用いた透過画像により、琥珀内昆虫化石の触角表面に精細に保存された多数の感覚子を観察できた。また、感覚子は表面微細構造まで保存されており、現生種との詳細な形態比較が可能であった。今回の研究で、白亜紀には現生カマキリと類似した感覚子パターン(=感覚システム)を持つゴキブリが存在したことを突き止めた。たとえば、カマキリのオスの錐状感覚子の豊富さは性フェロモンを使用した結果であり、*H. hui*がカマキリのような性間コミュニケーションを使用した可能性を示唆している。

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たことは、更に多くの化石昆虫類の感覚システムを明らかにし、彼らを新たなモデルとした古生物の神経科学研究の発展に繋がること期待される。

参考文献

The Science of Nature (2021) 108:45
<https://doi.org/10.1007/s00114-021-01755-9>
 Reconstructing the ecology of a Cretaceous cockroach:
 destructive and high-resolution imaging of its micro sensory
 organs
 Ryo Taniguchi, Hiroshi Nishino, Hidehiro Watanabe, Shūhei
 Yamamoto, Yasuhiro Iba

製品情報

共焦点レーザー顕微鏡システム AX R

生細胞への光毒性が低く光退色の少ない高速・高解像度・広視野の共焦点イメージングをサポート

- ・高速：最速毎秒720フレーム
(レゾナント 2048 × 16画素)
- ・高解像度：最高8K (ガルバノ)/
2K (レゾナント)
- ・高スループット：
視野数25 mmの
超広視野



CFI アポクロマート Lambda S 60X Oil

紫帯域から近赤外域までの広範囲において色収差を補正した、多色共焦点観察に最適な高NA対物レンズ

- ・NA：1.40
- ・WD：0.14

