

ホタル護岸の有効性に関する研究

Survey on the effectiveness of riverbank protection works for fireflies

○関根雅彦¹・宮本和雄¹・後藤益滋²・樋口隆哉¹・浮田正夫¹
Masahiko Sekine, Kazuo Miyamoto, Masuji Goto, Takaya Higuchi, Masao Ukita

¹ 山口大学工学部 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

² (財) 山口県予防保険協会 (〒753-0811 山口県山口市大字吉敷 3243-1)

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 have already been constructed, some of them have succeeded and others have 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 investigate how fireflies utilize bank protection works in the Ichinosaka River and the Yoshiki River, famous rivers by fireflies. Firstly, we tracked the climbing larvae from April to May and checked out the pupation place. Next, we established nets on the banks of the rivers from May to June and counted the number of emergence of firefly adults. From those surveys, we found that not only bank slopes but also major beds were utilized as pupation place by fireflies. Not only the banks themselves but also lighting condition, current velocity, height of the major beds and the maintenance program for those facilities are found to be important.

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。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および吉敷川において、宮下らの調査¹⁾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. 一の坂川と吉敷川のホタル護岸

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、木杭を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、水際部は木の詰杭工としてある。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。吉敷川も一の坂川をモデル

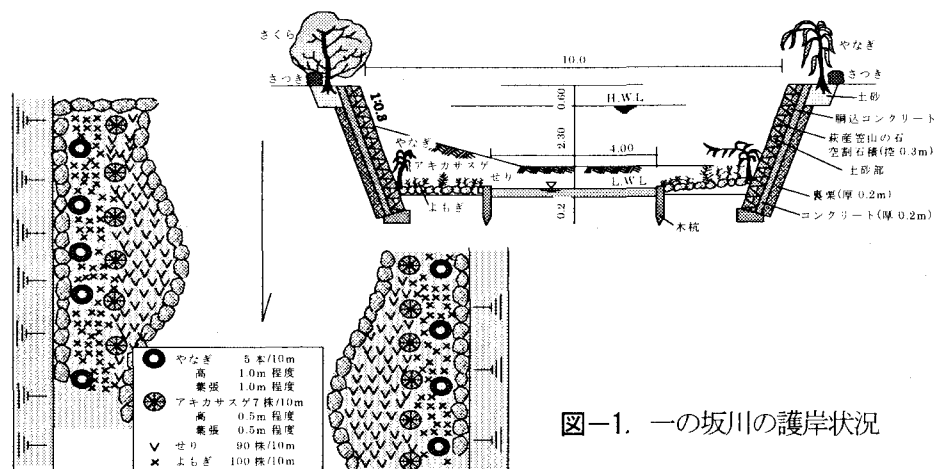


図-1. 一の坂川の護岸状況

としている。吉敷川の護岸構造を図2に示す。主な相違点として次の2点が挙げられる。①吉敷川で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。②高水敷や護岸工天端部の樹木などの植栽が省略されている。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、本研究の興味的一端もこの判断の当否にある。本研究では、1999年度の一の坂川調査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。また、2000年度の吉敷川調査ではホタル護岸が施工されている車橋の下流約120mおよびホタル護岸が施工されていない良城橋上流部、吉敷川近傍の用水路において同様の調査を実施した。

3. 一の坂川調査

3.1 幼虫上陸調査

幼虫上陸調査は、蛹化場所として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3）とした。図3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す。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

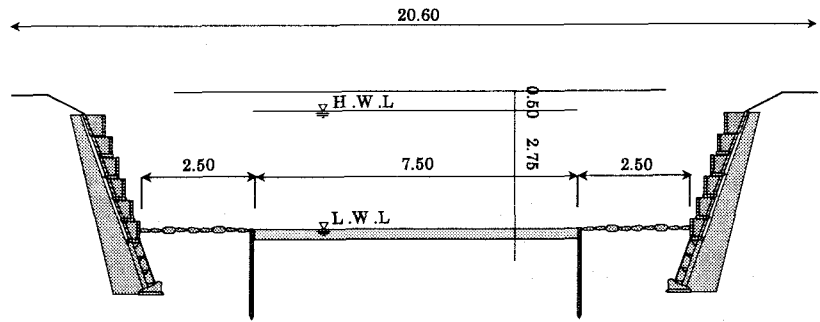


図-2. 吉敷川の護岸構造

流速単位: cm/s

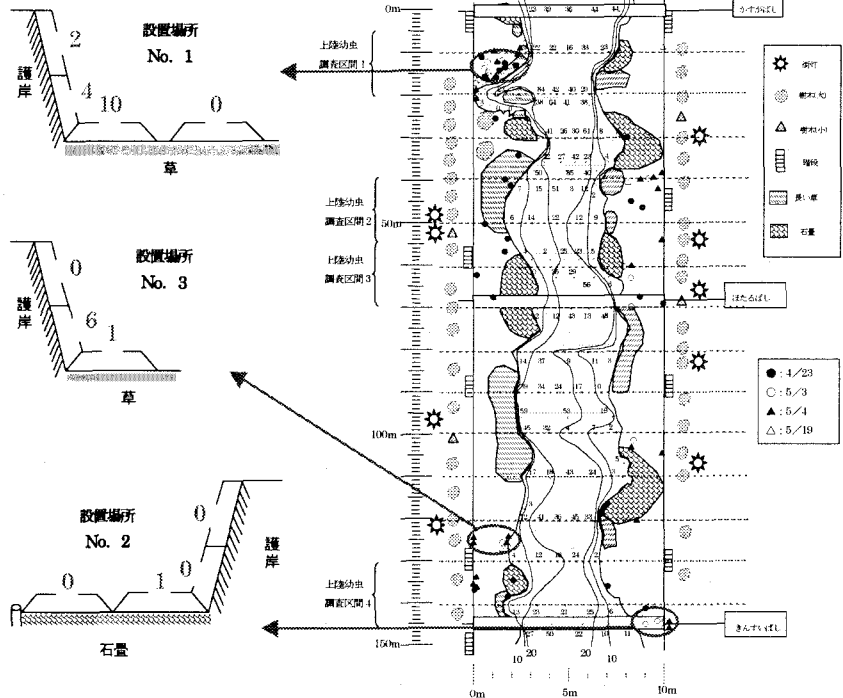


図-3. 上陸幼虫最終確認地点および羽化トラップ調査結果

* 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。

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では近辺に街灯もなく、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た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。

3. 2 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3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。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。

3. 3 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

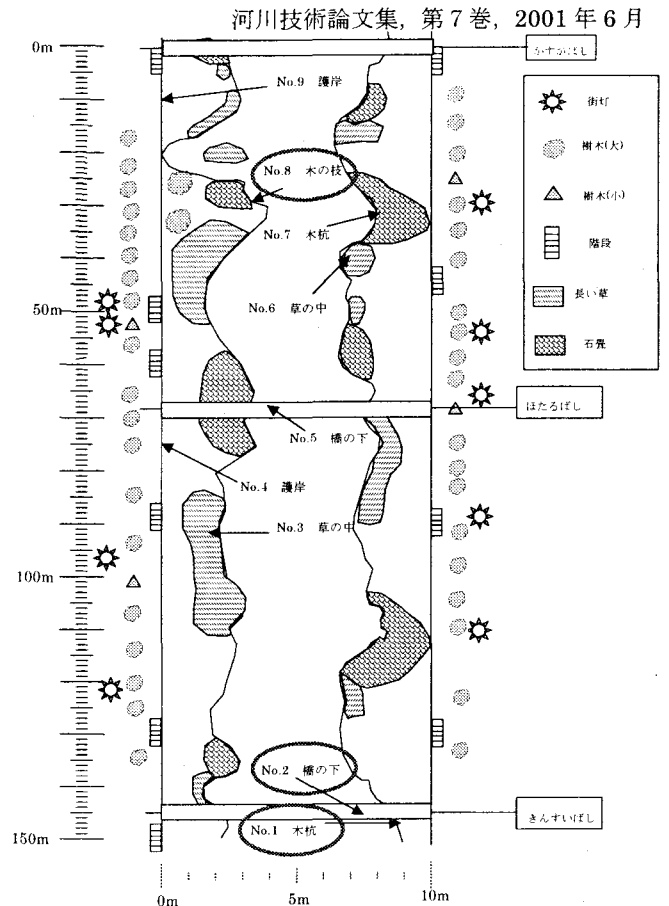


図-4. 産卵場所調査結果

*No. 1～9: 水苔設置場所

*印: 孵化が確認された場所

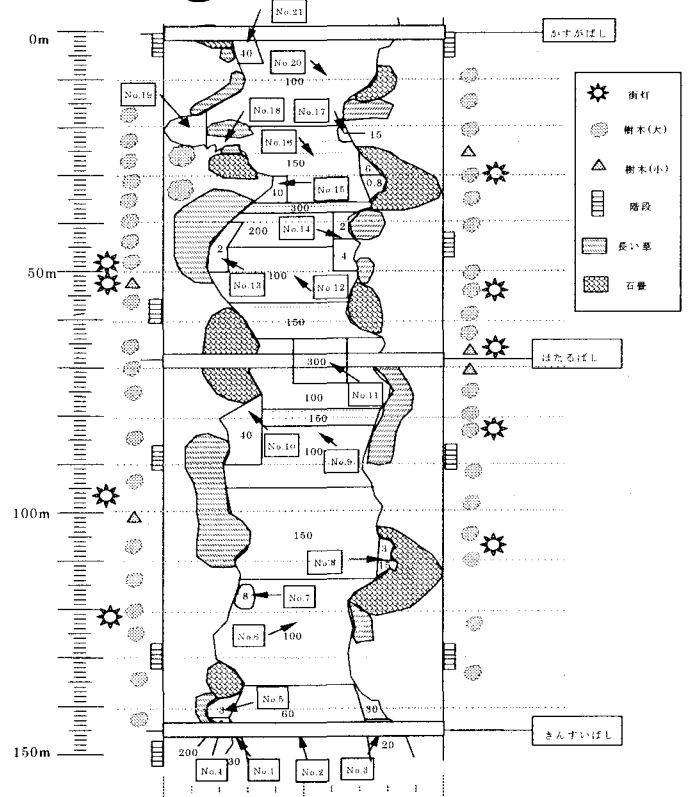


図-5. 幼虫分布調査地点

*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)。

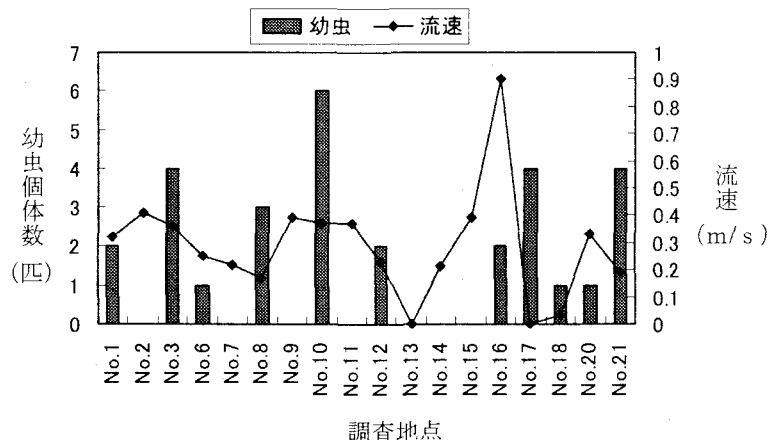


図-6. 幼虫分布調査結果

うな場所を選ぶのかを調べることが目的である。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、水際の本杭、草の中、水面上に張り出した木の枝など、図4に示すNo.1～No.9の9ヶ所とした。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ヶ所に設置した苔のうち、図4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本杭、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。

3. 4 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、コドラート内で採集されたホタル幼虫数とそのサイズを計測した。調査地点を図5、調査結果を図6に示す。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。

4. 吉敷川調査

4. 1 幼虫上陸調査

調査は、2000年4月上旬から4月下旬にかけて7回行った。調査方法は一の坂川調査の時と同様である。吉敷川調査ではホタル護岸が施工されている車橋の下流部の2区間、ホタル護岸が施工されていない良城橋上流部、吉敷川近傍の用水路の4区間で調査を実施した。このうち車橋下流部は、ホタル護岸が施工されている区間である。上流側から調査区間1、調査区間2(図7)とした。調査区間1は高水敷がほとんど石畳である左岸のみを対象とした。調査区間2は兩岸を対象とした。調査区間1とは対照的に高水敷にはタニガワスゲを中心に草が繁茂している。図7に車橋下流部における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。調査区間1、2における上陸幼虫数に大きな差はなかった。両区間とも流速調査の結果より、ほとんどが20cm/s未満の流速の遅い部分であった。調査を通して流速の遅い部分で幼虫の上陸が多いという傾向があったように思われる。また、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たが、本河川河川沿いに街灯がなく、調査区間の高水敷部分はほとんどが暗い場所であった。そのため、ここでは幼虫の上陸位置に照度による影響はなかったと思われる。次に、上陸幼虫の最終確認場所を見てみると、調査区間1では高水護岸を上る幼虫も多く見られた。それに対し、調査区間2ではほとんどが水際に近い高水敷で、護岸の所まで行くものはなかった。図8に全調査区間の上陸幼虫確認数を示した。良城橋上流部が最も多く、次いで車橋下流部という結果であった。吉敷川でも1995年から幼虫の放流が行われている。良城橋上流部が多かった理由として、この区間が放流地点の近くであったことが考えられる。

4. 2 羽化トラップ

調査は2000年5月中旬から6月下旬にかけて行った。調査方法は一の坂川調査の時と同様である。図7に車橋下流区間の羽化トラップ設置場所と各場所からの羽化数を示す。上流側から設置場所No.1、No.2、No.3とする。設置場所No.2からは4個体、設置場所No.3からは2個体の羽化が確認されたが、設置場所No.1からは羽化が確認されなかった。羽化が確認された場所の多くは水際に近い高水敷であった。設置場所No.1、No.2では護岸を登る幼虫も観察されたが、護岸部からの羽化の確認はわずか1個体であった。護岸の緑化ブロックは、側面1面と上面が開いた方形のブロックに土嚢を入れたものを積み重ねた作りである。そのため、護岸を登りブロック側面から入った幼虫は土嚢の袋に妨げられ、土の所まで達

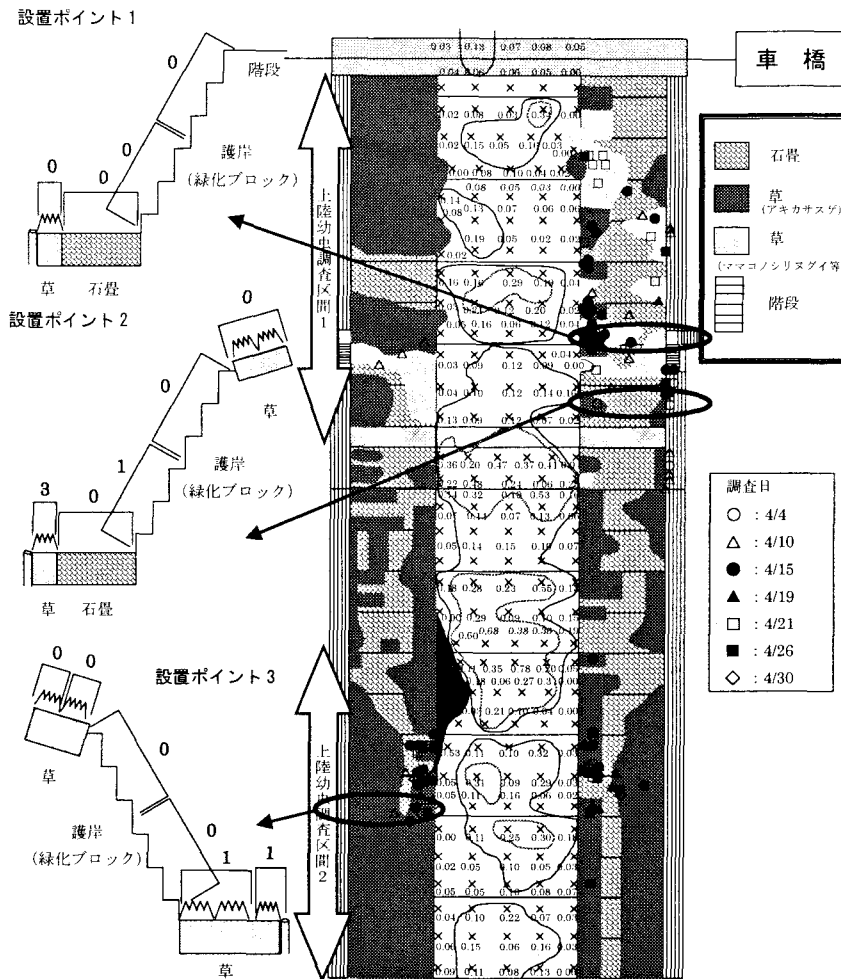
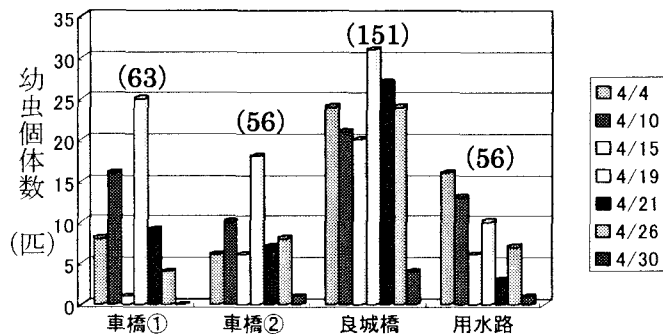


図7. 上陸幼虫最終確認地点および羽化トラップの調査結果

*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。図の河川部に示している数字は各地点における流速を表している。単位は (m/sec)
*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（護岸工天端・護岸上部・下部・護岸直下の高水敷・水際の高水敷）の羽化数を示す。



() 内の数字は調査期間中の各調査区間における上陸幼虫確認総数

図8. 調査区間毎の幼虫上陸調査結果

する可能性は低い。上面は草が生えているところも見られたが、全体的に土が露出している部分が多い。背面からの地下水の浸出もその構造上抑えられている。樹木の植栽がないため、日中直射日光を浴び続けることから、ブロック内の土壌の湿気が不足したり、温度が上昇したりしすぎている可能性が高い。そのために護岸では極めて低い羽化率となったと考えられる。

また、良城橋上流部の1ヶ所、用水路の2ヶ所にも羽化トラップを設置した。良城橋上流部の設置場所からは13個体、用水路の設置場所からは4個体の羽化が確認された。全区間の中でも良城橋上流部では特に羽化率が高かった。川沿いにも樹木はないが、高水敷には丈の高い草が繁茂していた。サーマルビジョンを用いて地表温度を調べた結果、明らかに本河川の他の調査区間より低いという結果が得られた。この高水敷に繁茂する草が日陰を創出し、適度に湿った土壌を十分に確保することができたため、羽化率が高かったと考えられる(図9)。なお、同日一の坂川でも地表温度を測定し、良城橋よりさらに1～2度低い部分が多いという結果を得ている。

4.3 産卵場所調査

調査はホタル成虫の飛翔が観察される2000年5月下旬から6月下旬にかけて行い、車橋下流部の河道内各所に18ヶ所、用水路に4ヶ所人工産卵床を設置した。調査の結果、どの産卵床の水苔からも幼虫の孵化が確認されなかった。護岸に置いた水苔は日中直射日光を浴び、乾燥してしまったため産卵場所として適さなかったと考えられる。この辺りで産卵場所として考えられるのは、水際の草、木杭、苔である可能性が高い。水際の草の陰な

ど木杭に苔が生えている場所にも設置していたが、一見、産卵に適した苔があると思って産卵場所選ばれるとは限らないケースは多い。一方で、今年のホタルの飛翔数は予想以上に多かった。この周辺では幼虫の放流も行われていないことから、ホタルは自生していると考えられる。今回の調査では、実際にどこで産卵が行われているか確認することはできなかったが、調査区間の上・下流では高水敷に草が密生しており、おそらくこれらの草中の適当な場所が産卵場として利用されていると推測される。

5. 考察

(1) 蛹化場所について

一の坂川では幼虫上陸調査、羽化トラップ調査より、一の坂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。吉敷川では、高水敷が石畳の所では高水護岸まで辿り着く幼虫も多く見られたが、羽化はほとんど確認されなかった。これは、高水敷や護岸工天端部の樹木の植栽が省略されている影響が大きい。特に緑化ブロックの護岸部は昼中直射日光も避けられず、表面温度の上昇を招いている。適度に湿った土壌を確保できず、羽化率を低下させていると考えられる。しかし、良城橋上流部では樹木は川沿いになかったが、高い羽化率であった。高水敷に丈の長い草が繁茂していたことにより日陰を創出し、蛹化場所に適した湿気のある土壌が確保されたためだと考えられる。樹木や丈の長い植物で地表を覆い、日陰を創出して蛹化場所に適した湿気のある土壌を確保することが必要である。

(2) 産卵場所について

一の坂川調査で産卵が確認された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、交尾したり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、が挙げられる。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ずつ行うとか、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。吉敷川では、川沿いに街灯もなく夜間の照度に関しては問題ない。現状でも十分な環境であるかもしれないが、水際または水面上に産卵場所となり得る場所をもっと多くすればより良好な環境となる。

(3) その他の環境条件について

調査区間の水質、流速、水深、カワニナの分布、土の硬度、照度などについても調査した。一の坂川と吉敷川の間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。一の坂川の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。養殖されて成長した幼虫が一の坂川で着底で



図-9. サーモグラフィ調査結果

* (上) 車橋下流部と(下) 良城橋下流部の表面温度分布を24.3℃～33.5℃の間を16段階で示している。車橋下流部護岸の左岸の表面温度は30℃前後。良城橋上流部の高水敷の表面温度は26℃前後である。

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幼虫の着底は難しいのではないと思われる。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1km 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ヶ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。

6. おわりに

ホタルが自生できる生息環境をつくるために、蛹化場所、産卵場所、水質や流速など様々な環境条件について考えてきた。しかし、それらを考慮したものをただつくるだけでは不十分である。工事をした後、今までいたホタルがいなくなったという話はよく聞く。幼虫や餌となるカワニナは工事の際も逃げることはできないのだから当然の結果である。工事の前に幼虫やカワニナをその流域の他の場所に移し完成後に放流、あるいは成虫を捕まえておき、産卵させて幼虫を養殖・放流するなどの配慮も重要である。

参考文献 1) 宮下衛他：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.

(2001. 4. 16 受付)