

ニュージーランドのヒカリキノコバエ幼虫の外部形態と捕食行動

大場信義*

External morphology and feeding habits of the New Zealand Glow-worm, *Arachinocampa luminosa* (Diptera: Mycetophilidae)

OHBA Nobuyoshi*

Key words: glow-worm, *Arachinocampa luminosa*, Diptera, morphology, feeding habits, New Zealand

キーワード: グローワーム, ヒカリキノコバエ, ルミノーサ, ハエ目, 外部形態, 捕食行動, ニュージーランド

グローワームはヒカリキノコバエ *Arachinocampa luminosa* の幼虫であり, 地下水が流れる鍾乳洞の天井から粘液を数珠玉のように付着させた細い糸を垂れて, 餌となる小昆虫を捕らえることが知られている。これまで捕食行動の概略については多くの観察があるものの, 口器形態と機能との対応から捕食行動を詳細に研究した例はない。そこで本種の口器を走査型電子顕微鏡で観察し, 特に大顎の形態と機能からショウジョウバエを餌として捕食行動を観察した結果, 次のことが明らかとなった。幼虫は口器が非常に小型であり, 餌を咀嚼する上で適した形状でなく, 餌の体表をなめまわす行動を示した。野外では幼虫よりも大型の硬い小甲虫も餌としていた。餌のかかった粘液と糸は回収され, 絶えず粘液糸は再生された。こうしたことから, 幼虫は粘液糸にかかった餌の体表に消化酵素を分泌し, 粘液糸に浸出された消化物質を摂取していると推定された。

The larva of *Arachinocampa luminosa*, commonly known as the glowworm, emits a continuous blue light. The larva of the nest made of thin silk thread covered with droplets of sticky mucus, which hangs from the ceiling of the limestone caves, where the subterranean water flow below. The glowworms also live along the riverside. The glowworms attract small insects with its light. There are very few studies on the feeding habits of the larva in relation to its mouthpart structure and functions. I observed the morphology of the mouthparts of this species with a scanning electron microscope. I also observed the feeding habits of the glowworm in the field and in the laboratory with reference to other small insects, e.g. the *Drosophila*, basing on the structure and function of the mandibles. When a prey hanged on the nest, the glowworm covers the body surface of the prey with the mucus silkthread. The glowworm's mouth is very small, and can not bite the prey. I observed that the larger and harder beetle than the fly was preyed upon outside the cave, and was also covered with mucus silk thread. After a few hours later, the glowworm collected back the mucus silk thread and sipped off the mucus, which is continuously produced on to the silk thread. As a result of the observation, I consider that the larva assimilated the digested substance from the body surface of the prey from the mucus silk thread, which contains digestive enzyme.

* 横須賀市自然・人文博物館 Yokosuka City Museum, Yokosuka, 238-0016.
原稿受付 2001年9月30日, 横須賀市博物館業績第563号.

はじめに

グローワームはヒカリキノコバエ *Arachinocampa luminosa* の幼虫であり、ニュージーランドの洞窟や川岸に沿って生息し、青色の光を放つ。洞窟内では常に発光するが、洞窟外では夜間だけ発光し、餌となる小昆虫を誘引し、粘液糸にかかったものを捕食することが知られている (MEYER-ROCHOW, 1990; GATENBY, 1959; STRINGER, 1967)。しかし、これまでに粘液糸にかかった餌をどのように食べるのかといった詳細な研究はほとんどなされていなかった。

本研究では、幼虫の大腮形態から機能を推定するとともに、粘液糸にかかった幼虫の捕食行動、さらに餌を誘引する発光行動などを野外および室内にて観察、実験した結果、これまでに昆虫類では知られていない捕食行動をとっていることが示唆されたので報告する。

野外調査に協力頂いた電気通信大学の丹羽治樹・静岡大学の近江谷克裕・プレーメン大学の V.B. Meyer-Rochow の各博士に感謝する。この研究の一部は国際学術研究 No.094 1100 によっている。

方 法

ニュージーランドのワイトモ洞窟とその周辺のヒカリキノコバエ (*Arachinocampa luminosa*) 集団を野外および室内観察するとともに、一部は飼育を行い捕食実験に供した。観察した個体はほぼ終齢に達していると考えられる体長約 3 cm のものを対象とした。捕食行動を反映すると考えられる幼虫の口器形態などを走査型電子顕微鏡 (日立 SV-3000) で明らかにするとともに、捕食行動の記録はビデオカメラレコーダー (Sony Digital Video Camera Recorder DCR-TRV9) を使用し、録画後に映像から行動解析を行った。ヒカリキノコバエ幼虫の餌を調査するために、同集

団が群生する洞内および洞外で捕虫網を無作為に振り回し、採集される小昆虫を調査した。また、発光行動は同ビデオカメラレコーダーに暗視スコープ (米国製 M942) を装着して録画した。幼虫の飼育は透明アクリル容器 (3 x 5 x 10 cm) の蓋部分に石膏を詰めて、野外の生息環境条件の湿度 100% 近い状態で行った。幼虫の餌はショウジョウバエの成虫を使用した。

生息環境

洞窟内：鍾乳洞内に地下水が流れ、湿潤であり、外光は無い。幼虫は集団となって、天井に粘液糸を垂らした巣をつくり、群生する場所は洞内でも限定されている。洞内には地下水が流れ、天井壁は常に湿り、気温は年間



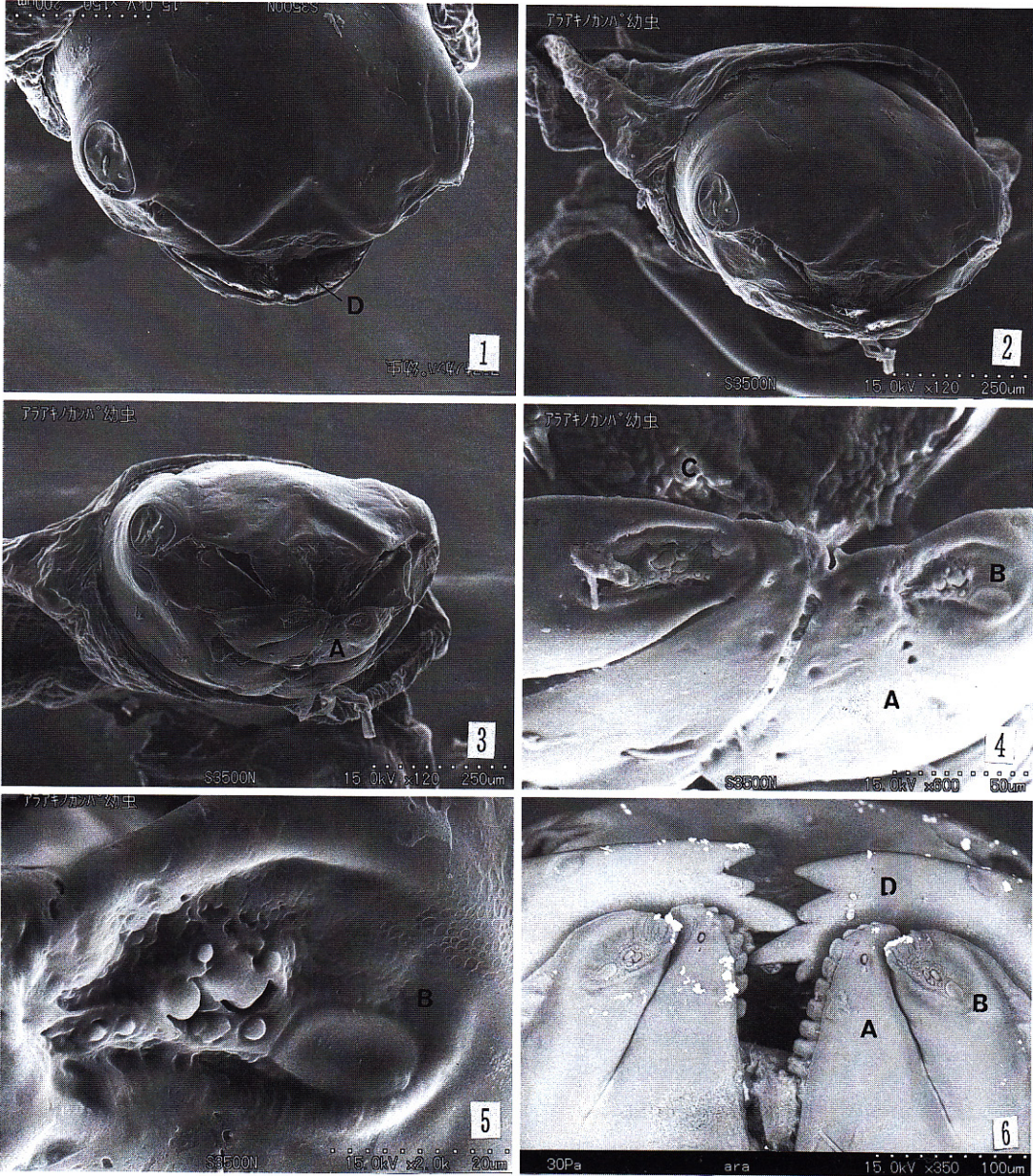
第1図 ヒカリキノコバエが生息する鍾乳洞の外部の景観。



第2図 巣内で発光するヒカリキノコバエの幼虫。

通して20℃以下である。鍾乳洞の上部環境はカルスト台地となっており（第1図）、所々に洞内へつながると推定される大小の入り組んだ空洞が見られる。

洞窟外：川沿いの切り立った崖や草地に巣がみられる。崖は常に湿気を保ち、苔などの植物が繁茂しており、湿潤で夏季においても冷涼な環境である。崖以外では、川岸の草地



第3図 ヒカリキノコバエ幼虫の頭部形態。

1. 斜上面 (D: 大腮), 2. 正面, 3. 斜下面 (A: 下顎と推定される受皿様器官), 4. 大腮下側の受皿様器官の下面 (A), 前方に感覚器官と思われる組織がある (B), 大腮上部には刷毛状の毛塊がある (C), 5. 口器感覚器官と思われる組織の拡大図, 6. 口器下面の拡大図。 D: 大腮下面。開いたAの内側には歯状突起が並ぶ。Dの先端部は鋸歯状。

内でも生息が確認されたが少なかった。

結 果

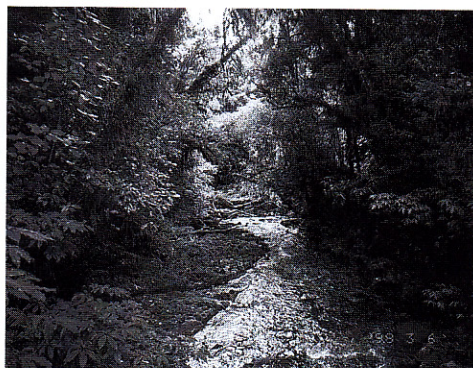
ヒカリキノコバエの外部形態

幼虫：全形は体長4~30 mmと様々であり、細長い円筒形をなし、半透明である。尾端に淡黄色の発光器を備えている（第2図）。頭部は口器、特に大腮が非常に小さく、キチン質で囲まれた餌を咀嚼する機能を有した形態ではない（第3図1~3）。大腮下側には下顎と推定される受皿様の器官があり（第3図3）、この器官は開閉し、その内側には小さな歯が並ぶ（第3図6）。この下顎と推定される器官が閉じている時には受皿状となる。この受皿様器官の下側前方には微小開口組織が存在する（第3図4~5）。

触角ほかの明瞭な感覚器官が見られないが、いくつかの膜質器官や微小な開口部が観察された。Aの内側奥は開口する。目は小さい（第3図1~5）。大腮の上面と下面にはブラシ状の毛塊がみられた（第3図4）。

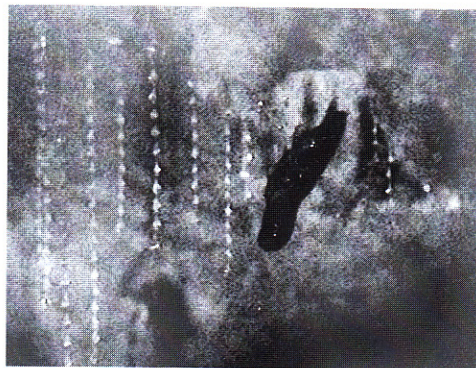
野外における幼虫の餌

洞窟外の崖（第4図）では体長約10 mm の

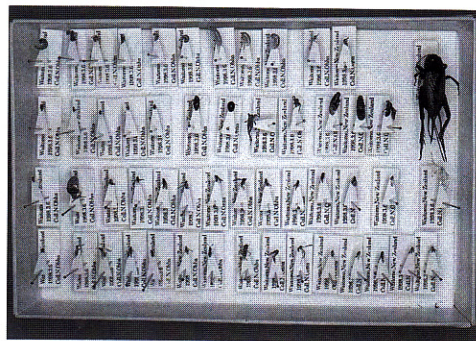


第4図 ヒカリキノコバエが生息する鍾乳洞の外部の景観。

コメツキムシの1種（第5図）や小型のハエ目の1種が粘液糸にかかっていた。幼虫の営巣地周辺を無作為にスィーピングを行い、採集された昆虫類を調査した結果を第6図と第1



第5図 洞外のヒカリキノコバエ幼虫の巣にかかったコメツキムシの1種。



第6図 洞窟外の生息地で採集された餌と考えられる小動物。

第1表 ヒカリキノコバエ幼虫の生息地（洞外）で採集された小動物。

動物群	種数	個体数
ヤスデ類	1	1
クモ類	4	5
等脚類	1	4
昆虫類		
カメムシ類	1	1
甲虫類	3	6
バッタ類	1	1
コオロギ類	1	1
ハエ類	3	18
ハチ類	5	5

表に示した。ハエ目は小型種が多数採集された。一方、今回の調査では洞窟内において2時間スーピングを試みたが、確認できなかった。

幼虫の生息密度と成長状態

隣接する別個体の巣とは数 cm の距離であり、生息密度は非常に高かった (第15図)。1 集団内には終齢から若齢幼虫まで含まれた。

幼虫の巣

終齢幼虫と推定できる個体の巣は天井と平行に張った約10 cmの横糸から約20 cmに達する粘液糸を10~14本垂らしていた (第7図)。若齢幼虫では粘液糸数が少なくかつ短かった。



第7図 鍾乳洞内のヒカリキノコバエ幼虫の巣。



第8図 洞外のヒカリキノコバエ幼虫の巣。

野外で確認できた小型の巣 (第8図) では粘液糸の長さが1 cm以下のものも観察できた。粘液糸は横糸から垂れ下がり、巣を形成していた。巣は幼虫が口から分泌する粘液により作られた。幼虫は通常時には横糸の端に潜ん

でいた。餌が糸にかかるると素早く幼虫は餌の方向へ向かった。粘液糸は等間隔に粘液玉が連なり、振動を加えても定位置にあり、流れ落ちることはなかった (第9図)。粘液糸は湿度が低下すると水分が失われて粘性も低下した。



第9図 等間隔に粘液玉をつけたヒカリキノコバエの粘液糸。

洞窟外の巣の縦糸は10cm前後のものがほとんどであり、洞窟内が外の巣の縦糸よりも長かった。

幼虫の造巣およびその修復

幼虫は横糸を張った後、下方へ体半分ほど



第10図 口器から粘液玉を放出するヒカリキノコバエの幼虫。

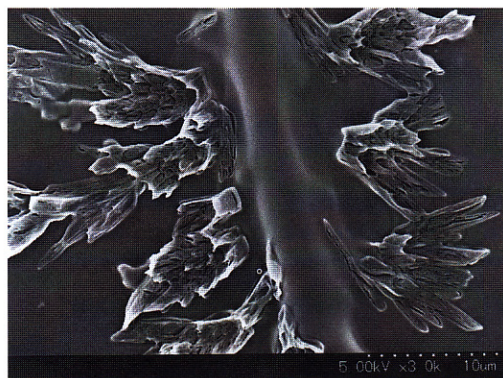
のばして、口器から粘液玉を分泌し (第10図)、同時に分泌される縦糸に固定して、順次等間隔に粘液糸をのばした。横糸は透明な絹状の糸で天井に固定され堅牢なものとしていた。横糸の多くはU字型になっているものもあり、ほぼ等間隔に縦糸がならんでいた。糸を吐き出す位置は幼虫の口器であり、皿状器官に糸

の素材をためながら大腮を開閉させた。巣が破壊されたときには幼虫は口器で粘液糸をすべて吸い込み回収した。その後、再度縦糸を



第11図 巣内の粘液糸を修復するヒカリキノコバエの幼虫。

のばし造巣した（第11図）。粘液糸を走査型電子顕微鏡で観察すると、粘液球と糸の成分



第12図 ヒカリキノコバエ幼虫が作った粘液糸。乾燥させて電子顕微鏡で撮影した。粘液球は結晶状となり、付着部は凹凸がある。



第13図 電子顕微鏡で撮影したヒカリキノコバエの表面が滑らかな巣糸。

が異なり、特に乾燥後では、粘液球は第12図のように結晶様の固形物質に変化した。糸は表面が光沢ある絹状の糸であった。粘液球が固定されている部分の糸の表面には凹凸が認められた。一方、横糸には粘液糸がなく、乾燥後に特異な凹凸が現われることがなかった（第13図）。

巣内における幼虫の方向転換

幼虫は通常横糸に常駐し、糸上で自由に素早く移動し、方向転換した。横糸の端から幼虫は餌が粘液糸にかかるると敏捷に餌のかかった方向へ向かった。1本の糸上での方向転換が必要な場合には体を180°曲げて自由に方向転換した（第14図1～6）。

発光行動

洞窟内の幼虫は昼夜を問わず絶えず発光していた。幼虫は点滅せずに持続して発光した（第15図）。発光色は青色であった。洞窟外では夜間のみ発光する点において洞窟内と外の集団とで発光行動様式が異なった。蛹も持続した光を放ったが、成虫の発光は確認することができなかった。

幼虫の捕食行動

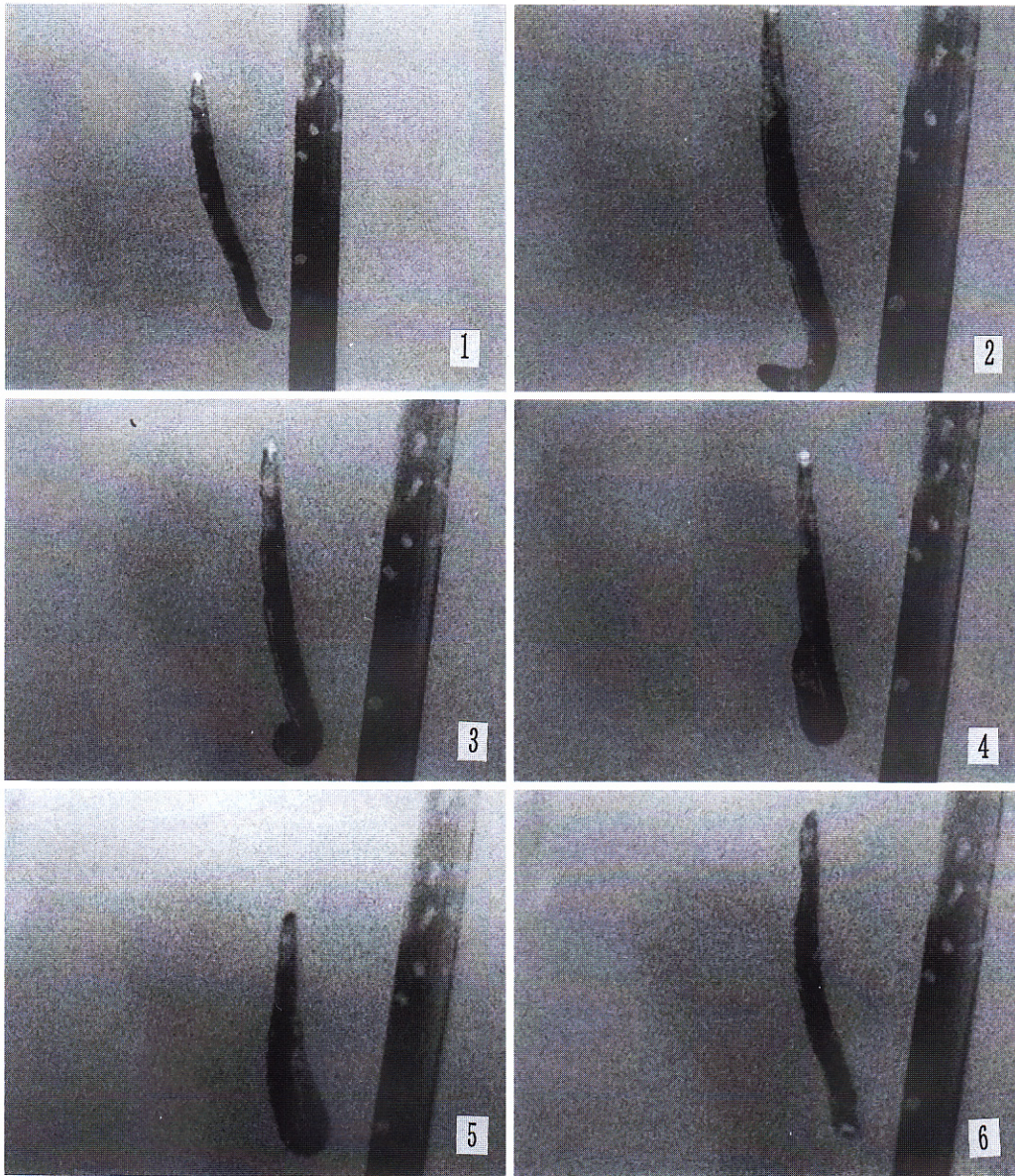
飼育中の幼虫が造巣した粘液糸に生体ショウジョウバエを付着させた結果は第16図の通りであった。

粘液糸に付着したショウジョウバエは粘液糸から離脱しようともがいたが、隣接した粘液糸2本がさらに絡まった（第16図1）。ヒカリキノコバエの幼虫はショウジョウバエのもがく振動を粘液糸から感知し、その粘液糸の1本を口器で吸い上げて回収した。至近距離までたぐり寄せると頭部をショウジョウバエの方向に向けて体を伸ばし餌に触れた（第16図2）。幼虫は素早く餌をなめ回す行動（第16図2～5）を続けた後に、横糸に戻った（第16図6）。餌のショウジョウバエは粘液糸に包まれた状態で放置されたままとなり、翌日には餌は巣外に落とされ、壊れた巣の粘液糸は幼虫が回収して新たに造巣した。

考 察

ヒカリキノコバエの外部形態

幼虫：尾端に淡黄色の発光器を備え強く青色に連続発光しており、餌となる小昆虫を誘



第14図 巣内における幼虫の方向転換の行動様式。

1. 幼虫は左方向に向いている 2. 頭部を右方向へ向ける 3. 頭部を自身の体の右側面に密着させる 4. 頭部を体に密着させたまま右方向へ1/3ほど繰り出した状態 5. 右方向へ2/3ほど繰り出した状態 6. 右方向へ完全に方向転換した幼虫

引していると考えられているが、今回の観察ではそうした場面を確認できなかった。しかし、ホタルが放つ黄緑色の光とは明らかに異なった発光色であり、より波長が短い。青色

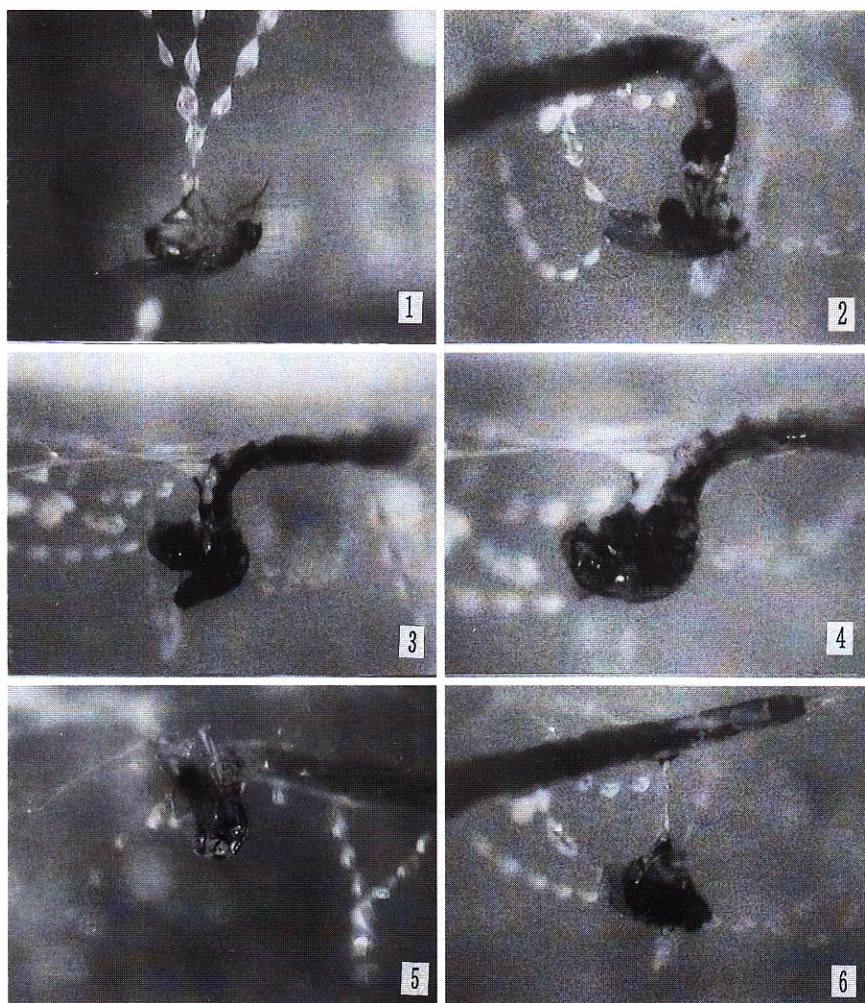
光は誘蛾灯の光の色に似ており、小昆虫を誘引する上では適応的な発光色と考えられる。

幼虫の大腿が非常に小さく、かつ大腿下側の受皿様器官が開閉機能を有するにしても、



第15図 ヒカリキノコバエ幼虫の発光状態.

大腮を包み込んだ形態をなしているために微小な餌でない限り咀嚼するには機能的ではない。この受皿様の器官はむしろ粘液糸を回収する上で適応的機能を有する形態である。また、大腮の上面と下面の毛塊は粘液などの分泌物を餌の体表に塗り付ける機能を有していると推定できる。受皿様器官の下側前方の微小開口組織は感覚器官と推定されるが、どのような機能を有しているのかは不明である。目は非常に小さいので、餌への定位を視覚に行っている可能性は低いと考えられる。巣内での餌への定位行動は大変敏捷であり、餌が発す



第16図 ヒカリキノコバエ幼虫の捕食行動.

1. 糸にかかったショウジョウバエ 2. 粘液糸をたぐりよせるように回収し、ショウジョウバエに到達した幼虫 3. ショウジョウバエをなめ回すような行動を続ける幼虫 4. ショウジョウバエ全体をなめ回す幼虫 5. 粘液でまったく動けなくなったショウジョウバエ 6. 体全体が粘液に包まれたショウジョウバエを放置している幼虫

る振動刺激を感知して定位していると考えられる。

野外における餌

洞窟外の崖では観察された硬い表皮につつまれた大きなコメツキムシの1種を幼虫が咀嚼することは幼虫の口器形態の機能から推定すると不可能である。幼虫の捕食行動からこうした対象に対しても、体表に蛋白質分解酵素が含まれた粘液を分泌し、餌のまわりに塗りつけて間接部分の膜質組織などを溶かして、栄養物を粘液に浸出させたものを回収しているものと考えられる。生息地周辺の小動物の調査結果から、昆虫類・等脚類・クモ類・ヤスデ類など21種が得られ、これらのうちで昆虫類が最も多く、これらが餌となっている可能性が高いと考えられる。一方、洞窟内においては今回の観察では幼虫の餌が確認できず、捕食頻度が低いことが示唆された。餌は洞内の流れから発生する小昆虫類と考えられるが、今回の調査範囲内では確認ができなかった。

幼虫の生息する鍾乳洞を外側から見ると、いくつかの内部へと通じると推定できる開口部が認められた。この開口部を通じて、洞窟外の小昆虫が洞窟内へ侵入することも考えられ、さらに今後の研究を要する。

幼虫の生息密度と成長状態

巣は隣接する別個体の巣と数cmの距離にあることから、生息密度は非常に高い。十分成長した幼虫は巣を回収して蛹となり羽化すると、その空スペースは産卵場所から、次世代の幼虫の生息場所となり、生息密度は維持されると考えられる。従って1集団内には終齢から若齢幼虫まで含まれ、発光力が弱く餌の誘引力が弱い若齢幼虫にとっては、より強い発光力を有する幼虫と集団化することで、捕食の機会を増大させていると考えられる。

幼虫の巣

粘液糸は横糸から垂れ下がり、幼虫が常駐する横糸には粘液球がなく、横糸と縦糸では明らかに形状と機能が異なっている。巣は幼虫が口から分泌する粘液により作られる。粘液球は、縦糸の凹凸部分で固定されているために流れ落ちにくいと考えられる。この粘液球を乾燥すると結晶状の物質が生じるが、成分の分析は行っていない。

洞窟外の巣の縦糸は、洞窟内よりも短いが、

洞窟外では強風や植物の葉・茎などの障害物が多いために環境の安定性が悪く、長くなれないと考えられる。

幼虫の造巣および修復

幼虫が糸を吐き出す位置は大腮と考えられ、皿状器官に糸の素材をためながら大腮を開閉させて同時に縦糸に粘液球をつけながら造巣する。幼虫の巣の回収行動は餌量が少ないなかで、資源の最大活用を図るために口器で粘液糸をすべて回収するように適応したと考えられる。

巣内における幼虫の方向転換

幼虫は、1本の短い横糸上で素早く捕食行動をとらなければならず、糸上で自由に素早く移動し、方向転換を可能にした。粘液質の糸上を表面張力を利用しながら柔軟な体を自由に移動していると考えられる。この行動様式は狭い巣内の糸に餌がかかったときに迅速に定位する上で適応的行動様式といえる。

発光行動

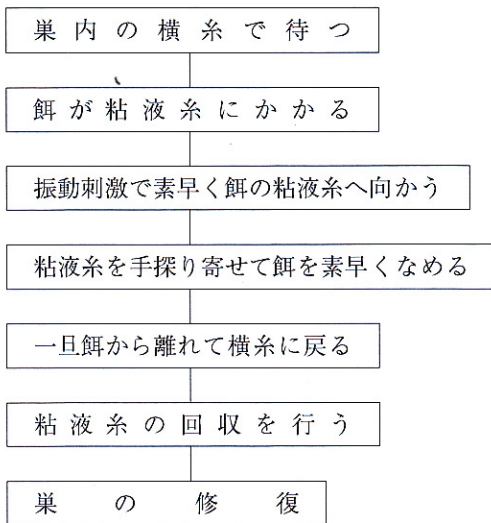
洞窟内の幼虫は昼夜を問わず発光するが、洞窟外では夜間のみ発光する点において洞窟内と外の集団では発光行動様式が異なる。幼虫の発光色は青紫色であり、誘蛾灯の光の色に似ていることから、餌となる小昆虫を誘引する上で好適な発光色と考えられ、餌を誘引するために発光しているものと推定できる。蛹も持続した光を放つが、その機能は不明である。成虫の発光は現在のところ未確認であり、雄と雌の配偶行動は匂い物質を介在させて行っていると考えられる。

幼虫の捕食行動

ヒカリキノコバエの幼虫は粘液糸にかかったショウジョウバエの体表に粘液と消化液を口器で塗ることによって、栄養分を浸出させ、それらを回収していると考えられる。幼虫は素早く餌をなめ回す行動を続けた後に、摂食しないままに横糸の常駐位置に戻った行動は餌の栄養物を粘液中に浸出するために待つ行動とみなすことができる。幼虫は壊れた巣の粘液糸を回収し、そのことで粘液糸に浸出された栄養物を同時に摂取していると考えられる。こうした捕食行動様式はこれまでに例のない独特のものである。

洞窟外で観察したコメツキムシの1種は幼虫に比較して大きく硬い表皮を有し、通常で

は摂食不能である。コメツキムシの1種は粘液によって全体が包まれた状態で巣に放置されていたことから、表皮に消化液が含まれ、栄養分の浸出を行っていたと推定できる。幼虫はほとんど巣を移動することなく成長するために、餌がかかるのを待ち続けるだけである。従って、餌の種類や大きさを選択する余地が少なく、このために適応した捕食行動であると考えられる(第17図)。



第17図 ヒカリキノコバエ幼虫の捕食行動様式。

引用文献

- MEYER-ROCHOW V. B. 1990. *The New Zealand Glowworm*. 60pp. Waitomo Caves Museum Society Inc., Waitomo Caves, New Zealand.
- GATENBY J. B. 1959. Note on the New Zealand Glowworm, *Bolitophila* (*Arachnocampa*) *luminosa*. *Trans. Royal Soc. New Zealand*, 87:291-314, plates 23-28.
- STRINGER I. A. N. 1967. The larval behaviour of the New Zealand Glowworm *Arachnocampa luminosa*. *Time*, 13:107-117.