

日本産ホタル類の頭部形態

松田正勝*・大場信義**

The relationship between the head structure and the communication system in the Japanese fireflies

MATSUDA M.* and OHBA N.**

The present paper deals with the morphological character of 9 species of Japanese fireflies on the basis of typical communication systems by using the scanning electron microscope. Especially, this study was undertaken to clarify the structural differences of the antennae, facets and mouth parts. The relationship between morphology and communication system of the fireflies was discussed.

1. Width of antenna in diurnal- and crepuscular-active fireflies was larger than that in nocturnal-active fireflies.
2. Length of hair sensillae in nocturnal-active fireflies was longer than that in diurnal- and crepuscular-active fireflies, but hair sensillae density of antenna was higher in diurnal- and crepuscular-active fireflies.
3. Forms of facets of diurnal-active fireflies are irregular, while in nocturnal-active fireflies they are uniformly hexagonal.
4. Relative size of maxillary palpus in nocturnal-active fireflies is somewhat larger than that in diurnal- and crepuscular-active fireflies.
5. Inside of labial palpus in nocturnal-active fireflies developed into three to five finger-like projections, but in crepuscular- and diurnal-active fireflies the form of labial palpi was triangular or oval. The relative size of labial palpi in nocturnal-active fireflies is larger than that in diurnal and crepuscular fireflies.
6. There are short hair sensilla inside maxillary palpus and labial palpus.
These are adaptive structure to recognize feromon and feel the touch when male mounts female.
7. From the above results, the author concluded that the head of fireflies is an adaptive structure for the communication system.

はじめに

ホタル類は夜行性・昼行性・両行性の各活動習性を有する種が知られている。これらのホタルの形態と活動習性には明瞭な相関が認められている(大場, 1976; OHBA, 1983; 大場・佐藤, 1988)。夜行性ホタルは夜間に強く発光しながら飛翔活動し、大きく発達した複眼を

有するが、触角は細く短い。一方、昼行性ホタルはほとんど発光せずに昼間に飛翔活動し、前胸背板の下に隠れるほどの小さな複眼および長く、大きく発達した触角を有する。両行性ホタルは、夜行性と昼行性ホタルの中間的形質を有することが指摘されている。さらに OHBA (1983); 大場(1984)は各種ホタルの発光パターンを独自の記録解析方法によって調べ、それを形態・活動習性と

* 農林水産省関東農政局 Kanto Regional Agricultural, Administration Office, Tokyo, 103.

** 横須賀市自然博物館 Yokosuka City Museum, Yokosuka, 238.

原稿受付 1991年8月31日 横須賀市博物館業績 第412号

キーワード: ホタル科, ホタル, 頭部形態, コミュニケーション, 走査型電子顕微鏡 Key words: Lampyridae, firefly, morphology, communication, scanning electron microscope

対応づけることにより、6型のコミュニケーション・システムに大別した。これらのホタルのコミュニケーション・システム別の頭部および発光器の形態比較は大場(1978)により、光学顕微鏡下で行われているが、電子顕微鏡下で各種ホタルの頭部形態を比較した例はない。筆者らは光学顕微鏡下で既に調べられている結果を参考として、各々のコミュニケーション・システムを代表するホタルを選び、電子顕微鏡下で、頭部形態、特に触角・個眼および口器について比較し、その形態的差異を明かにしたので報告する。

材料および方法

電子顕微鏡によって形態比較したホタルは次に示すとおり、6型の各コミュニケーション・システムを代表する種を選んだ。

HPシステム

ヒメボタル *Hotaria parvula* KIESENWETTER

3♂(乾燥標本1, 液浸標本2), 名古屋市 May 1978

ヤエヤマボタル *Luciola yaeyamana* MATSUMURA

1♂(液浸標本), 沖縄県石垣島 May 1983

LLシステム

ヘイケボタル *Luciola lateralis* MOTSCHULSKY

3♂(液浸標本1, 乾燥標本2), 神奈川県横須賀市 Jun. 1983

キイロスジボタル *Curtos costipennis* GORHAM

1♂(液浸標本), 沖縄県宮古島 May 1983

LCシステム

ゲンジボタル *Luciola cruciata* MOTSCHULSKY

2♂(液浸標本), 福岡県北九州市 Jun. 1983

PRシステム

アキマドボタル *Pyrocoelia rufa* OLIVIER

1♂(液浸標本), 長崎県対馬 Oct. 1979

ミヤコマドボタル *P. miyako* NAKANE

1♂(液浸標本), 沖縄県宮古島 May 1983

CRシステム

ムネクリイロボタル *Cyphonocerus ruficollis*

KIESENWETTER

3♂(乾燥標本), 神奈川県鎌倉市 Jun. 1977

LBシステム

オバボタル *Lucidina biplagiata* MOTSCHULSKY

3♂(乾燥標本), 神奈川県鎌倉市 Jun. 1978

なお各コミュニケーション・システムの特性の概要は以下のとおりである。

HPシステム：発光信号をコミュニケーション手段と

し、雄の発光信号に対し、一定時間後に雌が応答発光するシステムであり、ヒメボタルに代表される。

LLシステム：発光信号をコミュニケーション手段とし、雌雄が各々固有な発光信号を識別するシステムであり、ヘイケボタルに代表される。

LCシステム：発光信号をコミュニケーション手段とし、HPおよびLLシステムの複合的システムといえ、さらに雄の集団同時明滅による探雌行動・雄の様々なパターンの発光信号・接近歩行発光などの誇示性行動を通して交尾に至る。ゲンジボタル代表される。

PRシステム：性フェロモンおよび発光信号をコミュニケーション手段とし、雌の連続発光信号により、雄が誘引される。雌に接近した雄は、雌の発光器の形態を識別し、さらに雌が放つ性フェロモンにより、交尾行が解発されるコミュニケーション・システムとされ、アキマドボタルに代表される。

CRシステム：性フェロモンおよび発光信号をコミュニケーション手段とし、昼間に飛翔活動するホタルに認められている。雄が雌に接近した後に、性フェロモンが関与して交尾に至るコミュニケーション・システムであり、ムネクリイロボタルに代表される。

LBシステム：性フェロモンをコミュニケーション手段とし、CRシステムに類似するが、発光信号が関与しないコミュニケーション・システムで、オバボタルに代表される。

電子顕微鏡試料の作成と観察

試料の作成は、永谷・田中(1980)に基づいて、以下の手順に従った。

1. 固定(二重固定法)

前固定：2.5%グルタルアルデヒドに4°Cで2時間浸した。

2.5%グルタルアルデヒドの作成。

1) 0.17M シュークロース：0.2M カコジル酸ナトリウム緩衝液=1:1(A液)

2) 2.5%グルタルアルデヒド：A液=1:9

洗浄：0.05Mカコジル酸ナトリウムでpH 7.4にした0.34M シュークロースで3~4回洗浄。

後固定：1%四酸化オスミウムに4°Cで2時間浸した。

1%四酸化オスミウムの作成。

1) 4%四酸化オスミウム2mlに水2ml加える。

2) 0.2M カコジル酸ナトリウム4ml加えて1%とする。

2. 脱水

5分間ごとに10, 20, 30, 50, 70%のエチルアルコールで脱水を順次行なった。さらに90%, 99%のエチルアルコール各々20分間脱水, 最後に純アルコールで20分間2回, さらに純アルコール:酢酸イソアミル=1:1に20分間, 酢酸イソアミルに20分間浸して脱水した。

3. 乾燥

臨界点乾燥器(日立 HCP-AUTO)により CO₂処理して乾燥した。

4. 蒸着

イオンコータ(IB-3型)により, 金を蒸着した。

5. 観察

走査型電子顕微鏡(日立 S-450)で×25~3000で観察。

観察部位は触角・個眼・口器で, 口器については特に顕著な差異が認められる小腮鬚(maxillary palpus)と下唇鬚(labial palpus)について観察し, 大顎(mandible)については, 頭部形態の概要部分で概略を記した。

結果および考察

各コミュニケーション・システムを代表するホタルの形態的特徴

1. HP システム型ホタル

1) 頭部形態

ヒメボタルおよびヤエヤマボタルともに複眼が大きく, 球形に発達し, 前胸背よりはみ出していた。大顎は太く, 先に行くに従って細くなり, 内側に湾曲していた(第1, 5図)。大顎は右側が上になっていた(第1図)。

2) 触角形態

ヒメボタル 幅57 μ mで狭く, 細かった(第2図)。形状は桿状で, 各節の基部で細く, 先に行くに従い太く, 表皮は鱗状を呈していた。感覚毛の長さは, 113 μ mと短く, 密度も低かった(第3図)。感覚毛には2種類のものが認められ, そのうち1つは太く長く, 1つは細く短かった(第4図)。長い感覚毛は触角表皮がソケット状になっている部位より伸びており, 触角のどの節にも均等に存在した(第3図)。短い感覚毛は触角表皮が盛り上がった部位より伸びており, 各節の先端での密度が高かった(第4図)。更に, 各節の先端付近より伸びている感覚毛は内側に腕曲していた(第3図)。

ヤエヤマボタル 幅が51 μ mと狭かった(第6図)。形状は桿状で, 各節の基部と先の太さは大差がなく, 表皮は鱗状を呈していた(第6, 7図)。感覚毛の長さは101 μ mと短く, 密度も低かった(第6図)。感覚毛には2種類のものが認められ, そのうちの1つは太く長く, 他の1つは細く短かった(第6図)。長い感覚毛は, 触角表皮がソケット状になっている部位より伸びており, 触

角のどの節にも均等に存在した(第6, 7図)。短い感覚毛は触角表皮が盛り上がった部位より伸びており, 各節の先端での密度が高く, 内側に腕曲していた(第7図)。

3) 個眼形態

ヒメボタル 形状は複眼のどの部位に於いても正六角形で, 縦横整然と並んでおり, 個眼の角膜はあまり隆起していなかった(第8図)。個眼直径は22 μ mと短かった(第9図)。

ヤエヤマボタル 形状は正六角形で縦横整然と並んでおり, 長径は21 μ mと短かった(第10図)。

4) 口器形態

a. 小腮鬚

ヒメボタル 3節からなり, 各節より感覚毛が伸びていた(第11, 12図)。大きさは233×118 μ mであった(第13図)。第3節の先端と内側には細く短い感覚毛が密生していて, 特に内側基部付近での密度が高かった(第12図)。

ヤエヤマボタル 3節からなり, 各節より感覚毛が伸びていた(第14, 15図)。第3節の先端と内側には細く短い感覚毛が密生しており, 内側に窪んでいた(第16図)。また, 内側より伸びている感覚毛は幾分長く, 先が丸く棒状であり, 密度も高かった(第17図)。

b. 下唇鬚

ヒメボタル 先端に向かって広がっており, 内側は三股に分かれて, その先端部より, 極く短い感覚毛が伸びていた(第18図)。縦横の長さは213×141 μ mと短く, 又厚さも54 μ mで長くなく, 表皮より伸びている感覚毛の密度は低かった(第18, 19図)。

ヤエヤマボタル 先端が三つ又に分かれており, 左右不均等であった(第20図)。分かれた先端部より極く短い感覚毛と, 突起状の感覚毛が認められた(第22図)。縦横の長さは108×82 μ mと小さく, 厚さも27 μ mと薄かった(第20, 21図)。

2. LL システム型ホタル

1) 頭部形態の概要

ヘイケボタル・**キイロスジボタル**とも複眼が大きく発達して球形に近く, 前胸背よりはみ出していた(第23, 24図)。ヘイケボタルの大顎は, 先まで太いが(第34図), キイロスジボタルの大顎は, 先が細く, 尖っていた(第37図)。

2) 触角形態

ヘイケボタル 形状は桿状で(第25図), 表皮は僅かに鱗状を呈しており, 全体的には隆起は少なく, 滑らかであった(第28図)。感覚毛には2種類のものが認められ, そのうち1つは太く長く, 他の1つは細く短いものであ

り、触角表皮の盛り上がった部位より伸びていた(第27図)。長い感覚毛の密度は、触角の各部位に於いて均等であり、短い感覚毛は各節の先端付近での密度が高かった(第27図)。触角の各節の先端付近で触角内側に腕曲している感覚毛が多く認められた(第27図)。

キイロスジボタル 形状は桿状で(第26図)、全体的には隆起は少なく、滑らかであった(第29図)。感覚毛には2種類のものが認められ、ヘイケボタルのものに似ていた(第29図)。長い感覚毛の密度は触角の各部位に於いて均等であり、短い感覚毛は各節の先端付近での密度が高かった(第29図)。触角の各節の先端付近の感覚毛は内側に腕曲していた(第29図)。更に触角の先端に太く短い感覚毛が認められた(第30図)

3) 個眼形態

ヘイケボタル 形状は複眼のどの部位に於いても正六角形で縦横整然と並んでいた(第31図)。個眼直径は $28\mu\text{m}$ と長く、大きかったが個眼の触膜は、あまり隆起していなかった(第32図)。

キイロスジボタル 形状は正六角形で縦横整然と並んでいた(第33図)。個眼直径は $23\mu\text{m}$ であり、あまり小さくなかった。

4) 口器形態

a. 小腮鬚

ヘイケボタル 3節よりなり、各節より感覚毛が伸びていて、感覚毛の密度が僅かに高かった(第34図)。第3節の形状は先端に向かって細くなっており、先端が丸くなっていて、その先端と内側に短い感覚毛が密生し(第35図)、特に内側基部付近での密度が高かった(第36図)。

キイロスジボタル 3節よりなり、各節より感覚毛が伸びており、その密度は高かった(第37図)。第3節の形状は小さくて短く $189 \times 122\mu\text{m}$ 、先端に向かって細くなっており、その先端から内側に沿って細く短い感覚毛が認められ、その密度は高かった(第38, 39図)。

b. 下唇鬚

ヘイケボタル 内側に向かって広がっており、四股に分かれて、先端から1番目の突起と2番目の突起が近接していた(第40図)。分かれた突起の先端より、極く短い感覚毛が伸びていて、先端から2番目の突起と、4番目の突起で感覚毛の数が多かった(第41図)。突起の先端より伸びている感覚毛には、円錐状のものと、小さな球状のものが認められた(第42図)。表皮より伸びている感覚毛はまっすぐに伸びていた。

キイロスジボタル 形状は三角形で感覚毛に覆われていた(第43図)。先端から内側に沿って窪んでおり、その内側からは比較的長い感覚毛が伸びていて、その密度は

低かった(第44図)。

3. LC システム型ホタル

1) 頭部形態の概要

ゲンジボタルの複眼は大きく発達しており、球形に近く、前胸背よりはみ出していた(第45図)。口器も大きく発達しており、大顎は太く、大きく右側の大顎が上になっていた(第45図)。

2) 触角形態

ゲンジボタル 形状は桿状で $170\mu\text{m}$ と大きく、触角表皮はかなり荒かった(第47図)。感覚毛には2種類のものが認められた(第46図)。長い感覚毛は $241\mu\text{m}$ と非常に長く、ソケット状になった触角表皮より伸びており、短い感覚毛は、触角表皮が盛り上がった部位より伸びていた(第46図)。長い感覚毛の密度は触角の各節の各部位に於いて均等であったが、短い感覚毛は各節の中央から先端にかけて密度が高かった(第46図)。

3) 個眼形態

ゲンジボタル 形状は複眼のどの部位に於いても正六角形をしており、複眼の末端部まで、縦横整然と並んでいた(第49,50図)。個眼直径は $29\mu\text{m}$ と長く大きかった。角膜中央はさほど隆起していなかった(第48図)。

4) 口器形態

a. 小腮鬚

ゲンジボタル 3節よりなり、各節より感覚毛が伸びていた(第51図)。形状は $425 \times 216\mu\text{m}$ と大きく、ほぼ長方形をしており、感覚毛の密度も高かった(第52図)。第3節の先端と内側に細く短い感覚毛が密生しており、内側基部での密度が高かった(第53図)。

b. 下唇鬚

ゲンジボタル 内側が五股に広がり、分かれていて、その分かれた突起の先端より、極く細く短い感覚毛が伸びていた(第54図)。形状は $399 \times 233\mu\text{m}$ と大きく、表皮より伸びている感覚毛も多くまっすぐに伸びていた(第54図)。先端から4番目と5番目の突起が近接しており、1番目と5番目の突起での感覚毛の数が多かった(第55図)。突起の先端より伸びている感覚毛には、円錐状のものと球形で小さいものの2種類が認められた(第56図)。

4. PR 型ホタル

1) 頭部形態の概要

アキマドボタル、ミヤコボタルとも前胸背幅は各々 $5817\mu\text{m}$ 、 $5540\mu\text{m}$ であり、非常に大きく、複眼が前胸背の中に隠れてしまっていた(第57,58図)。触角、口器(小腮鬚、下唇鬚)ともに大きいが、大顎は小さく離れていた(第67図)。

2) 触角形態

アキマドボタル 形状は板状で幅は $670\mu\text{m}$ と大きく太かった(第59図)。表皮は殆ど感覚毛の生える土台となっているために、突起状を呈していた(第61図)。感覚毛には2種類のものが認められ、そのうち1つは太く長く、他の1つは細く短いものであり、長い感覚毛は触角表皮がソケット状になった部位より伸びており、節がはっきりと認められた(第61図)。短い感覚毛は、触角表皮が盛り上がった部位より伸びていた。感覚毛の密度は高く、触角全面より伸びており、短い感覚毛の方が長い感覚毛より密度が高かった(第61図)。触角先端より伸びている感覚毛は、他の部位の感覚毛に比べ長くまっすぐに伸びていた(第62図)。

ミヤコマドボタル 形状は板状で幅は $723\mu\text{m}$ と大きくかった(第60図)。表皮は鱗状を呈しているが、全体的に滑らかであった(第63図)。感覚毛には2種類のものが認められ、アキマドボタルのそれに似ていた。長いものは触角表皮がソケット状になっている部位より伸びており、短いものは触角表皮が盛り上がった部位より伸びていた(第63図)。感覚毛の密度は幾分高く、触角全面より伸びており、短い感覚毛の方が長い感覚毛より密度が高かった(第63図)。どの感覚毛も触角の内側に腕曲していた(第63図)。触角先端より伸びている感覚毛は他の部位の感覚毛に比べ長かった(第64図)。

3) 個眼形態

アキマドボタル 個眼表面がキチン質に覆われていたために形態を明確にとらえる事ができなかったが、縦横が整然と並んでいる事が認められたので、六角形をしていると考えられた(第65, 66図)。個眼直径は $21\mu\text{m}$ と小さかった。

4) 口器形態

a. 小腮鬚

アキマドボタル 3節よりなり、各節より感覚毛が伸びていた(第68図)。形状は $643\times 294\mu\text{m}$ と大きく幅も $246\mu\text{m}$ と厚く、先端部に向かって細く、内側に向かって薄くなっていた(第69図)。先端から内側に沿ってと、内側先端付近に、きわめて細く短い感覚毛が伸びていた(第69図)。表皮より伸びている感覚毛の密度は、かなり高かった(第68図)。

ミヤコマドボタル 3節よりなり、アキマドボタルのそれと似ていた(第70図)。形状は $443\times 287\mu\text{m}$ と大きく幅も $242\mu\text{m}$ と厚さもあり、先端部に向かって細く、内側に向かって、薄くなっていた(第72図)。先端から内側に沿って極く細く短い感覚毛が伸びており、先端には亀裂が入っていて、その内部より感覚毛が伸びていた(第72図)。表皮より伸びている感覚毛の密度が高かった(第

71図)。

b. 下唇鬚

アキマドボタル 形状は三角形で $384\times 228\mu\text{m}$ と大きく、先端が尖っていた(第73図)。先端から内側に沿って一直線上に極く細く短い感覚毛が伸びていた(第74図)。表皮から伸びている感覚毛の密度は低かった(第73図)。

ミヤコマドボタル 形状は三角形で $281\times 184\mu\text{m}$ と大きく、先端が尖っていた(第75図)。先端から内側に沿って一直線上に極く細く短い感覚毛が伸びており、先端部に於いては亀裂が入っており、その内部より感覚毛が伸びていた(第76図)。表皮より伸びている感覚毛の密度は低かった(第75図)。

5. CR システム型ホタル

1) 頭部形態の概要

ムネクリイロボタルの複眼が小さく、前胸背の中に隠れてしまっていた(第77,82図)。触角が大きく、大顎も大きく左右が重なっていない(第77図)。

2) 触角形態

ムネクリイロボタル 触角の形状は櫛歯状で $323\mu\text{m}$ とあまり大きくなく、触角の各節の下部より枝状に2本伸びていた(第78図)。表皮は鱗状を呈していた(第79図)。

感覚毛には2種類のものが認められ、そのうち1つは、太く長く、他の1つは細く短かったが、長い感覚毛は $79\mu\text{m}$ と長くなかった(第79図)。長い感覚毛は、触角表皮がソケット状になっている部位より伸びており、短い感覚毛は、触角表皮が盛り上がった部位から伸びているものと、ソケット状になっている部位より伸びているものの2種類が認められ、短い感覚毛の方が長い感覚毛より密度が高かった(第79図)。触角表面当たりの感覚毛の密度は高くなかったが、触角の各節の先端の感覚毛が他の部位の感覚毛に比べ長かった(第79図)。

3) 個眼形態

ムネクリイロボタル 個眼は完全な六角形とは言えず、並び方も多少乱れていた(第80図)。個眼中央部が隆起しており、個眼直径は $26\mu\text{m}$ と比較的長い(第81図)。

4) 口器形態

a. 小腮鬚

ムネクリイロボタル 3節よりなり、各節より感覚毛が伸びているが、密度は低かった(第83図)。形状は $202\times 159\mu\text{m}$ と小さく、内側に向かって、薄くなっていた(第84図)。先端から内側に沿って亀裂が入っており、その内部から細く短い感覚毛が伸びており、その感覚毛の密度は高かった(第84図)。

b. 下唇鬚

ムネクリイロボタル 形状は半円形で尖った先端から

内側に沿って亀裂があり、その内部より細く短い感覚毛が伸びていた(第87図)。縦横の長さは $184 \times 120 \mu\text{m}$ と小さかったが幅は $62.5 \mu\text{m}$ と広がった。(第86図)。表皮より伸びている感覚毛の密度は低かった(第85図)。

6. LBシステム型ホタル

1) 頭部形態の概要

オバボタルの複眼は非常に小さく前胸背の中に完全に隠れていた。触角、口器とも大きく、特に小腮鬚が大きかった(第88図)。大顎は細く、先が尖っており、右側の大顎が上になっていた。

2) 触角形態

オバボタル 形状は板状で、幅は $3185 \mu\text{m}$ と広く大きかった。表皮は感覚毛の生える土台となっている為、殆ど突起状を呈していたが、その隙間より覗ける表皮は滑らかであった(第89図)。感覚毛には2種類のものが認められ、その1つは太く長く、他の1つは細く短く、長い感覚毛は触角表皮がソケット状になっている部位より伸びており、節がはっきりと入っていた(第90図)。短い感覚毛は触角表皮が盛り上がった部位より伸びているが、その形状はソケット状に近かった(第91図)。短い感覚毛には、先が丸くて太いものと、先の尖ったものが認められたが、先の丸く太い感覚毛の方が遙かに多く存在していた(第89図)。感覚毛の密度は高く、触角各節より均等に伸びていたが、短い感覚毛の密度の方が、長い感覚毛の密度より高かった(第89図)。

3) 個眼形態

オバボタル 個眼は六角形若しくは、五角形であり、大きさも様々で並び方も乱雑であった(第92図)。個眼中央部が幾分隆起していた(第93図)。

4) 口器形態

a. 小腮鬚

オバボタル 3節よりなっているが、1節目と2節目が短く、3節目を覆うように連なっていて、かく節より感覚毛が伸びていた(第95図)。縦横の長さは $640 \times 305 \mu\text{m}$ と大きく、厚さも $208 \mu\text{m}$ であり(第94図)、感覚毛の密度も高かった(第96図)。形状は半円状で内側に向かって、薄くなっており、先端から内側に沿って基部に至るまで一直線上に、極く短い感覚毛が認められた(第96, 97図)。第1節目と2節目の先端に沿って穴が認められた(第96図)。

b. 下唇鬚

オバボタル 形状は $403 \times 169 \mu\text{m}$ と幅広く大きい厚さは薄かった(第98図)。先端から内側に沿って基部に至るまで、極く短い感覚毛が伸びており、感覚毛が伸びている基部に亀裂が入っていて、その内部よりも感覚毛が

伸びていた(第98図)。表皮より伸びている感覚毛の密度は高かった(第97図)。

各システムの比較検討

1. HPシステム型ホタル

1) 触角形態

今回調べた6型のコミュニケーション・システムのホタルの中では最も幅が狭く細かった。ヒメボタルでは $57 \mu\text{m}$ 、ヤエヤマヒメボタルでは $51 \mu\text{m}$ であった。前胸背の幅を基準とした相対値に於いても最小値となった。

感覚毛の長さも、夜行性のホタルの中では一番短く、密度も低かった。

2) 個眼形態

夜行性のホタルの中では大きくないが、前胸背の幅に対する相対値に於いては、他の夜行性ホタルの個眼直径のものと同様でなかった。

a. 小腮鬚

大きさは夜行性のホタルの中で最小であり、キイロスジボタルでは $163 \times 64 \mu\text{m}$ であった。前胸背に対する相対値に於いては大差がなく、厚さに於いては最大値となった。

b. 下唇鬚

他の夜行性のホタルと比べると小さいが、前胸背に対する相対値に於いては変わらなかった。

2. LLシステム型ホタル

1) 触角形態

HPシステム型ホタルの触角に次いで触角幅が狭く細かった。ヘイケボタルでは $114 \mu\text{m}$ 、キイロスジボタルでは $97 \mu\text{m}$ であった。

感覚毛の長さはLCシステムの感覚毛に次いで長かった。ヘイケボタルでは $152 \mu\text{m}$ であった。

2) 個眼形態

他のコミュニケーション・システムのホタルと比べるとヘイケボタルでは $28 \mu\text{m}$ と大きい、前胸背の幅に対する相対値は大差がなかった。

3) 口器形態

a. 小腮鬚

全体的な形状はHPシステム型のホタルのものと同様で変わらないが、感覚毛の密度がやや高かった。

b. 下唇鬚

前胸背の幅に対する相対的な値では、縦横の長さは、他のホタルの長さと同様でなかった。キイロスジボタルの下唇鬚の形状は他の夜行性のホタルの下唇鬚の形状とは異なっていた。今後研究の余地が残されている。

3. LCシステム型ホタル

1) 触角形態

夜行性のホタルの中では最も触角が大きい(3650 μm)、体のサイズが大きいので、前胸背の幅に対する相対値はあまり大きくなく、LLシステム型ホタルの相対値と大差なかった。感覚毛の密度は夜行性のホタルの中では最も高かった。

2) 個眼形態

今回調べた中では29 μm と最大であったが、前胸背の幅に対する相対値に於いては、夜行性のホタルの中では最小となった。

3) 口器形態

a. 小腮鬚

夜行性のホタルの中では425 μm ×216 μm と最大で、感覚毛の密度も最も高かった。形状は他の夜行性のホタルのものと類似していた。

b. 下唇鬚

夜行性のホタルの中では399 μm ×233 μm と最大であるが、前胸背の幅に対する相対的な値は他の夜行性のホタルの相対値と変わらなかった。表皮より伸びている感覚毛の密度は高い方であった。

4. PR システム型ホタル

1) 触角形態

今回調べた6型のコミュニケーション・システムのホタルの中では最も触角が大きく太く、アキマドボタルでは670 μm 、ミヤコマドボタルでは723 μm であった。また、感覚毛の密度もかなり高かった。

2) 個眼形態

個眼直径はアキドボタルでは21 μm 、ミヤコマドボタルでは22 μm とあまり大きくなく、前胸背の幅に対する相対値に於いては、今回調べたホタルの中では最小となった。形状は他のホタルと比べるとはっきりしなかった。

3) 口器形態

a. 小腮鬚

大きさは643 μm ×294 μm (アキマドボタル)と夜行性ホタルの小腮鬚の大きさの約2倍あるが、前胸背の幅に対する相対的な値は変わらなかった。形状は夜行性のものより、先が尖っていた。

b. 下唇鬚

形状は夜行性のホタルの下唇鬚とは異っており、表皮より伸びている感覚毛の密度も低かった。縦横の長さの値は、384 μm ×228 μm と大きいですが、前胸背の幅に対する相対値は今回調べたホタルの中で最も小さく、幅も狭かった。

5. CR システム型ホタル

1) 触角形態

昼光性ホタルの中では触角は323 μm と大きい方では

ないが、前胸背の幅に対する相対的な値では今回調べたホタルの中では最大となった。触角表面積当たりの感覚毛の密度は高くないが、触角が枝分かれしていることにより、触角表面積が広いので、感覚毛数は少なくなかった。

2) 個眼形態

夜行性ホタルの個眼と比較すると、並び方が多少乱れていて、個眼中央部が幾分隆起していた。昼行性ホタルの中では個眼は大きく、夜行性ホタルの個眼の大きさに匹敵した。

3) 口器形態

a. 小腮鬚

今回調べたホタルの中では小さい方で(202 μm ×159 μm)、内側に亀裂が入っていた。これは他のホタルには見られなかった。

b. 下唇鬚

小腮鬚同様に沿って亀裂が入っており、他のホタルとは異なっていた。今回調べたホタルの中では小さいが、前胸背の幅に対する相対値はあまり小さくなく、幅は広かった。

6. LB システム型ホタル

1) 触角形態

形状はPRシステム型のホタルのものに類似していた。他の触角には見られない太く細い先の丸い感覚毛が認められた。

2) 個眼形態

今回調べたホタルの中では20 μm と最も個眼が小さかった。他のホタルと比べると、個眼の並び方がかなり乱れていた。

3) 口器形態

a. 小腮鬚

縦横の長さ、厚さともに大きく(長さ640 μm ×305 μm 、厚さ208 μm)、前胸背の幅に対する相対値は他のホタルの約2倍であった。

b. 下唇鬚

縦横の長さは今回調べたホタルの中では最大で(403 μm ×3163 μm)、前胸背の幅に対する相対値も最大となった。

6型のコミュニケーション・システムを代表するホタルの触角、個眼、及び口器(小腮鬚、下唇鬚)の大きさを第1表に、また形態的特徴の概要を第2表に示した。

6つの型のシステムを代表するホタルについて頭部の微細形態を比較検討したところ、全てのホタルの触角に於いて、長い感覚毛と短い感覚毛が認められた。2種類

第1表 コミュニケーション・システム別にみたホタルの触角、個眼、口器の大きさの比較.

コミュニケーションシステム	HP システム	LL システム	LC システム	PR システム	CR システム	LB システム
*複眼直径 e/p (大場, 1978)	0.80-0.70	0.70-0.65	0.45-0.27	0.45-0.27	0.30-0.27	0.22-0.20
*触角の大きさ log a/p (大場, 1978)	0.59-0.45	0.85-0.87	1.11-0.85	1.49-1.18	1.58-1.11	1.70-1.11
前胸背幅(μm)	2336	2700	3650	5817	2209	3185
触角幅(μm)	57	114	170	670	323	403
a/p×100	2.4	4.2	4.7	11.5	14.6	12.7
感覚毛長(μm)	113	152	241	98	79	89
	4.8	5.6	6.6	1.7	3.6	2.8
個眼直径(μm)	22	28	29	21	26	20
o/p×100	0.9	1	0.8	0.4	1.2	0.6
下唇鬚長(μm)	233×118	382×148	425×216	643×294	202×159	640×305
ml/p×100	10×5	13×5.5	11.6×5.9	11×5	8.4×6.6	20×9.6
下唇鬚幅(μm)	122	123	174	246	91	208
m/p×100	5.2	4.8	4.8	4.2	4.1	6.5
小腮鬚長(μm)	213×141	311×167	399×233	384×228	184×120	403×163
l/p×100	9.1×6	11.5×6	10.9×6.4	6.6×3.9	8.3×5.4	12.7×5.1
小腮鬚幅(μm)	54	57	60	69	62.5	65
lw/p×100	2.3	2	1.6	1.2	2.8	2

OHBA (1983) に加筆改変.

*大場(1978) 光学顕微鏡にて測定.

6 型のコミュニケーション・システム別に触角、個眼、口器(小腮鬚、下唇鬚)の各部位の実測値を求め、更に各々について前胸背の幅に対する相対値を求めた。実測値は最大値を使用。p: 前胸背幅、o: 個眼幅、m: 下唇鬚幅、ml: 下唇鬚長、lw: 小腮鬚幅、l: 小腮鬚長

測定は雄について行い、有効数字は実測値に於いて、小数点第一位を四捨五入し、相対値については、小数点第二位を四捨五入した。

の感覚毛はそれぞれ異なった機態を有すると考えられる。特に夜行性のホタルに於いて短い感覚毛の密度が高かったことから、性フェロモンによるコミュニケーションと深い関係があると推定できる。今後さらに研究を進め、活動習性と結びつけることにより、その機態が明確になることが期待できる。特にオバボタルの長円形の特異な触角については研究の余地が残されている。また、雄の口器が雌の体に触れると、雄が興奮し、交尾活動が解発されることが OHBA (1983) により明かにされていることから、小腮鬚又は下唇鬚の内側の極く小さな感覚毛が、何らかの性フェロモンを感受する機能を果たしていると考えられる。今後実験的に微細構造の機能を明かにしたい。

触角・複眼および口器について、各々のホタルの前胸背に対する大きさの相対比較を行ったところ、次のような方向性が認められた。触角幅・個眼直径などについてはすでに OHBA (1983) や大場・佐藤 (1988) が光学顕微鏡で比較検討して、指摘したように、電子顕微鏡での比

較によっても同様な結果が裏付けられた。本研究では以下のように、微細な口器の形態においても新たに機能を反映すると考えられる形態上の方向性が確認された。

活動習性	夜行性→昼行性
触角幅	小 →大
感覚毛長	大 →小
個眼直径	大 →小
小腮鬚	大 →小
下唇鬚	小 →大

今後の研究課題として、更に多くのホタルについて比較検討する必要があり、さらに雌のホタルとの比較も重要である。こうした形態的差異を生態的差異と関連づけることによって、より明確なホタルの分類を可能とすることが期待できる。

第2表 6型のコミュニケーション・システムを代表するホタルの触角、個眼、及び口器(小腮鬚、下唇鬚)の形態的特徴。

システム	触角形態	個眼形態	口器形態	
			小腮鬚	下唇鬚
HP	桿状で、触角幅が狭い 感覚毛は短く密度も低い	正六角形 整然と並んでいる	小さいが厚い 感覚毛は内側	三股に分かれている 先端から感覚毛が伸びている 大きさは小さい
LL	桿状で、触角幅が比較的狭い 感覚毛はやや長く密度もやや高い	正六角形 整然と並んでいる	相対的に大きい 感覚毛は内側 基部に密生	四股に分かれている 先端から感覚毛が伸びている 相対的に大きい
LC	桿状で、大きい 感覚毛は長く密度も高い	正六角形 整然と並んでいる 夜行性ホタルでは最大	大きさも密度も夜行性で一番高い 感覚毛は内側 基部に密生	五股に分かれている 先端から感覚毛が伸びている 夜行性で最大
PR	板状で大きく太い 感覚毛は夜行性に比べると短い 密度は高い	形態は明確に促えられない 六角形 整然と並んでいる	大きくて感覚毛は先端から内側に沿った部位から伸びていて密度は低い	扇状で先端から内側に沿って一直線に伸びている 相対的には最小
CR	楕円状で相対的に一番大きい 夜行性に比べると短い 密度は高い	完全な六角形ではない 夜行性に比べると多少乱れて並んでいる	比較的小さい 感覚毛は先端から内側に沿った部位から伸びている	半円形で先端から内側に沿っての亀裂より覚毛が伸びている 比較的小さい
LB	板状で幅が広く大きい 感覚毛の密度が高い 短い感覚毛にも特徴がある	六角形もしくは五角形で並び方は乱雑である 大きさは最小	非常に大きい 半円形で感覚毛は先端から内側に沿った部位から伸びている	先端から内側に沿った部位より感覚毛が伸びており基部では亀裂より伸びている

まとめ

1. 日本産ホタルの代表的8種について、雄の頭部微細形態をコミュニケーション・システムと対応させながら走査型電子顕微鏡を用いて明かにした。
2. 触角の幅(大きさ)は夜行性ホタルに比べ、両行性ホタル、昼行性ホタルの方が実測値に於いても、前胸背の幅に対する相対値に於いても2倍以上大きかった。感覚毛長は逆に夜行性ホタルの方が長かったが、感覚毛の密度は、両行性ホタル・昼行性ホタルのほうが高く、特に短い感覚毛の密度がより高かった。以上のことから、大きく、幅広で、感覚毛の多い触角は性フェロモンによるコミュニケーションに適応した形態といえる。
3. 昼行性ホタルの個眼形態は一定でなく、並びかたも乱雑であるのに対し、夜行性ホタルの個眼は正六角形で、整然と並んでいた。両行性ホタルの個眼は、比較的整然と並び、正六角形のものが多かった。以上のことから正六角形で整然と並んでいる個眼は光信号によるコミュニケーションに適応した形態といえる。

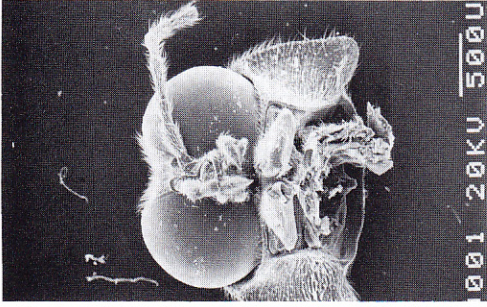
4. 小腮鬚は夜行性・両行性・昼行性ホタルともに大きな差異はみられなかったが、相対的に夜行性のものが大きかった。下唇鬚については、夜行性ホタルのものは特異な形状のキロスジボタルを除き、内側がそれぞれ三股、四股、五股に分かれていたのに対して、両行性・昼行性ホタルのそれは、三角形または楕円形であり、相対的に大きかった。小腮鬚・下唇鬚とも、各々の先端より内側に沿って短い感覚毛が認められた。この感覚毛は交尾相手に接触したときに、匂い物質や感触を認識する上で適応的な構造といえる。

謝辞

本研究を進めるに日本大学応用昆虫学研究室の石原康教授からは研究の便宜とご助言をいただいた。また電子顕微鏡の操作にあたり同大学の岩野秀俊氏ならびに武藤正法氏をはじめ多くの方々のご助力、ご協力をいただいた。以上の各位に対して厚く感謝の意を表す。本研究の一部は、平成3年度文部省科学研究費補助金一般研究C No. 02640515 による。

引用文献

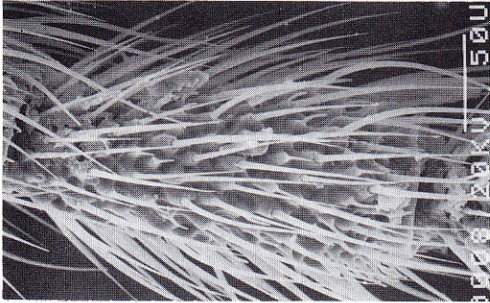
- 神田左京 1935. ホタル. 496ページ. 日本発光生物研究会.
- NAKANE T. 1969. Lycidae. *Fauna japonica*: 218-219, Biogeographical Society of Japan.
- 永谷 隆・田中敬一 1980. 図説 走査電子顕微鏡—生物試料作成法—: 85-124, 朝倉書店.
- 大場信義 1976. ホタル類の形態と習性. 横須賀市博研報(自然), (23): 35-43.
- 大場信義 1978. ホタル類の形態と活動習性. 横須賀市博研報(自然), (25): 15-25.
- OHBA N. 1983. Studies on the communication system of Japanese fireflies. *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.*, (30): 1-62, pls. 1-6.
- 大場信義 1984. ホタルのコミュニケーション. 遺伝, (38): 51-55.
- 大場信義・佐藤正孝 1988. ホタル類の個眼面形態. 横須賀市博研報(自然), (36): 1-10.



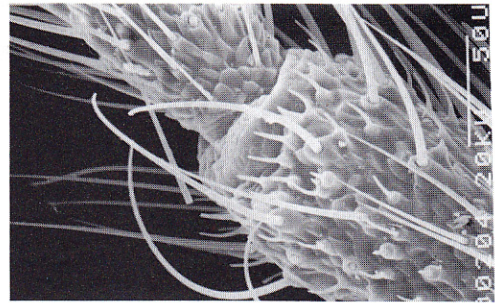
第1図 ヒメボタル頭部(スケール下の数値はその長さを示し、単位は μm 、以後同様)。



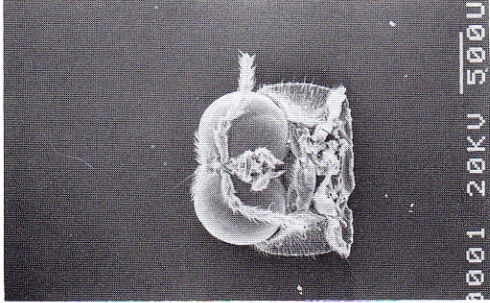
第2図 ヒメボタル触角第3節及び第4節。



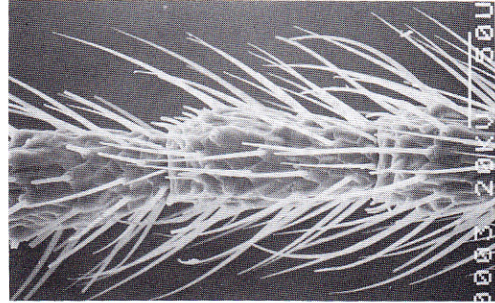
第3図 ヒメボタル触角第5節。



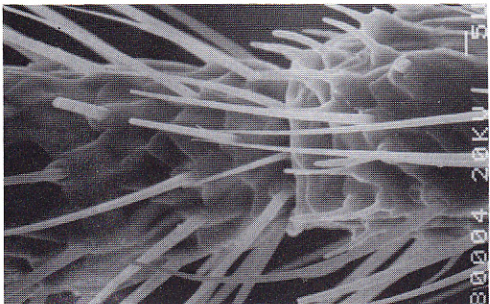
第4図 ヒメボタル触角第3節及び第4節(部分拡大)。



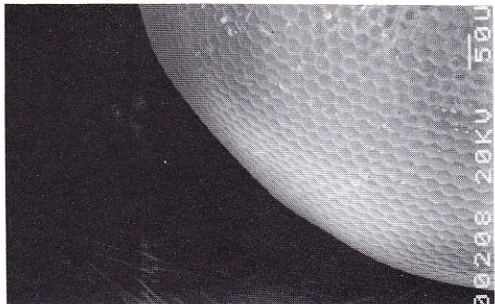
第5図 ヤエヤマボタル頭部。



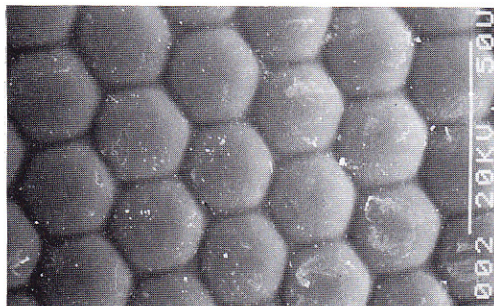
第6図 ヤエヤマボタル触角第5節。



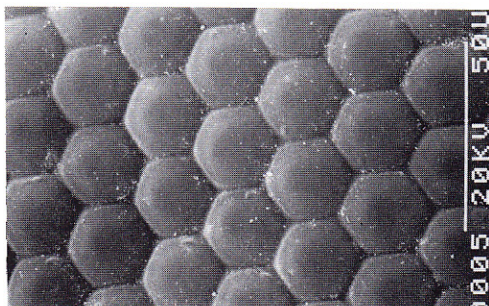
第7図 ヤエヤマボタル触角第5節先端部。



第8図 ヒメボタル複眼側面。



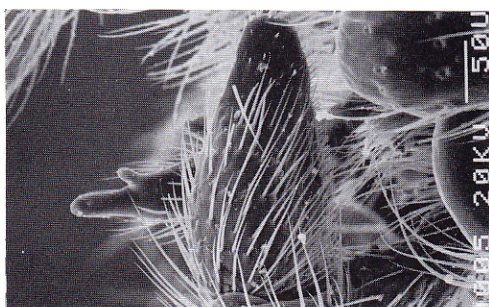
第9図 ヒメボタル複眼中央部の個眼.



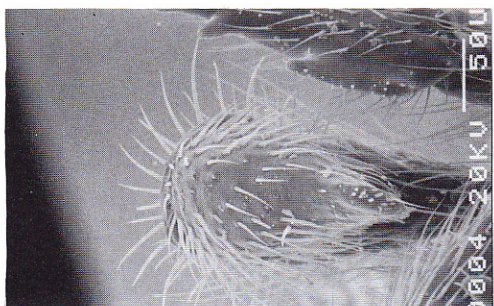
第10図 ヤエヤマボタル複眼中央部の個眼.



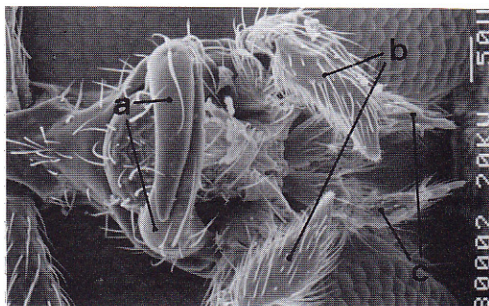
第11図 ヒメボタル口器.
a: 大顎, b: 小腮鬚, c: 下唇鬚.



第12図 ヒメボタル小腮鬚側面.



第13図 ヒメボタル小腮鬚正面.



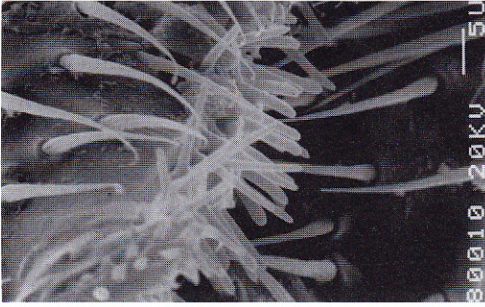
第14図 ヤエヤマボタル口器.
a: 大顎, b: 小腮鬚, c: 下唇鬚.



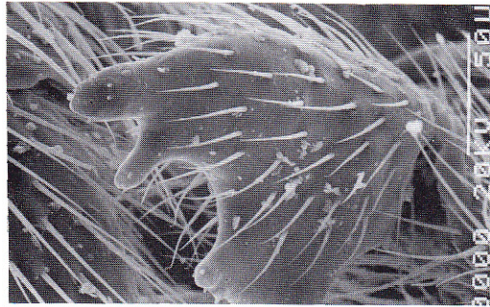
第15図 ヤエヤマボタル小腮鬚側面.



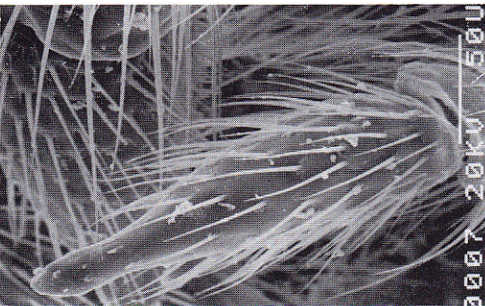
第16図 ヤエヤマボタル小腮鬚正面.



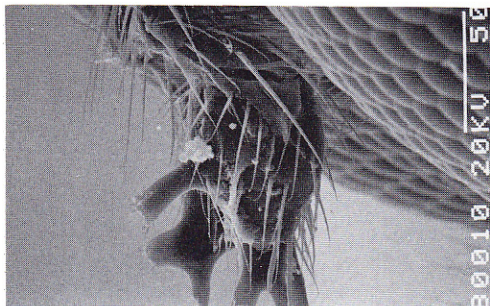
第17図 ヤエヤマボタル小腮鬚正面.



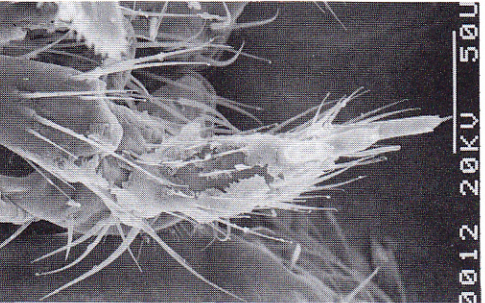
第18図 ヒメボタル下唇鬚側面.



第19図 ヒメボタル下唇鬚上面.



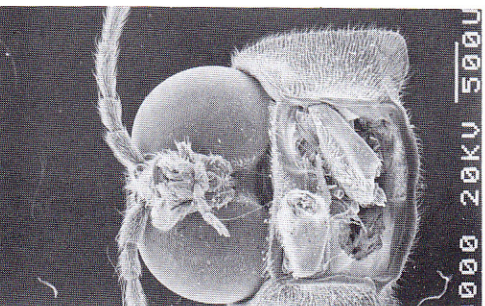
第20図 ヤエヤマボタル下唇鬚側面.



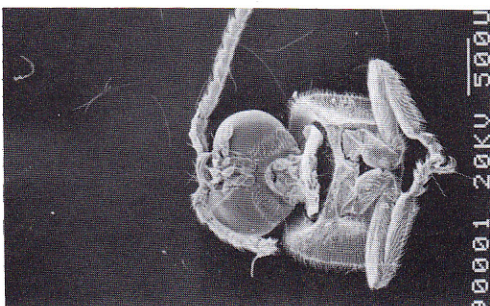
第21図 ヤエヤマボタル下唇鬚上面.



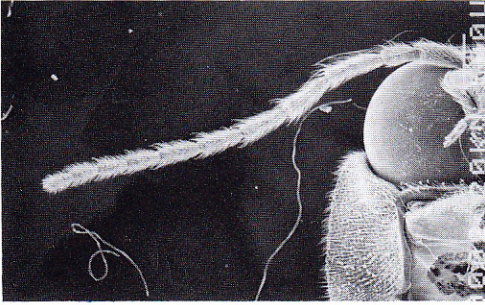
第22図 ヤエヤマボタル下唇鬚先端部.



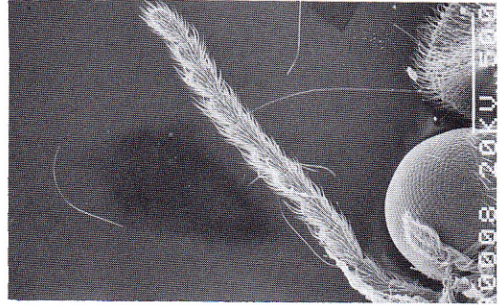
第23図 ヒメボタル頭部.



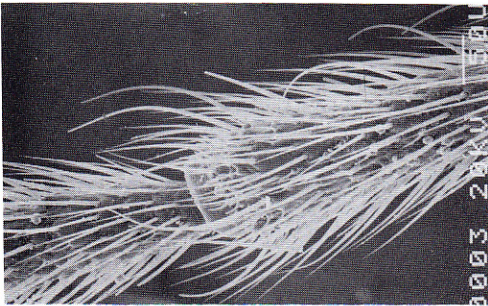
第24図 キイロスジボタル頭部.



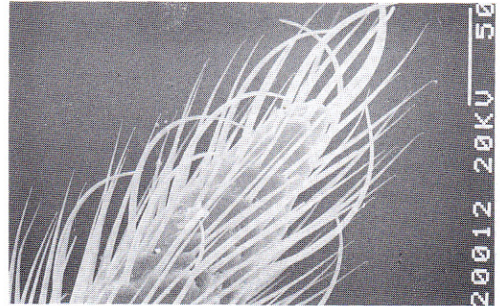
第25図 ヘイケボタル触角.



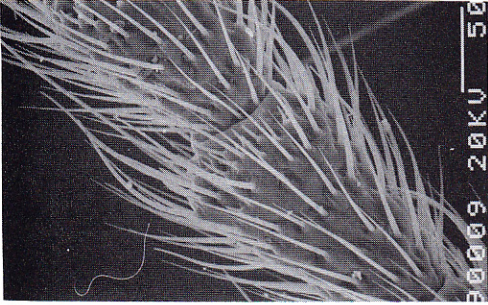
第26図 キイロスジボタル触角.



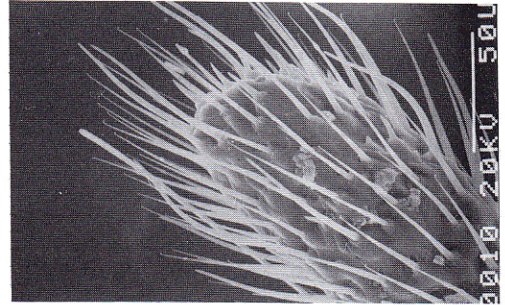
第27図 ヘイケボタル触角第5節.



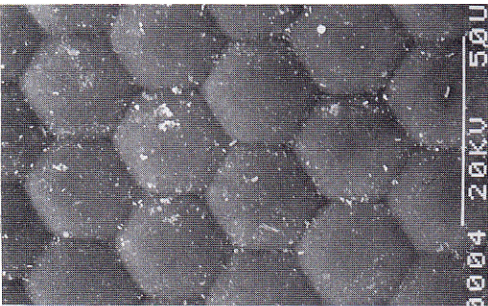
第28図 ヘイケボタル触角先端.



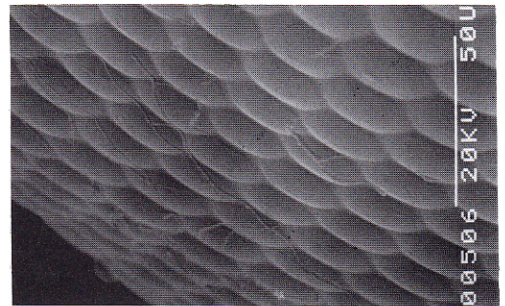
第29図 キイロスジボタル触角第6節及び第7節.



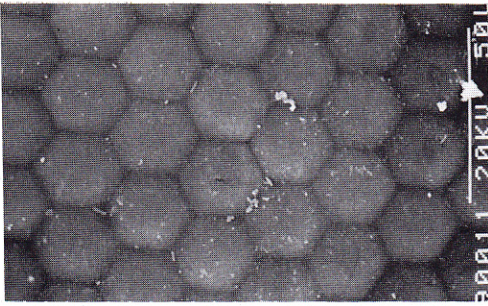
第30図 キイロスジボタル触角先端.



第31図 ヘイケボタル複眼中央部の個眼.



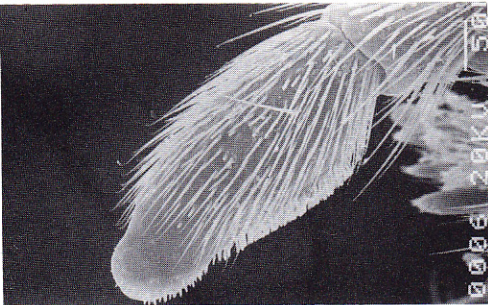
第32図 ヘイケボタル個眼側面.



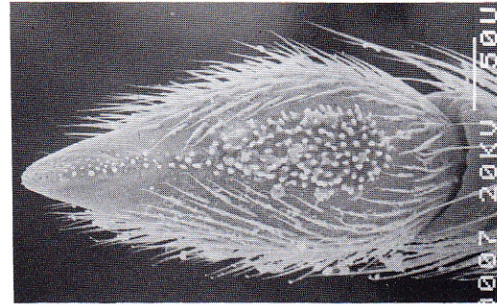
第33図 キイロスジボタル複眼中央部の個眼.



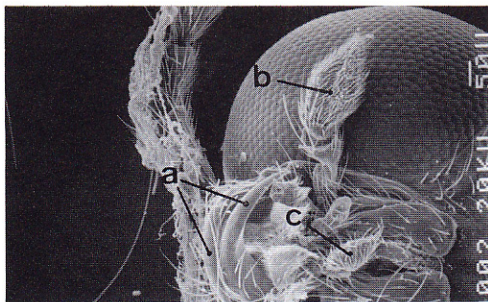
第34図 ヘイケボタル口器.
a: 大顎, b: 小腮鬚, c: 下唇鬚.



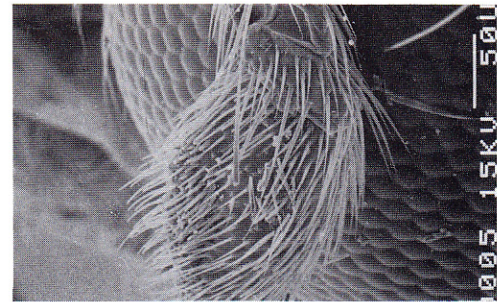
第35図 ヘイケボタル小腮鬚側面.



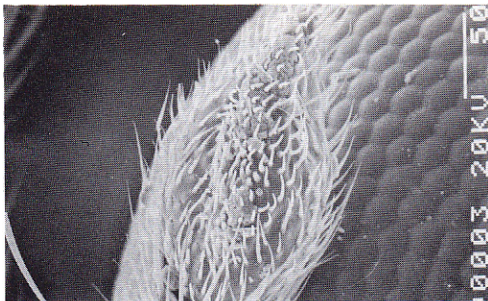
第36図 ヘイケボタル小腮鬚正面.



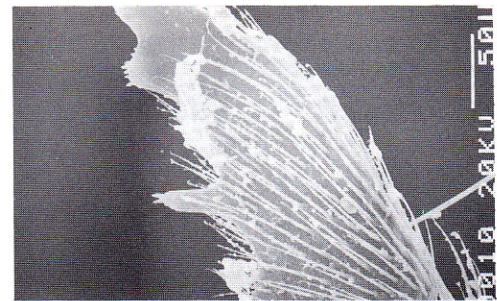
第37図 キイロスジボタル口器.
a: 大顎, b: 小腮鬚, c: 下唇鬚.



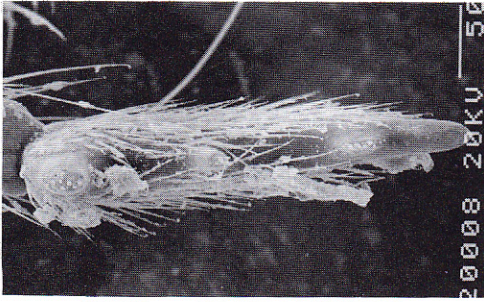
第38図 キイロスジボタル小腮鬚側面.



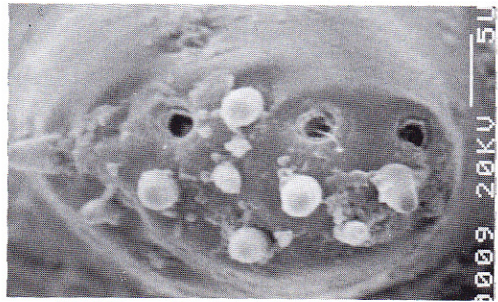
第39図 キイロスジボタル小腮鬚正面.



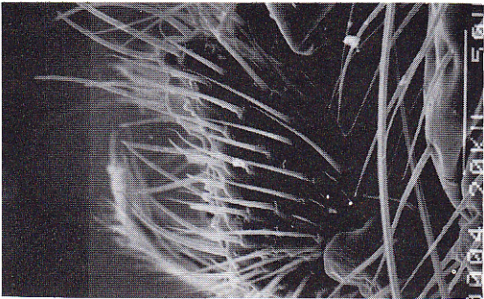
第40図 ヘイケボタル下唇鬚側面.



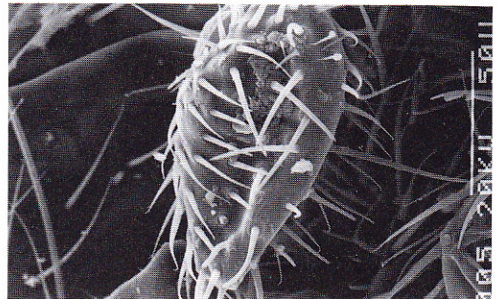
第41図 ヘイケボタル下唇鬚正面.



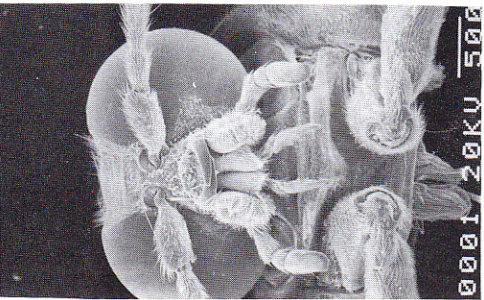
第42図 ヘイケボタル下唇鬚先端の突起.



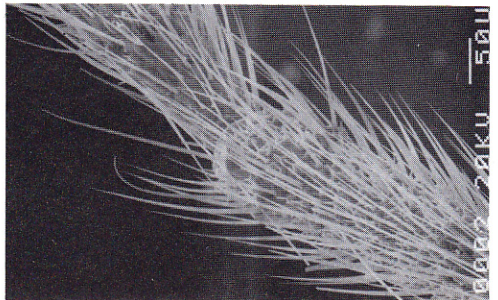
第43図 キイロスジボタル下唇鬚側面.



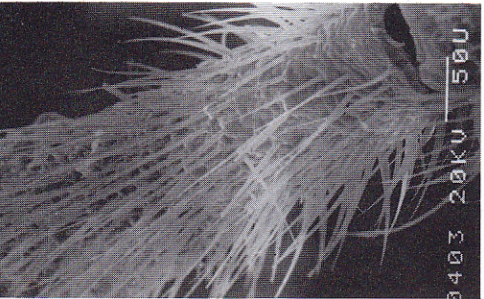
第44図 キイロスジボタル下唇鬚正面.



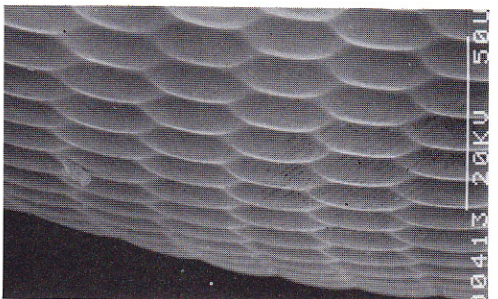
第45図 ゲンジボタル頭部.



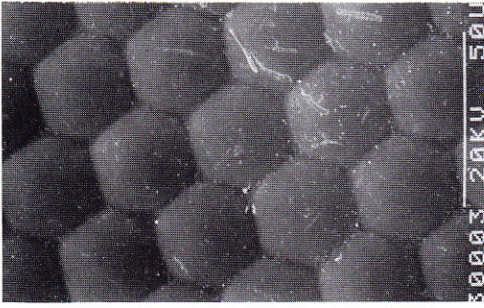
第46図 ゲンジボタル触角第5節.



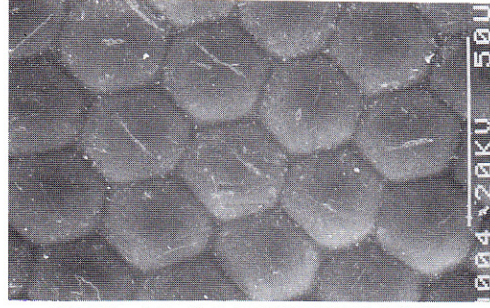
第47図 ゲンジボタル触角.



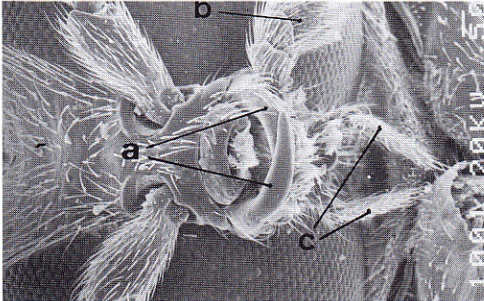
第48図 ゲンジボタル個眼側面.



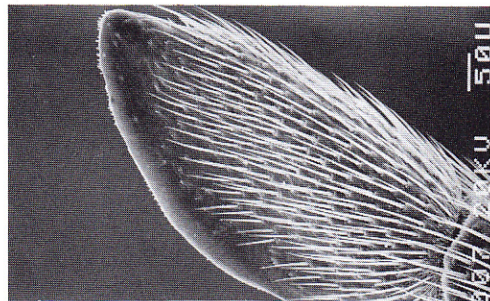
第49図 ゲンジボタル複眼中央部の個眼.



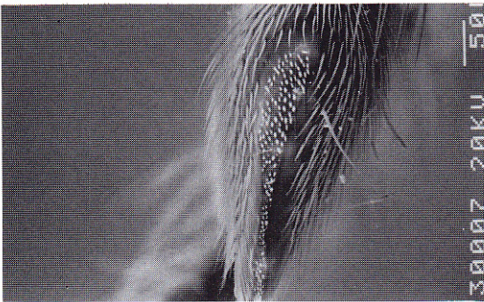
第50図 ゲンジボタル複眼末端部の個眼.



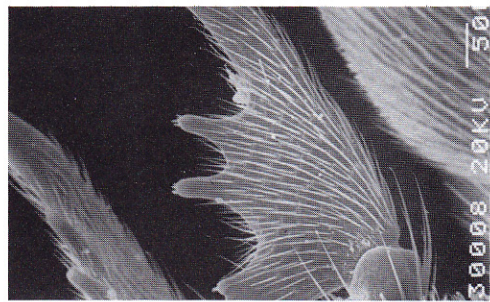
第51図 ゲンジボタル口器.
a: 大顎, b: 小腮鬚, c: 下唇鬚.



第52図 ゲンジボタル小腮鬚側面.



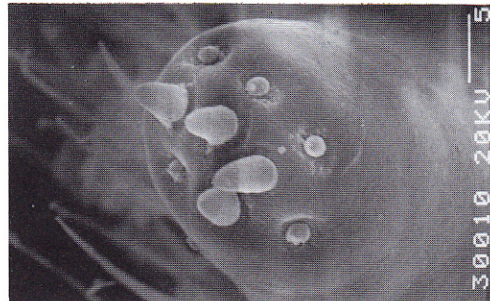
第53図 ゲンジボタル小腮鬚内側.



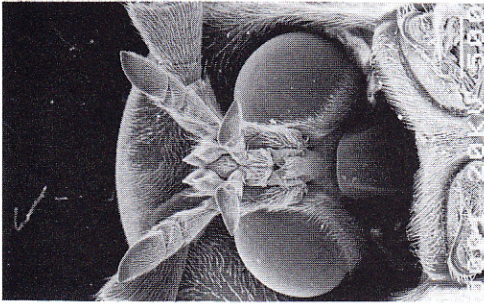
第54図 ゲンジボタル下唇鬚側面.



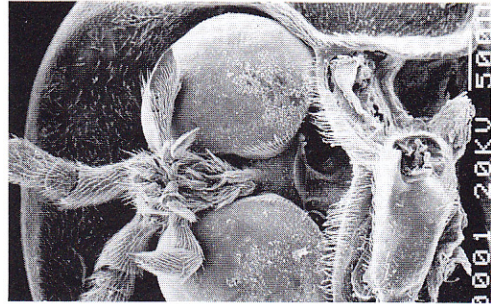
第55図 ゲンジボタル下唇鬚正面.



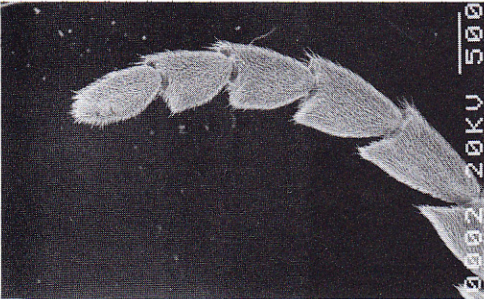
第56図 ゲンジボタル下唇鬚先端の突起.



第57図 アキマドボタル頭部.



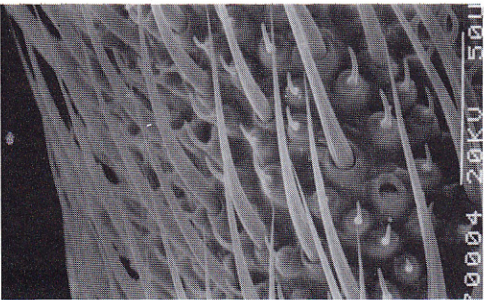
第58図 ミヤコマドボタル頭部.



第59図 アキマドボタル触角.



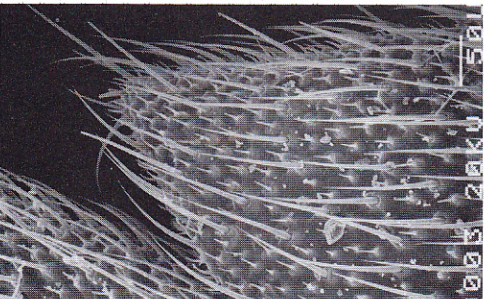
第60図 ミヤコマドボタル触角.



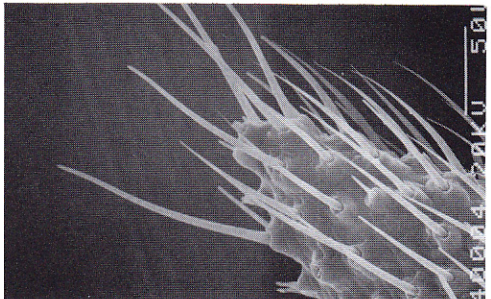
第61図 アキマドボタル触角第5節.



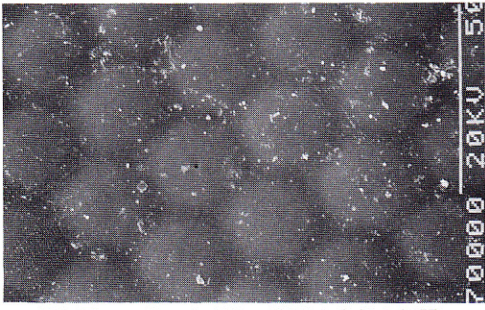
第62図 アキマドボタル触角先端.



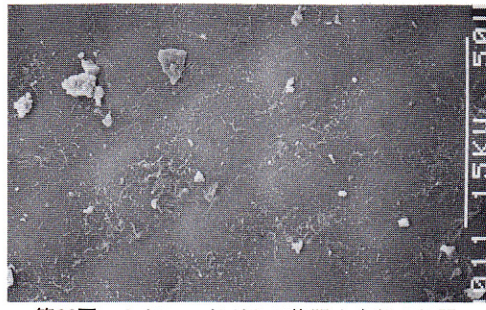
第63図 ミヤコマドボタル触角第5節.



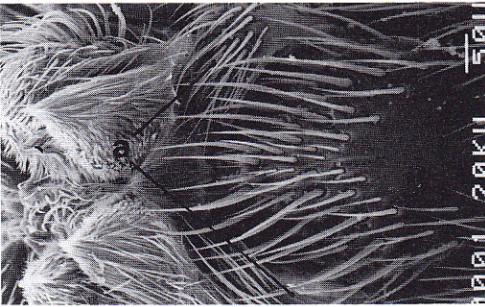
第64図 ミヤコマドボタル触角先端.



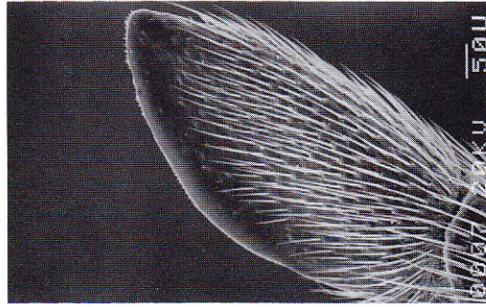
第65図 アキマドボタル複眼中央部の個眼.



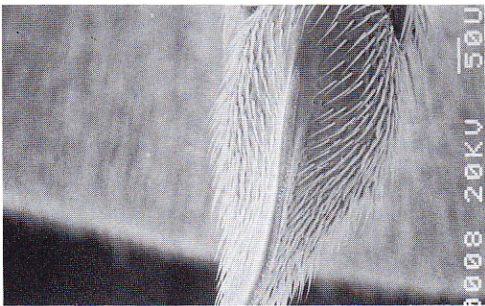
第66図 ミヤコマドボタル複眼中央部の個眼.



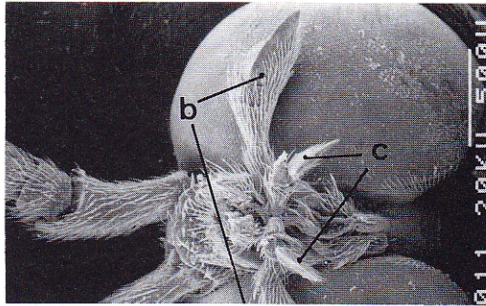
第67図 アキマドボタル a: 大顎.



第68図 アキマドボタル小腮鬚側面.



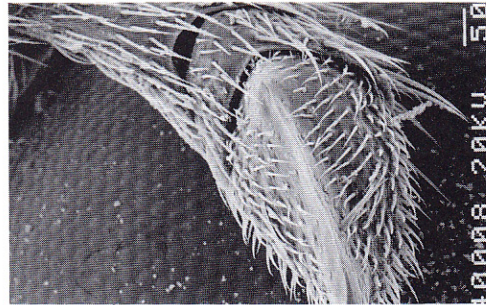
第69図 アキマドボタル小腮鬚正面.



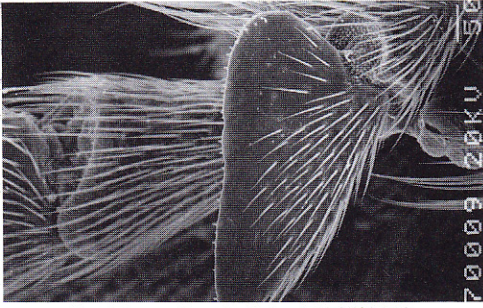
第70図 ミヤコマドボタル口器.
b: 小腮鬚, c: 下唇鬚.



第71図 ミヤコマドボタル小腮鬚側面.



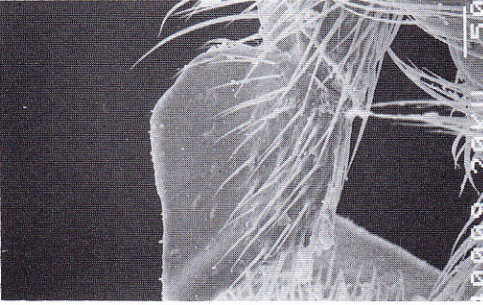
第72図 ミヤコマドボタル小腮鬚正面.



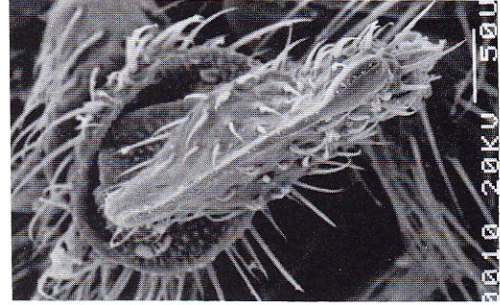
第73図 アキマドボタル下唇鬚側面.



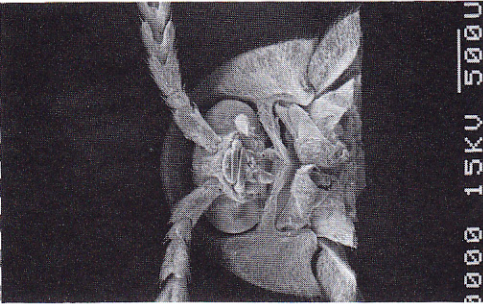
第74図 アキマドボタル下唇鬚正面.



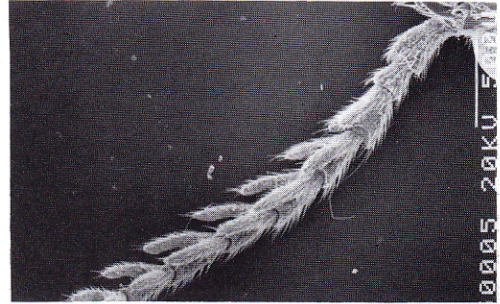
第75図 ミヤコマドボタル下唇鬚側面.



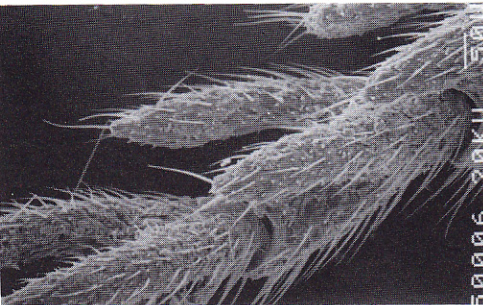
第76図 ミヤコマドボタル下唇鬚正面.



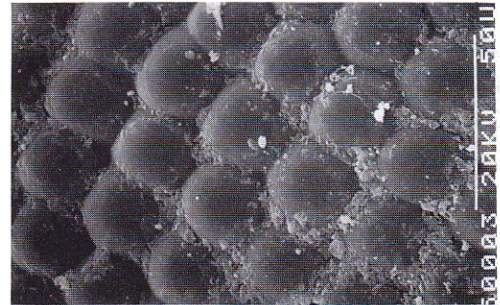
第77図 ムネクリイロボタル頭部.



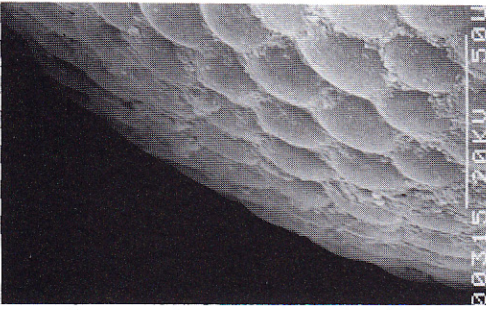
第78図 ムネクリイロボタル触角.



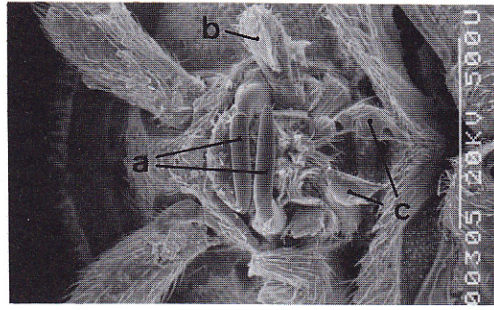
第79図 ムネクリイロボタル触角第5節.



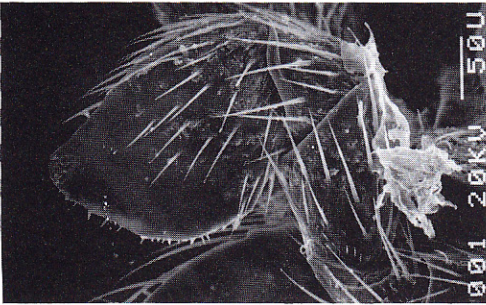
第80図 ムネクリイロボタル複眼中央部の個眼.



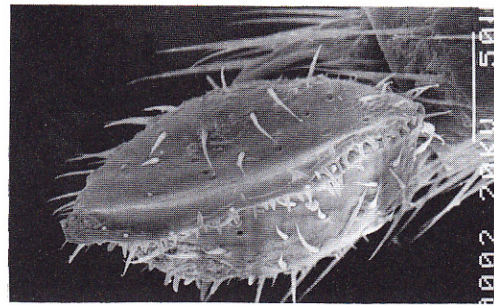
第81図 ムネクリイロボタル個眼側面.



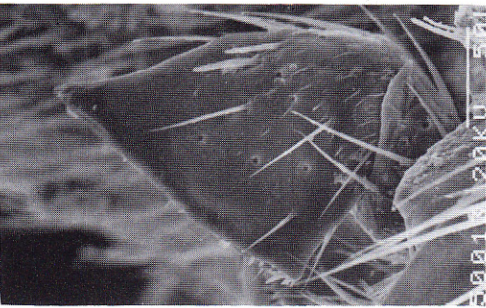
第82図 ムネクリイロボタル口器.
a: 大顎, b: 小腮鬚, c: 下唇鬚.



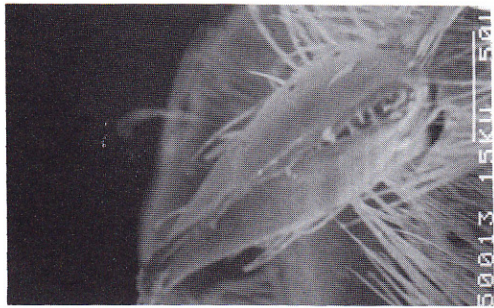
第83図 ムネクリイロボタル小腮鬚側面.



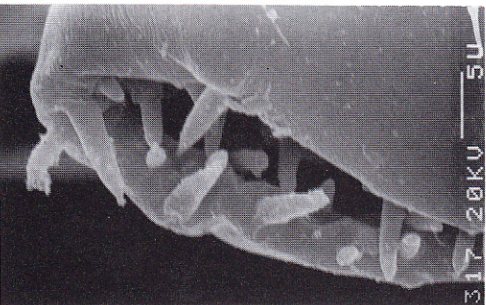
第84図 ムネクリイロボタル小腮鬚正面.



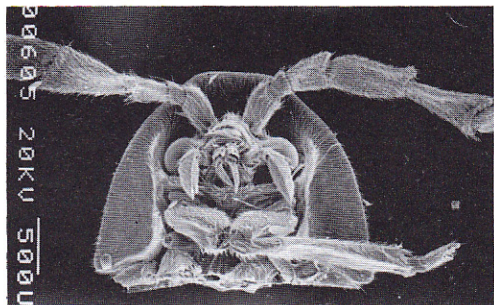
第85図 ムネクリイロボタル下唇鬚側面.



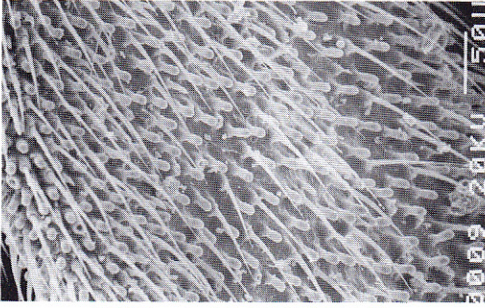
第86図 ムネクリイロボタル下唇鬚正面.



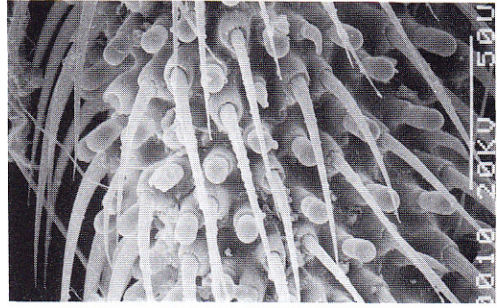
第87図 ムネクリイロボタル下唇鬚正面.



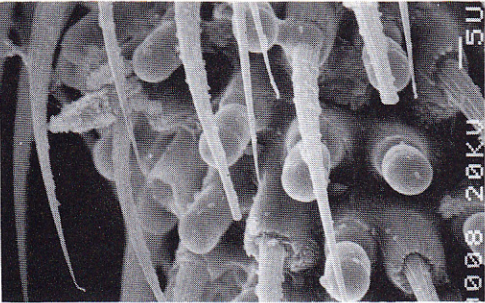
第88図 オバボタル頭部.



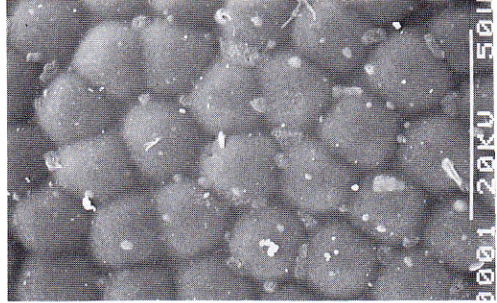
第89図 オバボタル触角第5節.



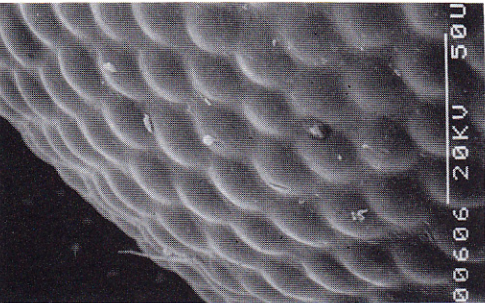
第90図 オバボタル触角第5節(部分拡大).



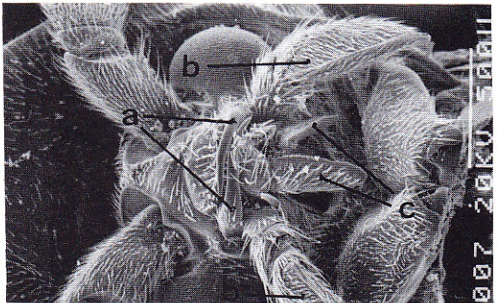
第91図 オバボタル触角第5節(2型の感覚毛).



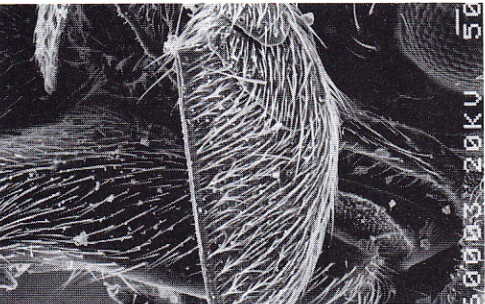
第92図 オバボタル複眼中央部の個眼.



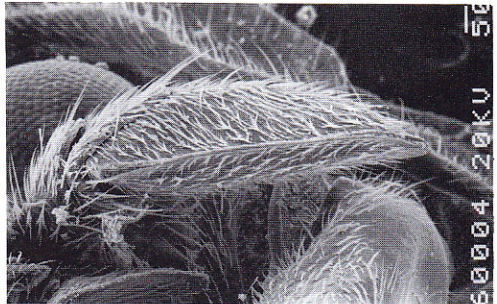
第93図 オバボタル個眼側面.



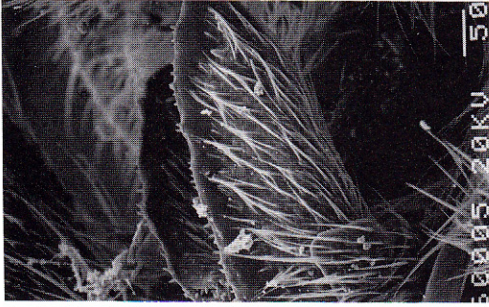
第94図 オバボタル口器.
a: 大顎, b: 小腮鬚, c: 下唇鬚.



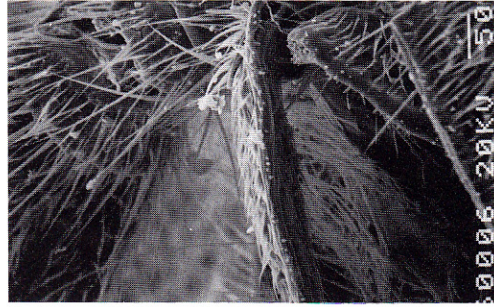
第95図 オバボタル小腮鬚側面.



第96図 オバボタル小腮鬚正面.



第97図 オバボタル下唇鬚側面.



第98図 オバボタル下唇鬚正面.