

比較明合成撮影によるゲンジボタルの 幼虫の上陸活動及び羽化の観察

松岡 守*・川添昭夫**・小林久夫**・榎重純登**
村田道男**・新宮正士**・竹村一雄**・吉澤 伸**

Observation of Larval Ground Activity and Emergence of *Luciola cruciata*
by Comparative Bright Composition Photography

Mamoru MATSOKA*, Akio KAWAZOE**, Hisao KOBAYASHI**, Sumito MASUSHIGE**
Michio MURATA**, Tadashi SHINGU**, Kazuo TAKEMURA ** and Shin YOSHIZAWA**

要 旨

外気に通じた飼育下のゲンジボタルについて、夜間に幼虫が上陸して活動する様子、及び羽化後の様子を比較明合成撮影により継続して観察した。その結果、幼虫が上陸しての活動は気温が 8℃から 15℃の範囲では主に相対湿度が 80%から 90%において、15℃から 19℃では主に 70%から 90%において広い時間帯にわたって活動が見られた。また、羽化した成虫は辺りが暗くなり発見しやすくなる 20 時台に毎晩捕獲し、産卵・孵化設備に移すようにしたが、その後の時間帯にも出現し、やはり夜間全体にわたり活動していることを確認した。

キーワード: ゲンジボタル, 上陸, 羽化, 比較明合成

1. はじめに

ホタルの飛翔は、かつては日本の初夏を彩るありふれた風物詩の一つと言えたが、最近ではめっきりその数が減っている。筆者の一人(松岡)は桑名市内の比較的田舎で生まれ育った。幼少の頃は家のすぐ前も田んぼで、どうかすると家の中にもホタルが飛び込んできたりしていた。最近の状況については 2019 年と 2020 年にこの地域の小学校に、子どもから保護者等への聞き取りを中心に過去から最近までの目撃情報の調査を行うという取組みを提案させていただいた。その結果、1985 年頃以降の情報が得られ、それらを集約すると従来は同小学校区内の山あいや田んぼのほぼ全域にわたりホタルが飛翔していたことが分かった。また調査した最近のこの 2 年間でも 6 か所で飛翔目撃があり、多いときは一日で約 30 頭の飛翔が確認された。

筆者らは全員が桑名市内の「ホタルとなかまの会」りに所属している。この会は小学生から年輩までのかなり幅広い層の人が会員のボランティア的な団体で、ゲンジボタルの卵の採取、孵化、幼虫の飼育、団地造成時に作られた人工小川への放流、放流した小川とその近

辺の里山環境維持、そして飛翔時には近隣住民へ無料公開といった活動を行っている。しかしながら 2020 年は飼育した幼虫の成育数が限られたことから小川への放流をせず、上陸・羽化設備に移し環境を整えることでより確実に羽化と卵の採取が行えるようにした。

ゲンジボタルは羽化した際だけでなく上陸する幼虫も発光することが知られている²⁾。しかしその観察は自然環境の下では容易ではない。それは、幼虫の移動が遅く、発光が成虫よりも暗くまた点滅がゆっくりであることから、じっくり観察しないと散ったサクラの花びら等が白い点として見えているのか幼虫の発光なのかの区別がつきにくいことが一つの理由である。さらに幼虫の上陸は基本雨天時、しかも小雨ではなく良く降る際に多く見られる³⁾ことが知られており、そうした状況下で時間をかけて観察せざるを得ないことによる。また上陸は一晩ではなく 1 か月以上にもわたるものであるため、その期間終夜継続して観察しないと全容が分からず、観察は忍耐を要するものとなる。一方、ホタルの飛翔は雨の降らない夜であるものの、終夜について直接観察するのは同様に忍耐を要するものとなる。

* 三重大学教育学部

** ホタルとなかまの会

こうした悪天候下を含む夜間の継続的な観察は、観察の自動化を行うことにより、観察者の負担を軽減することが考えられる。専用のシステムを構築することも考えられるが、調べたところタブレットと比較明合成撮影と保存が継続してできるアプリの組み合わせで比較的容易にゲンジボタルの観察に適した装置を構築できることが分かった。ここで比較明合成とは、定められた時間内においてピクセル単位で最も明るい情報を記録するもので、この手法を用いると従来のフィルムカメラでも可能な長時間露光とは異なり、辺りが十分暗くなくても背景を白けさせることなくホタルの幼虫や成虫の光跡を記録することができる。ホタルの発光を記録するには高感度の専用のカメラが必要に思われたが、タブレットの内蔵カメラでも記録可能であることを確認した。継続して撮影するには自然環境では電源の確保が課題となるが、今回は 100V の交流電源が確保できる上陸・羽化設備内での観察となることも好都合であることから、この方法により、幼虫の上陸活動と羽化活動の両方を継続して観察することとした。

以下、上陸・羽化設備と観察方法をまず示し、続いて幼虫、成虫の観察結果、そして最後に得られた結果のまとめを示す。

2. 上陸・羽化設備と観察方法

観察に用いた上陸・羽化設備の写真を図 1 に示す。この設備は横幅約 2m、奥行き約 1m、高さ約 1.5m の手作りのもので、写真は手前の網戸を開けた状態で撮ったものである。写真右側のところに透明プラスチック製の収納ボックスを流用した水槽を奥行き方向に二つ並べた。水槽には深さ 5 cm 程度水を入れ、エアレーションをした。右上に写っているのはエアレーション用のポンプである。写真左側部分には緩くスロープになるように土を入れた。土側の水槽の壁は一部を切り欠き、木の板のスロープと大きめの石を階段状に並べた部分を設け、幼虫がどちらでも辿って上陸できるようにした。この上陸・羽化設備は網戸を通じて外気が入るので気温や湿度は基本的に外気と同様となる。ただし、屋根があり、雨が当たらないので、ほぼ毎夕じょうろで水を撒き、土が乾燥しないようにした。

観察は、タブレット (iPad ミニ) を三脚ないし壁に固定する形で、写真右側の上方から水槽の一部と土の全体を見下ろすように設置した。比較明合成撮影には「NightCap カメラ」というアプリを用い、基本 1 時間毎に比較明合成の写真を保存するようにし、それを昼夜を問わず記録し続けるように設定した。後処理として複数の比較明合成の写真をまとめるには Kikuchi Magick というウィンドウズ PC 用のソフトを用いた。



図 1 上陸・羽化設備

また、気温、湿度、水温、地温 (土のスロープ途中の深さ 5 cm 程度の位置にセンサを設置) を 15 分ごとに記録するよう設定したデータロガーも設置した。

幼虫は 2020 年 3 月 14 から 15 日にかけて室内の幼虫飼育設備から上陸・羽化設備の水槽に 211 頭を移した。水槽にはゲンジボタルの餌となるカワニナ、そしてカワニナの餌となるキャベツの葉も投入した。

3. 幼虫の上陸活動の観察結果

図 2 に撮影の例を示す。a) は撮影の視野を示したもので、b) が 4 月 12 日 22 時台の例、c) は同日 18 時台から翌日の 4 時台までの終夜について合成したものである。なお、a) の写真の左下の黒い縦棒はタブレットを固定する三脚の脚の 1 本である。前後の時間帯の写真から判断すると、b) の写真の右下側で V 字に見える光跡はスロープの板を伝ってこの時間に新しく上陸した 2 頭、写真上方に見える光跡はすでに上陸したものが活動を続けている幼虫である。なお本報告ではこのように水中から上陸した後に動き回っているものも含め「上陸活動」とした。また右下端には階段状に並べた大きめの石を巡っている幼虫の光跡も見える。b) の写真は 1 時間の記録であることから、幼虫は 1 時間に数十回点滅しながら、数十センチメートル移動することが分かる。終夜について合成した c) の写真より、多くの幼虫が夜間活発に動き回っていたことが分かる。

図 3 はこうした幼虫の上陸活動の様子を 1 時間毎の写真一枚一枚についてカウントし三次元的に表したものである。左から右に期日、奥から手前に時刻、高さ方向を各 1 時間内に見られた幼虫の活動頭数として棒グラフで示した。ただし 5 頭以上になると光跡が交錯し頭数がはっきりしないことから 5 頭以上とみられるものは 5 頭として示した。高さのない点は、観察はしていたが活動を示す光跡が見られなかった場合で、観察していなかった日時は空白にした。またタブレットで記録はしていなかったが目視で確認できた場合も一部追加した。

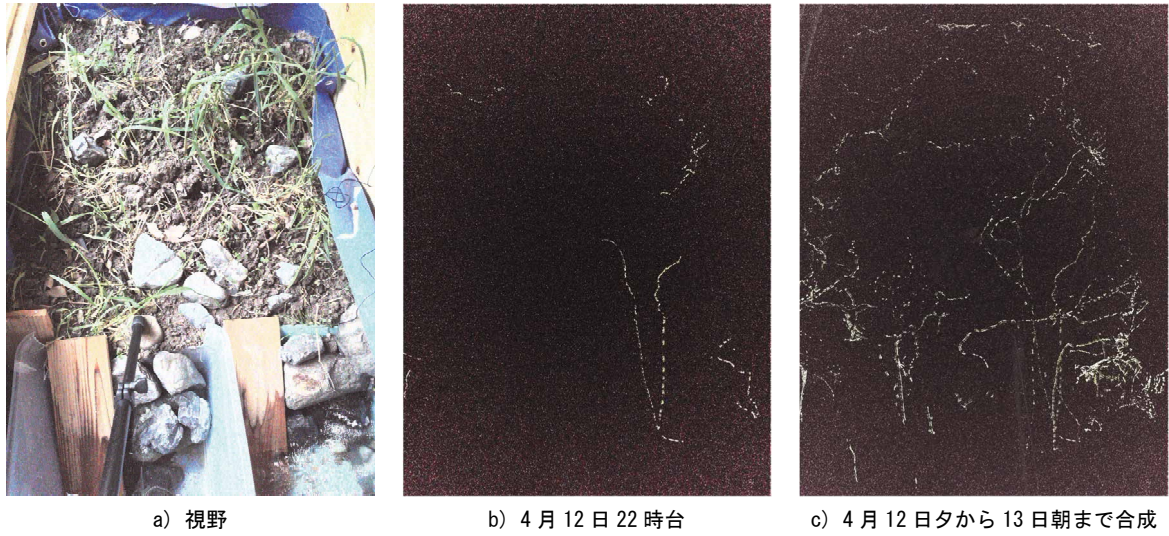


図2 幼虫の上陸活動の撮影例

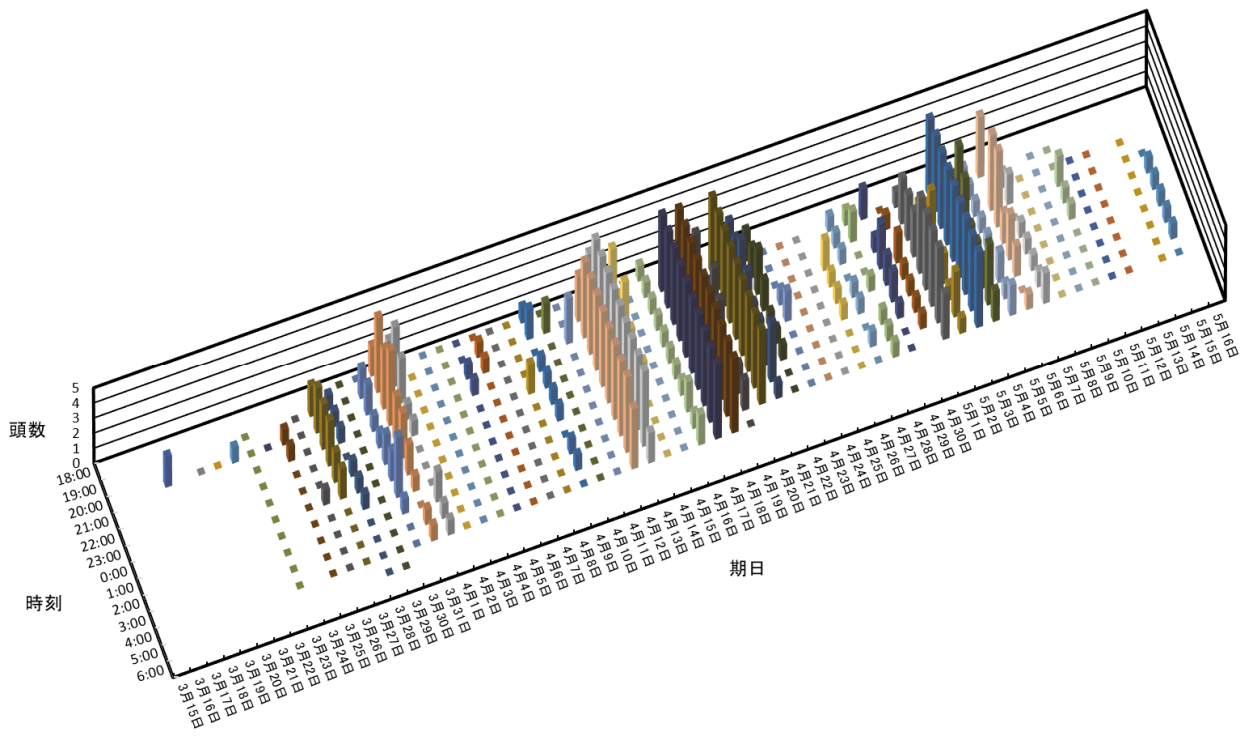


図3 幼虫の上陸活動の推移

最も早い上陸活動の確認は3月18日の20時台で、最も遅いのは5月16日の深夜2時台と、上陸活動は60日間にわたった。4月8日頃までの早い段階では夕方から日が変わるまでが主な活動時間帯であり、その後の時期は時間帯によらず終夜にわたり活動していたことが分かる。

図3で明らかなように幼虫の活動は毎夜連続ではなく、いくつかの期間（大きくは3期間）に集中している。これが何に依存しているのかを探るために、温度や湿度のデータと合わせて図4に示した。ここで横軸は、例えば3月15日と記載した位置は3月15日午前零時であり、次の内向きの目盛りの位置が翌3月16日

午前零時である。気温は天気の良い日は日中と夜とで寒暖差が大きくなるが水温や地温の変化は小さい。また水温と地温は大きくは変わらないが、水温より地温の方がさらに変化は小さい。湿度は気温の寒暖差が大きい、つまり曇りや雨のときに高い状態が保たれる。ホタルの幼虫の上陸活動はこうした湿度の高いときに多いように見える。3月27日夕方から4月2日朝にかけてが最初のこのような期間で、総数は少ないものままとった活動が見られる期間と言える。その後4月12日朝までは湿度が低く、活動も限定的である。4月12日夕方から21日朝まで湿度の高い状態が暫く続く期間が3回あり、それに対応して多くの上陸活動が見

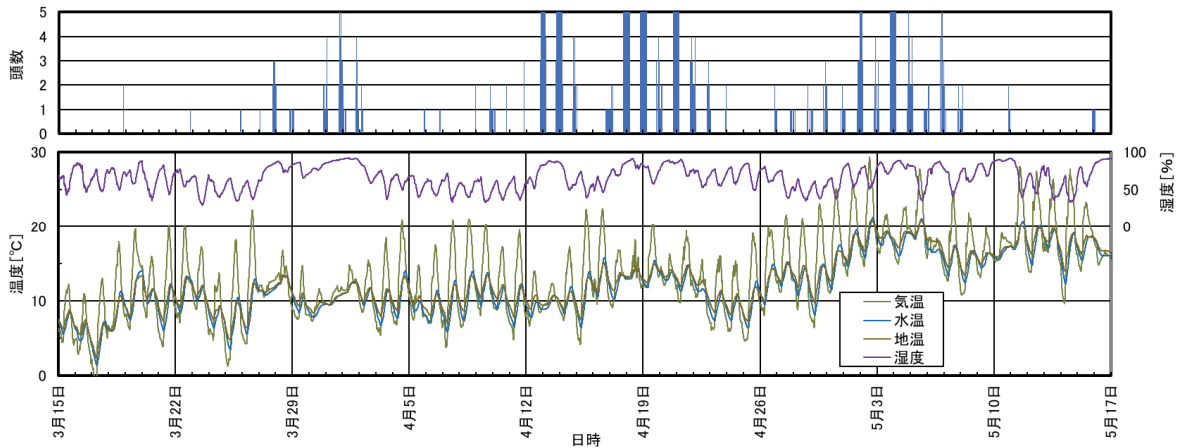
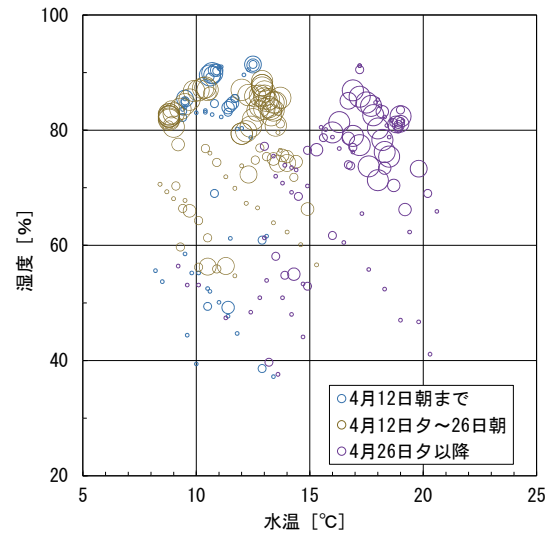


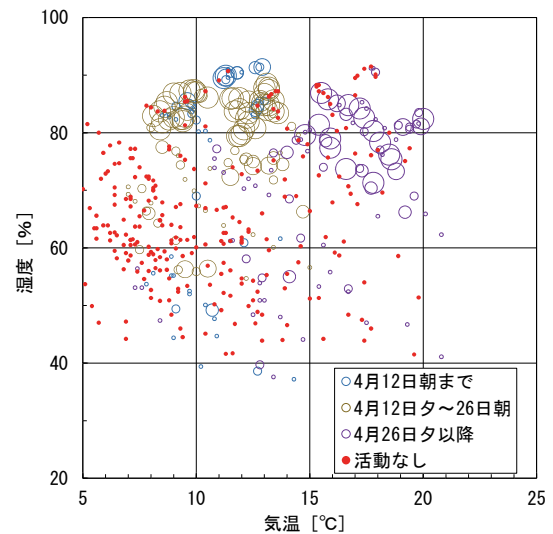
図4 幼虫の上陸活動と温度・湿度の関係

られ、この期間が最も多くなっている。なお、21日朝後湿度が下がっても上陸活動は23日朝まで多少続いている。その後4月30日までは湿度の低い期間が続くが、ある程度の上陸活動が見られる。これは良い天気が続く、あまり上陸活動には適さないものの幼虫は次の好条件の時期を待たずに上陸活動したのではなかろうか。5月1日からは湿度が高くなりやはり活発な期間となっている。その後5月10日頃及び17日頃も湿度の高い状態が続くが上陸活動は少ない。これはすでに幼虫がほぼ上陸を完了していたためと考えられる。

図5は同じデータを用いて横軸を温度、縦軸を湿度とし、1時間内に見られた上陸活動頭数を円の大きさに表現するバブル図で示したものである。上陸活動は水中から上がり、上陸して動き回る、つまり上陸する際の水温和、上陸してからの気温の両方が関係すると考えられることから、横軸をa)水温にした場合、b)気温にした場合の両方を示した。結果として両者に大きな違いはなく、水温は温度変化が少ないことから横幅を狭めた形になっている。両図とも活発な活動の期間を分けてみるために4月12日朝まで、12日夕から26日朝まで、26日夕以降について色分けして示した。加えてb)図には上陸活動が見られたこれらの期間、つまり、活動可能な幼虫が存在するはずの期間にも関わらず夜間に活動が見られなかった時の条件も「活動なし」として小さな赤い点で示した。図4に示した気温のデータからも分かるように2020年は4月下旬に寒さが戻った時期があるため、図5でも4月12日までよりも12日夕から26日朝までの方が水温や気温が低いデータが多数含まれている。活発な上陸活動が見られたのは、水温や気温が15℃以下の範囲で見ると水温で9℃弱、気温で8℃程度以上でかつ湿度が80%以上の時と言える。水温や気温が15℃以上の範囲で見ると湿度が70%程度以上のときに活発な活動が見られた。活動が見られなかった赤い点は低温、低湿度の領域を含めて広く



a) 水温—湿度依存性



b) 気温—湿度依存性

図5 幼虫の上陸活動の温度—湿度依存性

分布しており、上記の温度や湿度の条件が上陸活動に大きな意味を持っていると考えられる。ただし、活発な活動が見られる温度や湿度の条件においても活動が見られなかった点も多く見られ、上記の温度と湿度の条件が揃えば必ず活動するわけでもないこと、また数は少ないものの低温、低湿度下でも活動する幼虫も存在したことにも留意する必要がある。

文献4)ではゲンジボタルの幼虫の上陸の条件として

- ・ 終齢幼虫が十分に成長・成熟していること
- ・ 日長時間が12～13時間以上であること
- ・ 最低気温が10℃以上であること
- ・ 水温と気温が同じ温度、もしくは気温の方が高いこと
- ・ 降雨時もしくは降雨後であること

の5点を挙げている。このうち3点目の「最低気温が10℃以上であること」は、我々の観察では8℃以上から活発な活動が見られており、差異がある。ただし、2020年は4月下旬に寒さが戻ったことによる例外的な事例かもしれない。さらに4点目について確認するために、横軸を気温、縦軸を気温と水温の温度差にしてまとめ直したものを図6に示す。これより、活発な活動が見られたのは気温が8℃から20℃、温度差(気温-水温)が-2℃から1℃の範囲となっており、やはり先の文献とは差異がある。

4. 成虫の活動の観察結果

図7に成虫の活動の撮影例を示す。a)はその視野で、幼虫の上陸活動の撮影例の視野(図2a)より少し上方の空間を含むようにタブレットを三脚を使ってではなく手前の壁面の上方に固定するようにした。右側壁面

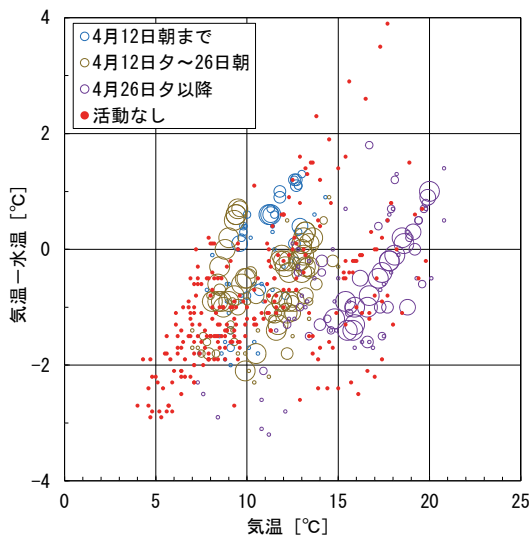


図6 幼虫の上陸活動の気温-温度差依存性

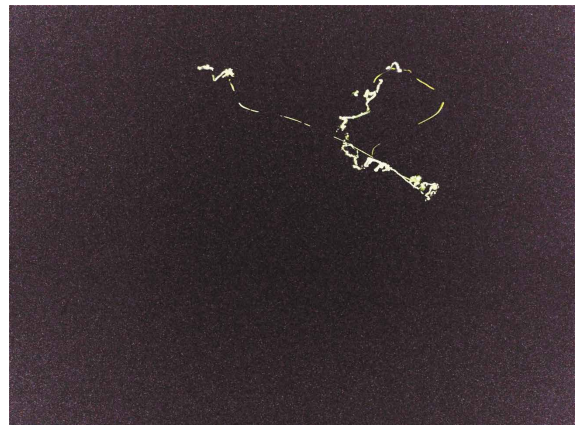
にはじょうろで水を撒く際に濡れないようにビニールのカバーを付けた状態の温度や湿度を記録するデータロガーが写っている。b)が撮影例で、細かく折れ曲がっている光跡は草葉の上等を歩いている際のもの、細長く写っている光跡は飛翔時のものであるとみられる。

図8は図3と同様に1時間毎の成虫の活動数を期日、時刻別に示したものである。ここで「活動」とは、移動する光跡が見られる、つまり、歩行ないし飛翔していることを意味し、動かない光点は除外した。なお、20時台の紫色のデータはその時間に捕獲した成虫の頭数で、捕獲したものは産卵・孵化設備に移した。したがってその後の時間帯のデータは、その後羽化して活動したものと考えられるが、20時台の捕獲時に見逃したものが含まれている可能性もある。これらは翌日の20時台に捕獲し産卵・羽化設備に移されることとなる。活動は5月27日夕から6月16日夕までの21日間にわたっていた。これは上陸活動の期間の60日のほぼ1/3である。20時台に多くの活動が見られ、その後活動を始めたものは明け方まで活動を続けていたようである。

図9に成虫の活動と温度・湿度のデータを合わせて示した。成虫活動数のうち20時の紫色の成虫活動数の



a) 視野



b) 2020年5月27日20時台

図7 成虫の活動の撮影例

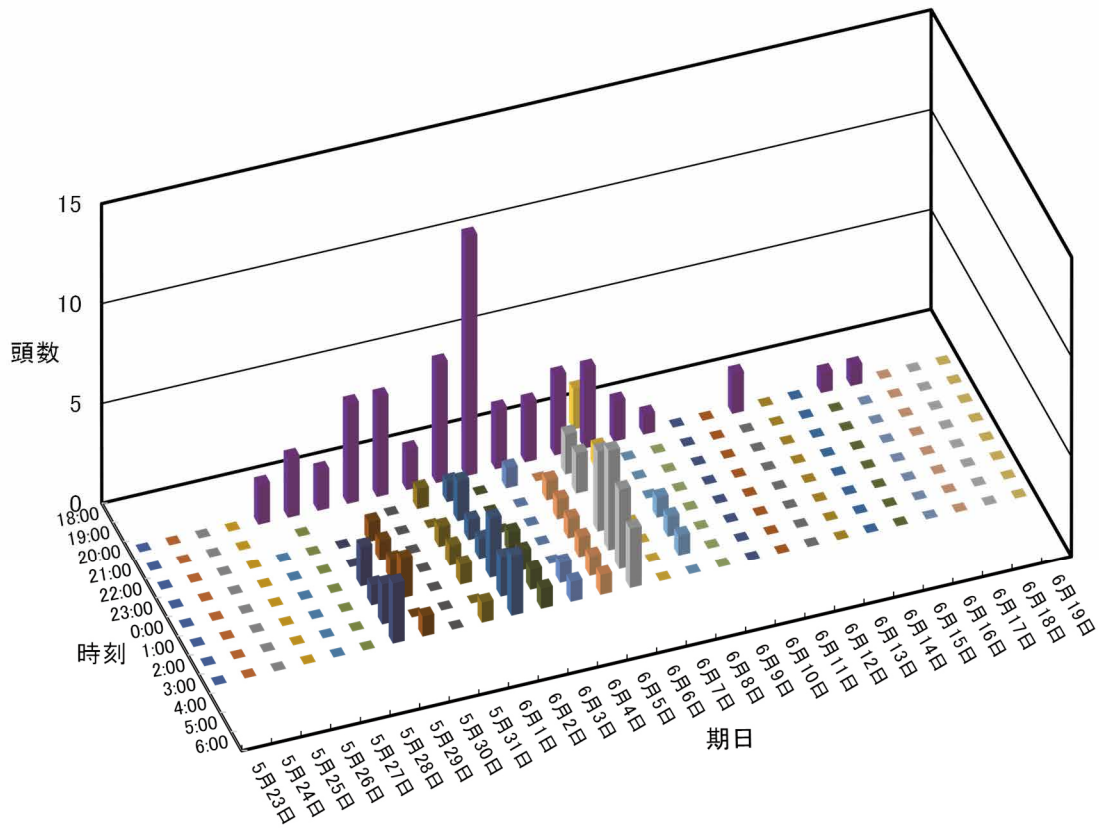


図8 成虫の活動の推移

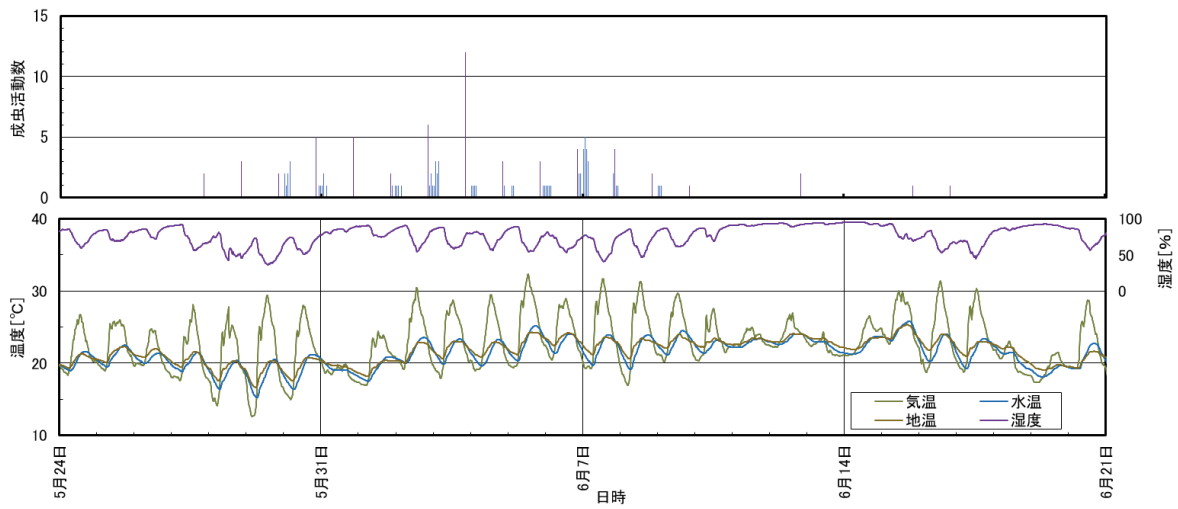


図9 成虫の活動と温度・湿度の関係

棒グラフはそれまでの 24 時間に出現したものの捕獲数であるので除外し、青色の棒グラフだけを見ると、幼虫の上陸活動とは逆に成虫は、5月31日、6月11、13、14日の夕方から翌朝までなど昼間の温度上昇がなく湿度が高く保持されている時は出現しない傾向にあるように見える。この傾向を確認するために図10に成虫の活動の気温-湿度依存性をバブル図で示した。データは5月29日18時から6月9日6時まで、つまり

夜間に活動が見られた期間に限定した。また8時台の捕獲データは除外した。図より成虫の活動が見られたのは、気温が15℃から24℃の範囲、湿度が60%から90%の範囲で、特に多く見られたのは気温が20℃近くで湿度が75%から80%の範囲であった。一方、活動が見られなかったのは気温が20℃で湿度が75%のポイントから図の右側やや斜め上の範囲に広がっている。つまり湿度がより高い領域、ただし温度が高い場合は湿

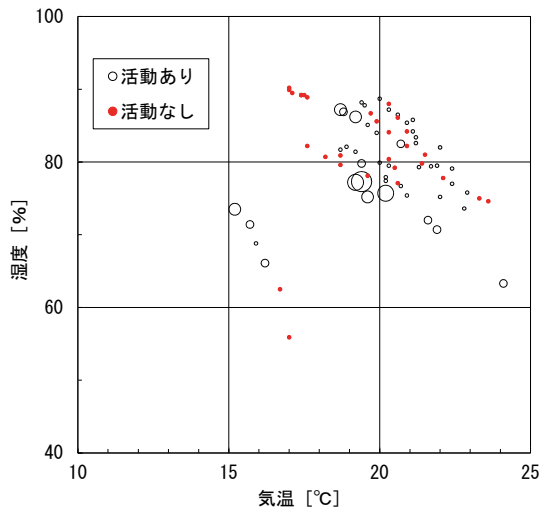


図 10 成虫の活動の気温－湿度依存性

度がさほど高くない領域まで活動なしの範囲が広がっているように見える。データ点数が限られるため確定的なことは言えないが、今回の観察は屋根のある上陸・羽化設備内のものであるため雨天であるかどうかは直接関係しないものの、ホタルは気温や湿度に敏感に反応して活動するかどうか判断していたことが伺われる。

図 11 に日毎の捕獲頭数を雌雄別に示した。上陸・羽化設備で羽化し捕獲したのは全体で 58 頭であった。上陸・羽化設備に投入した幼虫は 211 頭なので羽化率は 27.5%である。なおゲンジボタルは見かけだけでは幼虫段階では雌雄の別が分からないが、成虫はオスの場合腹部末端の 2 節の両方、メスの場合は腹部末端から 2 節目だけが発光することから容易に識別できる。全体でオスは 42 頭、メスは 16 頭であり、約 7 対 3 となった。文献 2)には「発生前期と中期、後期とで異なり、

後期になるほど雌が多くなる。発生中期、すなわち最盛期ではマーキング調査からほぼ雄 3 に対し雌 1 という割合である。」という記述がある。また、オスの方が一週間ほど羽化が早いとしている文献⁵⁾もある。我々の結果はオスとメスの比率については文献 2)に近いと言える。しかし、捕獲頭数が少ないこともあり明確ではないが、時期によらず雌雄の比率はあまり変わらなかったようである。文献 5)には、ゲンジボタルの最長寿命（生理的寿命）はオスかメスかによりあまり変わらずほぼ 3 週間である一方、京都の清滝川における野外観察で得た平均寿命（生態的寿命）はオスが約 3 日、メスで約 6 日という記述がある。なお、通常の観察では日毎の観察でオス、メスの比率を見ているが、我々の今回の観察では日毎に捕獲しそれを全数産卵・孵化設備に移した。他の通常の観察例と同様に雌雄のチェックだけをし、捕獲、移動はしないと、かつオスよりメスのほうが長寿命とすれば後期ほどメスを観察する比率が増えることとなる。つまり一般に言われている羽化の前半にオスが多く観察され、後半になるにつれメスの比率が増えるというのは寿命の違いによるもので、羽化する雌雄の比率は前半でも後半でもあまり変わらない可能性がある。文献 6)では、異なる時期に上陸してきた幼虫を捕獲し、1 頭ずつ恒温器に入れて羽化させて雌雄を調査した結果が報告されている。そして上陸時期と性比の関係については、2006 年の実験では明確な傾向はみられなかったが、2007 年では期間の前半で有意にオスが多い傾向がみられた、としている。ただし、雌雄の比率に有意な違いが見られた 2007 年でも捕獲日が 4 月 13 日から 5 月 16 日までの 7 日について順にオスの比率が 66.3%, 66.7%, 70.3%, 63.6%, 52.0%, 50.0%, 69.2%と報告されており、有意な違いが見られ

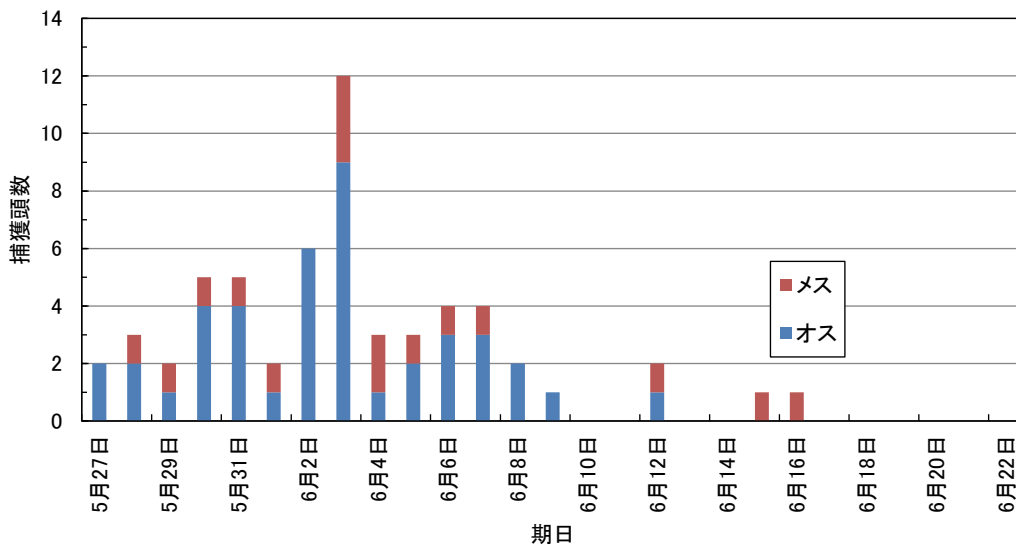


図 11 成虫の捕獲頭数の推移

たと言っても大きな変化ではなく、我々の観察結果はこの報告と矛盾しないものと言える。

5. まとめ

2020年に比較明合成撮影を1時間毎に継続して撮影する装置を用いて、飼育下のゲンジボタルの幼虫の上陸活動、及び羽化後の様子を夜間を通じて継続して観察し、以下の結果を得た。

- ・ 3月18日夜から5月16日未明までの60日間にわたり幼虫の上陸活動が見られた。
- ・ 上陸活動は上記の期間恒常的に見られるわけではなく、活発な上陸活動が見られたのは、水温や気温が15℃以下の範囲では水温で9℃、気温で8℃程度以上でかつ湿度が80%以上の時であった。また、水温や気温が15℃以上の範囲では湿度が70%程度以上のときに活発な活動が見られた。同じデータを温度差で評価すると、活発な活動が見られたのは気温が8℃から20℃、温度差(気温-水温)が-2℃から1℃の範囲の時であった。
- ・ 幼虫は1時間当たり数十回減しながら数十センチメートル移動した。
- ・ 幼虫の上陸活動は、早い時期は夕方から日が変わるまでが主な活動時間帯であったが、その後は終夜にわたって活発な活動が見られた。
- ・ 羽化は5月27日から6月16日までの21日間であった。
- ・ 20時台以降に活動を始めたものは明け方まで活動を続けていた。
- ・ 成虫の活動は、気温が15℃から24℃の範囲、湿度が60%から90%の範囲で、特に多く見られたのは気温が20℃近くで湿度が75%から80%の範囲であった。
- ・ 捕獲した成虫はオス42頭、メス16頭であった。捕獲頭数が限られるので明確ではないが、オス、メスの比率は捕獲時期で変化がないか、あるとしても後半にメスの比率がやや高くなる程度であ

った。

今回の観察は幼虫を卵から孵化させ、蛹になる終齢幼虫になるまで飼育したものである。上陸・羽化については外気が入るものの雨が当たらない、やはり飼育下における活動を見たものであり、自然環境の下にあるホタルの活動とは異なる部分があり得る。自然環境の下ではホタルの生息密度が低いことから、より広い範囲を観察することが必要となり、また電源の確保等、継続監視には工夫が求められる。ホタルの生態の理解を深めて保護活動に資するために、今後も今回の経験を活かして、より自然な状態のホタルの活動の観察を行うことを計画している。

謝辞

本研究の対象であるゲンジボタルの飼育はホタルとなかまの会の多くの会員の協力によるものである。また、冒頭に示した近隣のホタルの飛翔状況の調査は筆者の一人(松岡)の母校でもある桑名市立桑部小学校の先生方、子どもたち、そしてその保護者等の協力によるものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) ホタルとなかまの会
<http://kuwananohotaru.net/>
(2021年9月4日最終確認)
- 2) 大場信義:「日本の昆虫⑩ ゲンジボタル」, 文一総合出版, 1988年5月30日初版第1刷
- 3) 南喜一郎:「ホタルの研究」, 南喜一郎発行, 1951年6月
- 4) ホタルの発生時期(初見日)に関する考察
<http://www.tokyo-hotaru.com/jiten/report16.html>
(2021年9月4日最終確認)
- 5) 遊磨正秀:「ホタルの水、人の水」, 新評論, 1993年6月20日第1版第1刷
- 6) 守屋節男, 山内健夫, 中越信和:「ゲンジボタルの羽化時の性比」, 陸水学雑誌, 69, 255-258 (2009)