

マイクロ X 線 CT による甲虫形態 3D データ計測の試み

野村周平¹⁾・枝廣雅美²⁾

¹⁾ 国立科学博物館動物研究部 (nomura@kahaku.go.jp)

²⁾ 京都府京都市中京区西ノ京桑原町 1 (株) 島津製作所 分析計測事業部
グローバルアプリケーション開発センター

3D data sampling on internal structures of two beetle species by micro X-ray CT

Shûhei NOMURA and Masami EDAHIRO

Abstract Internal structure of the thorax of horned beetle, *Trypoxylus dichotomus* (Linnaeus, 1771) and the abdomen of blister beetle, *Meloe coarctatus* Mothchulsky, 1858 were examined by a micro X-ray CT, inspeXio SMX-100CT (SHIMADZU). Flight muscles of the horned beetle and ovary of the blister beetle are documented and discussed.

緒言

筆者らの一人野村は、2012 年度より、科研費新学術領域の助成課題「生物多様性を規範とする革新的材料技術」(略称「生物規範工学」)に参加し、甲虫類の生物多様性を工学技術に活かす取り組みを行っている。この領域の研究活動の一環として、(株) 島津製作所のマイクロ X 線 CT を用いて、甲虫の形態計測を行う機会を得た。本機は、乾燥標本または液浸標本を容器ごと透過して CT スキャンを行い、得られたデータを 3D 復元することができる。野村は 2015 年 3 月 2 日の島津製作所における見学に先立って、試料を枝廣に送った。枝廣は本機を用いて、送られた試料の計測を行い、計測データを野村に提出した。試料は、カブトムシ♂(東京都品川区産)の胸部、およびヒメツチハンミョウ♀(御蔵島産)の腹部である。この計測によって、甲虫形態学の上で非常に興味深い結果が得られたので、以下に紹介する。

材料と方法

計測に用いた甲虫試料については、以下のとおりである。

カブトムシ *Trypoxylus dichotomus* (Linnaeus, 1771) (コガネムシ科) 1♂ (液浸標本), 東京都品川区小山台, 27. vii. 2013, 野村採集。

ヒメツチハンミョウ *Meloe coarctatus* Mothchulsky, 1858 (ツチハンミョウ科) 1♀ (液浸標本), 東京都御蔵島里〜黒崎高尾, 14. v. 2013, 亀澤洋採集。

以上のうち、カブトムシ液浸標本とヒメツチハンミョウについては、事前に島津製作所へ送られ、枝廣が計測を行い、3 月 2 日に島津製作所を訪れ

た野村に計測結果が示された。

計測機器および仕様については以下のとおりである。島津マイクロフォーカス X 線 CT 装置 inspeXio SMX-100CT: X 線出力: Max 100 kV, 200 μ A; 搭載可能サンプルサイズ: 径 180×250 mm, 4 kg; 焦点寸法: min 5 μ m。

それぞれの試料について CT スキャンをおこない、連続して得られる数百枚の断面画像から 3D データを構築した。図 1-4 については、まず断面画像の中から 8-12 場面について抜粋し、順番に配置して、図 1, 3 を作成した。さらにそれぞれの 3D データを使用して試料外観、内部観察が可能となる特徴的な 8-12 場面を作成し、同様に図 2, 4 を作成した。図 5 は枝廣が撮影した CT 画像の中から選択した。

観察結果

以下に、マイクロフォーカス X 線 CT を用いて観察を行った甲虫試料について、種名、観察試料およびデータの特徴、ならびに観察結果所見について列記する。

1) カブトムシ (図1-2)

<観察試料およびデータの特徴>観察試料は♂の中型個体であった。これを CT スキャンし、頭部複眼前縁付近から腹部前方の後脚基部付近までの連続した断面画像を作成した。すなわち、胸部のほぼ全体にわたってスキャンしたことになる。これによって作成した 3D 画像は CT 画像とは逆に、腹部の方から頭部へ向かって構築され、ほぼ 360° 回転しながら、体側方から断面を表示する順序と

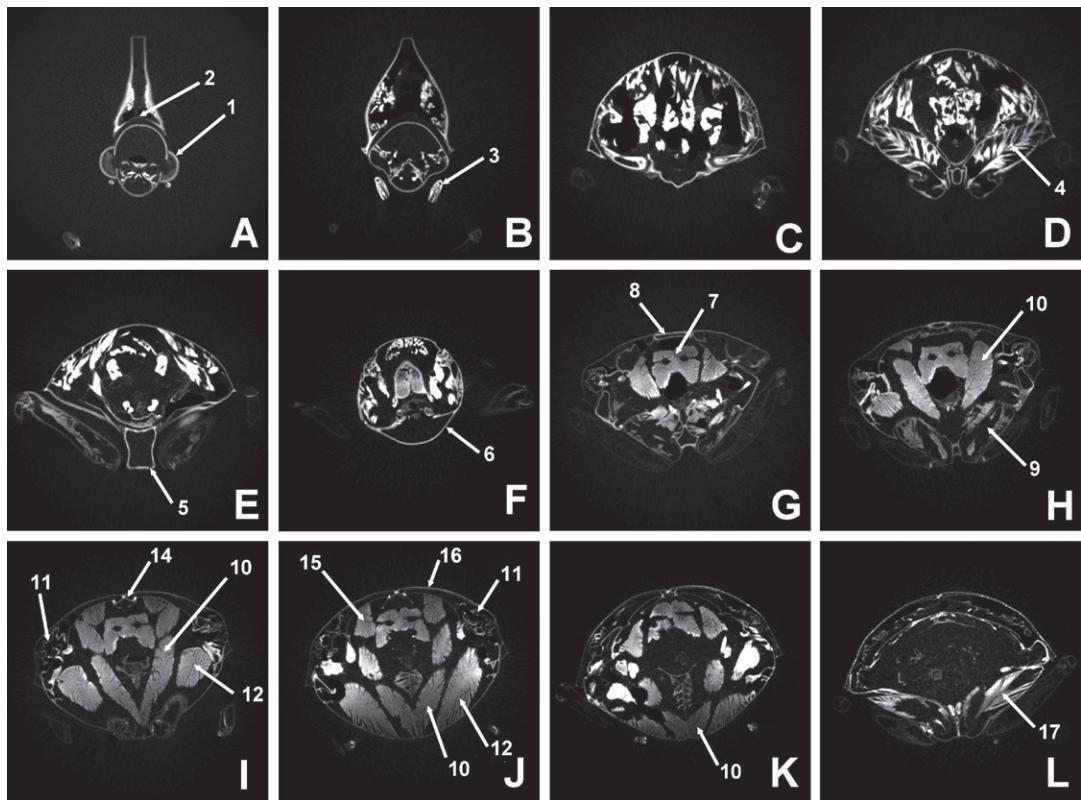


図1. カブトムシの胸部CTスキャン画像（連続した断面画像から抜粋した12枚；A-Lを頭部から腹部の順にレイアウトして作図）。

なっている。

＜所見＞ 観察は頭部の基部から始まり、図1Aでは複眼（図1:1）が見えている。図1:2から上方へ延びる部分は頭角ではなく、前胸部の前縁から胸角への立ち上がり部分である。頭部ではやや基方に位置する触角が認められる（図1:3）。前胸を前方から観察していくと、内部にはこまごました筋肉や腱のようなものが複雑に入り組んでいるのが認められるが、大きなものはない。後半で前脚基節の断面が見える（図1:4）。中央に薄い仕切り板のような構造が認められ、筋肉はそこから外壁へつながっている。さらに進むと左右の前脚転節にある、腹面突起が認められる（図1:5）。突起の断面は台形に近い。さらに観察していくと前胸が終わり、中胸前方の狭窄部が認められる（図1:6）。中後胸部の前方から体軸に平行に走る、非常に太い縦走筋（飛行筋）が認められる（図1:7）。この付近では左右前翅の会合部内側に、背板表面の浅い縦溝である alacrista（図1:8）が観察できる。さらに進むと（図1H）、中央の縦走筋のわきに、背腹方向にやや斜めに走る2対の大きな筋肉（図1:

10, 12）が認められる。この背腹筋の内側の1対は、後胸腹板中央部で左右が合流し、V字状となる（図1K:10）。また、腹面に埋まるように位置する中脚基節の影（図1:9）が見えている。図1Iの付近で alacrista は後端に近づき、W字型に見える（図1:14）が、図1Jの付近で後端に達し、以降では左右前翅（図1:16）の会合部の位置は明白であるが、その内側に alacrista を溝として認めることは難しい。またここで観察断面は、後翅の屈曲点に達し、後翅の影はやや厚みを増したように見えている（図1:11）。この付近では中央やや背側の縦走筋のわきに、もう一組の縦走筋の断面（図1:15）が現れている。スキャンの終了位置付近で、腹面前面にわたって後脚基節の影が認められる（図1:17）。

以上の断面画像から構築された3D画像（動画）を見ると、それぞれのパーツをより立体的なイメージとしてとらえることができる。これを各段階でキャプチャーして、編成したのが図2A-Lである。この中から図1で確認された構造1-17を図2中に示した。複眼および触角に特段の内部構造は認められない。大きな前胸部の内部には、細かな器官

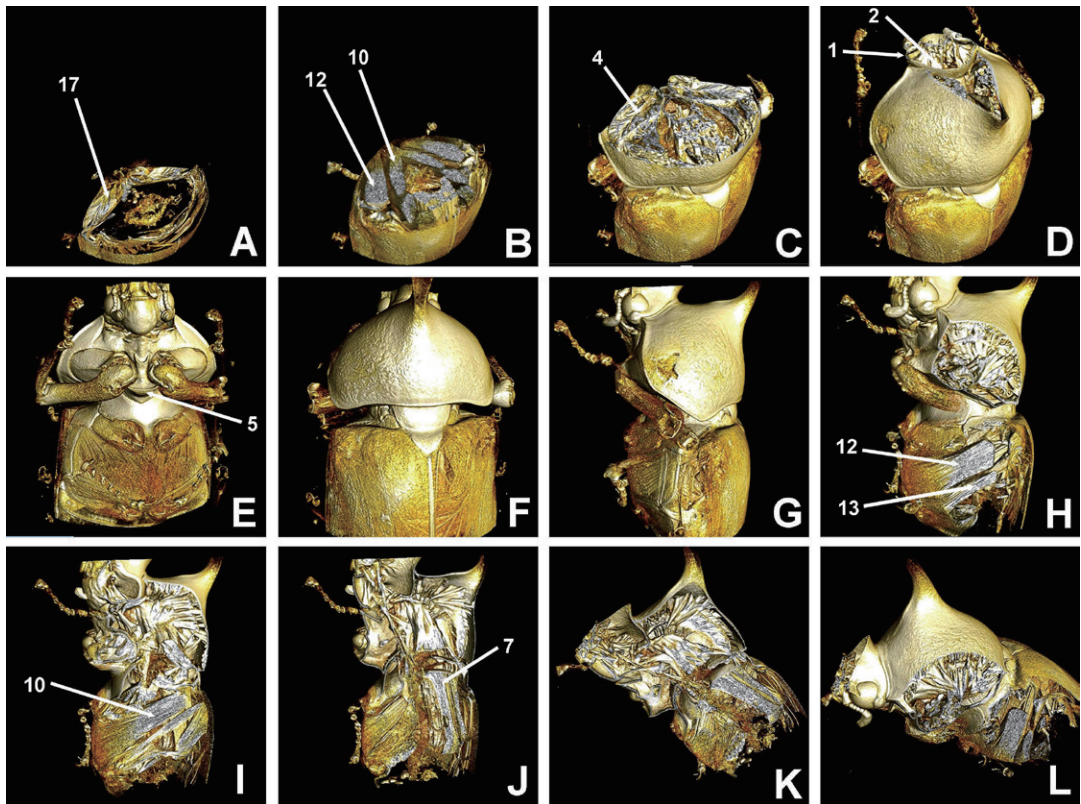


図2. カブトムシ♂胸部3D画像（特徴的な部位12枚—A~Lを経時的にレイアウトして作図）。

が複雑に入り組んでいるが、機能及び相同性の明確な器官は認められなかった。前胸部の腹面基部に認められる前脚基節（図2: 4）の内部には、中央の腱(?)と外殻の内壁との間に多くの筋肉が放射状に走っていることが観察された。左右前脚基節間の横位の突起は強く腹側へ突出し顕著である（図2: 5）。中～後胸前方には、飛翔にかかわる強大な筋肉が密集し、きわめて興味深い。体軸と平行に走る縦走筋（図2: 7）はきわめて太く、胴体の中心部より、やや背方に位置する。これと直角に近い角度で交わる背腹筋は2対あり、1対は中心寄りで腹板と背板を結んでいる（図2: 10）。これは厳密に垂直ではなく、腹面で約 10° ほど後方へ傾いている。もう1対の背腹筋（図2: 12）はやや外側に位置し、内側の1対とほぼ平行に走っている。この筋肉は後胸腹板の内壁から生じ、後胸側方にある巨大なラッパ型の筋肉盤に挿入されている。よく気を付けてみると、この大きな背腹筋の後方に、対称的な位置に小さな背腹筋（図2: 13）がある。この小さな背腹筋は後脚基節の内壁付近から生じ、小さなラッパ型の筋肉盤に挿入されている。後脚基節の内部構造についても図2: 17によって観察するこ

とができ、前脚基節とほぼ共通していることがわかる。

2) ヒメツチハンミョウ（図3-5）

〈観察試料およびデータの特徴〉観察試料はヒメツチハンミョウ♀の中型個体である。試料の観察と画像データの作成に関しては、カブトムシにおける手順に準ずる。撮影範囲は腹部の基部から、やや後方であって、胸部は全く含まれていない。カブトムシ胸部と同様なCTによる断層撮影は図3に、それを基に作成した3D画像を図4に取りまとめた。また全体のほぼ正中中部縦断面のCTスキャン画像を図5に示した。

〈所見〉CT画像の撮影は腹部のやや前方から始まっているが、開始位置からしばらくレンコンの断面のような花模様が胴体の中心部やや背方に観察される。この特徴的な器官は前胃(proventriculus)（図3: 1, 4: 1）と思われる。今回観察したヒメツチハンミョウ♀の腹部では、消化管などは腹部の中央部から背方にかけて円筒形に分布している。それ以外の腹部の体腔域は大量の卵で充満している。腹部の基部では背面は、左右の上翅に覆われてい

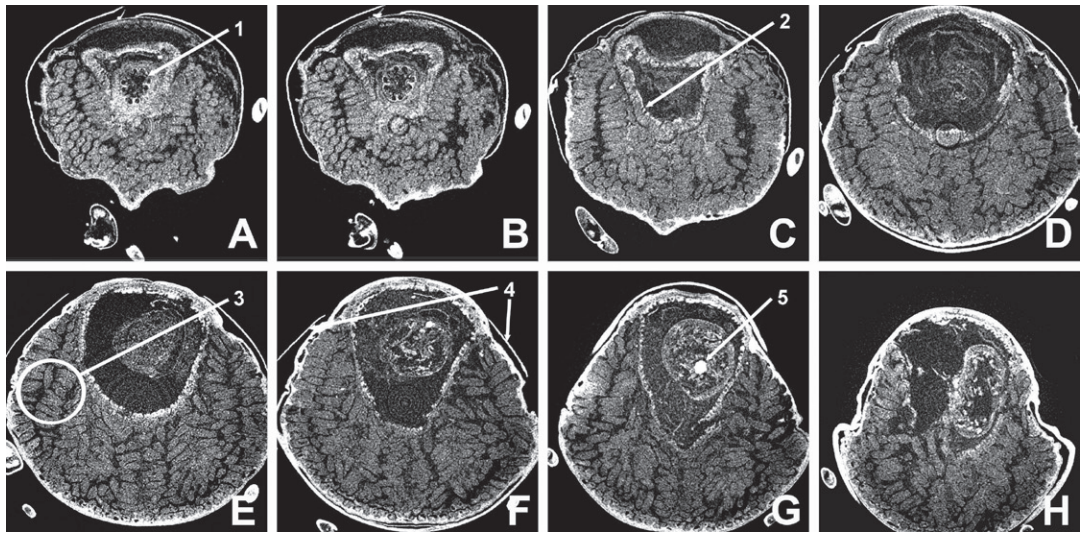


図3. ヒメツチハンミョウ♀腹部CTスキャン画像（作図法はカブトムシと同様）。

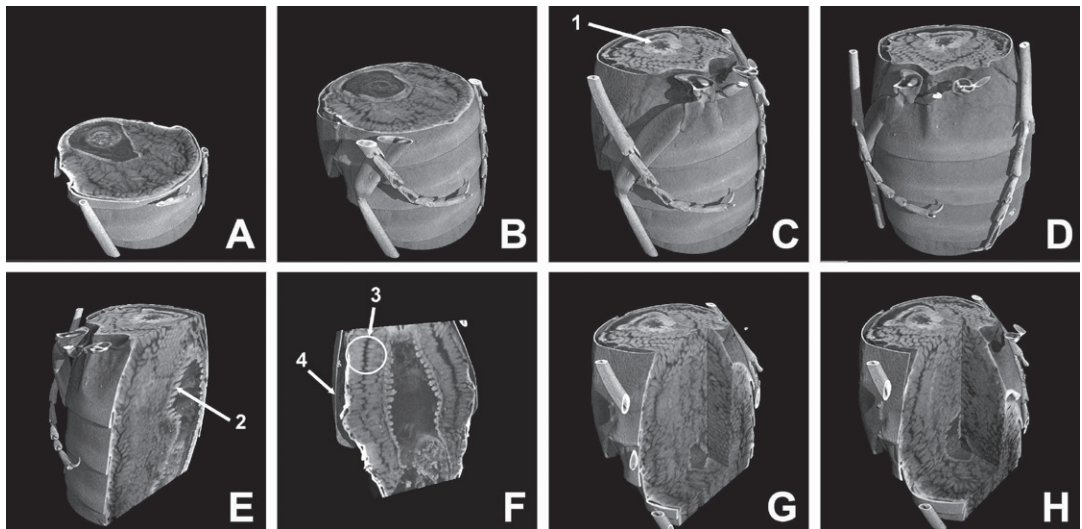


図4. ヒメツチハンミョウ♀腹部3D画像（作図法はカブトムシと同様）。

るが、ヒメツチハンミョウの上翅（図4:4）はかなり縮小しているので、基部から後方へ向かって断面が移動するにつれて、左右に分かれて（図3:4）、後方ではフェイドアウトする。

3D画像を見る限りでは、おおよその所見はCT画像と同じであるが、前胃の位置は、後脚の基部のほぼ反対側（背側）に近い位置であることが分かった。消化管は前胃を含んで、腹部の背側を走っているが、その内壁（図3:2, 4:2）には絨毛または横じわ状の突起の密生が認められる。腹部の大半を満たしている多数の卵であるが、一個一個の卵は長卵形で、サイズはおおよそそろっている。腹部の中にあ

る卵の配列は整然と並んでいるわけではなくかなり雑である。多くの卵は体軸と直角の方向、すなわち横方向に配列されている（図3:3, 4:3）。

縦断面を見ると、腹部では、背面側は消化管、腹面側は卵に大きく2分されている。消化管の尾端に近い部分に、ホワイトアウトした小さな影（図3:5）があるが、これが何を示しているのかは不明である。

考察

マイクロフォーカスX線CTによって、カブトムシ♂胸部の内部構造を詳しく観察した。観察さ

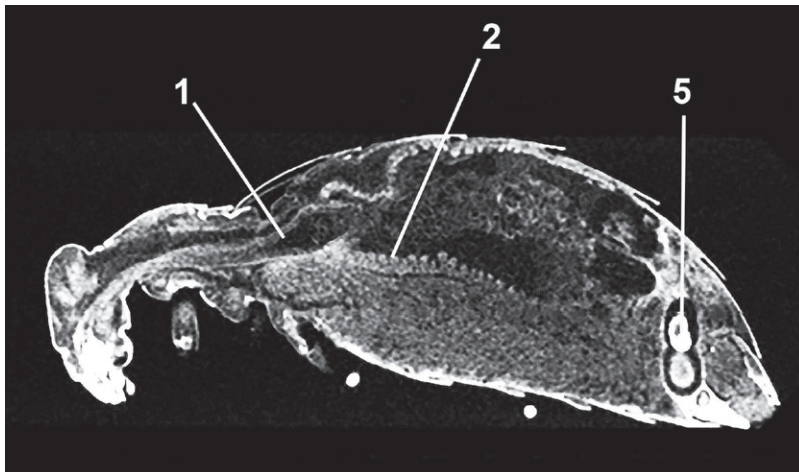


図5. ヒメツチハンミョウ♀縦断面CTスキャン画像.

れた領域におけるカブトムシの諸器官の中では、飛翔筋の配置がきわめて興味深い。カブトムシは新翅群の昆虫であり、基本的に間接飛翔筋によって、後翅の羽ばたきが生み出されている。今回の観察では、後翅が連結している後胸背板を湾曲させ、中央部を持ち上げるために、背板の前後を結んでいる縦走筋（図1: 7, 図2: 7）の形状と走行状態が明確に観察された。この縦走筋の断面形状は、Hの字を横倒しにして、下の横棒に下方への1対の短い脚を生やしたような形状となっている。この縦走筋のわきに、1対のやはり縦走する筋肉束（図1: 14）が観察されるが、この機能については明確ではない。一方、これらの縦走筋と直角に近い角度で交わる垂直方向の大きな背腹筋は2対認められた。この2対の背腹筋は厳密に垂直ではなく、10~20°ほど後方へ傾いている。内側の1対（図1: 10, 図2: 10）は、後胸の腹板と背板を結んでおり、この筋肉が、背板を引き下げる、すなわち後翅を振り上げる働きをもっていると考えられる。すなわち、この筋肉は縦走筋の拮抗筋となる。これに対して外側の1対（図1: 12, 図2: 12）は、後胸背板よりもかなり下方に位置する、ラッパ型の巨大な筋肉盤に挿入されている。この筋肉盤は前翅基骨（註1）(basalare)と呼ばれる後翅基部の重要な骨片に直接つながっている。通常、昆虫の基本的な翅の運動においては、前翅基骨は、後方の骨片である後翅基骨（註1）(subalare)と対になり、翅突起(wing process)を支点にして、シーソーのように交互に筋肉が収縮することにより、翅のひねり運動をもたらす。図2Hを詳しく見ると、大きな外側の背腹筋の後方に小さな背腹筋が、やはり小さなラッパ型の筋肉盤に挿入されていることが認められた（図2: 13）。この小さな筋肉盤が、後

翅基骨と連動している。これらの前翅基骨と後翅基骨とに連結する筋肉が収縮することによって、後翅を強く引き下げて、打ち下ろし運動を生み出すことができる。それとともに、前翅基骨と後翅基骨の交互の動きによって、カブトムシの飛翔にとってきわめて重要な、後翅のねじれ(回転)運動を生み出すことができる。そうだとするとこれら大小1組の背腹筋は、平行する内側の背腹筋とは逆の動きをすることになり、間接飛翔筋ではなく、直接飛翔筋的な運動を生み出すのではないか。この点、筋肉系の形態観察だけでは裏付けることができないので、将来の課題としたい。参考までにSnodgrass (1935)の教科書でも、この筋肉の存在は明確に図示されている(chapter X, fig. 128C, 2E'; fig. 129, 2E'; fig. 130, E')。

一方、野村(2014)が示した、前翅を開いたり、胸部背面に固定するための筋肉や装置については、位置的には映り込んでいるはずであるが、特定することはできなかった。しかしながら後胸背面会合部のalacrista（図1: 8, 14）については、後胸背板の断面形状は、明確に観察された。

ヒメツチハンミョウ♀腹部内部構造の観察においては、腹部の全域において、背面側に消化管、腹面側に卵(卵巣)が位置する関係が認められた。消化管の中では前胃が腹部基部に近い部位にあると認められた（図3: 1, 4: 1）。また個々の卵は長細い長卵形であるが、腹部の中でかなり雑然と配列されており、多くの卵は、長軸が体軸とは直角に、すなわち横位置に配列されていることが明確に観

註1: 古い文献(素木編, 1962など)では、basalareは「基翅甲」、subalareは「亜翅甲」という訳語を与えられている。

察された (図 3: 3, 4: 3).

謝辞

以上の論考を作成するにあたり、様々な面でご支援いただいた、文部科学省科学研究費新学術領域「生物規範工学」の代表である、千歳科学技術大学の村政嗣教授に、心から感謝の意を表す。また、ヒメツチハンミョウの標本を快く恵与された、埼玉県川越市の亀澤洋氏にも篤く御礼申し上げます。本研究の一部は科研費上記領域の計画研究「バイオミメティクス・データベース構築」(課題

番号: 24120002; 代表者: 野村周平) の助成を受けている。

引用文献

- Snodgrass, R. E., 1935. Principles of insect morphology. 667 pp. McGraw-Hill, New York.
 素木得一編, 1962. 昆虫学辞典. 1,098 pp., 52 pls. 北隆館, 東京.
 野村周平, 2014. カブトムシ (コガネムシ科) 前翅の開閉と固定に関与する構造. さやばねニューシリーズ, (13): 9-16.

(2015年5月26日受領, 2015年6月14日受理)

【短報】ヒトクチャケから得られたヒラナガムクゲキスイ

ヒトクチャケ *Cryptoporus volvatus* (Peck) Shear はヒダナシタケ目 Aphyllophorales タコウキン科 Polyporaceae に属するキノコで、主に枯死間もないマツの幹や枝に発生する。成熟すると下面に穴が開き、魚の干物のような臭いを放つ (今関, 1988)。この独特な臭いや構造により多くの甲虫類が集まり、キノコの空洞内で生活することが知られている (説田, 1993)。近年、ヒトクチャケに集まる昆虫群集は門脇・山添 (2011) によって文献調査と野外調査に基づき各種の生態的特性と地理的変異が示されており、このうちオオキノコムシ科 Erotylidae からはオオキノコムシ亜科 Erotylinae の 2 種、セモンホソオオキノコ *Dacne (Dacne) picta* Crotch, 1873 とクロチビオオキノコ *Tritoma (Tritoma) niponensis* (Lewis, 1874) がジェネラリストとして記録されている。第一筆者は、従来ヒトクチャケからは採集記録のないヒラナガムクゲキスイ *Cryptophilus obliterated* Reitter, 1874 (図 1) を採集しているのを報告する。

2 exs., 長崎県対馬市厳原町豆酸 (豆酸崎) 34°6'18"N, 129°10'18"E, alt. 47 m. 26. IV. 2015. 松尾採集・保管。

特筆すべきは、ヒラナガムクゲキスイはオオキノコムシ科の中でもナガムクゲキスイムシ亜科 Cryptophilinae に属し、キノコに集まるいわゆる一般的なオオキノコムシ類とは異なるという点である。通常は枯草のシフティング等で採集され、製粉工場でも時々発生し貯穀関連種としても知られている (渡辺, 1989)。発見時にはヒトクチャケの空洞内の胞子にまみれて本種が生息していた。なお、ヒラナガムクゲキスイは旧北区に広く分布する種であるが (Wegrzynowicz, 2007)、日本からはこれまで本州、四国、九州から記録されるのみで (平嶋, 1989)、対馬からの記録はない。ここに初記録

として併せて報告する。

本稿をまとめるにあたり、文献の複写をお送り頂いた平野幸彦氏 (神奈川県) にお礼申し上げます。

引用文献

- 平嶋義宏 (監), 九州大学農学部昆虫学教室・日本野生物研究センター共同 (編), 1989, 日本産昆虫総目録. 1,767 pp. 九州大学農学部昆虫学教室, 福岡.
 今関六也, 1988. ヒダナシタケ類. pp. 397-496. 今関六也・大谷吉雄・本郷次雄 (編), 山溪カラー名鑑日本のきのこ. 624 pp. 山と溪谷社, 東京.
 門脇浩明・山添寛治, 2011. ヒトクチャケを利用する昆虫群集の地理的パターン. 昆虫ニューシリーズ, 14 (2): 93-104.
 説田健一, 1993. ヒトクチャケに生息する鞘翅目昆虫の生態学的研究 (I) キノコから得られた鞘翅目昆虫のリストと生態的地位. 岐阜県博物館調査研究報告, (14): 39-45.
 渡辺 直, 1989. 第 1 部 甲虫・ガ類の実用的な識別法. pp. 17-122. 吉田敏治・渡辺 直・尊田望之 (編), 図説貯蔵食品の害虫実用的識別法から防除法まで. 全国農村教育協会, 東京.
 Wegrzynowicz, P., 2007. Erotylidae. pp. 531-546. In Löbl, I., & A. Smetana (eds.), Catalogue of Palaearctic Coleoptera, 4. 935 pp. Apollo Books, Stenstrup.



図1. ヒラナガムクゲキスイ。

(松尾 進 817-0011 対馬市厳原町宮谷 98 和貴寮 411)

(久松定智 790-8566 松山市樽味 3-5-7 愛媛大学農学部農生態学研究室)