

簡易型ホタル護岸工法における幼虫上陸行動特性とその有効性に関する研究

STUDY ON THE LANDING ACTION FIREFLY LARVA AND UTILIZATION OF SIMPLIFIED FIREFLY PROTECTION WALL

後藤益滋¹
Masuji GOTO

¹正会員 工博 学校法人香川学園宇部環境技術センター (〒755-8551 山口県宇部市文京町4-23)

Genji and Heike firefly habitat protection wall (Hotaru Gogan) build in rivers of firefly habitat. However, it was washed away a soil in firefly protection wall by floods many times, but must be always rebuilt following each incident.

In Kouchi River adopted porous concrete panel on firefly protection wall. The left bank crown is slit gutter in soil, and landing larva utilize on pupation place. However, light bank crown abutting on road that is used to gain access to the property bordering it. There is high probability that landing larva will stray from road, ending death.

Therefore, there is a low risk of fatality on light bank crown by building in slit gutter.

Key Words : Landing larva, firefly protection, bank, porous concrete panel

1. ホタル護岸について

本州に生息する水生ホタル、ゲンジボタル (*Luciola cruciata* Motschulsky, 1854) 及びヘイケボタル (*Luciola lateralis* Motschulsky (Coleoptera: Lampyridae)) (以下、ホタルと示す。) は、初夏に生まれた幼虫が水中生活を送り、主に巻貝の一種であるカワニナ (*Semisulcospira libertine libertina*) を捕食して成長する^{1), 2), 3)}。そして、4月から5月の降雨時または高湿度時に、水中から上陸、土のある場所に潜入して30~40日程度、土中に留まり繭を作り蛹化する²⁾。それから、約一週間程度で羽化して成虫となり、土から這い出て発光しながら飛翔し、交尾、産卵といった生活史を送る²⁾。中には1年で成虫とはならず、越年して2年で成虫となる個体も存在する。

ホタルが生息する河川では近年、護岸をコンクリート張りにはせず、蛹化場所に配慮した護岸 (通称: ホタル護岸) が施工されているケースが多く見受けられるようになった^{4), 5), 6)}。その工法及び形状の種類は天然石を積み上げた積石状のものから、ブロック状及びポット状のものまで様々である^{4), 5), 6), 7)}。しかしながら、既往研究の成果から、従来の施工方法であると、施工後の土の補給など管理が煩雑となり、土が吸い出され

たまま本来の機能を損なっている箇所も多く見受けられ^{8), 9), 10), 11)}。また、幼虫は上陸直近での潜入傾向が強く、低所に幼虫が潜土すると出水等で蛹化場所が水没し全滅する可能性も予想される^{10), 11)}。それを克服するためにはより高所での蛹化、羽化を行えるように幼虫を導く工夫が必要である¹¹⁾。本研究の対象河川である山口県山口市の樫野川流域では、ほぼ全域を国の天然記念物に指定しており¹²⁾、各所で幼虫の蓄養、放流保護活動も盛んに行っている¹³⁾。本種は、かつて流域内に多数生息していたが¹⁴⁾、生息域の減少等によってその個体群を維持することが困難となりつつあったためである。河川を改修する際には本種への影響が避けては通れないにしても、より有効な保全方法の提言を行うことで、それを低減、または生息場としての機能を早期に回復できる可能性が期待できる¹⁵⁾。そこで、現在試みられている緑化ブロックを採用しないケースにおいて、本種の行動特性からみた配慮方法等について、新たな知見が得られたのでここに報告する。

2. 調査地の概要

図-1 (中図) に示す山口市朝田の河内川では、護岸天端に樹木等の植栽が設けられておらず、一面開放空間と



図-1 調査地の状況（河内川）

*左図が右岸側（高規格道路直下）、中図（流心付近）、右図が左岸側を示す。

なっている。護岸擁壁はホタル護岸ではなく、コンクリートパネルの上をポーラス処理しているだけの簡素な作りである（図-2）。これは上陸した幼虫をより高所へ幼虫を導くための配慮である。施工区間は約100m、河床から護岸天端までの高さ2.0m、水面幅2.5mである。図-1（右図）に示す左岸側の護岸天端は、幅20cmの溝の中に土を入れた土場が設けられ、主にシロツメクサ *Trifolium repens* L. が繁茂している。左岸側に上陸した幼虫は、本所を蛹化場所としている（詳細は後述）。

図-1（左図）に示す右岸側は、アスファルト舗装された市道が並行しており、護岸天端には左岸側のような溝は存在しない。そのため、護岸天端まで上陸した幼虫は道路を挟んだ反対側、高規格道路の高架下の法面まで登坂が確認され（詳細は後述）、ここを蛹化場所としているものと思われる。

護岸兩岸の下部、平水時の水面から約50cm高まではミズゴケ属 *Sphagnum* が繁茂し（図-2）、それより上部には繁茂していない。

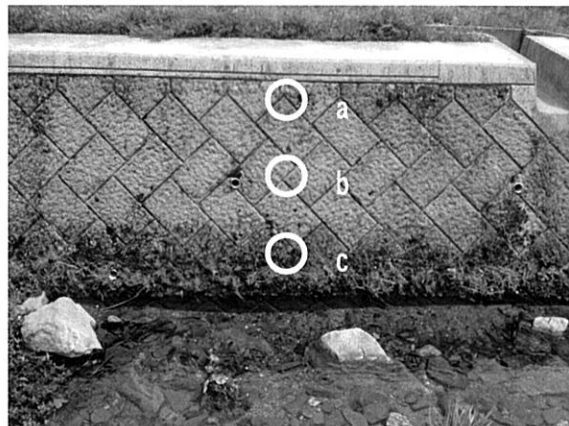


図-2 護岸表面の湿度測定点

3. 簡易護岸の有効性調査

(1) 護岸表面の湿度

測定期間は、2012年4月17日から4月29日の20～21時の間とした。壁面湿度は、既往研究を参考に^{16), 17)}湿度で反応する色素を吸着させた乾燥度試験紙（アドバンテック社製、12mm×40mm）を用いて測定した。本手法は、湿度と反応して青→赤へと変色することで簡易的な評価を行うことが可能となる（測定範囲は0～85%）。本試験紙を、75mm×25mmの透明スライドガラスに貼り付け、両面テープで固定した。また、外部の湿気との反応を遮断するため、市販の透明アクリルケース（3cm×5cm）で覆って簡易チャンバーとし、縁辺部をエポキシパテで壁面に固定した。測定地点は、図-2に示す上段a（護岸天端付近）、中段b（河床高から約1m高）、下段c（護岸水面付近）である。

測定は、スライドガラスを壁面に固定後10分後の変色状況を乾燥度試験紙標準変色表で確認し、色素別の変数（a:1.0～10.0）から次式の湿度換算式より相対湿度（RH）

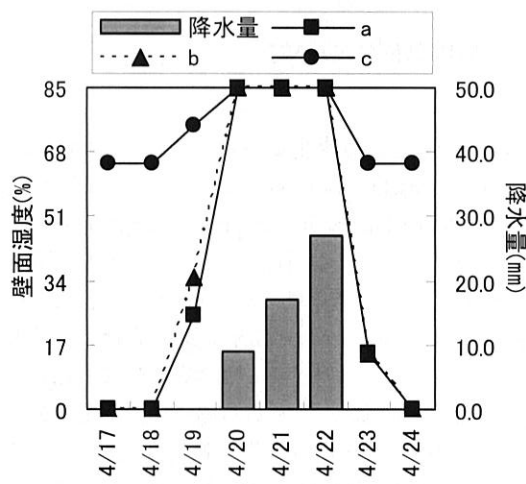


図-3 壁面湿度及び降水量の変化

を求めた。

$$RH (\%) = a \times 10 - 15$$

壁面湿度を図-3に示す。2012年4月17日から4月24日の降水量（山口特別地域気象観測所測定値）と比較すると、降雨が確認される4月20日から4月22日まではa～cまで一様に85%以上を示していた。また、降雨前の4月19日、降雨後の23日は、20%、34%（19日）、15%（23日）であり、降雨直前、直後ともあつて、Pocket Weather Tracker

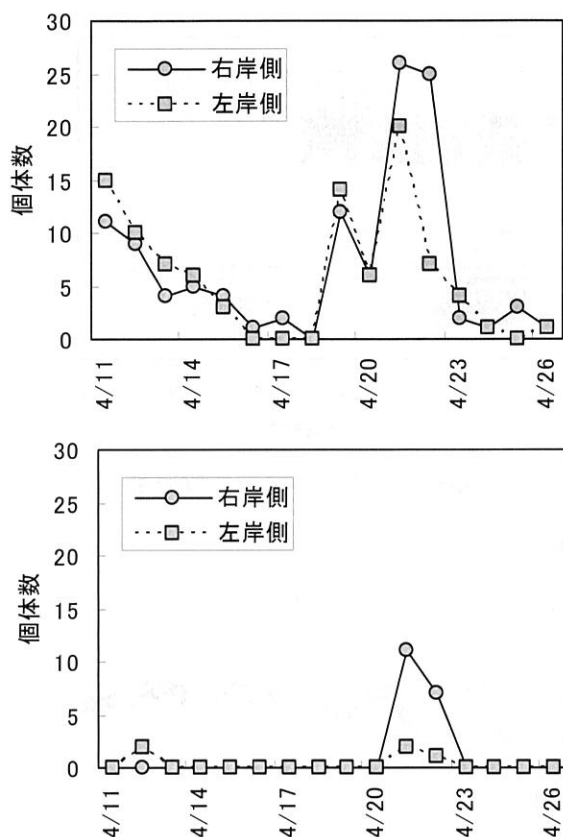


図-4 護岸天端の幼虫上陸数と死亡個体数の推移
*上図が幼虫上陸数、下図が死亡個体数を示す

で測定した (Kestrel4000: Nielsen-Kellerman社製) 気中の相対湿度が89%, 84%と高かった。しかしながら、降雨後2日後には壁面湿度が0%となり、壁面は短時間のうちに乾燥化することが窺われた。水面付近のcは、晴天時の壁面湿度も65%以上を維持しており、上陸時の気温も11.3~21.3℃で推移していたため、上陸の目安となる10℃を上回ったことを踏まえると、壁面湿度の差が後述の上陸幼虫の挙動にも影響を与えていることが示唆された。

(2) 上陸幼虫の挙動

本調査は、幼虫が上陸を開始した2012年4月11日から上陸が確認されなくなった4月23日まで、日没後、20時から24時までの幼虫の挙動を追跡し、移動を止めた時点の場所を記録した。図-4に護岸天端を越えた上陸幼虫数とその周辺で確認された死亡個体の数を、上陸幼虫が移動を止めた地点を図-5から図-7に示す。幼虫は、4月11日から4月26日まで4月18日を除いてほぼ毎日上陸が確認された。その内訳は、降雨のあった4月11日が第一の上陸ピークであり(26個体)、4月19日の26個体、4月20日の12個体、降雨があった4月21日には46個体確認され、期間を通じて最大数であった。4月22日の32個体を境に、4月23日以降は減少し、4月26日を最後に確認されなかった。上陸幼虫は、降雨日またはその中日に集中していた。その他上陸幼虫の挙動に与える要素として、上陸時の気

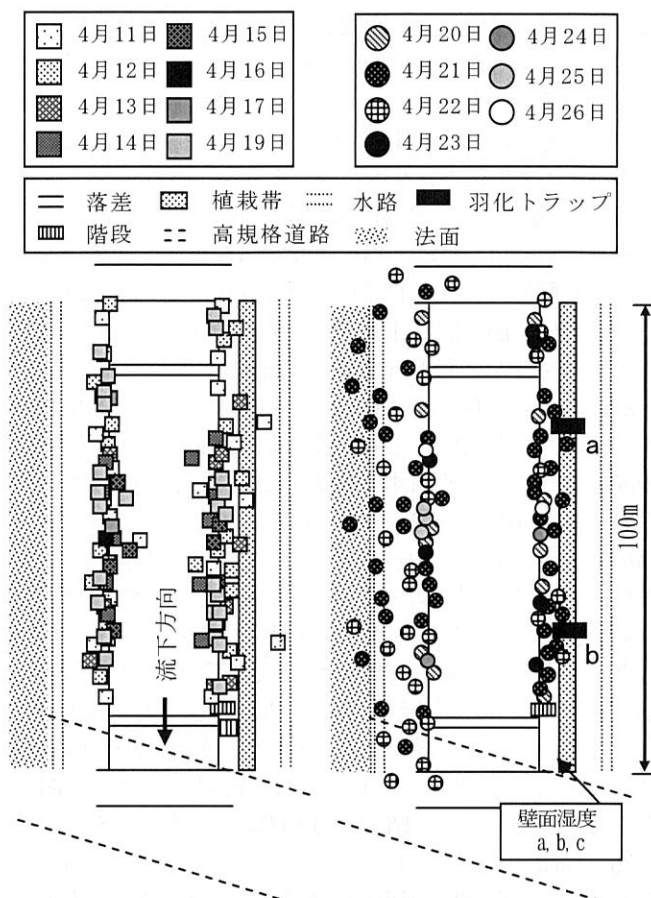


図-5 ホテル護岸非施工域における上陸状況

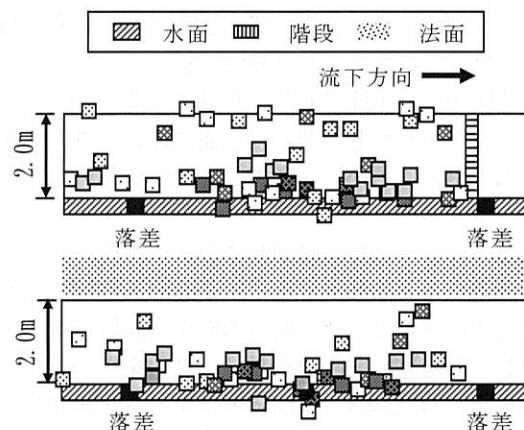


図-6 4月11日~19日における上陸状況
*上図が左岸側、下図が右岸側を示す。上陸状況の凡例は図-5 (左図) と同じ。

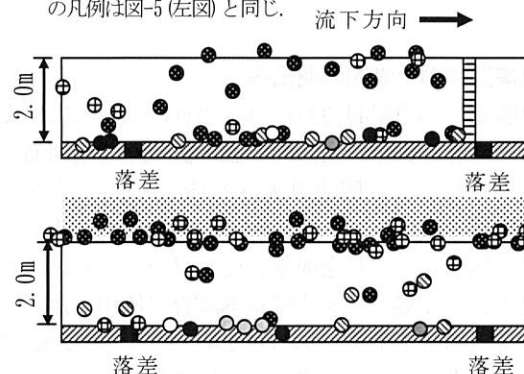


図-7 4月20日~23日における上陸状況
*上図が左岸側、下図が右岸側を示す。オブジェクトは図-6、上陸状況は図-5 (右図) の凡例と同じ。

温は前述のとおり上陸の目安となる温度条件には合致しており、街灯等が存在しない本所では月光による影響を受けているものと考えられたが、上陸調査中の月齢は下弦(4月13日)から新月(4月21日)、上弦(4月30日)となるため、その条件に大きな差が認められなかった。

図-6、図-7に示す護岸天端まで上陸する個体は、4月11日から4月17日までは計15個体、4月19日から26日までは計51個体であり、4月21日、4月22日に集中していた。この両日は、図-5から図-7に示す右岸側に上陸した個体が道路を挟んだ高規格道路下の法面まで到達していた。しかしながら、図-4(下図)から右岸側は蛹化可能な場所までの移動が長いことも影響して、路面上や法面付近の溝で死亡している個体が散見された。合計上陸数に対しての死亡率は右左岸の平均が11%、右岸のみであると16%、上陸日(4月21日及び4月22日)に当てはめると、上陸数に対して右岸側の死亡率は28~42%と左岸側の10~14%と比べると高率にある。幼虫は、上陸後、蛹化に適した土のありかを求めて移動するが、直近に適当な場所が見つからなければそれを求めて迷走をし、体表の乾燥などで死亡する可能性が高くなるなど、蛹化場所が直近にあるなしで上陸幼虫に対しての影響が大きいことが明らかとなった。主に、晴天時の上陸高は平時の水面から30~50cmに集中しており、この場所にはミズゴケが繁茂している(図-2)。壁面湿度をみると、図-3に示すように晴天時も65%を維持しており、護岸パネルの表面をポーラス処理することによって、水面付近の湿度が適度に保持され、ミズゴケ等の付着性植物が繁茂することで、産卵場や晴天時の上陸に対して有効に機能しているものと考えられた。しかしながら、水面に近い場所では降雨による水位上昇によって蛹化場所が流失する可能性や、羽化率の低下が懸念される。

本調査により、幼虫は晴天時において湿度が低くなる高所を忌避している傾向が強く、前述の上陸時の温度及び月齢を考慮すると、壁面湿度の有無が登坂可能な高度を左右しているものと推察される。幼虫をより高所へ導く対策を講じるならば、水面付近はポーラス処理したコンクリート、中、上段については緑化ブロックを併用するなどハイブリッド方式の改修方法も検討すべきであろう。

(3) 護岸天端の土場内の羽化率

本実験は、2012年4月22日、4月23日に土場内に幼虫が潜入したことを確認したのち、図-5に示す2箇所(a, b)に、ポリプロピレン製防風ネット(5mmメッシュ)を土場に跨ぐ格好で被覆し、上面、側面は自己融着ブチルゴムテープで接着してこれを簡易羽化トラップとした。ただし、土場を跨ぐ場所(20cm)では本調査に使用したブチルゴムの接着力が不十分であったため、ネットに2cm×2cmの木製角材を基材としてネットを接着したのち、15cmのステンレス杭を角材の両端に2本ずつ差し込む形で固定

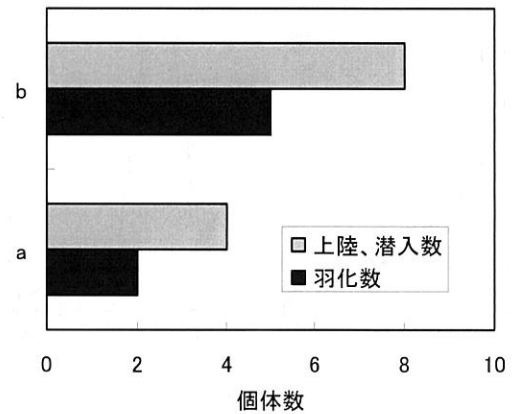


図-8 簡易羽化トラップ調査結果

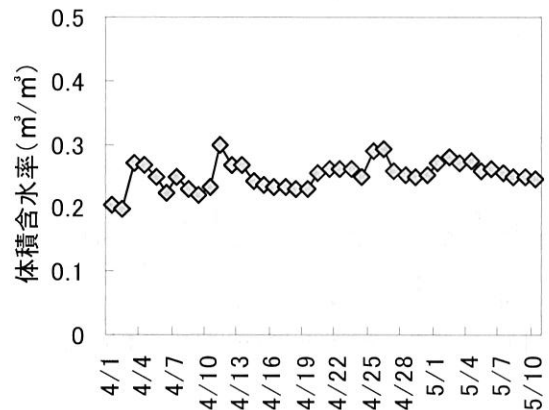


図-9 土場中の体積含水率の変動

した。本トラップを設置するにあたり、護岸内で繁茂している植物は本トラップと干渉するため、草丈を5cm程度に切り揃えた。実験期間は、土場まで上陸が確認された2012年4月11日から最終の羽化成虫が確認された6月17日までとした。羽化した成虫は数と性別を確認したのち放逐した。図-8に示すa, bの潜入数に対する羽化成功率は、aが50%(上陸・潜入数4, 羽化数2)、bが62.5%(上陸・潜入数8, 羽化数5)であり、簡易的な蛹化場所でも十分にその機能を発揮することが示された。

(4) 護岸天端の土場の土壌水分量

上陸した幼虫は、蛹化に適した土壌に潜入して蛹となる。それに適した土壌は湿潤環境が保たれる場所である。左岸側に設けられている溝状の土場が蛹化場所として有効に機能しているか否かを土壌中の水分量を測定することで検証した。本実験は、スマートセンサー(S-SMC-M005:Onset社製)にマイクロステーションロガー(HOBO Micro Station Logger:Onset社製)を装着し、簡易羽化トラップを設置したb直近に本センサーを設置し、2012年4月1日から成虫が確認された5月15日までの土場内の体積含水率を記録した。その挙動を図-9に示す。

4月2日までの体積含水率は、それ以前に降雨がなかったこともあり、0.2 m³/m³であった。降雨が確認された4

月3日には $0.28\text{ m}^3/\text{m}^3$ まで上昇し、降雨3日後の4月6日には $0.2\text{ m}^3/\text{m}^3$ 付近まで下降した。その後、断続的に降雨が、確認されたため、4月12日は $0.31\text{ m}^3/\text{m}^3$ を最大に緩やかに下降し、その後、 $0.25\text{ m}^3/\text{m}^3$ 付近で推移していた。このことから、土場内が幼虫の潜入から蛹になるまでの間に乾燥化することはなく、羽化トラップ調査(前述)からも、簡易的に設置された土場でも蛹化に適した場所であることが示された。

4. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

(1) 護岸表面の湿度

護岸表面の湿度は、2012年4月17日から4月24日の降水量(山口特別地域気象観測所測定値)と比較すると、降雨が確認される4月20日から4月22日まではa～cまで一様に85%以上を示していた。しかしながら、降雨後2日後には壁面湿度が0%となり、中段(b)、上段(a)壁面は短時間のうちに乾燥化することが窺われた。上陸時の気温もその目安となる 10°C を上回ったことを踏まえると、壁面湿度の差が後述の上陸幼虫の挙動にも影響を与えていることが示唆された。

(2) 上陸幼虫の挙動

上陸行動の傾向は、2012年4月11日から4月17日までは計15個体、4月19日から4月26日までは計51個体が護岸天端まで登坂することを確認した。しかしながら、右岸側は蛹化可能な場所が遠いことから移動中にうまく辿り着けずに死亡する個体が多いことが判明した。合計上陸数に対しての死亡率は右左岸の平均が11%、右岸のみであると16%、上陸日(4月21日及び4月22日)に当てはめると、上陸数に対して右岸側の死亡率は28～42%と左岸側の10～14%と比べると高率にある。護岸天端まで辿り着かない個体を除くと幼虫は平水時の水面から30～50cmの位置に集中していた。この場所は、ミズゴケが繁茂しており、晴天時の壁面湿度も65%を維持していたこととは逆に、その湿度が低い高所は忌避している傾向が強く、上陸時の温度や月齢からも条件に大きな差は認められないことから、壁面湿度の有無が上陸高度を左右しているものと推察される。水面付近はポーラス処理したコンクリート、中、上段については緑化ブロックを併用するなどハイブリッド方式の改修方法も検討すべきであろう。

(3) 護岸天端の土場内の羽化率

簡易羽化トラップによるa、bの潜入数に対する羽化成功率を比べると、aが50%(上陸・潜入数4、羽化数2)、bが62.5%(上陸・潜入数8、羽化数5)であり、後述の土場中の体積含水率からも簡易的な蛹化場所でも十分にその

機能を発揮することが示された。溝状の土場を設けるだけでも蛹化場所としての機能を十分に果たしていた。

(4) 護岸天端の土場内の土壌水分量

土場内の体積含水率は、4月2日まで降雨がなかったこともあり、 $0.2\text{ m}^3/\text{m}^3$ であった。降雨が確認された4月3日には $0.28\text{ m}^3/\text{m}^3$ まで上昇し、降雨3日後の4月6日には $0.2\text{ m}^3/\text{m}^3$ 付近まで下降した。その後、断続的に降雨が連続したため、4月12日は $0.31\text{ m}^3/\text{m}^3$ を最大に緩やかに下降し、 $0.25\text{ m}^3/\text{m}^3$ 付近で推移していた。土壌中の水分は適度に維持されており、降雨前、降雨後にその変動も確認されるが、ほぼ一定の値で推移していることで幼虫の潜土から蛹化、羽化まで土場内が乾燥することはなく、羽化トラップ調査(前述)からも蛹化場所として十分に機能している事が示唆された。

謝辞：本研究にあたり、山口市文化財保護課磯部氏及び山口県土木建築部河川課、防府土木建築事務所には多大な助言を頂いた。また、宇部環境技術センター及び山口大学農学部の方には現地調査を、株式会社ランデスには護岸の形状等の情報を快く提供してくれた。最後に本論文を校閲していただいた匿名の校閲者に対してここに改めて御礼申し上げる。

参考文献

- 1) Okada Y. : Two Japanese aquatic glow-worm, Trans Entomol Soc, London, VIII(76), pp101-108, 1928.
- 2) 大場信義：ゲンジボタル、文一総合出版、1988.
- 3) Ohba N, Hidaka T. : Reflex bleeding of fireflies and prey-predator relationship. Sci Rep Yokosuka City Mus, 49, pp 1-12, 2002.
- 4) 永友宗之：山口県におけるホタル護岸、建設月報, 37 (4), pp85-86, 1984.
- 5) 山口県土木建築部河川課：多自然型川づくり、1994.
- 6) 山口県土木建築部河川課：ホタル護岸の整備、<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18600/kawadukuri/hotaru.html>.
- 7) 株式会社ランデス：ブリードロック、<http://www.landes.co.jp/products/kankyo/breed/breed.htm>
- 8) 金尾充弘、関根雅彦、後藤益滋、浮田正夫：沢波川のホタル護岸の有効性に関する研究、第57回土木学会全国研究発表大会pp.259-260, 2002.
- 9) 宮本和雄、関根雅彦、樋口隆哉、浮田正夫：一の坂川ホタル護岸の有効性調査、環境システム研究論文集, Vol.28, pp.339-346, 2000.
- 10) 関根雅彦、宮本和雄、後藤益滋、樋口隆哉、浮田正夫、ホタル護岸の有効性に関する研究、河川技術論文集、Vol. 7, pp. 239-244, 2001.
- 11) 後藤益滋、宮本和雄、関根雅彦、樋口隆哉、浮田正夫：ホタ

- ル護岸の有効性に関する研究,土木学会論文集, Vol. 2005, No. 804, pp.804_11-804_22, 2005.
- 12) 山口県教育庁社会教育文化財課 : 山口県の文化財, <http://bunkazai.ysn21.jp/general/summary/frame.asp?mid=30043&cdrom=>
- 13) 山口ふるさと伝承センター : ゲンジボタルの人工飼育, <http://www.c-able.ne.jp/~denshou/>
- 14) 田村哲夫 : 山口と蛭, 山口県の自然, 山口県立山口博物館, Vol. 5, pp. 1, 1950.
- 15) 米村惣太郎: 埋土種子を用いた法面緑化工法の開発(その1)埋土種子から得られた植生とその特徴, 清水建設研究所報告, 第70号, 55-62, 1999.
- 16) 板谷俊郎, 袴谷秀行 : 発色紙によるコンクリートの湿度および含水率測定方法に関する研究, 塗り床材の施工時期の判定方法, 戸田建設技術研究報告, 第33号, 11-11-6, 2006.
- 17) 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇, 逸見義男, 佐藤弘和 : 乾燥度試験紙によるコンクリートの含水状態の評価, 日本建築士上学会論文報告集, 第5巻, 第1号, 1-6, 1998.
- 18) 国立天文台 : 天文情報センター暦計算室, <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/>

(2013. 4. 4 受付)