

# 走査型電子顕微鏡によるハイイロゲンゴロウの体の構造観察

## ～剥がれにくく、剥がれやすい吸盤の考察～

岡山理科大学 生物地球学部 生物地球学科 浴井栞

### 要旨

幅広い環境で生息できるハイイロゲンゴロウは、クルクル回転・螺旋を描くように泳ぐことや、泳ぐスピードが速いなど他種のゲンゴロウ類と比べ特徴的な行動が見られ、これらの行動を不思議に思っていた。そこで走査型電子顕微鏡でハイイロゲンゴロウを観察し、水中生活に適した構造やハイイロゲンゴロウのこれらの行動に役立つ構造などがないか観察した。そしてこれらの観察や実験からどのような働きをしているのか考えた。

ゲンゴロウ類のオスの前脚には交尾の際に必要な吸盤があるが、ハイイロゲンゴロウの吸盤では 2 つの大型吸盤とたくさんの小さい個々の吸盤が集まって吸盤群が構成されていた。そこで様々な吸盤の模型を作って実験すると、吸盤の高さが等しく、向きが同じ（真上）模型で最も吸着力が強く、吸盤群は、吸着するのに適した方向から力が加わらなければならぬことが分かった。また吸盤についている柄の根元の部分が少し動きそうな構造をしていることや、吸盤群の 1 つ 1 つの吸盤と柄との接合部にある丸いふくらみが吸盤群の向きを固定しているような構造は、激しい動きの中で様々な面に対して剥がれにくく確実にくっつくのに役立つ構造であると考えられた。そして、附節の第 1 節に大型吸盤、2 節、3 節に吸盤群が配置されており、大型吸盤が全体の吸盤の根元にあることで、はり付ける時に力が加わりやすく、剥がすときも恐らく、てこの原理で少ない力で剥がせると考えた。ハイイロゲンゴロウの吸盤の配置はくっつきやすく剥がれやすい、剥がれにくく剥がれやすくするために重要であると考えられた。

後脚には櫛状の構造が見られたが、クロゲンゴロウのものと構造が似ており、水流の制御などの役目があると考えられる。またクロゲンゴロウのものより複雑で、ハイイロゲンゴロウの素早く泳ぐ、螺旋、回転しながら泳ぐ行動に役立っているのではないかと考えられる。

また触角・小顎髭・下唇髭の観察では形の異なる様々な感覚子のような構造が見られた。今回は感覚子の特定はできなかったが、においなどを感知するのに役立つのではないかと考えられる。

## 1 はじめに

ゲンゴロウ類は水中生活を行う水生昆虫である。しかし近年では環境破壊などの影響で生息地となる池や沼が減少しており、多くのゲンゴロウ類が絶滅の危機に瀕している。

一方でハイイロゲンゴロウ *Eretes sticticus* (図 1) は様々な生物が生息する池から他に生物がないような一時的な水溜りまで、幅広い環境で生息できる。その他にも他種のゲンゴロウと比べて特徴的な行動が見られ、水面から直接飛び立てること(多くのゲンゴロウ類は一度陸で体を乾かさなくては飛べない)、クルクル回転・螺旋を描くように



図 1 ハイイロゲンゴロウ *Eretes sticticus*

泳ぐこと、泳ぐスピードが速いことなどが挙げられ、これらの行動を不思議に思っていた。

2014 年はハイイロゲンゴロウの螺旋遊泳の意味やその形について、また泳ぐ速さや水面で息継ぎする時に水面に尻を突き出したときの角度などを他種のゲンゴロウと比較して調べた。その結果螺旋・回転行動は早く水中に潜るため、また餌などの匂いを感知するために使われていると考えられた。そして幅広い環境で生き抜くために有益なのであろうという結論に至ったが、その体に、何かこの螺旋行動を行うための構造などが見つかるのではないかと興味を持った。

また 2011 年に走査型電子顕微鏡でのゲンゴロウ類(この時ハイイロゲンゴロウは観察していない)の観察をさせていただく機会があり、この時ゲンゴロウの後脚に水流を制御すると考えられる構造や頭部に多くの感覚子があることが分かり、電子顕微鏡での観察にも興味を持った。

## 2 目的

- ・ハイイロゲンゴロウの体を走査型電子顕微鏡で見て、特徴的な構造がないか観察する。
- ・ハイイロゲンゴロウの体に水中生活を行うのに適した構造がないか観察する。

## 3 走査型電子顕微鏡でのハイイロゲンゴロウの観察

### 3-1 材料及び方法

試料(ハイイロゲンゴロウ♂♀)、走査型電子顕微鏡(日本電子社製 JSM-6490 型)、スパッタリング装置(日本電子製: JUC-5000)、ピンセット、小ピン、超音波洗浄器、顕微鏡(試料作成のため)、シャーレ、試料台、ろ紙、キムワイプ、100%アセトン、カミソリ、瞬間接着剤

試料のハイロゲンゴロウは山口県周南市で採集し、飼育していた個体の内、死んでしまったものを使用した。100%アセトンは1回目の試料作成でのみ使用した。それ以降は洗浄には水道水を用いた。

- 1.蓋つきの小さなビンに水道水をいれ、試料を入れた。
- 2.水を入れた超音波洗浄器にビンを入れ、1分間洗浄した。
- 3.洗浄が終わったら試料をピンセットでろ紙の上にとり出し、水道水を入れ替えた。1.2と同じ作業をさらに2回繰り返した。
- 4.最後の洗浄が終わったら、ろ紙の上において水気をとった。試料台の上に両面粘着性のカーボンテープを貼り、電子顕微鏡で観察したい部位を分解してテープに貼り付けた。瞬間接着剤を用いて固定した試料もあった。
- 5.完成した試料台は2週間ほどおいておき、よく乾燥させ、スパッタリング装置で表面に金蒸着を行った。
- 6.試料台を電子顕微鏡にセットして観察、写真の撮影を行った。

## 3-2 観察結果

### 3-2-1 前脚

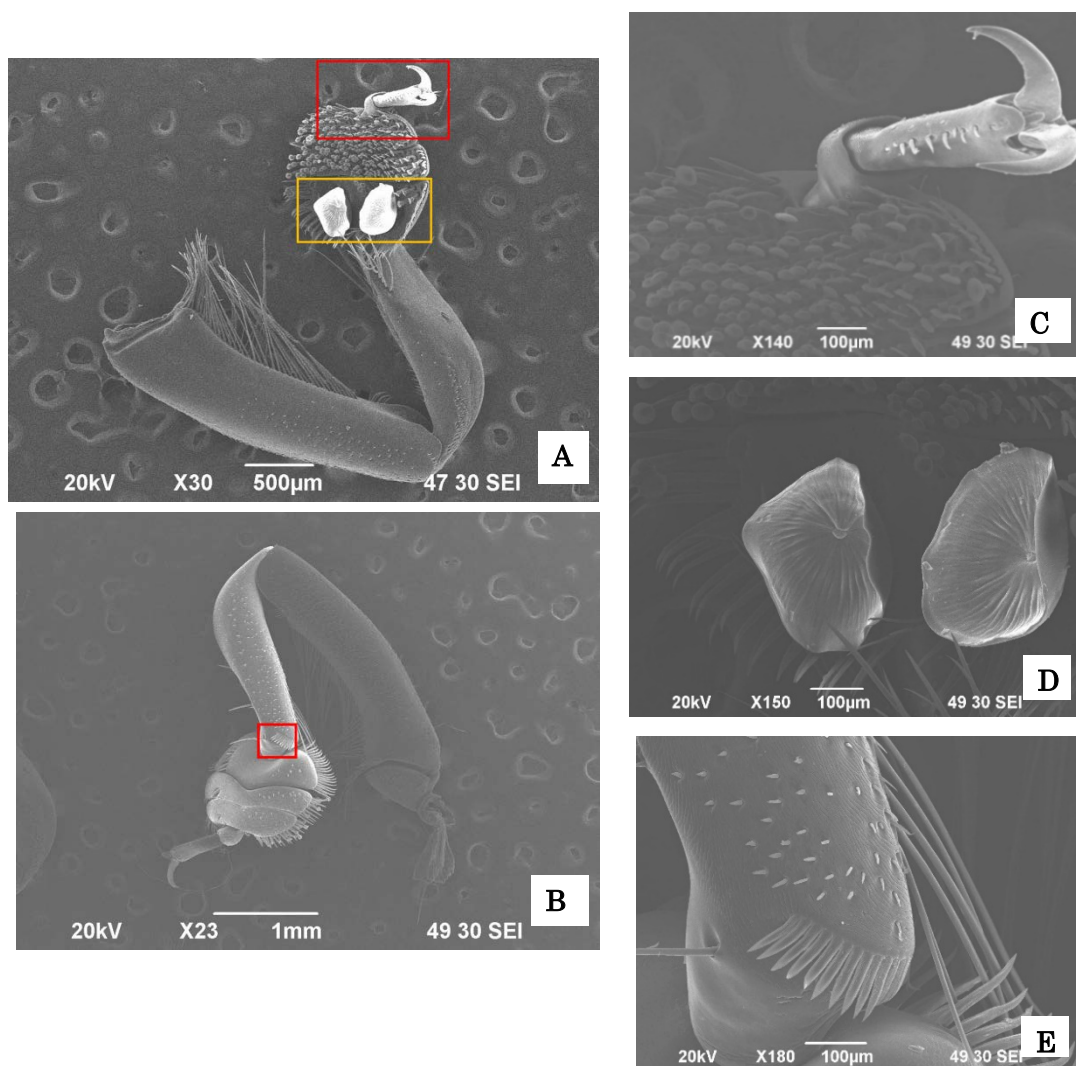
オスの前脚には交尾の際メスの背中にくっつくための吸盤が見つかった。大きな吸盤2つ（以下、大型吸盤）(図3-1A黄枠,D)、小さい個々の吸盤（以下、吸盤群）(図3-2A,B)とで構成される吸盤（以下、全体の吸盤）があった。それぞれの吸盤の表面に中央に向かってしわがあり、縁にはひだができていた。また脚には長い毛が密生していた。脚の先には爪も見られた(図3-1A赤枠,C)。吸盤群の一つ一つの形を見ると吸盤の吸着面の後ろにイヤホンにあるようなふくらみがあった。また、それらは吸盤の土台の中央に向かってその角度を微妙に変えつつ並んでおり、吸盤と前脚をつなぐ柄の長さも中央部は短くなっているように見え、中央部がたわんだ状態の構造のように見られた。全体の吸盤の縁には吸着面側に向かって毛が密生していた。脚の表面には多くの短い尖った感覚子のような構造が位置していた。前脚の関節部分では櫛のようにそろった突起がある(図3-1B赤枠,E)。

吸盤群のうち1つ1つの吸盤を詳しく見ると、これらは内側を向いて、外側ほど傾きが急、内側ほど傾きが緩やかに並んでいるようにみえた。吸盤は丸く、平らで、浅い縁がたっている。吸盤と柄との付け根にはふくらみがあり、吸盤と前脚をつなぐ柄の表面は滑らかであった(図3-2A,B)。

また全体の吸盤の断面図を見ると、吸盤がついている前脚の土台が平たんではなく少し凹凸があることが分かる。また、それぞれの吸盤の吸着面が滑らかに繋がっており、また全体の吸盤の土台部分の断面を見ると内部は空洞になっていた(図3-3B)。

メスにはオスのような吸盤は存在しなかった。脚の内側には長い毛が多く生えていた。

脚の表面には雄の前脚にあったものに似た先の尖った感覚子のような構造が散らばっていた。メスの前脚の関節にもオスと似た、楕円のような構造物が存在していた（図 3-4A,B）。



**図 3-1 オスの前脚吸盤**

A,オスの前脚吸盤（内側）;B,オスの前脚吸盤（外側）;C,オスの前脚先端の爪（A 赤枠部分の拡大）;D,大型吸盤（A 黄枠部分の拡大）;E,オスの前脚（脛節）に見られる楕円状の構造（B の赤枠部分）

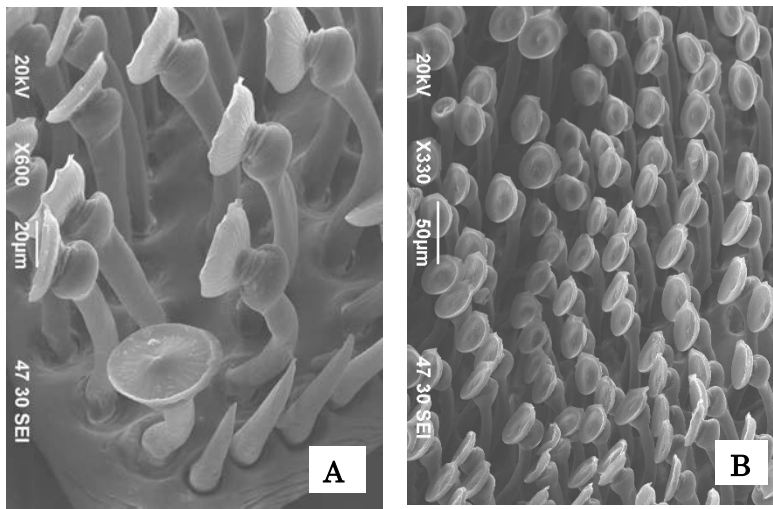


図 3-2 オスの前脚の吸盤を構成する吸盤群

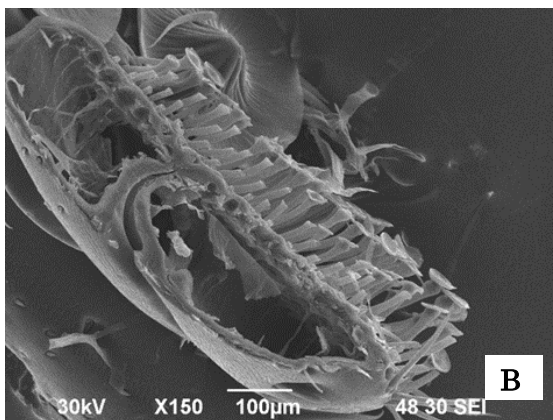
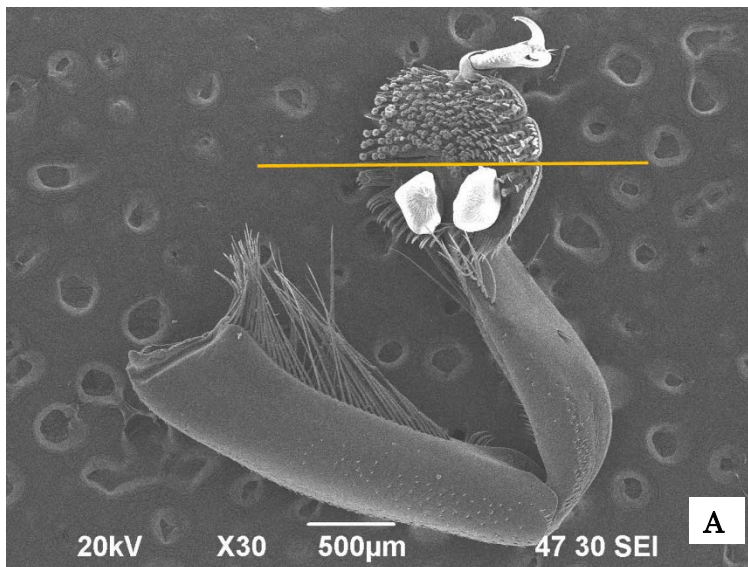


図 3-3 雄の前脚の吸盤の断面

A, 切り込みを入れた箇所、黄線は横断面である; B, 横の断面 (黄線)

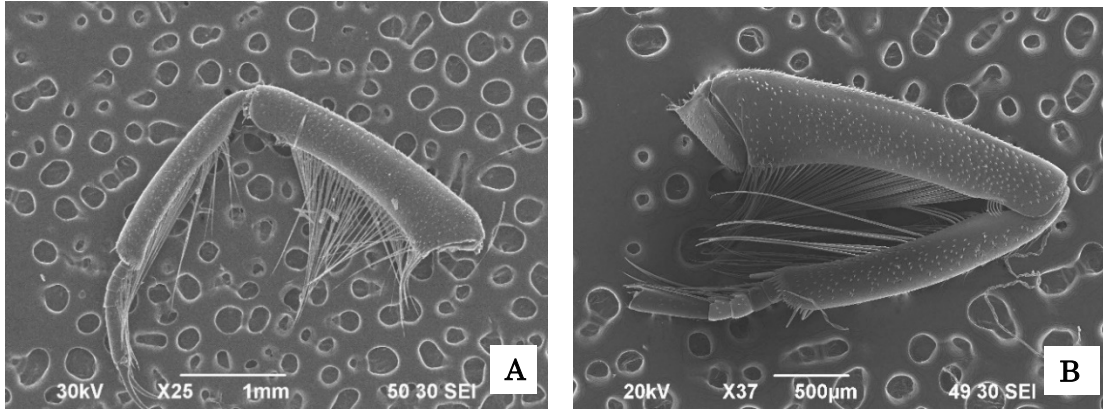


図 3-4 メスの前脚

A,メスの前脚;B,メスの前脚 (A とは別個体のもの) 爪が欠損しているが、表面の感覚子の様子がよく分かる。

### 3-2-2 中脚

中脚の内側には長い毛がたくさん生えていた (図 3-5A)。表面にもたくさんの短い感覚子のような構造が位置していた。また、節と節のつなぎ目の部分に (図 3-5A 赤枠部分,B) 櫛のようにそろって並んだ突起のようなものがあった。(図 3-5C 黒矢印) では足先の爪が欠損しているが、櫛状の突起が確認された。

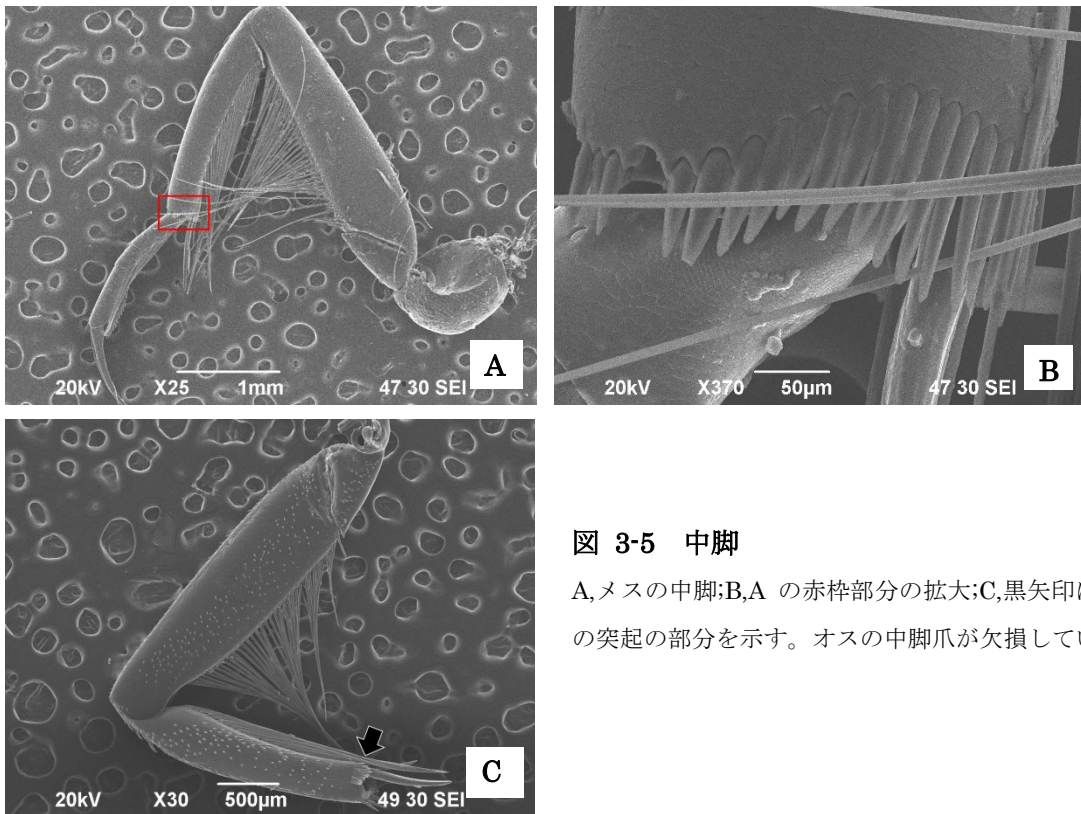


図 3-5 中脚

A,メスの中脚;B,A の赤枠部分の拡大;C,黒矢印は櫛状の突起の部分を示す。オスの中脚爪が欠損している。

### 3-2-3 後脚

後脚には長い毛が水の流れる方向へ向かって密生していた。ハイイロゲンゴロウの腹に密着している面と水に面している面があり、腹側では脛節の、附節第1節側の縁に1列に並んだ楕円状の構造が重なった複雑な構造が見られた (図 3-6A 赤枠部分,B)。それ以降の各節にも似たような楕円状の構造が見られた (図 3-6C)。水と接する面でも第2節の第3節側の縁の部分に1列に楕円状の構造物が並んでいた (図 3-7A 赤枠部分,B)。以降の各節の縁にも水の流れに沿った薄く細長い突起が表皮に埋め込まれているような様子で存在した (図 3-7A 黄枠部分,C)。腹側と比べても水と接する面は突起も少なく滑らかであった。

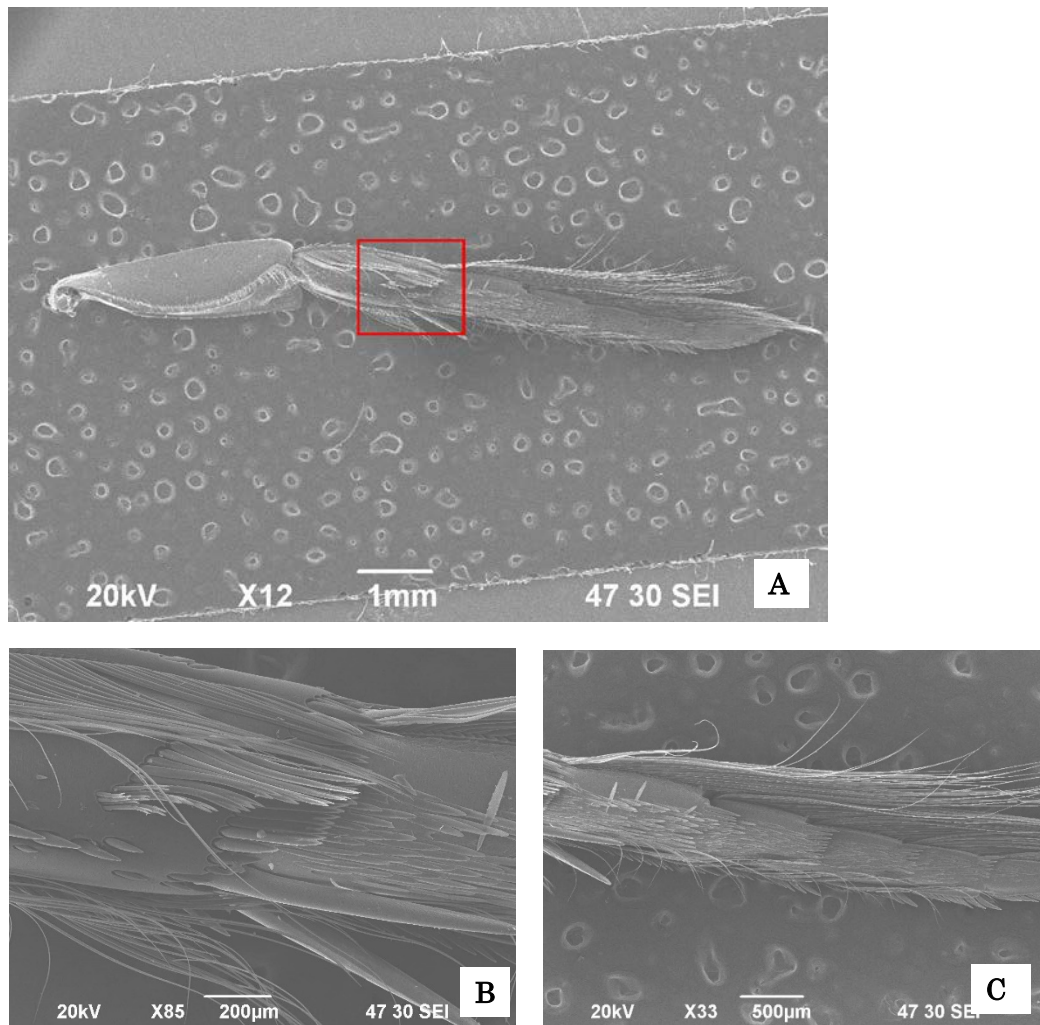


図 3-6 後脚 (腹側)

A 後脚;B,A の赤枠部分の拡大;C,A の脚の先端部分

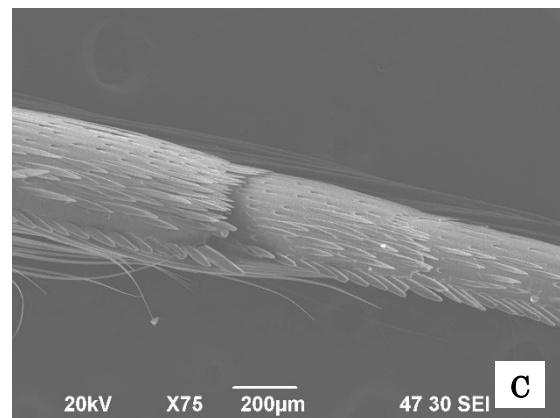
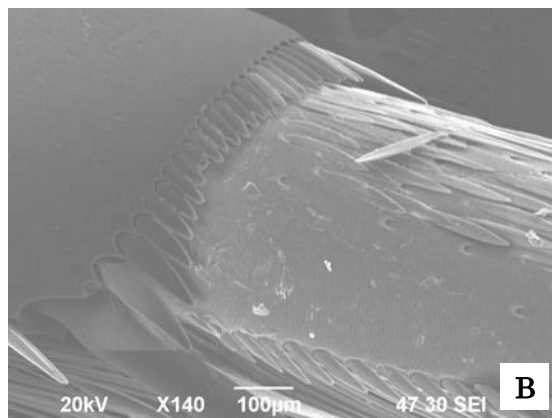
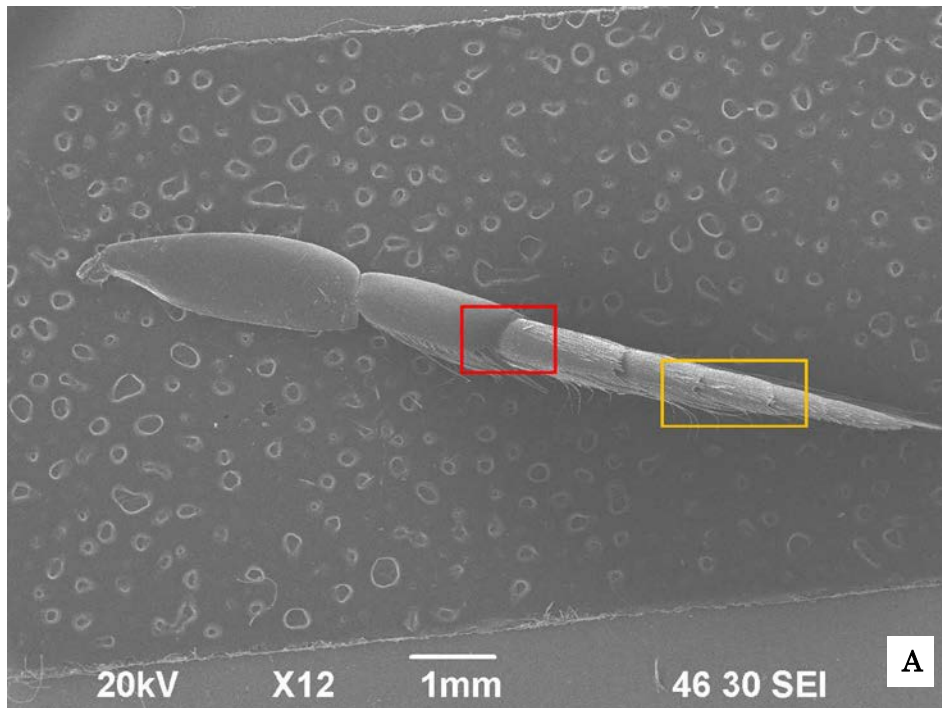


図 3-7 後脚（水と接する面）

A,後脚（水と接する面）;B,A 赤枠の拡大;C,A 黄枠の拡大

### 3-2-4 上翅

上翅には2列になって毛が生えており、長い毛が数本ずつまとまって生えていた(図 3-9A 赤枠,C)。また、翅の縁にも毛が生えており(図 3-8A 黄枠,B,3-9A 黄枠,B)、尾部側に近いほど翅の表面にも先の尖った感覚子らしき構造物がたくさん生えていた(図 3-8 赤枠,C)。雌雄ともに翅全体に筋が見られ、小さなくぼみが多く見られた。



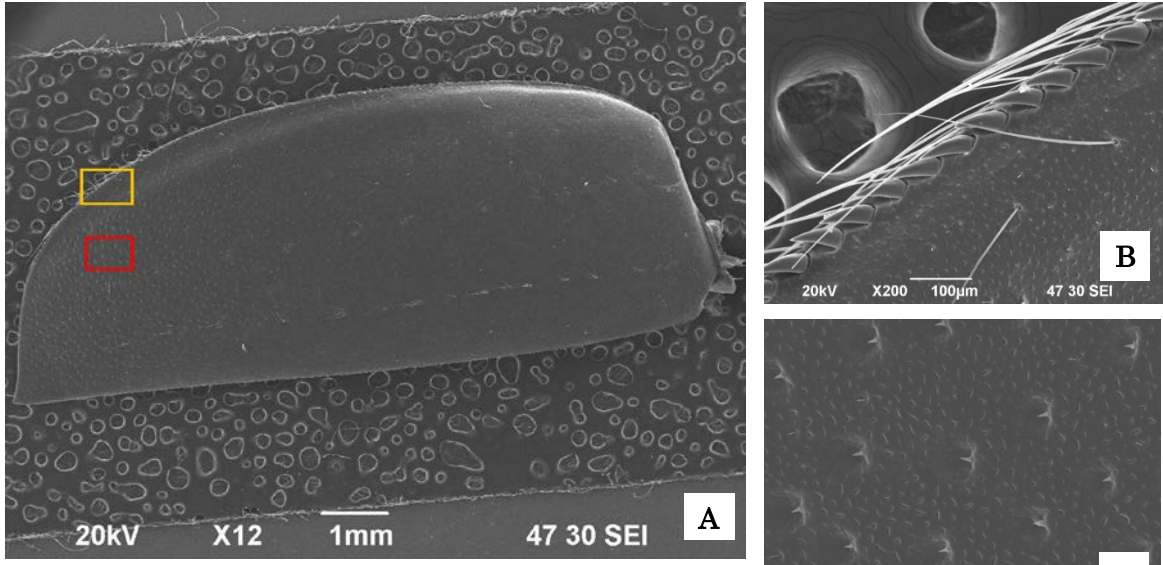


図 3-8 上翅 (オス)

A, オスの上翅; B, A 黄枠部分の拡大; C, A 赤枠部分の拡大

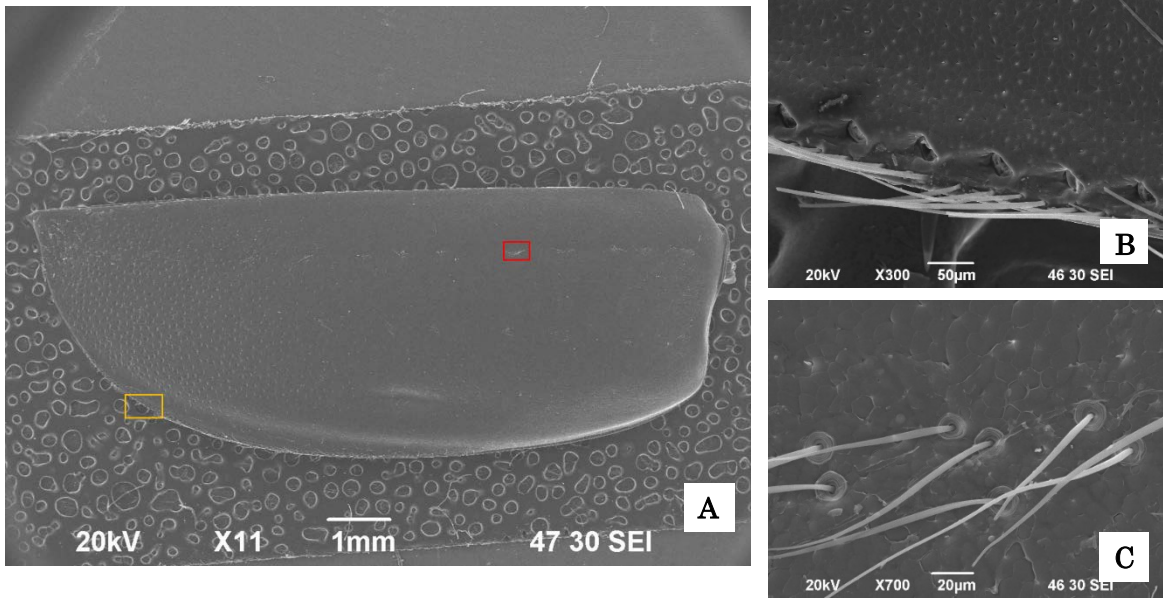


図 3-9 上翅 (メス)

A, 上翅 (メス); B, A 黄枠拡大、上翅の縁に生えている毛; C, A 赤枠拡大、上翅の上にある毛

### 3-2-5 前胸背板

雌雄ともに前胸背板にはたくさんのくぼみやしわがあり、頭部側（写真では上部）の縁に多く毛が生えていた（図 3-10A,B,3-11A,B）。頭部とのつなぎ目は大きく切り込まれているが、縁は滑らかである。頭部とのつなぎ目の左右の両端の二つの先端にはさらに毛が多く生え、感覚子のようなものも観察された（図 3-11A 赤枠,C）。

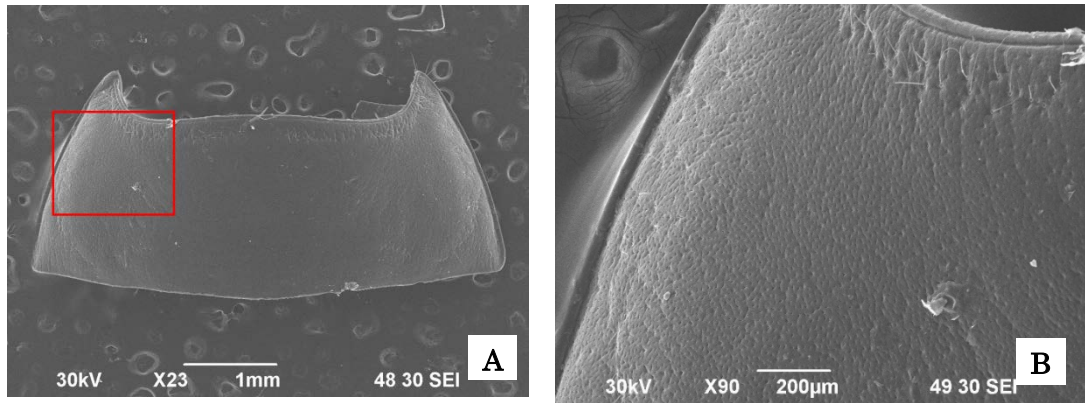


図 3-10 オスの前胸背板

A,オスの前胸背板;B,A 赤枠部分の前胸背板の縁の部分で表面にくぼみやしわがあり縁の部分に毛が生えていた

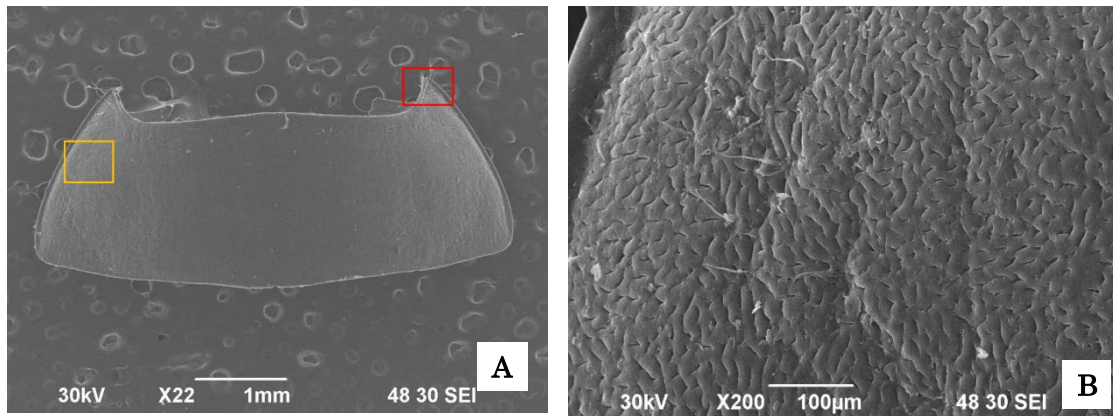
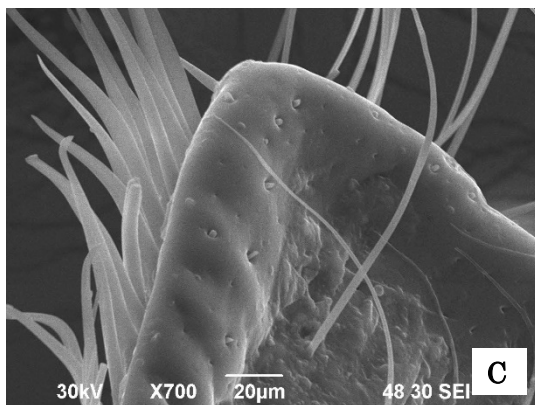


図 3-11 メスの前胸背板

A,メスの前胸背板;B,A の黄枠部分表面はしわやくぼみがあり、縁の部分に毛が生えていた;C, A の赤枠部分で毛が多く生えており、表面には感覚子のような構造が見られた



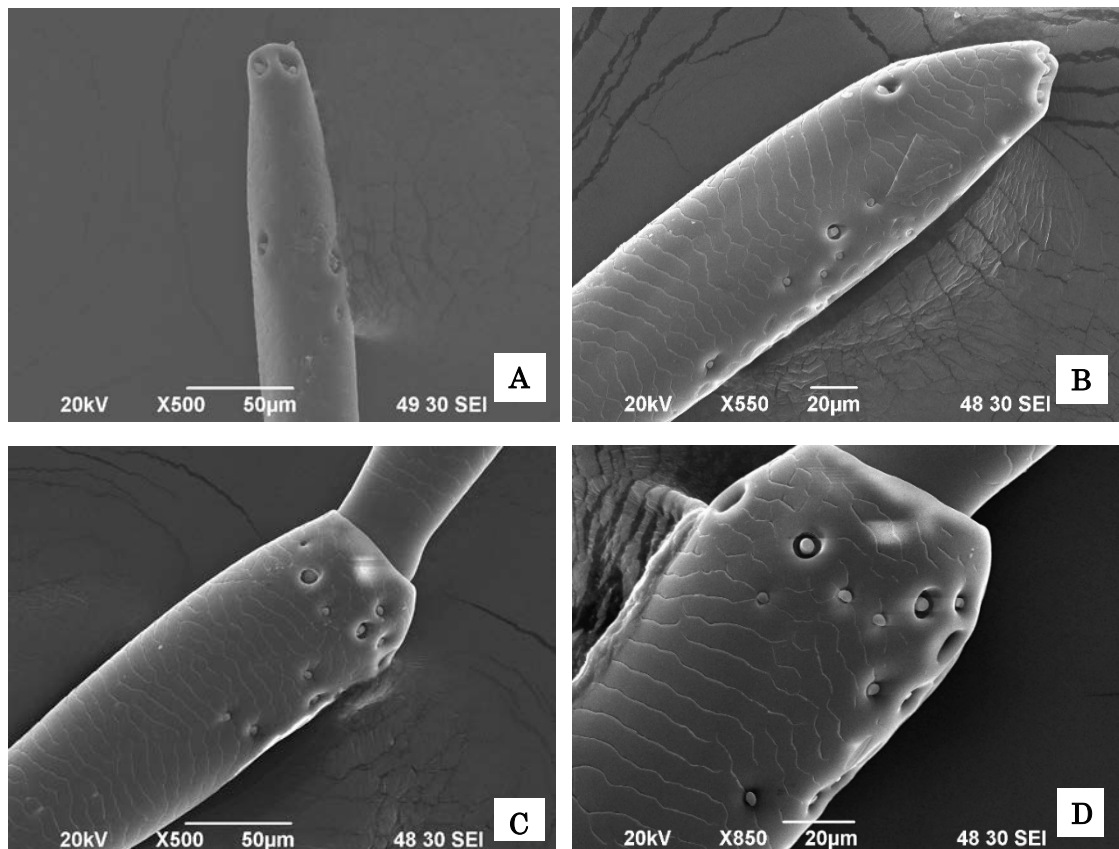
### 3-2-6 頭部（触角）

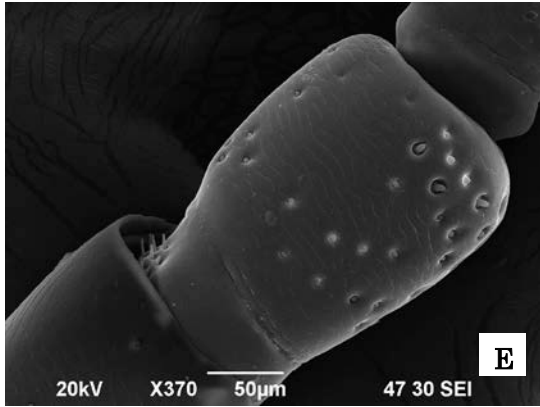
頭部の触角・小顎髭・下唇髭の位置は図 3-12 のようになる。



図 3-12 頭部の触角・髭類の位置（クロゲンゴロウ）

触角には先端の他にも各節に様々な形の感覚子が位置していた。先端の節には頂点と側面に位置していたが、先端以外の各節では片側の表面に多く集まっていた。それぞれの感覚子の種類を特定することはできていない。触覚の表面にはたくさんのしわがあったが毛などは生えておらず、滑らかであった（図 3-13）。



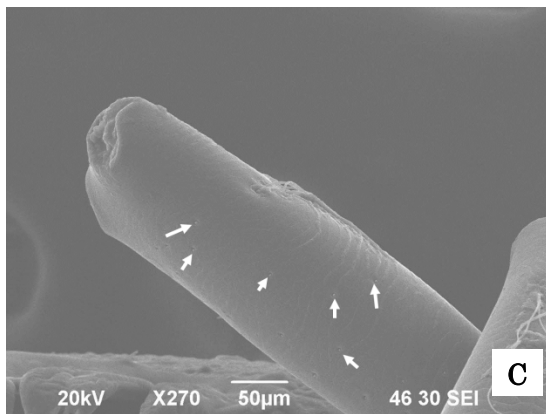
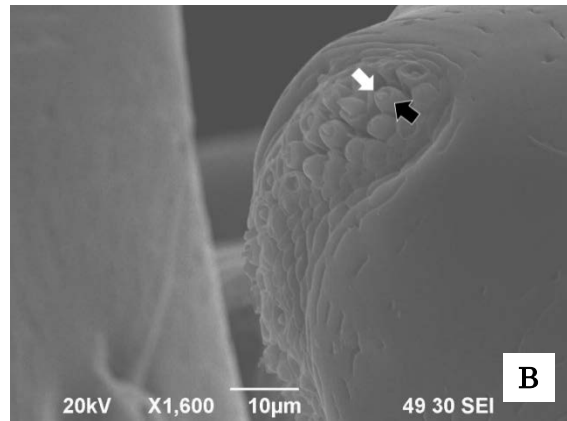
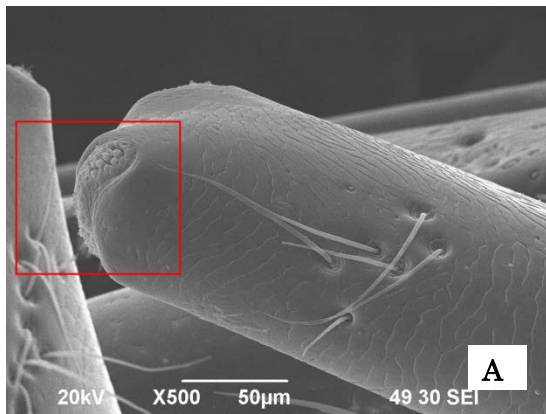


**図 3-13 触角に位置する感覚子**

A,触角の先端の感覚子（第 11 節）;B,触角の先端の感覚子（第 11 節） A とは別個体;C,触角第 10 節の感覚子;D,触角第 9 節の感覚子;E,触角第 1 節の感覚子

### 3-2-7 頭部（小顎鬚）

小顎鬚の先端は二股（図 3-14A）に分かれているようで、その先端に感覚子が集中していた。先端にある感覚子（図 3-14B 白矢印）は周囲をぐるりと囲まれた構造（図 3-14B 黒矢印）になっていた。また、小顎鬚の内側の側面には数本の毛が生えていた（図 3-14A）。さらに別個体であるが、側面にぼつぼつと感覚子のようなものが見られた（図 3-14C 白矢印）。表面はたくさんのしわがあり、触角の表面にも似ていた。先端の内側以外には毛も生えておらず、表面は滑らかであった。



**図 3-14 小顎鬚**

A,小顎鬚の先端;B,A の赤枠部分の拡大;C,小顎鬚の側面の感覚子のような構造

### 3-2-8 頭部（下唇鬚）

下唇鬚の先端の節は上を向いて曲がった状態であった。下唇鬚の先端も小顎鬚のように二つに分かれており、それぞれの先端に感覚子が集合していた（図 3-15A 黒矢印）。また 2 本の下唇鬚の外側の側面には V 字の形に沿って長い毛が生えていた（図 3-15B）。はっきりと写っていないが、下唇鬚の内側にも感覚子のような構造が見られた（図 3-15A 青矢印）。

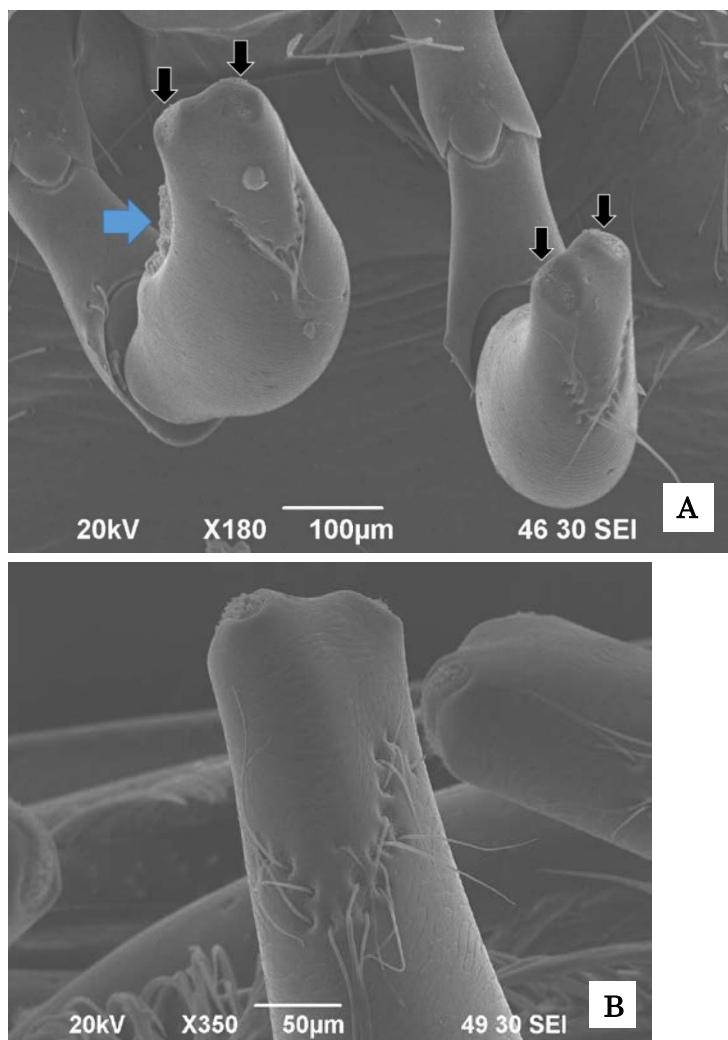


図 3-15 下唇鬚

A, 下唇鬚二股に分かれた先端に集まった感覚子（黒矢印）、内側に集まった感覚子（青矢印）、下唇鬚の外側にある毛; B, 下唇の先端部分で、側面に V の字に長い毛が生えている

### 3-3 考察

今回観察したのはハイイロゲンゴロウ 1 種だが、2011 年に撮影した、クロゲンゴロウ *Cybister brevis*、ゲンゴロウ *Cybister japonicas*、ケシゲンゴロウ *Hyphydrus japonicus* の 3 種とも比較し、考察していくこととする。

#### 3-3-1 前脚

ゲンゴロウ類は光の届きにくい池や沼の中で生息する場合もあり、繁殖期にはそのような環境でも雌雄が互いを認識し、その機会を逃さずに繁殖を行わなければならない。ゲンゴロウ類の交尾ではオスがメスの前胸背板に前脚の吸盤をくっつけてメスの上に乗るため、オスの前脚にある吸盤は確実にメスを捕まえるためにとっても重要な役割があると感じた。そのため今回は、ハイイロゲンゴロウのオスの前脚の吸盤について詳しく観察することにした。

オスの前脚の吸盤群は全体の吸盤の中央に向かって吸着面を向けており、横から吸盤全体を見ると少し中央にくぼんだ、たわんだ形になっているのではないかと考えられる。この吸盤は交尾の時、オスがメスの上に乗る時にメスの前胸背板の付近に貼り付けて使うが、ゲンゴロウの体は流線形をしている。そのため吸盤を貼り付ける面も平らではなく丸みを帯びて、この形に最もはり付きやすくなった構造をしていると考えられる。また、吸盤群に含まれている多くの吸盤が確実に働くには、全て同じ方向を向いている必要があると考えられる。これについては実験で確かめることにした。

また吸盤群の個々の吸盤では吸着面とは反対側と柄との接続部分に丸いふくらみ（図 3-16）があることが分かった。外部からの観察のみであるため結論付けられないが、くっつきやすい角度に吸盤の向きを固定するための重りや、吸盤が前脚から剥がれたり、接続面が折れてしまわないよう補強するなどの役目も考えられる。また吸盤によっては、吸盤とふくらみの接合面で多少動かせる可能性もある。さらに、前脚の先端についている爪は、吸盤を剥がすときに、てこの原理のように利用することが可能なのではないかと考えられる。全体の吸盤の縁には吸着面側に向かって毛が生えている。この毛には吸着面にゴミが巻き込まれないようにする、水の流れをスムーズにして抵抗を減らす、あるいは活発に動き回るときに周囲の障害物から吸盤を保護するなどの役目があると推測できる。また、脛節に櫛状の構造が見つかったが、クロゲンゴロウの後脚に見られた構造にも似ており、水をスムーズに流して抵抗を減らす役目があると考えられる。

オスの前脚の附節に位置する吸盤の配置は、附節の第 1 節に大型吸盤が、第 2、3 節に吸盤群が位置していた（図 3-17）が、この配置も重要であると考えられる。もし大型吸盤が附節の第 3 節に位置すると、吸盤をはがすためにさらに大きな力が必要になり、剥がれにくくなると考えられる。ゲンゴロウ類は翅の下の気門から空気を取り込んでいるため、吸盤が剥がれなくなってしまうと息継ぎのために水面に浮上することができなくなる危険を伴う。息継ぎは不可欠のものなので、そういったときにはすぐ剥がせるように、ゲンゴロ

ウの吸盤はある程度強度があり、くっつきやすく、剥がれにくくて剥がれやすいという、相反する機能を兼ね備えたものである必要がある。大型吸盤が全体の吸盤の根元にあることで張り付ける時に力が加わりやすく、剥がすときにもおそらくこの原理で少ない力ではがせると考えられる。

ほかの昆虫、例えばオオニジュウヤホシテントウでは、脚の附節から脂質を含んだ物質を出して葉の裏や壁などを歩くことができる（石井,1993）。しかし水中ではこのような物質を用いてくっつくということはできないと考えられる。また同じく陸の昆虫であるハムシは附節に生えた毛に泡をためて「泡を利用して足裏を水中固定し」歩行するのに役立っている（細田,2012）が、水中で過ごすことの多いハイロゲンゴロウの附節にはこのような機能を持つ毛は恐らくなく、オスは吸盤でくっつく。また吸盤を持つ生き物の中で水中に生息しているものとして、魚類のヨシノボリがいる。ヨシノボリは腹部に1つの吸盤（図3-18）を持ち、これを操って川底の石などにくっついて生活している。ヨシノボリは細かく吸盤を制御しているように見える。また軟体動物であるタコも、相手の形状に合わせて自ら吸盤の向きを変える動き等で吸盤を操作してくっついていようだ。しかし甲虫であるハイロゲンゴロウはキチン質の固い体をしているため、吸盤の向きを自在に操つことや、形を柔軟に変化させて調節することはできないと考えられる。したがってゲンゴロウ類の前脚にある吸盤は常にくっつくために最適な、精巧な構造、配置がなされていると考えられる。

ハイロゲンゴロウが水槽の壁（水面より上部）にのぼり、吸盤がくっついてしまい、剥がれなくなってしまった個体を複数回見たことがある。しかし自然界には水槽のようなつるつるとした表面はめったに存在しないと考えられるため、こういったことが起こるのは少ないのではないかと思われるが、それほどハイロゲンゴロウの吸盤が強力であると言える。また交尾の際に吸盤が吸着する上翅や前胸背板にも剥がれにくく剥がれやすい構造などがあるのかもしれない。また全体の吸盤の断面の観察より内部が空洞になっていることで吸盤を貼り付けるときに吸着する相手の形状に合わせてオスの吸盤の土台の形を変化させたり、激しい動きの中でも吸盤全体をまんべんなく引っ張り上げたりすることで吸着力を上げて、一度くっついた吸盤が剥がれにくいような役目をしているのではないだろうか。ただ、そもそも体が固いことでそれは難しいかもしれないし、生きているときは体液などで満たされていて、保存の方法などによって状態が変化してしまった可能性もある。



図 3-16 吸盤群の模型

中央に向かって少しずつ吸盤の角度が緩やかになり、周囲の吸盤が中央を向いて配置されているイメージ

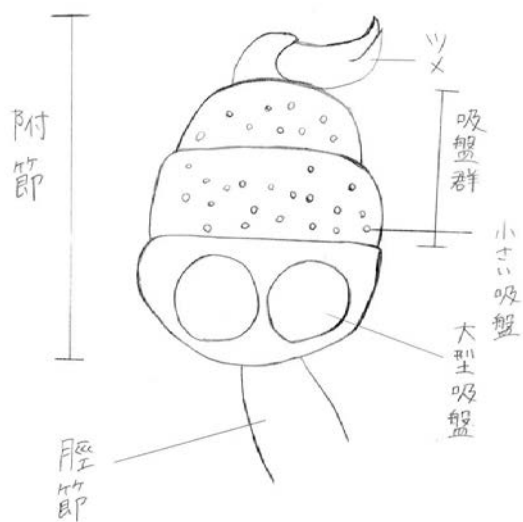


図 3-17 ハイロゲンゴロウのオスの前脚附節の模式図



図 3-18 トウヨシノボリ *Rhinogobius kurodai* の腹部の吸盤



### 3-4-2 中脚

第 2 節に櫛状の構造が見られ、段差での水の抵抗を減らす役目があると考えられる。表面に感覚子のような突起が見られたが、水流などを感じているのではないかと考えられる。

### 3-4-3 後脚

以前クロゲンゴロウ（図 3-19）の後脚の櫛状の構造（図 3-20）を模した模型と水の流れに見立てた線香の煙を用い、櫛状の構造がある場合とない場合で線香の煙の流れる様子を観察した。すると櫛状の構造がある模型では煙の流れが一ヶ所に集まりスムーズに流れたものの、櫛状の構造がない模型では渦を巻くなど、うまく流れなかった。したがってクロゲンゴロウの後脚に見られる櫛状の構造は、水の流れを制御するために役立つ構造である可能性が高いことが分かった（浴井,2011）。このような櫛状の構造はハイイロゲンゴロウの全ての脚にも見られたが特に後脚で顕著であった。クロゲンゴロウに見られた位置以外にも、ハイイロゲンゴロウでは後脚の各節に櫛状の構造が見られた。これらの構造は水の流れを制御するものとして役立つと考えられる。ハイイロゲンゴロウではクロゲンゴロウより構造が複雑であり、クロゲンゴロウとは違う水流の制御方法を持っているのかもしれない。また、ハイイロゲンゴロウの螺旋・回転行動など小回りの利く泳ぎや、速く泳ぐ泳ぎ方に何らかの関係があると考えられる。また腹側と水に接する面で比べてみると腹側の面の方が複雑な構造をしている。水に接する面に構造物が少ないことで、水の抵抗が減り、より素早く泳げると考えられる。後脚に大量に生えている長い毛は水をかくときに広がって推進力を生むが、腹側の方に向かって生えており、水に接する面の抵抗を減らしているのであろう。クロゲンゴロウよりもより細やかな水流の制御を行っているのではないかと推測される。



図 3-19 クロゲンゴロウ

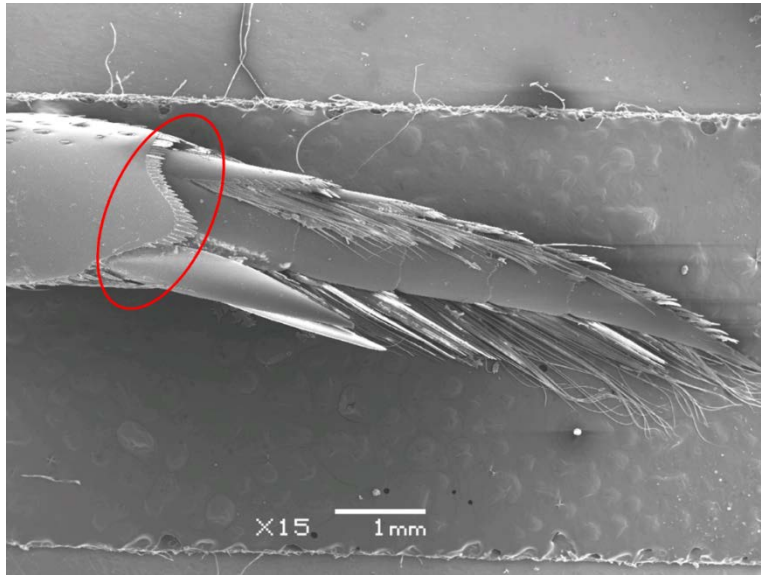


図 3-20 クロゲンゴロウの後脚の電子顕微鏡写真

赤枠内が水の流れを制御する櫛状の構造

#### 3-4-4 前胸背板

肉眼ではツルツルに見えた前胸背板の表面には、たくさんのくぼみやしわがあり、上翅の表面の様子と少し似ていた。前胸背板の縁に毛が多く生えていた。オスは、交尾の際に前脚の附節の吸盤でメスの前胸背板にくっつくため、ゲンゴロウ類にとって前胸背板は非常に重要な部分であるといえる。毛が生えている部分には吸盤がうまくくっつきにくいと思われるので、結果的に毛が生えていない部分にくっつくように誘導しているのかもしれない。また頭部という非常に重要な感覚器官が集合している部位のすぐ近くにあるため、水流や障害物の感知に役だっている可能性もある。

#### 3-4-5 上翅

上翅の表面には先の尖った短い感覚子らしき構造物が位置し、尾部の方に多く存在した。水流の感知などに役立つ可能性が考えられる。ゲンゴロウ類は水面に尾部を突き出し上翅の下に空気を溜めるが、感覚子が尾部に集中しているため水面の認識などにも用いられているのかもしれない。翅の表面に2列の長い毛が数本ずつまとまって生えていた。水流や、障害物の有無などを感じるのかもしれない。また、翅の縁にも毛が生えていた。ゲンゴロウ類の翅の下には細かい毛が密生しており、空気を溜めている。上翅の縁の毛も、翅の下に溜めた空気が逃げないようにするなどの効果があると考えられる。ハイイロゲンゴロウは尻に自分の頭よりも大きな気泡をつけることもあり、翅の下の空気と尻の気泡の制御も、水中生活を攻略するために大切である。

### 3-4-6 頭部（触角）

餌を探す際などに触角をしきりに振っているところをよく見るので、においなどを感じていると推測される。触角は先端以外にも各節に感覚子のような構造が見られた。ゲンゴロウの触角は普通に生活しているとしても何かの拍子でちぎれてしまうことがある。このようにときに触角の各節の先端に感覚子があることで触角がちぎれてしまっても触角で感覚子による感知が可能であると考えられる（図 3-21A）。これに関して以前ゲンゴロウで観察した際、ちぎれてしまった節の内部に毛の生えた突起のようなものが見つかったが、ここでもにおいなどを感じることができ、触角が途中で切れてしまってもロケット鉛筆のような構造で感知することが可能であろうと考えられた。しかし今回はハイイロゲンゴロウの触角の節のちぎれた部分は観察できなかつたためゲンゴロウと同様かは確認できていない。また、ハイイロゲンゴロウの触角の各節の表面にある感覚子は似たような形状をしていたが、並び方などはバラバラであった。しかし各節に感覚子があることでより正確で確実ににおいの感知ができると考えられる。また、クロゲンゴロウの触角の先端の節にも、穴に埋まったような構造の感覚子が片側に集中して位置していた(図 3-21B)が、ハイイロゲンゴロウでも似た構造が見つかったため、ハイイロゲンゴロウもこの感覚子のような構造でクロゲンゴロウと似たような情報を感知するのではないかと考えられる。

ハイイロゲンゴロウの触角の表面には楕円形をした、感覚子によく似た構造(図 3-13B)が見られたが、ゲンゴロウの下唇髭の表面でも似た構造が観察された（図 3-22）。

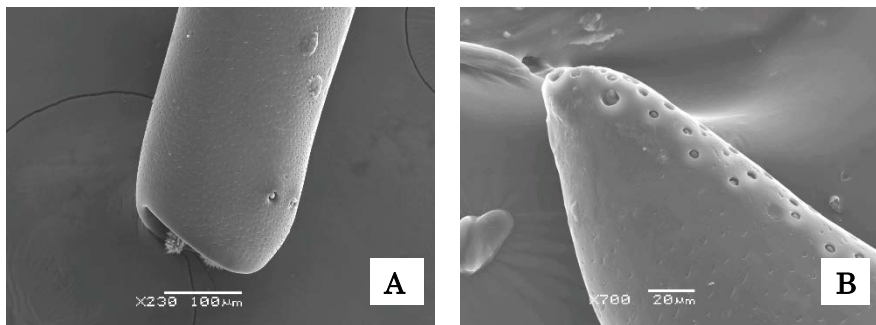


図 3-21 ゲンゴロウ類の触角

A, ゲンゴロウの触角（途中で切れてしまっている）;B,クロゲンゴロウの触角の先端

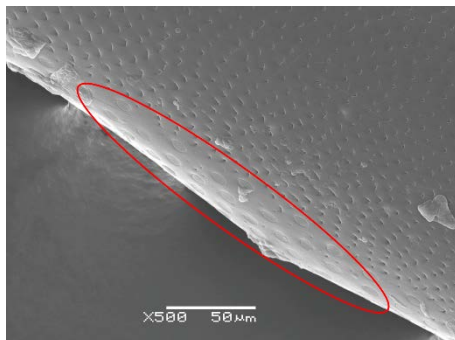


図 3-22 ゲンゴロウの下唇髭の表面

赤枠内が楕円形の感覚子のような構造

### 3-4-7 頭部（小顎鬚）

小顎鬚の先端には周囲をぐるりと囲まれた感覚子が位置していた。先端に感覚子が集中していることで節の中腹に感覚子がある場合よりも効率的に周囲のにおいなどを感知できると考えられる。小顎鬚の先端には包まれた構造の感覚子が位置していた。小顎鬚は触角とは異なって短く、節の数が少なく、このような感覚子も先端でしか観察できなかった。そのため先端の感覚子が機能しなくなると感知できなくなってしまうため、先端の感覚子を守る必要があると考えられる。小顎鬚は小顎に着いており、長すぎると小顎を動かしにくくなるため、短いのもかもしれない。また、以前に観察した3種でもそれぞれの小顎鬚の先端に感覚子のような構造が見つかった。ハイイロゲンゴロウの小顎鬚の先端は二股に分かれていたが、ケシゲンゴロウの感覚子は分かれておらず、形状に違いが見られた(図3-23A)。クロゲンゴロウとゲンゴロウは試料の向きのために、分岐しているかは分かりにくい。また先端の感覚子はケシゲンゴロウとゲンゴロウとは周りを包まれたような形状をしている(図3-23A,C)のがわかり、ハイイロゲンゴロウの感覚子の先端に位置していた感覚子と似ていた。また3種のゲンゴロウすべてでハイイロゲンゴロウにも見られたような触角先端の毛が数本生えていた(図3-23A,B,D)。クロゲンゴロウでは2か所にかたままって生えている。ゲンゴロウの小顎鬚の先端の毛(手前)の奥には、別の感覚子のような構造が見える(図3-23D)。

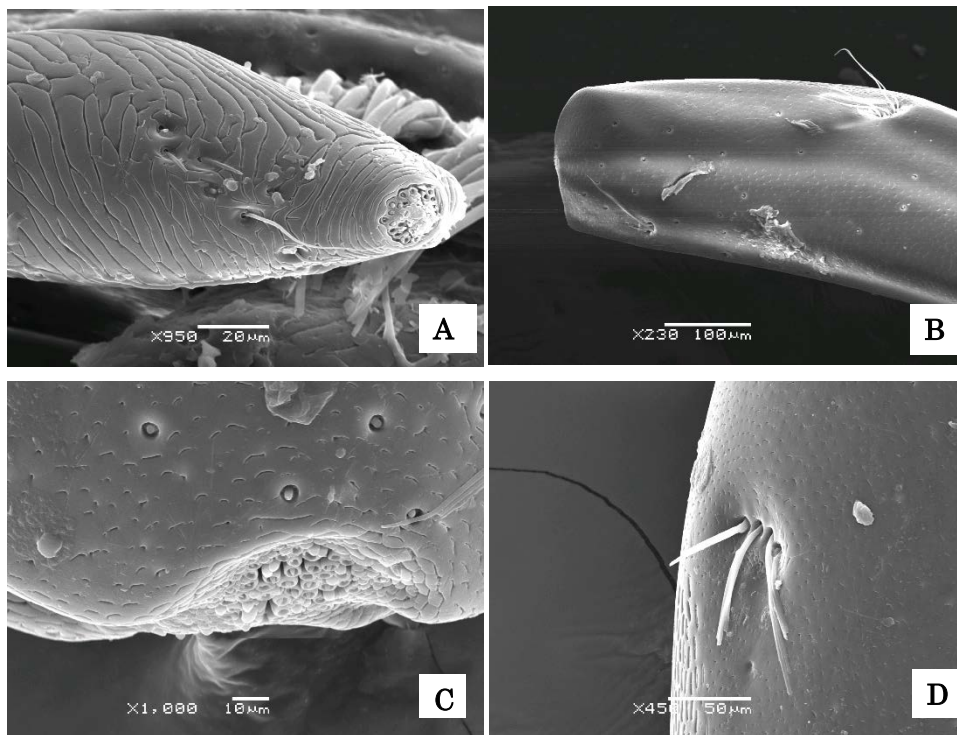


図 3-23 ゲンゴロウ類の小顎鬚

A,ケシゲンゴロウの小顎鬚の先端の感覚子と先端に生えている毛;B,クロゲンゴロウの小顎鬚の先端部分と先端に生えている毛;C,ゲンゴロウの小顎鬚の先端の感覚子;D,ゲンゴロウの小顎鬚の先端の毛と写真の左側面に感覚子のような構造

### 3-4-8 頭部（下唇髭）

下唇髭の先端が小顎髭と似て二股に分かれており、それぞれの先端に感覚子の集まりのような構造が見られた。クロゲンゴロウでも似た構造が観察されたが、図 3-24 からは分岐しているか判断するのは難しい。しかしハイイロゲンゴロウの方が少しその面積比が小さいように見えた（図 3-15A,B,3-24）。

これらの感覚子がどのような感覚の感知にかかわっているか特定することはできなかったが、餌を食べる際には下唇髭を餌に接触させているため、餌などのにおいや味を感じることができると考えられる。各ゲンゴロウで似た感覚子のような構造が見つまっているため、種が異なってもこれらの器官で同じ感覚を感じているという可能性は考えられる。



図 3-24 クロゲンゴロウの下唇髭の先端にある感覚子

## 4 雄の前脚の吸盤模型を用いた実験

考察 3-3-1 より、オスの前脚の附節に位置する吸盤について、吸盤がどのような向き、配置で位置していれば効率よくくっつき、剥がれにくいのか調べるため以下のような実験を行った。

### 4-1 材料及び方法

ボール（球面・大…直径 22cm、小…直径 17.5cm）、トレー（平面）、以下の 6 種の模型

模型 A（高さが同じで吸盤の向きも同じ）

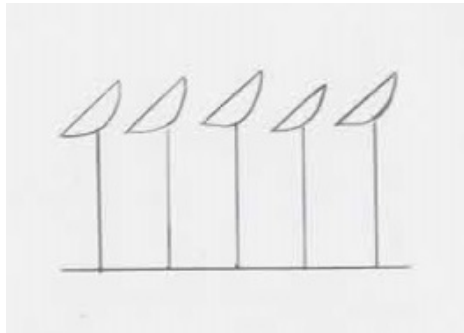
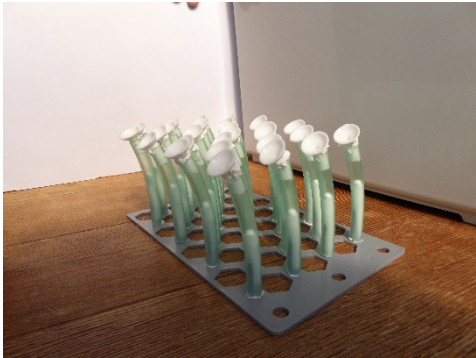
模型 B（高さがバラバラで吸盤の向きは同じ）

模型 C（高さが同じで吸盤の向きがバラバラ）

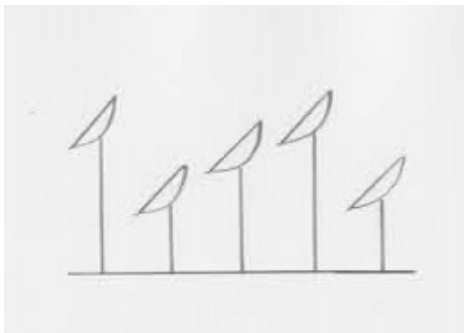
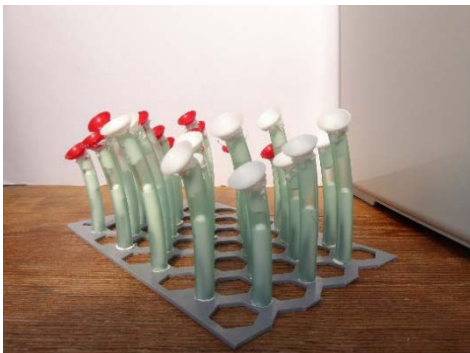
模型 D（オスの前脚吸盤を模した模型）

模型 E（高さが同じで真上を向いている）

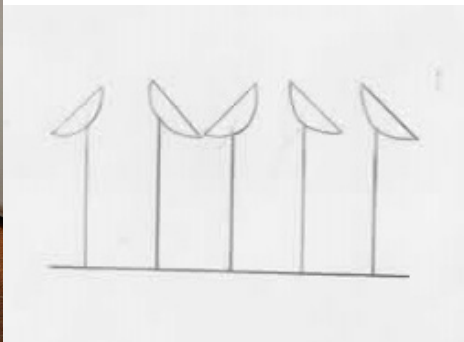
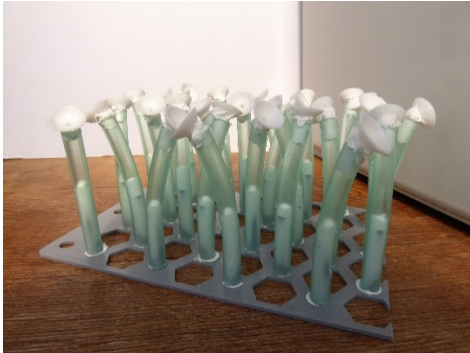
模型 F（高さが同じで吸盤の向きも同じ、根元は吸盤）



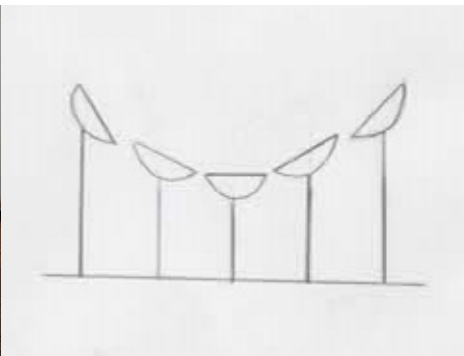
A



B



C



D

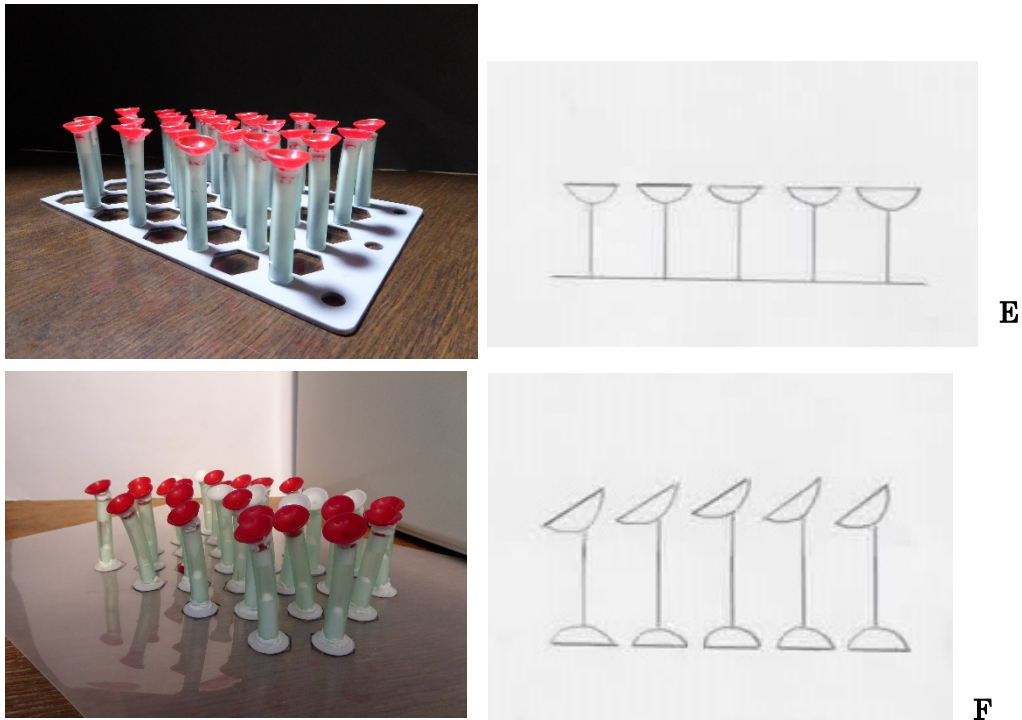


図 4-1 実験で用いた模型とその模式図

A, 模型 A (高さが同じで吸盤の向きも同じ); B, 模型 B (高さが同じで吸盤の向きがバラバラ); C, 模型 C (高さがバラバラで吸盤の向きは同じ); D, 模型 D (オスの前脚吸盤を模した模型); E, 模型 E (高さが同じで真上を向いている); F, 模型 F (高さが同じで吸盤の向きも同じ、根元は吸盤)

以上のような配置 (図 4-1) で 28 個の吸盤を備えた模型を 6 種作成し、球面 (ボウル) と平面 (トレー) を吸盤に押し付けていくつの吸盤が張り付いたか数を数えた。メスの前胸背板は平面ではなく丸みを帯びた球面に近い形状をしているため、ボウルの側面をメスの前胸背板に見立てて実験を行った。また模型 D は実験に用いるボウルの球面に沿うように作成した。今回は吸盤の向きと高さが吸着にどのような影響を与えるのか調べるために実験を行ったため、個々の吸盤に見られたイヤホンのようなふくらみはつけずに行った。吸盤とホース、ホースと土台はシリコン系シーリング材で固定した (模型 A~E)。ホースが曲がっているため、できるだけ真っすぐ真上を向かせるためにホースの長さを短くした (模型 E)。また図 3-2A より、柄の生え際が多少動きそうな構造に見られたので、模型 F は土台部分を吸盤にして、柄の根元が少し揺れるようにした。



図 4-2 実験で使用した面

左からボウル（大）、ボウル（小）、トレー

#### 4-2 結果

それぞれ 10 回ずつ模型にボウルまたはトレー（図 4-2）を押し付け、くっついた吸盤の数を記録した。それぞれの結果は表 4-1 のようになった。真上から平面や球面を押し付けたときは、吸盤が真上を向いている模型 E が最もよく吸着した。その他の模型では一部の吸盤しか吸着しなかったが、それはほぼ毎回同じ場所の吸盤であった。次に根元が少し揺れる模型 F が吸着しやすかった。

表 4-1 それぞれの模型の吸着した吸盤の個数（個）

吸盤の配置		面の種類	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合計	平均
模型A	高さ・吸盤の向き同じ	平面	0	1	1	1	0	4	1	0	0	2	10	1.0
		球面	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	3	0.3
模型B	高さバラバラ、向き同じ	平面	1	0	1	1	1	0	2	1	0	2	9	0.9
		球面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
模型C	高さ同じ、向きバラバラ	平面	1	1	1	0	1	1	1	3	1	3	13	1.3
		球面	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	6	0.6
模型D	オスの吸盤を模して中心向き	平面	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
		球面(大)	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	32	3.2
		球面(小)	5	3	4	3	5	5	3	6	3	5	42	4.2
模型E	高さ同じ、真上向き	平面	25	25	26	25	24	24	25	25	26	25	250	25.0
		球面	4	6	5	4	5	4	6	5	4	6	49	4.9
模型F	土台が吸盤、向き同じ	平面	7	15	9	7	9	10	6	11	9	10	93	9.3
		球面	7	4	4	5	6	5	5	5	4	6	51	5.1

特に表記のない球面については、大きいボウルを使用した

#### 4-3 考察

模型 A～D は、根元が固定されており、吸着面に対して柔軟に動くことができず、吸盤が一つも吸着しないこともあった。一方で根元が固定された模型 A に対して柄の根元が少し揺れる模型 F では、より多くの吸盤がくっついた。このことから、力のかかり具合によって個々の吸盤の柄の根元が少し揺れて角度を微調整することで吸盤がくっつきやすくなることが分かった。吸盤と柄の接合部がイヤホンのようなふくらみで固定されているだけ



では不十分なかもしれない。模型 B と C のように高さや吸盤の向きがバラバラの場合にくっつきにくい、根元は固定されていても模型 E のように吸盤の高さが等しく、向きが同じ（真上）ときにはくっつきやすいことが分かった。模型 D は球面に沿うように吸盤の縁のラインがつながるように作ったが、手作業で作ったため、ずれが大きく思った通りにはくっつかなかった。もし吸着面がぴったりと合う配置であれば力の加わり方が最適になって、もっと吸着した吸盤が多かったかもしれないが不明である。また一連の実験で平面と球面は私が持ち上げて押し付けた。できる限り同じ程度の力をかけたつもりだが、差が出ている可能性もある。イメージとしては図 4-3 のようになると推測しているが、実験を手作業で行ったため、ボウルの球面にぴったりと合っていない可能性が大きかった。

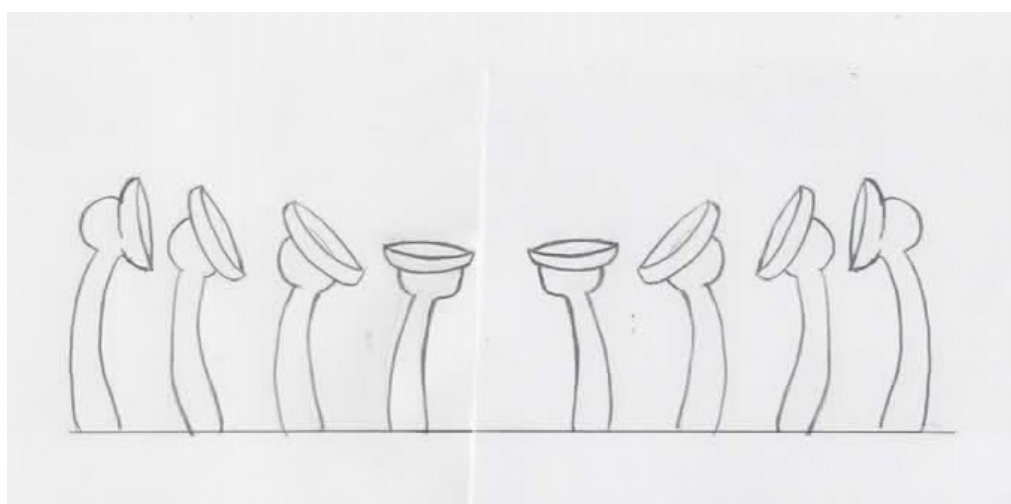


図 4-3 ハイイロゲンゴロウの吸盤のイメージ図

## 5 考察

前脚・中脚・後脚で見られた楕状の毛は、クロゲンゴロウの後脚に見られた楕状の構造によく似ていた。この構造は以前の実験によって水流がスムーズに流れるように制御する役割があると考えられる。したがって、今回ハイイロゲンゴロウに見られた楕状の毛も、関節部分の段差などで水の流れを制御する役目があるといえる。ハイイロゲンゴロウの後脚に見られた楕状の構造は前脚や中脚にあった構造と比べても複雑であり、特に腹側には楕状の構造がいくつも重なった構造、また各節に後脚の先端に向かって（水の流れる方向）飛び出している薄い突起のようなものが観察された。ハイイロゲンゴロウの小回りの利く泳ぎ方や、速く泳ぐこと、螺旋を描いて泳ぐことなどに影響があるのではないと思われる。

オスの前脚の吸盤について、実験から吸盤群は、吸着するのに適した方向から力が加わらなければうまくくっつくことができないと分かった。また吸盤についている柄の根元の

部分が少し動きそうな構造をしていることや、吸盤群の 1 つ 1 つの吸盤と柄との接合部部分に丸いふくらみがあり、吸盤群の向きを固定しているような構造は、激しい動きの中でも様々な面に確実にくっつき、剥がれにくくするために役立つ構造であると考えられる。また、附節の第 1 節に大型吸盤、第 2 節、3 節に吸盤群が配置されていたが、この配置と爪を使つての、この原理により、剥がれやすい吸盤を実現していると考えられる。したがってこれらの配置も剥がれにくく剥がれやすい吸盤に重要なことだと考えられる。

触角などで見つかった感覚子については、どんな感覚を感じているのか判断することはできなかった。他の 3 種の感覚子と触角・小顎髭・下唇髭の感覚子を形状から比較した。触角の表面に見られた穴に埋まったような形状の感覚子や、小顎髭の先端の周囲を包まれた形状の感覚子など、ハイイロゲンゴロウの触角などでも似た構造物が見つかった。構造・形状が似ていれば、そこで感知している感覚も同じである可能性もある。ハイイロゲンゴロウの小顎髭の先端に生えていた毛は、これら 3 種すべてにも見られたので、重要な感覚器官であると考えられる。

## 6 今後の課題

今回電子顕微鏡で、ハイイロゲンゴロウの体のつくりをつぶさに観察させていただいた。しかし観察を進めるにつれどんどん疑問点が出てきたが、それを確認していくためにはより専門的な知識や技術が必要であると痛感した。未確認の推測ばかりの報告書となってしまったことは残念であるが、今後研鑽を積んでいき、ハイイロゲンゴロウの特異な行動について調べたい。

## 7 謝辞

本研究を進めるにあたり、岡山理科大学総合機器センター 船本利春先生には、走査型電子顕微鏡での観察という貴重な機会を与えて頂きました。岡山理科大学工学部教授 福原実先生には、電子顕微鏡操作について詳しくご指導いただきました。厚く謝意を申し述べます。

九州大学名誉教授 藤義博先生には試料の作成方法をご指導いただき、また参考文献のご紹介など、お心遣いをいただきました。豊田ホテルの里ミュージアム学芸員 川野敬介先生には、実験の進め方や結果のまとめ方など、度々ご助言をいただき、2011 年には走査型電子顕微鏡での観察の機会をくださいました。同じく 2011 年に山口大学総合科学実験センター 森福洋二先生は電子顕微鏡での観察の機会をくださいました。ご指導、ご助言を賜った皆様に、深く感謝申し上げます。

## 8 引用・参考文献

- GERALD T. BAKER (2001) Distribution Patterns and Morphology of Sensilla on the Apical Segment of The Antennae and Palpi of Hydradeptera(Coleoptera:Adephaga).  
MICROSCOPY RESEARCH AND TECHNIQUE 55:330-338
- 渡邊英博 (2013) ワモンゴキブリの末梢から高次中枢までの嗅覚情報処理機構. 比較生理生化学 30(3), 89-105, 2013-09-20
- 渡邊英博 (2013) ワモンゴキブリの嗅覚系.無脊椎動物脳プラットフォーム Invertebrate Brain Platform (IVB-PF)([https://invbrain.neuroinf.jp/modules/htmldocs/IVBPF/Cockroach/Cockroach\\_antenna.html](https://invbrain.neuroinf.jp/modules/htmldocs/IVBPF/Cockroach/Cockroach_antenna.html))
- 富永佳也編 (1995) 昆虫の脳を探る.共立出版株式会社
- 石井象二郎 (1993) わたしの研究③虫はなぜガラス窓を歩けるのか? 偕成社
- 細田奈麻絵 (2012) ,昆虫が「泡」を利用して水中を歩けることを発見—クリーンな水中接着への応用—, 独立行政法人物質・材料研究機構
- 浴井栞 (2011) ゲンゴロウの成長パート 9～マイクロな世界で見つけた不思議な毛～
- 浴井栞 (2014) ハイイロゲンゴロウの螺旋行動～特異な行動と螺旋の意味～