

一の坂川ホタル護岸の有効性調査

宮本和雄¹・関根雅彦²・樋口隆哉²・浮田正夫²

¹ 学生員 山口大学大学院理工学研究科博士前期課程

² 正会員 山口大学大学院理工学研究科

ホタル護岸が実際にホタルの生息、繁殖にどの程度貢献しているのか、また、低水敷、河川形態、日当たりなどの要因のホタルの生息、繁殖に与える影響や重要度は、現在のところ明らかにされていない。そこで、ホタル護岸が採用されている山口市を流れる一の坂川において実態調査を行った。その結果、一の坂川ではゲンジボタルの蛹化場所として、低水敷が多く利用されていたが、ホタル護岸も有効であることが確認された。

Key Words: fireflies, Climbing Larvae, Emergence Trap, riverbank protection for fireflies

1. はじめに

近年、護岸内に蛹化場所を意図したホタル護岸工法が多自然型工法の一環として山口県内各所で施工されている。しかし、成功例もある一方で、ホタルの姿がみられない所も多い。ホタル護岸が実際にホタルの生息、再生産にどの程度貢献しているのか、追跡調査がなされていないのが現状である。また、植栽や低水路脇の堆積など、護岸以外の要素の影響も明らかではない。

宮下¹⁾は、ゲンジボタル幼虫の上陸が調査の困難な雨の夜に起こることから、上陸・蛹化場所の情報が不十分なままホタルに配慮した川づくりなどが行われることが多いことを指摘し、筑波山麓の中沢の中流域約 120m 区間において、ホタル幼虫の上陸行動追跡調査、および羽化トラップに

よる蛹化場所確認調査を実施した。その結果、淵やよどみでは瀬（流速 15~20cm/s）より 2 倍程度上陸が多いこと、ホタル幼虫は空石積み護岸では 1m 以上登るが、土羽では 1m 以上で確認された例はないこと、護岸だけでなく高水敷でも集中した羽化が観察されたこと、などを明らかにした。そして、多様な河川形態と流れの緩急が上陸の成功に必要であること、蛹化には柔らかで湿潤な土壌が必要であり、空石積み護岸では裏込めに土壌を詰めて蛹化場所を創出すべきことなどを指摘した。また、羽化トラップは改修後の蛹化場所の評価に有効であるとした。

本研究は、市街地でゲンジボタルの乱舞が見られる河川として名高い山口県山口市の一の坂川において、宮下らの調査を参考にしたホタルの幼虫の上陸行動追跡調査、羽化トラップ調査に加え、新たに考案した人工産卵床による産卵場所調査、夜間の照度

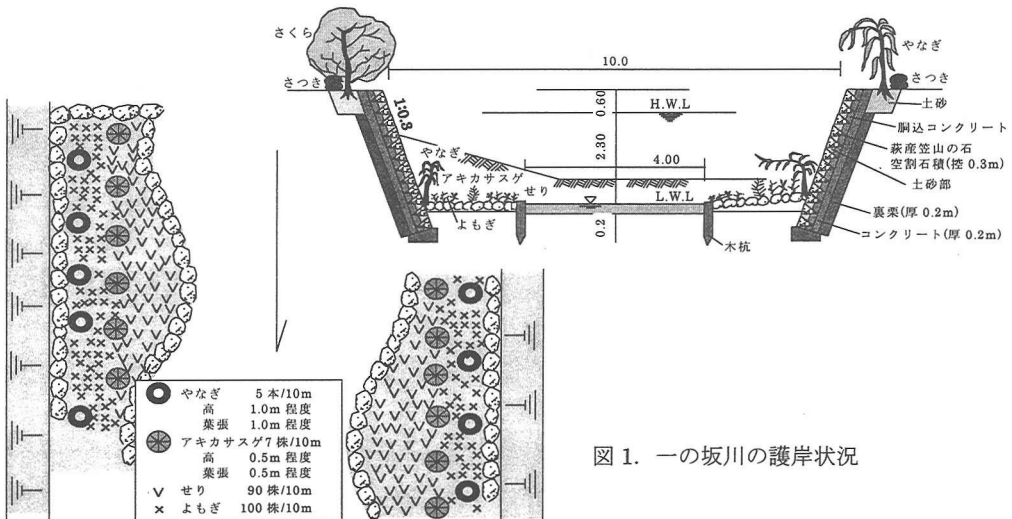


図 1. 一の坂川の護岸状況

や流速などの環境特性調査を行い、ホタル護岸の有効性を検証することが目的である。

2. 一の坂川のホタル護岸

山口市のゲンジボタルは、今から約 640 年前、当時の守護である大内弘世が宇治からとりよせ土着したものと伝えられ、昭和 10 年には国の天然記念物に指定されている。一の坂川は山口市の市街地を流れる二級河川であり、そのホタル護岸は、まだ多自然型工法などが一般的となるより前の昭和 46~47 年、地元住民の意向を受けた山口土木事務所と山口県土木建築部河川課が、当時ホタルの養殖に成功していた山口県農業試験場の協力を得て施工したものである²⁾。現在でも毎年 6 月初旬にはホタル祭りが開かれ、市街地でゲンジボタルの乱舞が見られる河川として、各地からホタルの鑑賞に訪れる人々で賑わっている。ホタル養殖の成功以来、一時の中断を除いてホタル幼虫の放流は続けられており、一の坂川内でホタルの再生産が十分に行われているかどうかは確認されていない。しかし、少なくとも秋に放流された幼虫が翌年成虫として羽化に成功していることは明らかであり、ホタル護岸の成功例として理解されている。

一の坂川の護岸構造を図 1 に示す。高水護岸は強度を保つためコンクリートで下張りをした上に自然石を組み、ホタル幼虫の蛹化場所として、石の隙間を赤土混じりの土砂で埋めてある。また、ホタルの好む日陰を確保するため、堤上に桜、柳、さつきを植栽した。また、改修に伴う流速の増加でホタルの幼虫が流されないように、低水路を S 字型に蛇行させ、木杭の流れに垂直に打って流速を抑えている。さらに、高水敷には土砂を入れ、よもぎ、かんすげ、せりなどを植栽し、水際は木の詰め杭としてある。

この護岸が成功したことから、現在山口県内各地で施工されているホタル護岸は多かれ少なかれ一の坂川をモデルにしたものとなっている。よく採用されるパターンは、高水護岸の法覆工を手の掛かる自然石組のかわりに緑化ブロックとしたものであり、植栽や高水敷は省かれる場合も多い。これは、一の坂川の高水護岸こそがホタルの生息に寄与しているとの判断によるものであり、本研究の興味の一端もこの判断の当否にある。

本研究では、ホタル護岸が施工されている約 570m のうち、春日橋から琴水橋の間約 150m を調査区とし、幼虫上陸調査、羽化トラップ調査、産卵場所調査、幼虫分布調査、環境特性調査を実施した。

3. 幼虫上陸調査

幼虫上陸調査は、蛹化場所としてどの程度ホタル護岸が利用されているかを調べるために、上陸する幼虫を観察し幼虫が土中に潜入する位置を特定することが目的である。調査は、1999 年 4 月下旬から 5 月下旬にかけて 4 回行った。雨の日の夜、午後 8 時頃から 12 時頃、4 人の調査員が一人当たり約 15m を持ち場とし、それぞれ川の中を歩きながら、上陸中の幼虫を探した。幼虫を見つけたら、その地点に予め用意しておいた発光ウキ（ケミホタルレギュラー、 $\phi 4.5 \times 37\text{mm}$ ）と番号タグを貼付した竹串を刺して場所、日時を記録した。さらに、幼虫の潜入場所を確認するために、各自調査区内を巡回しながら、幼虫の軌跡にあわせて新しい竹串を刺していくことにより幼虫の行動を可能な限り追尾した。上陸幼虫調査区間は、流れや護岸の状態の違う場所を選び、上流側から調査区間 1~調査区間 4（図 2）とした。

図 2 に調査区間とゲンジボタル幼虫の上陸が観察された最終地点を示した。4 回の幼虫上陸調査で確認された全幼虫上陸数は、98 個体であった。調査日ごとの内訳は、第 1 回目（4 月 23 日）は 33 個体、第 2 回目（5 月 3 日）は 33 個体、第 3 回目（5 月 4 日）は 28 個体、第 4 回（5 月 19 日）は 4 個体であった。また、調査区間ごとの幼虫上陸数は、調査区間 1（春日橋下流部）が最も多く、調査区間 4（琴水橋近傍）が続いた。調査区間 1 は、流速調査の結果、対象区間の中でも最も流速の早い場所であり、文献¹⁾で指摘された淵部分で上陸が多いという傾向は見出せなかった。ただし、一の坂川では後述するように淵といえどもかなりの流速を保っており、これが文献¹⁾と傾向がことなっている原因かもしれない。また、調査区間 1、4 では近辺に街灯がなかったり、橋や植栽により光が遮られるような場所であり、後に行った照度調査にも示されているように比較的暗い場所であった。よって、一の坂川では幼虫の上陸位置には照度が影響していることが考えられる。上陸幼虫の最終確認場所の多くは高水敷で、高水護岸の石積の隙間への潜入や、高水護岸を上る幼虫は全体の約 1 割ほどであった。また、高水敷の踏み後部などの堅い土のところは利用が見られなかった。

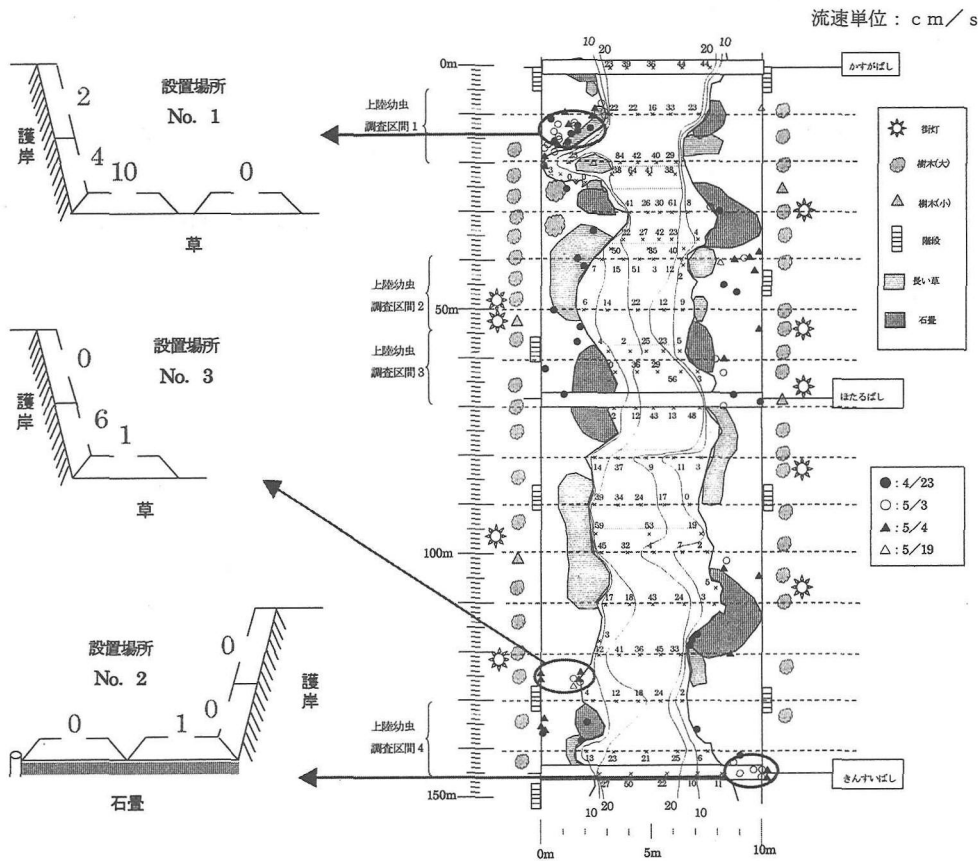
4. 羽化トラップ調査

羽化トラップ調査は、幼虫上陸調査でホタル幼虫が土中に潜入したと思われる場所に羽化トラップを設置して、実際にどれほど羽化するかを確認することにより、幼虫潜入地点の蛹化場所としての有効性を知ることが目的である。調査は 1999 年 5 月下旬から 6 月下旬にかけて行った。羽化トラップは 3mm

メッシュのモジ網を設置面積が 60cm×100cm となるよう設置場所の形状にあわせて必要に応じて縫い合わせたものを用いた。調査地点として、幼虫上陸調査結果に基づき、多くの幼虫が潜入したと思われる 3 地点を選定し、3 地点の高水護岸の上部と下部、高水敷の高水護岸に近い部分と水際に近い部分の 4 カ所に羽化トラップを隙間ができないようにガムテープ、竹串などを使用して設置した。トラップ内で羽化した成虫数は毎夜 10 時前後にトラップから取り出して計数し、その後放した。また、ゲンジボタル成虫の飛翔数をほたる

橋の上から上流側、下流側それぞれについて観測者 2 人が別々に数え、これを平均したものをホタル成虫の発生状況の相対的な目安とした。

図 2 に羽化トラップ設置場所と各場所からの羽化数を示した。春日橋下流部右岸の設置場所 No.1 からは 16 個体、琴水橋下左岸の設置場所 No.2 からは 1 個体、琴水橋上流部右岸の設置場所 No.3 からは 7 個体の羽化が確認された。それぞれの設置場所における内訳は、設置場所 No.1. では高水護岸直下の高水敷からの羽化が最も多く、次いで高水護岸下部、高水護岸上部の順となり、前節の幼虫上陸調査で幼



* 図の右側: 調査区間内の図であり、幼虫上陸場所を調査日毎に●、○、×、△で示す。川の流れは上から下方向。右の図の河川部に示している数値は各地点における流速を表している。河川流水部に示した数字はその地点の流速であり、線は 10cm/s と 20cm/s のコンターである。単位は (cm/s)。

* 図の左側: 羽化トラップの調査結果を左側に示す。図の中の数字は場所毎 (護岸上部・下部・護岸直下の低水敷・水際の低水敷) の羽化数を示す。

虫が多く観察された高水敷水際部の草むらからは全く羽化が見られなかった。この地点は雨天時、雨天後によく冠水する場所であり、蛹化場所として適していなかったと考えられる。設置場所 No.2 では、護岸を登る幼虫が観察されていたが、羽化したのは高水敷の石畳部からの 1 個体だけであった。この地点は橋の下であり、石積護岸の隙間内の土壌が少なく乾燥しており、また、石畳部では隙間に湿った土壌があったが、雨天時、雨天後によく冠水する高さであり、蛹化場所として適していなかったと考えられる。設置場所 No.3 では高水護岸下部が最も多く、次いで高水護岸直下の高水敷であった。なお、この地点では高水敷が狭かったため、高水敷には 1 つしかトラップを設置しなかった。羽化が多く確認されたこの地点の高水護岸下部は、石積の隙間から草が繁茂している部分が多く、適度の湿った土壌が多く存在したと考えられる。それに対して高水護岸上部は、植生もほとんど見られず乾燥していて、羽化も全く観察されなかった。

5. 産卵場所調査

産卵場所調査は、ホタルが産卵場所として、どのような場所を選ぶのかを調べるのが目的である。ホタル成虫の飛翔が観察される 6 月上旬から 6 月下旬にかけて河道内各所に筆者らが考案した人工産卵床を設置し、孵化する幼虫を計数した。人工産卵床は、約 3cm メッシュのビニール被覆針金製金網 30cm 四方に、予め水にさらしておいた園芸用の水苔を乾燥重量にして約 50 グラム編み込んだものである。設置場所は橋の下面、高水護岸、水際の木杭、草の中、水面上に張り出した木の枝など、図 3 に示す No.1～No.9 の 9 ケ所とした。設置期間中毎日、羽化トラップ調査時に霧吹きにより人工産卵床に湿りを与えた。設置期間終了後、回収した産卵床は水をはったポリバケツ上に置き、毎日霧吹きで湿りを与えた後ポリラップでかるく覆って日陰の涼しい場所に置き、幼虫の孵化状況を観察、計数した。

調査の結果、9 ケ所に設置した苔のうち、図 3 に示す No.1：木杭、No.2：琴水橋の裏、No.3：木の枝の 3 箇所から幼虫の孵化が確認された。No.1：木杭は橋下の水際の木杭、No.2：琴水橋の裏は橋の下面である。琴水橋周辺の植栽や橋自体によって光が遮られる場所であった。No.3：木の枝は水面上に張り出した木の枝の下面で、周辺に植栽が繁茂していることによって日光や照明が遮られ、成虫の休息場所となり得る場所が多くみられた。以上のことから、産卵場所として、①上陸

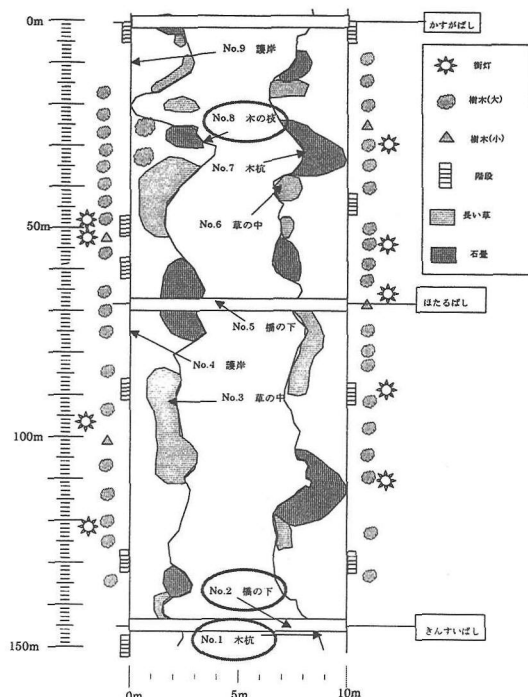


図 3 産卵場所調査結果

* No. 1～9：水苔設置場所

* ○印：孵化が確認された場所

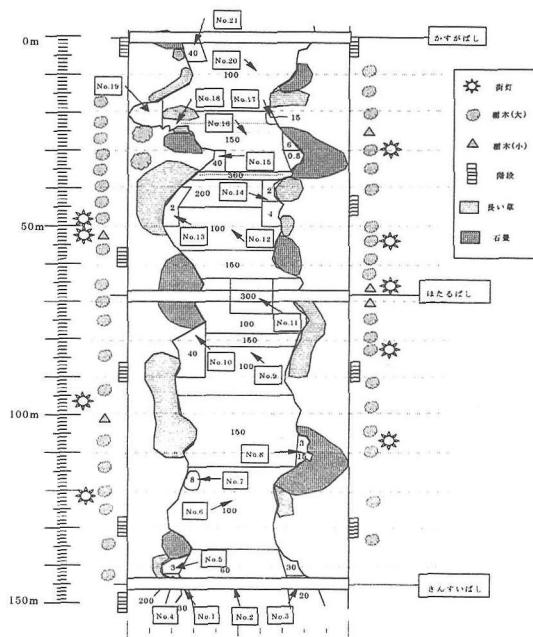


図 4 幼虫分布調査地点

* 図の河川流水部の数字はおおまかな河床の代表粒径を示している。単位は (mm)。

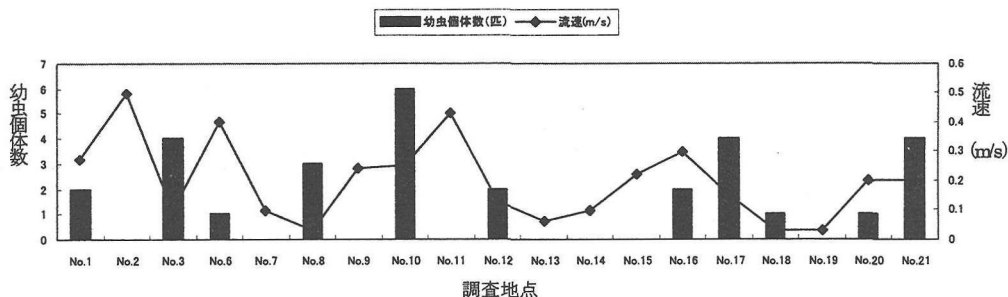


図 5. 幼虫分布調査結果

表 1 水環境におけるゲンジボタルの好適生息条件³⁾

流速	10～30cm/s、緩急の変化があるのがよい
流量	流速を保つために1年を通して安定している必要がある。
水質	溶存酸素量が6.8～11.8mg/l、BODが0.5～1.8mg/l、CODは0.5～3.4mg/l。
水温	適温は冬季が10℃、夏季は20℃である
水深	5～80cmと幅広くに生息する。平均5～30cmが多い。
底質	砂礫質。玉石・礫が多い川底に多く生息する。

位置と同様に照度が大きく影響すること。②卵は乾燥に弱いので、温度、湿度などが保たれる必要があること。③水際など、幼虫が自力で川まで辿り着けるような場所であること。の3つが考えられる。

6. ホタル幼虫分布調査

ホタル幼虫分布調査は、ホタルの養殖幼虫が放流された約2ヶ月後の1999年11月下旬に行った。1つの計測地点につき、50cm四方のコドラート2個を設置し、それぞれのコドラート内で採集されたホタル幼虫を計数し、そのサイズを計測した。調査地点を図4、調査結果を図5に示した。調査の結果、多く幼虫が捕捉された場所はいずれも水際で、流速は20cm/s以下と比較的遅く、底質の代表粒径は3～40mmの範囲であった。以上のことから、幼虫はあまりに速い流速には耐えることができずに淀みまで流され、その付近で生活するものが多いのではないかと考えられる。

7. 環境特性調査

3. 幼虫上陸調査、4. 羽化トラップ調査、5. 産卵場所調査からわかるように、ホタルの生息に周囲の様々な環境が大きく影響を及ぼしている。そのため、一の坂川がどのような環境にあるかを知っておくことが重要である。調査区間の水質、流速、水深、カワニナの分布、土の硬度、照度について調査し、それぞれの環境がホタルに及ぼす

影響について調べるために行った。

まず、それぞれの調査方法は以下の通りである。流速、水深、水質の計測地点は流下方向に10m間隔を原則とし、1つの断面上に5ヶ所設けた。流速は、1つの計測地点につき表面流速、6割水深流速、底層流速をそれぞれプロペラ流速計を用いて計測した。水深は、竹尺を用いて計測した。水温、水素イオン濃度、濁度、溶存酸素量、電気伝導率については、水質チェッカー（堀場U-10）を用いて計測した。なお、計測は下流から上流に向かって行った。

底質は、泥(踏むと水が濁る)、砂(4mm以下)、細礫(1cm以下)、中礫(こぶし大以下)、大礫(人頭大以下)、巨礫に目視分類し、均一とみなせる区間ごとにそれぞれの粒度の被覆割合と代表粒径、最大径を記録した。

カワニナの生息量は、ホタルと同じ方法でそれぞれのコドラート内で採集されたカワニナを計数し、サイズを計測した。

土の硬度は、山中式土壌硬度計を用いて降雨後に計測した。羽化トラップ設置場所における高水敷の水際部、踏み跡部、高水護岸直下、高水護岸の石積の間の土、および高水護岸天端の植栽部の土の柔らかさを比較した。

照度は流下方向に20mごとの1断面につき右岸、左岸、川の中央の3ヶ所、地表および地表から約200cmの位置において、照度計（ミノルタT-1）を用い前後左右および上方の計5方向の照度を計測し、平均値を求めた。なお、調査結果との比較のため、表1に文献より得たゲンジボタルの好適生息条件³⁾を掲げる。

流速は、流心部ではほとんど 30cm/s 以上であり、水際部でも木杭によりある程度の水深と流速が保たれている部分が多く、緩急の変化も少ない（図 2 参照）。宮下の調査河川¹⁾ではほとんどが瀬と区分される流速である。6. 幼虫分布調査の結果でも、幼虫分布はカワニナの多い位置ではなく、流速が遅い位置に多く分布しており、ホタルの幼虫にとっては全体的に流れの速い川であるといえる。また、筆者らの別の実験では、孵化幼虫は滑面ではあるが 1cm/s 程度の流速でも着底できないという結果も得ており、孵化したばかりの幼虫が着底できるチャンスは少ない恐れがある。

水深は深い所でも 50cm をこえる場所はなかった。底質は砂礫質であった。（図 4 参照）水質に関しては、水素イオン濃度は 8.06~9.19、濁度は 5~12、溶存酸素量は 9.61~10.61、電気伝導率は 0.068~0.070、水温は 16.6℃~17.3℃であった。水素イオン濃度が好適生息条件より若干アルカリ性であった以外、水質に大きな問題はないようである。

図 6 にホタルの幼虫の餌となるカワニナの生息量の調査結果を示した。調査地点は幼虫分布調査と同じ場所である。調査区間のほとんどで多くのカワニナを確認することができた。特に、ほたる橋の 20m 上流が最も多かったが、カワニナの量に問題は無いようである。カワニナの大きさの内訳は 5mm 以下の大きさのものが 7 割、5mm~1cm の大きさのものが 2 割、1cm 以上の大きさのものが 1 割であった。

土の硬度調査結果は水際部が 0.37kg/cm² で最も柔らかく、高水護岸直下の高水敷は 0.82kg/cm²、高水護岸の石積の間の土は 1.13kg/cm²、高水護岸天端の植栽部の土は 0.97kg/cm² と同程度で、踏み跡部は 2.9kg/cm² で最も大きくなった。幼虫上陸調査において高水敷の踏み後部は素通りしていたことより、踏み跡部の硬度は、幼虫が蛹化のための潜土に適していなかったといえる。高水護岸に関しては、高水敷と同程度に土が柔らかく、蛹化が可能であると思われる箇所がいくつか見られた。

照度調査の結果を図 7 に示した。この調査は冬に行ったため、植栽の葉の繁茂状況が初夏と異なるが、ホタルの上陸、蛹化、産卵に利用された場所は照度の低い部分であることは明らかである。照度のホタルに与える影響は、成長段階によらず大きい。

8. 考察

(1) 蛹化場所について

幼虫上陸調査、羽化トラップ調査より、一の坂

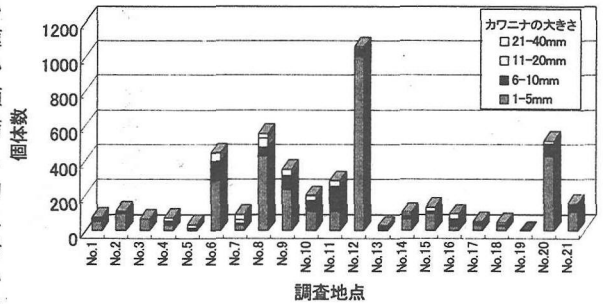


図 6 カワニナの生息量調査結果

*調査地点は幼虫分布調査と同じである（図 4 参照）

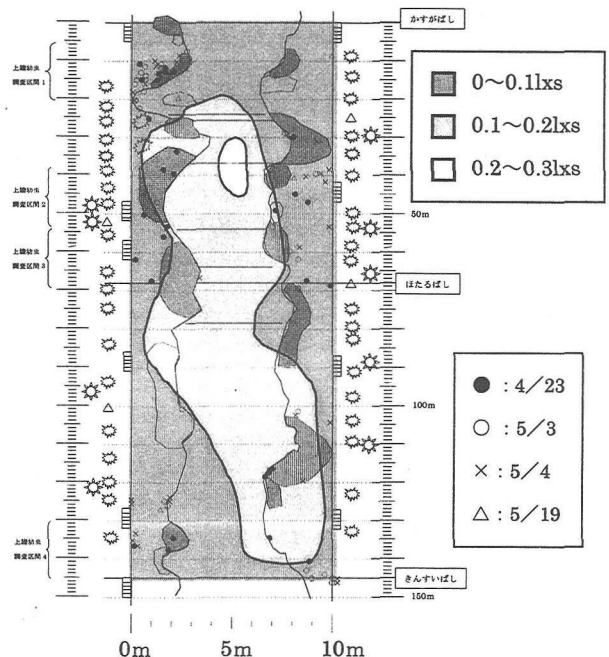


図 7. 照度調査結果（地表）

川の高水護岸が蛹化場所として利用されていることが確認された。しかし、全体的には裏込コンクリートの打設により地下水の浸出が押さえられており、石積の隙間に詰められた土壌が乾燥しやすい場所では羽化も成功していない。また、土壌が流出してしまっており、蛹化場所として選択されない部分も多い。石積の隙間に土を詰め直すなど、高水護岸に対するメンテナンスが必要であると思われる。また、高水護岸より高水敷の方が蛹化場所としてよく利用されているが、高水敷が冠水しやすいためにかえって羽化の成功を妨げているように思われた。

高水護岸が蛹化場所として有効になり得るだけに、

蛹化場所を増やすためにも石積の間に土を定期的に入れるなどのメンテナンスを考える必要がある。また、高水敷の冠水頻度が少なくなるよう、もう少し高い位置にするべきである。

(2) 産卵場所について

産卵が確認された3ヶ所の共通点として、暗い場所であったこと、日中に直射日光があまりあたらず、適度の湿度と温度が保たれたこと、周辺に成虫が休息したり、交尾するのに必要な樹木や草があったこと、水際または水面上であったこと、があげられる。これらが産卵場所として重要な要因であったと思われる。こうした意味では、水際からやや離れた所に位置する護岸それ自体は産卵場所としてはあまり寄与していない。

一の坂川では最近水際部の木杭がほぼ全面的に打ち替えられており、水際部にミズゴケが生育している場所が現状ではほとんどない。また、市街地であるため街灯や民家の照明も多い。ホタルを自生させるためには、河道のメンテナンスは毎年少しづつ行うとか、ホタルの飛翔時期だけでも街灯を調節するなどの工夫が必要である。

(3) その他の環境条件について

一の坂川の環境は全体的にはゲンジボタルの生息条件を満たしていると思われる。問題と考えられる点は、全体的に流れの速い川であり、緩急の変化も少ないということがある。養殖されある程度成長した幼虫が一の坂川で着底できることははっきりしている。しかし、本研究では証明するには至っていないが、流速分布から

いって孵化したばかりのホタルの幼虫の着底は難しいのではないかと。ホタル護岸区間の下流はコンクリート三面張り水路となっており、そこを1キロメートルほども流下した部分でホタルの飛翔が見られるという事実もあり、着底できなかった幼虫が流下しているのは間違いない。ホタル護岸区間内に何か所かでも流れの遅い場所をつくってやる必要があると思われる。

(4) 今後の課題

ホタルの自生という観点からは以上のようにいくつかの改善点が指摘されるものの、一の坂川のホタル護岸は全体としては成功している。今後は、緑化ブロックなど異なる手法でホタル護岸が施工されている河川において同様の調査を行い、ホタル護岸として成功するためのポイントを明確にしていく予定である。

参考文献

- 1) 宮下衛, 小栗幸雄, 房前和朋: ゲンジボタル上陸幼虫行動と河床・護岸の形態との関係. 環境システム研究, 26, 29-36, 1998.
- 2) 河川情報センター: ホタルの棲む里・新・川物語 トビハゼ所長奮戦記, 57-74, 1994.
- 3) 自然環境復元研究会: ホタルの里づくり, 信山社サイテック, 1991.

Survey on the effectiveness of riverbank protection works for fireflies in the Ichinosaka River

Kazuo Miyamoto, Masahiko Sekine, Takaya Higuchi, Masao Ukita

These days, riverbank protection works that are intended to work as pupation place for fireflies, *Luciola cruciata*, are popular in Yamaguchi prefecture. Although many such works has already been constructed, some of them are successful and others are failed. Follow-up surveys to check the reason of success or failure of the works have not conducted yet. In this study, we conducted field surveys to know how fireflies utilize bank protection works in the Ichinosaka River, a famous river by fireflies. We tracked the climbing larvae from April to May 1999 and checked out the pupation place. Next, we established nets on the revetment and the bed of the river from May to June and counted the number of emergence of fireflies. From those surveys, we found that not only revetment but also major bed was utilized as pupation place by fireflies. Not only the revetment but also lighting condition, current velocity, height of the major bed and the maintenance program for those facilities are found to be important.