

# 都市域でのホタル再生に向けた実験的検討 —ゲンジボタル・ヘイケボタル幼虫へのLED および一般照明光の影響把握—

渡辺 亮一<sup>1</sup>・浜田 晃規<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 福岡大学教授 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈8-19-1)  
E-mail:wata@fukuoka-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 福岡大学助手 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈8-19-1)

初夏の日本全国の水辺においてホタルは人々の関心を毎年惹きつけており、その保全に関しては様々な取り組みがなされている。しかしながら、急激な都市化に伴って、都市域におけるホタルの生息は非常に困難な状況となっている。特に、街中にあふれている光によるホタルへの影響は、成虫だけではなく幼虫にも及ぶと考えられている。そこで、本研究では福岡大学内に設置されているホタル水路および福岡市周辺での光の状況に応じたホタルの生息状況を観測し、室内実験結果と合わせてホタル幼虫に及ぼす光の影響、特にLED光に関する選好性結果に関して報告する。

**Key Words :** fire fly; *Luciola cruciata*; *lateralis larva*; LED light; urban area

## 1. はじめに

ホタルは昔から夏の風物詩として人々に親しまれ、日本人にとって一番身近な昆虫であった。かつてホタルは日本の河川や水路のいたるところで乱舞している姿を確認することができた。しかし、日本人にとっては馴染み深かったホタルも近年は都市部では見られなくなり、ホタルを見ることができる場所はごく限られた場所のみとなっている。都市河川で大きな問題となるのが夜間の人工照明の問題である。ホタルは一生を通して光を嫌う性質があるため、この問題を解決しなければホタルの再生

は難しい<sup>1,2)</sup>が、ホタルに影響のない色(波長)や照度が分かれば、街灯のランプを照射範囲が狭いLED照明に交換するだけで影響が回避出来る可能性がある。トープ池には、2005年12月に完成したホタル水路がある。この水路には、2006年よりゲンジボタル・ヘイケボタル幼虫(写真-1)を放流し、成虫が飛翔する姿を確認できている。この水路の周辺には人工照明があり、水路周辺で照度が低い箇所と高い箇所が混在している。今回の研究では、福岡大学ホタル水路におけるホタル幼虫に照明をはじめとした物理的環境条件が与える影響を調べるとともに福岡市内のホタルが飛翔している場所において照度等の調査を実施し、光に対する忌避行動を明らかにすることを目的として研究を行った。



写真-1 ゲンジボタル(右)とヘイケボタル(左)幼虫

## 2. 光によるホタル幼虫への影響把握

### (1) 室内でのゲンジ・ヘイケボタル幼虫に対する光による忌避行動確認実験

室内実験には福岡市近郊で採取した種ボタルから産卵させ、羽化させ室内で養育しているヘイケボタル、ゲンジボタルの幼虫をそれぞれ30匹づつ用いた。光に対する忌避行動を確認する実験に用いたゲンジ・ヘイケボタル幼虫のサイズは5mmから15mm程度の範囲にあり、平均体長はヘイケボタルが9.5mm、ゲンジボタルが7.5mmで

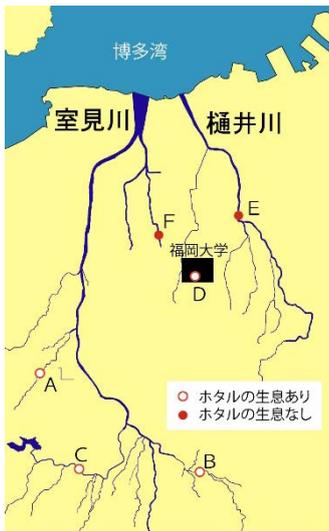


図-1 調査地点



写真-2 ホタル幼虫の光への忌避行動を確認した実験装置 (ゲンジとヘイケ)

ある。幼虫の形態はヘイケボタルが2齢~終齢、ゲンジボタルが2齢~5齢であった。これは、ゲンジ、ヘイケボタルともに同時期に採取した種ボタルから幼虫を育てているため、成長速度の速いヘイケボタルの方が大きくなってしまいう傾向にある。しかしながら、この程度のサイズの違いは、実験には支障がないと判断し、研究を実施している。

ゲンジボタルおよびヘイケボタルそれぞれ別に写真-2に示すような実験装置を用意した。装置内の半分は、ホタル幼虫が光から逃れられるように石を敷き詰めた部分を用意し、もう半分には何も敷き詰めない条件で実験を実施している。実験は、石を敷き詰めていない部分にそれぞれ幼虫を放流し、1時間経過後、幼虫が石の下に移動した個体数と石のないところに留まっている個体数を記録した。1時間という長さは、幼虫の歩行速度を測定した結果より判断した。実験より、ゲンジボタル・ヘイケボタルの幼虫の平均歩行速度は約1.1mm/sであったため、この装置の縦横サイズ(220mm×310mm)から判断すると、1時間あれば十分に幼虫自身が好む場所に移動できると考えている。また、幼虫の照度(単位はluxで表す)に対する選好性を明らかにするために、装置内の光の条件は、光を遮断した状態、水槽内の照度を0.1luxから700luxの間で変化させた条件で実験を行った。装置内の照度の測定はデジタル照度計(custom製 LX-1335)を用いた。

## (2) 実河川及び水路における野外での照度観測

図-1は、ホタル幼虫に対する野外での光の条件による違いを明らかにするために観測した箇所を表している。福岡県の2級河川である室見川、樋井川水系の河川および福岡大学内で幼虫を放流している水路(D地点)を対象とし夜間の照度を測定した。観測地点はホタルの生息が確認されている場所A, B, C, Dの4地点、生息が確

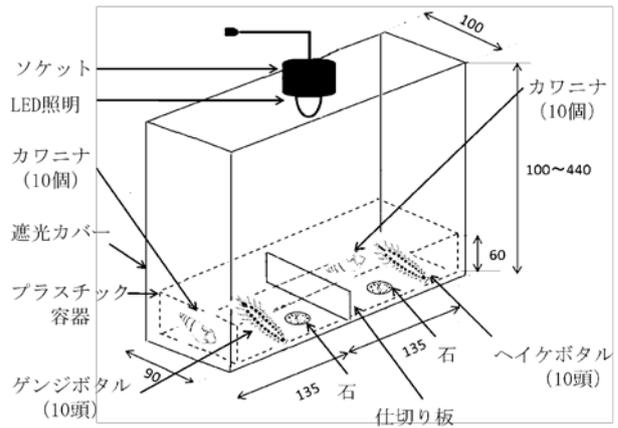


図-2 LED光による影響把握実験装置(数字の単位はmm)

認されない場所E, Fの2地点の計6地点を対象とした。E, F地点は水質、餌となるカワナナの生息、さなぎのための土壌があるという条件を満たす場所を選択した。水質は水質チェッカー(HORIBA製マルチ水質モニタリングシステムU-21XD)を用いてpH、電気伝導率、濁度、DO、水温を測定した。照度の観測は10mの範囲内で照度が最大となる値を採用し測定した。

## (3) 室内でのLED光によるゲンジ・ヘイケボタル幼虫の捕食行動への影響確認実験

LED光による実験に用いた幼虫は、光に対する忌避行動確認実験と同様に卵から羽化させた5-10mm(2, 3齢)のヘイケボタルおよびゲンジボタルの幼虫を用いた。これらの幼虫をプラスチック容器の照明区から無作為に10匹選び、1日以上餌を与えない状態で放置する。空腹状態にした後、実験を開始した。餌として与えるカワナナは、幼虫と同程度の5-10mmの大きさ10個を用意した。プラスチック容器には曝気して溶存酸素を飽和させた水を入れる。また、石を入れておき、幼虫が光を嫌い石の下に潜るか、LED光を感受せず捕食するか実験した。光源の色および照度の影響を調べるための試験装置は、プラスチック容器と箱を用いて作成した(図-2)。試験水槽は、長さ270mm、幅90mm、高さ60mmのプラスチック容器を用い、LED照明下である四角の境目を透明色の板で仕切り、幼虫が仕切りを通れないようにシーラントで接合した。プラスチック容器の外側には、黒色のビニールシートを貼って外部の光が入らないようにした。長さ280mm、横100mm、高さ180-300mmの四角柱の遮光用のカバーを作り、その内側上面に電球ソケットを付けて光源のLED照明をセットした。箱の内側は、黒色のビニールシートを内張りして遮光している。LED照明の照度は、使用する箱の高さを変えること、黒色のビニールシートを複数枚重ね合わせて遮光することによって調整した。幼虫を入れるプラスチック容器の水槽の照度は、幼虫を入れる縦、横のLED照明区の底面の中心の照度で代表さ

表-1 明・暗条件での実験結果

ヘイケボタル				
条件	光を遮断した状態		蛍光灯下	
移動した場所	石の下	石なし	石の下	石なし
個体数(%)	26	74	55	45
ゲンジボタル				
条件	光を遮断した状態		蛍光灯下	
移動した場所	石の下	石なし	石の下	石なし
個体数(%)	45	55	98	2

せている。LED照明区のプラスチック容器の底面の照度は、デジタル照度計（custom製 LX-1335）を用いて測定した。実験は全て幼虫を飼育している人工環境室で行うこととし、この環境に馴致した後、それぞれのLED照明区に放している。光源を点灯し、1日後に蓋を開け、カワナナの捕食数を調べた。静置時間を1日に設定したのは、ゲンジ・ヘイケボタル幼虫の移動速度は共に約1.1mm/sであるため、1日あれば十分に装置内を動き回れると判断し設定した。

### 3. 実験および観測結果

#### (1) 室内でのゲンジ・ヘイケボタル幼虫に対する光による忌避行動確認実験

表-1は明・暗条件での実験結果を示している。蛍光灯下で実験を行った場合、ヘイケボタルは55%、ゲンジボタルは98%が石の下に移動し、光を遮断した状態に比べ約2倍の割合で石の下に移動する傾向にあることが分かった（有意水準  $\alpha=0.01$ ）。これは、蛍光灯下においては、ゲンジ、ヘイケボタル幼虫ともに蛍光灯の光を避け石の下の隙間に身を隠す傾向にあると考えられる。また、この実験結果より、ヘイケボタルに較べるとゲンジボタルの方が、光を嫌う傾向が強いことが示された。

次に、図-2は装置内の照度を0.1luxから700luxの間で変化させた条件で実験を行った結果を示している。縦軸の選好値は光を遮断して実験を行った結果（表-1）において、石のないところに幼虫が存在した割合がヘイケボタル74%、ゲンジボタル55%であったので、その結果をもとに0-1で示した。選好値が0に近い値の方が光を遮断した状態に比べ石の下に移動した割合が高いということを示している。これまで、照明が幼虫の行動に影響を与える<sup>3)</sup>ことがわかっていたが、ゲンジボタルの方がヘイケボタルに較べると光を嫌う傾向が強いということが明らかとなった。

#### (2) 実河川及び水路における野外での照度観測結果

図-3は、図-1に示した各地点の照度の変化の観測結果を示している。この図から、ホタルの生息が確認されて

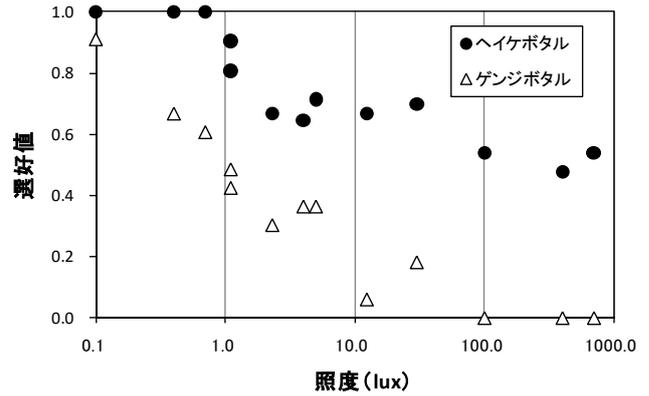


図-2 ホタル幼虫の照度に関する選好性

いるA, B, C, Dの4地点の夜間照度は、約0.15~0.20luxの範囲であることが分かる。この内、A, B, C地点は飛翔時期にホタルが多く生息する場所であり、この程度の夜間照度であればホタルへの影響は少ないと考えられる。また、この3地点の河川の周辺には街灯などの人工照明はないことが確認されている。F地点における夜間照度は約5.1luxであり、一般的には地下駐車場レベルの薄暗い場所である（表-2参照）。この地点は川沿いに街灯があり、ガソリンスタンドが隣接しているため高い夜間照度を示している。ガソリンスタンド前での照度は400luxであった。表-3は各地点の水質を示している。ゲンジボ

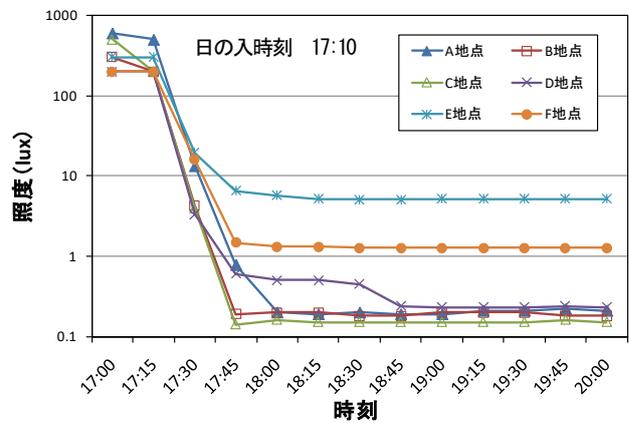


図-3 各地点の夜間照度変化

表-2 照度の目安（JIS照度基準参考）

屋外		室内	
明るさの目安	照度(lux)	明るさの目安	照度(lux)
真夏の晴天時	100000	パチンコ店内	1000~2000
晴天時の日陰	10000	蛍光灯下の室内	300~800
街灯下	10~50	ホテルのロビー	70~200
月明かり(満月)	0.01~0.1	地下駐車場	5~30

表-3 各地点における水質観測値

調査項目/調査地点	A	B	C	D	E	F
pH	6.9	7.1	7.4	6.9	7.1	7.4
電気伝導率(ms/cm)	0.159	0.104	0.129	0.254	0.276	0.179
濁度(NTU)	13.0	13.6	14.6	9.3	23.3	15.6
DO(mg/l)	10.0	10.3	10.1	9.3	9.5	9.9
温度(°C)	11.0	10.8	10.2	14.1	11.9	12.4

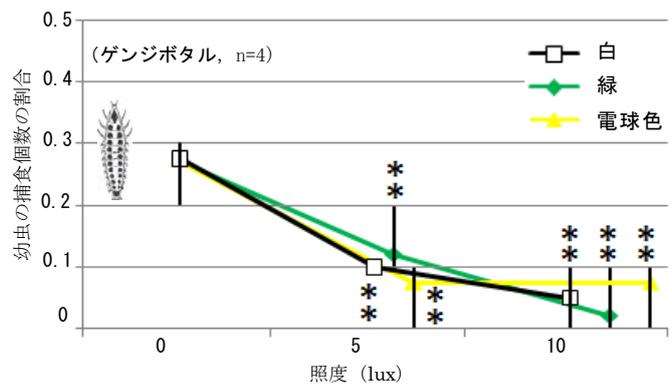
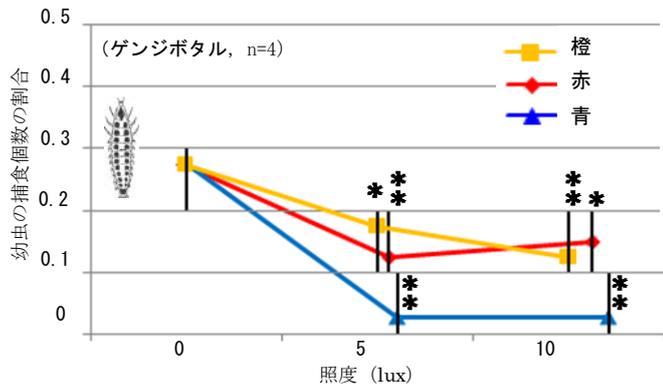


図-3 ゲンジボタル幼虫に対するLED照明各色の捕食行動に与える影響（対照実験の結果と比較し，\*\*：1%有意，\*：5%有意）

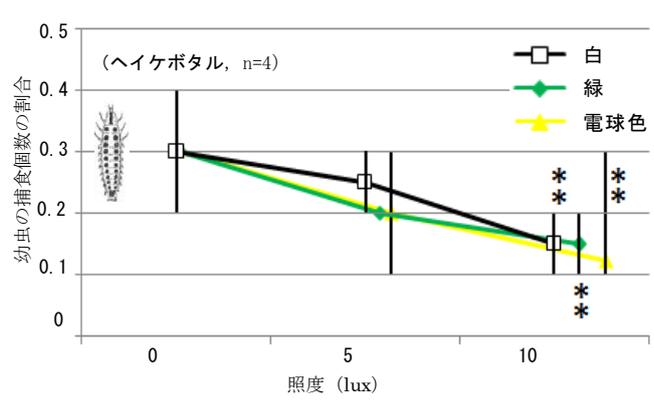
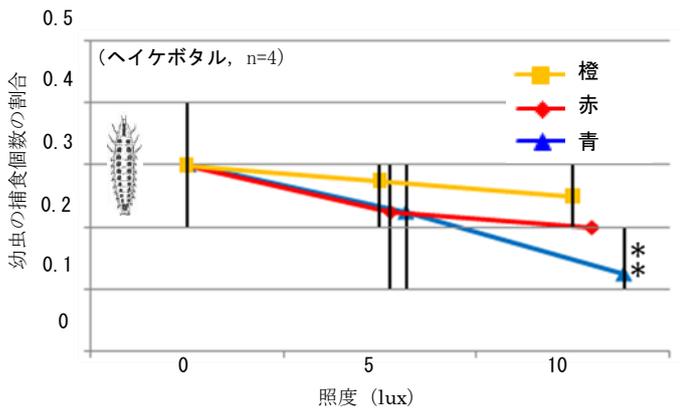


図-4 ヘイケボタル幼虫に対するLED照明各色の捕食行動に与える影響（対照実験の結果と比較し，\*\*：1%有意，\*：5%有意）

タルの好適生息条件としてはpHが6.5~8.3，DOが6.8~11.8mg/l<sup>4)</sup>とされており，全地点この項目の範囲内である。他の項目もホタルの生息に影響を与えるような値にはなく，このことから判断するとE，F地点でホタルの生息が確認できない要因は水質にはないと考えられ，その要因の一つとして人工照明による夜間照度の高さがあると考えられる。

### (3) 室内でのLED光によるゲンジ・ヘイケボタル幼虫の捕食行動への影響確認実験結果

図-3と図-4は，ゲンジ・ヘイケボタル幼虫に対する6色のLED照明の影響について，横軸に照度（単位はlux），縦軸に幼虫の捕食個数の割合をとり図示している。また図中には，バーチャートで誤差範囲を示し，Dunnett法により多重比較を行い検討した結果を示す。光源のLED照明を点灯しない状態でLED照明下に幼虫を放した対照実験の結果，幼虫の捕食個数の割合がゲンジボタルは0.275，ヘイケボタルは0.3であった。6色のLED照明を影響した順に示すと，ゲンジボタルは5luxの時，青<電球色<白<緑<赤<橙，10luxの時，青<緑<白<電球色<橙<赤となった。ヘイケボタルは5luxの時，緑<電球色<青<赤<白<橙，10luxの時，青<電球色<緑<白<赤<橙となった。このことから，ゲンジボタル・ヘイケボタルは赤，橙色の暖色系の色に影響を受けにくいことがわかった。また，

青色の波長に近いほど，幼虫の捕食個数の割合が少なくなった。これらの結果より，ゲンジボタルの方がヘイケボタルより光の影響を受けるため捕食個数が少なく，低い照度の光でも避ける傾向があると考えられる。

## 4. 考察および今後の課題

### (1) 室内でのゲンジ・ヘイケボタル幼虫に対する光による忌避行動確認実験

人工環境室で飼育しているヘイケ，ゲンジボタルの幼虫を用いて光に対する忌避行動確認実験を行い，蛍光灯の照度をコントロールした条件下での幼虫の選好性を明らかにすることができた。これまでの研究<sup>3)</sup>により，照度はゲンジボタル成虫の生息密度に影響を与えることがわかっていたが，今回の確認実験により，幼虫の時期においても光を嫌う性質があることがわかった。特に，ゲンジボタルの幼虫はヘイケボタルの幼虫と比較すると極端に光を嫌う傾向が示された。この結果より，幼虫が主に活動する夜間における照度が高ければ，幼虫に採餌行動を低下させ，幼虫の生息密度に影響をあたえることが考えられる。夜間の光害対策は成虫が飛翔する時期だけでなくホタルが幼虫時代を過ごす時期にも必要であると示唆された。

## (2) 実河川及び水路における野外での照度観測

ホタルの生息している A~D の 4 地点の照度は 0.06~0.20lux であった。地点によっては照度の値が高い値を示すこともあるが、どの地点においても木が茂っていることにより照明が遮られており、この程度の夜間照度であればホタルへの影響は少ないと考えられた。また、それぞれの生息地は木などの光を遮る障害物があり、暗闇に近い場所があるという共通点があった。一方、ホタルが生息していない E, F 地点の夜間照度は高い値を示した。これらの地点は川沿いの道路に街灯やガソリンスタンド等があり、照明を遮る物が無いため高い夜間照度を示したと考えられる。今回の調査結果より、実河川および水路においてホタルが生息可能な照度範囲が照度の低い値で存在することが明らかとなったが、ある程度離れた街灯から届く照明の照度は 1.0lux 前後であるため、十分にホタル幼虫の生息に影響を与える可能性があることが示唆されており、今後、街灯と生息地の距離なども勘案して対策を立てる必要があると考えられる。

## (3) 室内での LED 光によるゲンジ・ヘイケボタル幼虫の捕食行動への影響確認実験

過去の研究<sup>5)</sup>でホタルの複眼の分光感度と発光スペクトルのピークがほぼ一致するという結果が得られており、ホタルは紫外線部から赤色部までの波長を満遍なく感受できる能力を持っていることが分かっている。ピークの波長は 550nm であり、ホタルはこの波長を一番感受する。しかし、感受しないといわれる青色を避ける傾向が今回の実験結果より得られた。推測ではあるが、ホタルは太陽光を特に嫌う為、紫外線に近い青色を避けたのではないかと考えられる。また、5lux の時、ヘイケボタルはどの色に対しても有意性が見られず、幼虫の捕食個数の割合は大きく変わらなかった。ゲンジボタルはどの色に対しても有意性があり、橙・赤・緑色のみ幼虫の捕食個数の割合が 0.1 以上となった。次に、ゲンジボタル・ヘイケボタルは 10lux の時、赤・橙のみ幼虫の捕食個数の割合が 0.2 以上となった。また、青が最も幼虫の捕食個数の割合は低くなった。この結果より、ヘイケボタルの方が光の影響を受けにくいと考えられる。また、赤色 LED を使用した実験中に LED 照明区で幼虫が脱皮したのを発見した。このことから、LED 光を照射しても脱皮をすることに問題は無いと考えられる。各実験における捕食の割合のばらつきは、最大で幼虫の捕食個数の割合が 0.2 程度の違いが生じた。この原因としては、幼虫が餌を捕食する際、偶然出会った場合にのみ捕食する傾向にあること、および実験では無作為に幼虫を選び出すため、雄雌の数で実験結果に違いが生じてしまった

と推察される。

## 5. 結論および今後の課題

ヘイケボタルとゲンジボタルの幼虫には光への忌避行動の示し方に大きな差があることが明らかとなった。今回の実験より、ヘイケボタル幼虫の方は比較的光による負の影響も小さいことが推察される。また、照度以外の生息条件では、ヘイケボタルの幼虫は環境適応力が優れていることや食性が広いことなど生息場を回復していくための条件ではゲンジボタルよりも優れている面が多いと考えられる。したがって、都市域でホタル再生を取り組んでいくためには、ヘイケボタルの方が適していると考えられる。また、LED 光を用いた実験結果より、ゲンジボタル・ヘイケボタル共に赤、橙色の光を感受しにくく、逆に、青色の光を嫌う傾向があることがわかった。誘導灯に用いる場合には、赤・橙色の暖色系の色が推奨される。今後の課題として、10lux 以上の照度で実験を行うと共に、光を当てた幼虫の生態に影響が無いかを調べる必要があると考えられる。

謝辞：ホタル幼虫の繁殖及び種ボタルの提供に関しては、福岡県ホタルの会の皆様にご協力を頂き、幼虫の餌や管理方法に至るまで懇切丁寧に指導していただきました。ここに記して感謝いたします。また、研究室に在籍し、ホタル研究に従事してきた学生諸氏には真夜中の観測およびサンプル採取作業などに協力していただいたことをここに記して感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 宮下衛：ゲンジボタル・ヘイケボタル幼虫に対する LED 照明の影響，土木学会論文集 G Vol.65 No1, pp1-7, 2009.2.
- 2) 宮下衛：ゲンジボタル・ヘイケボタルの産卵に対する LED 照明の影響，土木学会論文集 G Vol.67 No1, pp21-29, 2011.
- 3) 遊磨正秀：ゲンジボタル成虫の生息密度におよぼす照度と樹冠被度の影響，応用生態工学 pp59-63,2001.
- 4) 上田彬博，足立雅彦，えび奈順子，中嶋智子，松野喜六，小松正幹，蒲敏幸：ゲンジボタルの生息と水質について，京都府衛星公害研究所年報，pp49-56,1989.
- 5) 大場信義：ゲンジボタル，文一総合出版，p78，1988.

(2017.6.21 受付)

Experimental study for the fire fly restoration in the urban area  
- Influence of the LED and general light on firefly  
Luciola cruciata and lateralis larva -

Ryoichi WATANABE and Teruki HAMADA

Fireflies (*Luciola cruciata* and *Lateralis larva*) are historical important insect at the early summer season in Japan. Various actions are accomplished about the conservation of the fireflies, especially for *Luciola cruciata*. However, rapid urbanization in urban area have been simultaneously causing complex environment problems for fireflies such as light condition or water temperature etc., the habitation site of the fireflies in the urban area has been in a very difficult situation.

In this research, we observed the effect of LED and general light for *Luciola cruciata* and *lateralis larva*. The observation results suggest that the firefly larva are affected by light condition, especially for the short-wavelength light has been shown worse effect.