

野外生息地におけるホタル2種の発光コミュニケーションの解析

川野敬介

豊田ホタルの里ミュージアム, 〒750-0441 山口県下関市豊田町大字中村 50-3

Analyses on Flash Communications of Two Fireflies, *Luciola cruciata* and *Curtos costipennis*, in Field Habitats

Keisuke KAWANO

The Firefly Museum of Toyota Town, Nakamura 50-3, Toyota, Shimonoseki, Yamaguchi Pref., 750-0441 Japan

Abstract Flash communication of two fireflies, *Luciola cruciata* and *Curtos costipennis*, were observed in fields. The behavior was recorded by a super-sensitive monochromatic video camera, and the flashing patterns of male and female were analyzed using a computer program developed originally. In *L. cruciata* the following changes in the pattern were observed: 1) When a female received strong luminescence by a male, she tended to weaken her light. 2) A few peaks of strong luminescence by the female should be a signal to the male implying her acceptance for copulation. In *C. costipennis*, on the other hand, such response luminescence was not observed, and a female attracted a male simply with repetition of a certain luminescence pattern, though strength of her light changed slightly according to situations.

Key words : ゲンジボタル, キイロスジボタル, 発光コミュニケーション

キーワード : *Luciola cruciata*, *Curtos costipennis*, Flash communication

はじめに

日本産ホタル類の雌雄のコミュニケーション・システムは、6型に分類されている (Ohba, 1983). すなわち、ヒメボタル *Luciola parvula* に代表される雄の発光に対して厳密な時間的遅れを保って雌が応答発光を行う型 (HP システム), ゲンジボタル *L. cruciata* に代表される雌雄ともに様々に発光し、雌による明確な応答発光が明瞭でない型 (LC システム), ヘイケボタル *L. lateralis* に代表される雌雄共に固有の発光を行い、雌による応答発光が明瞭でない型 (LL システム), アキマドボタル *Pyrocoelia rufa* に代表される発光と性フェロモンを併用する型 (PR システム), ムネクリイロボタル *Cyphonocerus ruficollis* に代表される性フェロモンを主媒体としながらも光も補助的に併用する型 (CR システム), そしてオバボタル *Lucidina biplagiata* に代表される性フェロモンのみで光を利用しない型 (LP システム) である。主に光を利用するコミュニケーション・システムである HP システム, LL システム, LC システムの内、HP システムについては、応答発光の存在が確認され (Ohba, 1980; 1983; 1985; 大場・後藤, 1989), 比較的解明されている。一方、LC システム, LL システムに分類されるホタルについては報告が少なく、HP システムのような雌による明確な応答発光が確認されていないためにコミュニケーションが複雑と考えられ、

未解明な部分が多い。

LC システムに分類されるゲンジボタルの雌雄のコミュニケーションについては、いくつかの報告がある (Ohba, 1983; 1984; 矢島, 1978; 栗林, 1980; 2003; 三石, 1990)。また, LL システムに含まれるキイロシジボタルについても大場 (1983; 1993) の報告がある。しかしこれらでは, 野外生息地における雌雄のコミュニケーションの詳細についての記述は少ないことから, いずれの種についても研究の余地がある。

本稿では, ゲンジボタルとキイロシジボタルの野外生息地での雌雄の発光コミュニケーションを観察, 解析し, その全過程を各 1 例ずつ詳細に記述する。なお, 本稿は, それぞれ 1 観察例を報告するものであり, 本観察を以ってその種の発光コミュニケーション・システム全体を論じる意図ではない。それぞれの種のコミュニケーション・システムについては, 今後観察例を蓄積することで解明していくつもりであり, 本稿はそのための一資料である。

調査地および方法

1. ゲンジボタル

ゲンジボタルの雌雄の発光コミュニケーションは, 山口県下関市豊田町佐野川 (図 1) で 2008 年 6 月 1 日に観察した。観察方法は静止して発光している雌および雌に飛来する雄の行動を目視により記録し, さらに高感度モノクロビデオカメラ (wat-100N, WATEC 社) を用いて発光を記録した。カメラは雌に向けて約 70cm 離れたところに固定した。撮影範囲の実測値は図 2 に示した。観察・撮影した雌は, 河川脇の植物の葉上 (地面から約 10cm の高さ) に静止して弱く発光していた。雌がとまっていた場所の周辺には, 特に障害物はなく開けた場所であった (図 1)。



図 1 ゲンジボタルの観察場所 (豊田町佐野川) 雌を観察した場所を矢印で示す。

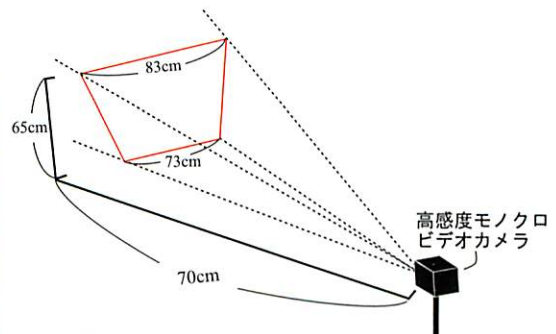


図 2 撮影に使用した高感度モノクロビデオカメラの撮影範囲の実測値

本稿では, 雌が単独で発光しているのを発見し, 観察・撮影を開始した 20 時 44 分から交尾が確認された 20 時 53 分 (21.7°C) までについて報告する。撮影した映像は研究室に持ち帰り, 発光パターンを Kawano (2008) と同様な方法で解析した。また雌に飛来した個体の飛来時の飛来軌跡を解析するために撮影した映像から 0.1 秒毎に写真 (BMP) を取り出し, それを画像編集ソフト Photoshop CS (Adobe 社) を用いて重ね合わせて 1 枚の写真に合成した。

なお雌雄の判別川は, 目視および動画映像により発光器の節数や発光行動を観察して判断した。今回観察した個体は採集していないが, 同個体群の標本は豊田ホテルの里ミュージアムに THM-昆虫-46~61・424~454・469~472・493~513 として収蔵されている。また本稿で用いた映像も THM-昆虫 (映) -100-0

として同施設に収蔵されている。今後の研究の便宜のために、今回観察した雌の個体番号を“LCTS-08-1”とする。

2. キイロスジボタル

キイロスジボタルの雌雄の発光コミュニケーションは、沖縄県石垣島屋良部岳（図3）において2008年5月2日に観察した。観察した雌成虫は、高さ約50cmの植物の葉上で発光していた。その場所は、照葉樹に覆われた森を通る道路沿いで、地表は落葉で覆われ、湿潤な環境であった。本種雌が発光していたのと同時同所の地表ではヤエヤマヒメボタル *L. filiformis yayeyamana* 雌成虫およびキベリヒゲボタル *Stenocladus yoshikawai* とヤエヤママドボタル *P. atripennis* の幼虫も発光していた。なお、葉上で発光していた雌成虫をそのままの状態を観察・撮影することは障害物が多く困難であったため、その場所から約3m離れたアスファルトの道路上に移動した。

本稿では、雌を移動後 雌の行動が落ち着いて単独で発光を開始した20時17分から交尾が確認された20時19分（23.3℃）までについて報告する。なお、観察・撮影・解析方法は、前種と同様である。ただし、カメラと雌との距離は、雌が単独で発光していたときは前種同様約70cmで撮影したが、雄が飛来してからは撮影範囲を拡大する目的で約1mに変更した。

今回報告した個体は、観察・撮影後に採集し雌雄を確認した。標本は、豊田ホタルの里ミュージアムにTHM-昆虫-596（♀）・597（♂）として収蔵されている。また映像もTHM-昆虫（映）-139-0として収蔵されている。今回観察した雌の個体番号は“CC1Y-08-1”とする。

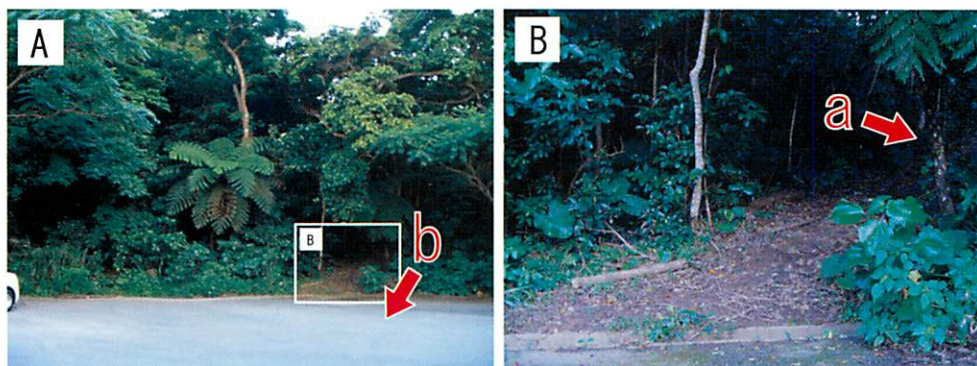


図3 キイロスジボタルの観察場所（石垣島屋良部岳）
a：雌を発見した場所。b：観察のために移動した場所。

結果および考察

1. ゲンジボタル（個体番号：LCTS-08-1）

ゲンジボタルの雌雄の発光コミュニケーションを野外生息地で観察した。雌雄の発光パターンについては図4に、雌に飛来した個体の飛翔軌跡については図5に示した。

雌は、河川脇の葉上に静止して弱く発光しているところを発見し、その状態のまま観察した。観察を開始した時点では、雌の周囲に他個体はおらず、雌は弱いが消えない光をゆっくりと明滅して葉上に静止していた。その光は肉眼では規則的に明滅していることに気づかなかったが、解析の結果、一回の発光の持続時間（平均±標準偏差）が 1.81 ± 0.16 秒（ $N=51$ ）、一回の発光の最大ピークから次の最大ピークまでの時間が 1.81 ± 0.15 秒（ $N=52$ ）で規則的に明滅していた。単独で発光している雌の発光パターンは、

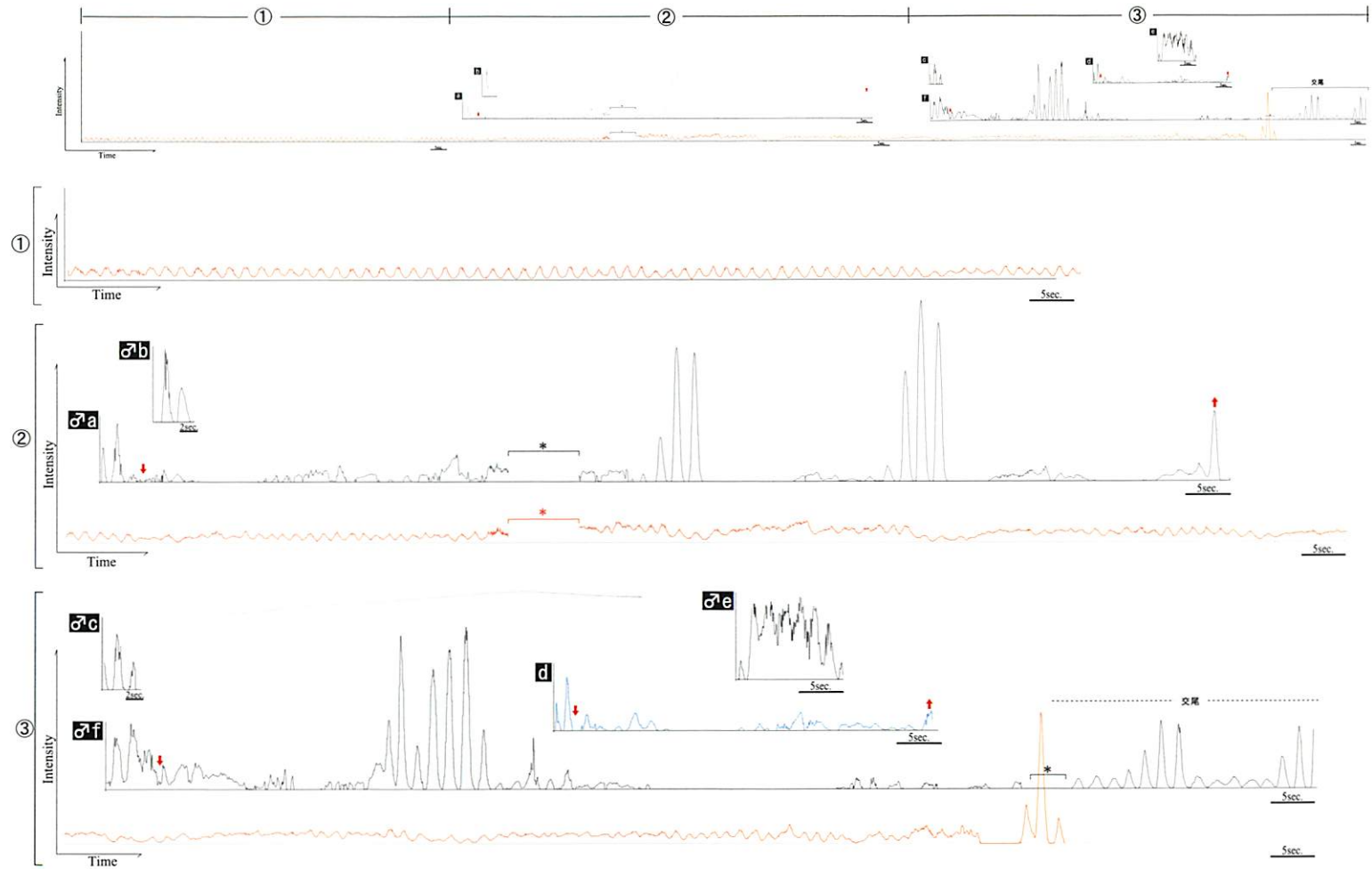


図4 ゲンジボタルの発光コミュニケーション (LCTS-08-1)

上段は連続録画したすべての発光波形を示し、それを3つに分けてそれぞれ拡大して下段①②③に示した。赤色の波形は雌の発光を、黒色の波形は雄の発光を示し、雌雄の判別ができなかった発光は青色で示す。雄が飛来し着地した時間は下向きの赤矢印で、飛び立った時間は上向きの赤矢印で示した。雌に雄がマウントし、光が重なって解析不能の場合、その範囲を「*」で示した。

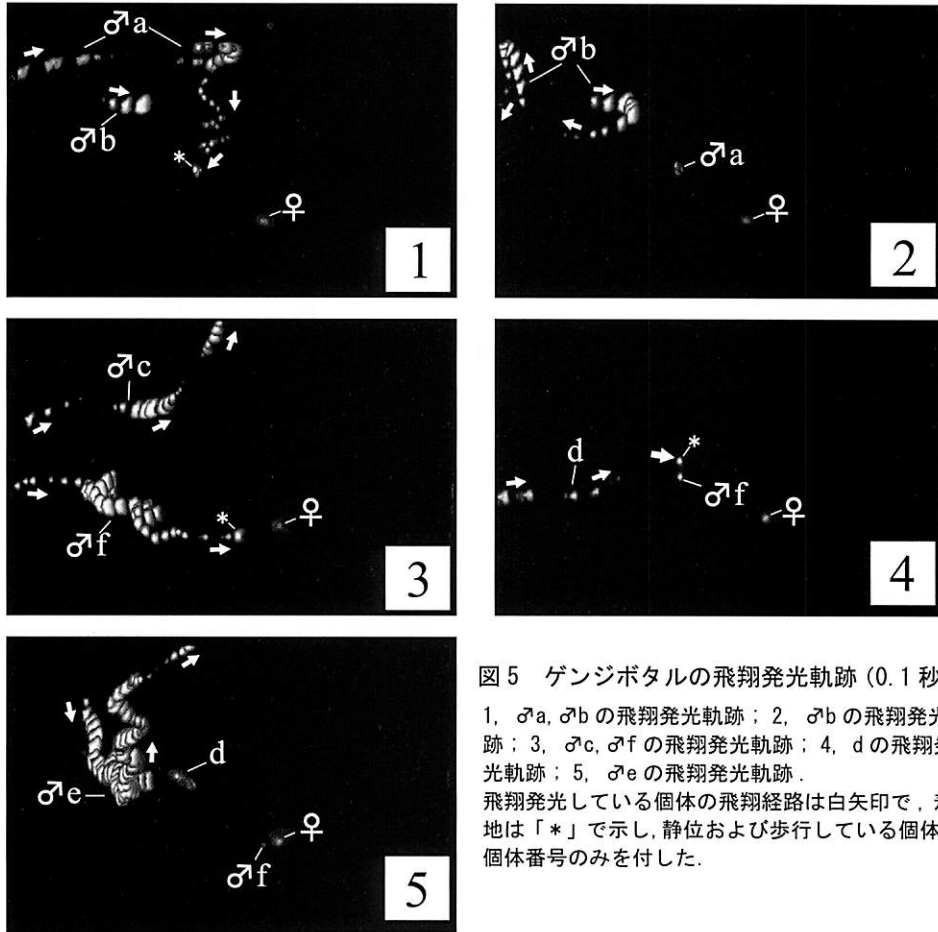


図5 ゲンジボタルの飛翔発光軌跡 (0.1 秒間隔)

1, ♂a, ♂bの飛翔発光軌跡; 2, ♂bの飛翔発光軌跡; 3, ♂c, ♂fの飛翔発光軌跡; 4, dの飛翔発光軌跡; 5, ♂eの飛翔発光軌跡.

飛翔発光している個体の飛翔経路は白矢印で、着地は「*」で示し、静止および歩行している個体は、個体番号のみを付した.

向きを変える時にやや変化したが、静止時は比較的規則的な発光パターンであった。単独で発光している雌に対し、2個体の雄がほぼ同時 (20時48分) に上流側 (北東) から飛来し、1個体の雄 (♂a) が雌の近くにとまり、もう1個体 (♂b) は飛び去った。♂aは、雌の近くにとまる直前に光を不規則に明滅させ、ジグザグに飛翔するといった行動変化が見られた。♂aが近くにとまった時、雌はこれまでの規則的な明滅を不規則な明滅に変化させたが、♂aがゆっくりと発光を開始するとともに単独の時と同様な規則的な明滅に戻した。その後、♂aが歩行して雌に近づき、雌にマウントしたが、雌は交尾を受け入れなかった。そのため、♂aは、雌から離れたところに歩行により移動した。そして雌から約10cm離れたところで静止して、強い光を3回放ち、その23.7秒後再び同様な3回の光を放った。その時、雌はいずれの発光に対しても合わせるように自身の光を次第に弱めることが目視による観察および解析によって確認された。なお、♂aは強い3回の光を2回連続で放った後、約32秒間雌と同じ植物上にいたが、再び雌に近づくことはなく、強い1回の光を放つとともに飛び去った。

周囲に雄がいなくなり、雌は再び単独で発光したが、規則的な明滅ではなかった。♂aが飛び去ってから21秒後、別の雄2個体が上流側からほぼ同時に雌に接近したが、♂a・bの時と同様に雌の近くに降りた個体は1個体 (♂f) で、もう1個体 (♂c) はとまることなく飛び去った。なお、雌の単独時の発光パターンは、♂aが飛来した時とは異なり、規則的でなかったことから雌雄のコミュニケーションにおいて

♂a が雌に近づいて来た時に見られた雌の規則的な明滅は、特に雄を誘引するための発光パターンではないと思われた。

♂f は、♂a と同様に光をちらつかせ、飛び方をジグザクにさせて、雌の近くにとまった。♂f は、♂a とは異なり、雌にマウントする前に約 15cm 離れたところで強い光を 7 回放った。この発光に対して、雌は♂a の時と同様に自身の光を雄に合わせて次第に弱めた。雄の強い光に対して雌が光を弱めるこの行動は、雌雄のコミュニケーションにおいて何らかの意味を持っているのかもしれない。その後、♂f は交尾に至るまでこのような強い光を放つことはなかった。♂f が強い光を放ってから成虫 d と♂e が雌の近くに飛来し、成虫 d は雌の近くにとまり、♂e は飛び去った。成虫 d については雌雄の判別ができなかったため詳述は避ける。♂e は、♂a や♂f と同様に発光パターンや飛翔軌跡を変化させて雌に近づいたが、雌の近くにとまることはなかった。このことは、雌の近くにとまる際には、既に雌の近くにとまっている雄 (♂f) もしくは雌との間での何らかのコミュニケーションがあり、その結果としてとまることなく飛び去ったのかもしれない。成虫 d は雌の近くにとまってから 12.1 秒後に飛び去り、雌の近くには♂f だけが残った。♂f は再び強い光を放つことはなく、弱い不規則な光を放ち続けた。そして♂f が飛来してから 1 分 30 秒後に雌が極めて強い光を 3 回放った。なお、雌のこの強い発光の直前に♂f が弱く発光した。

♂f と雌の交尾は、この雌の強い発光の直後に開始された。交尾開始直後の雄の発光は、弱い光を 4~5 回明滅し、その後 3 回の強い光を放つという比較的規則的な発光パターンを数回連続したが、この発光パターンが交尾の間ずっと継続されるのかについては全交尾過程を観察したわけではないのでわからない。なお交尾中、近くで飛翔発光する雄が数個体見られたが、雌の近くにとまる個体はなかった。交尾中の雄のこの発光は、交尾を他の雄に示す目的もしくは弱く光る雌の光を他の雄に見られないようにするためなのかもしれない。

これらの観察から今回観察された雌の場合、雌の強い発光によって交尾の受け入れが決まると考えられた。ただし雌は、♂a に対して交尾の受け入れを拒否していることから、雌は雄を選択していることが明らかになった。なお、交尾まで至った♂f と交尾を拒否された♂a では、次のことが相違していた：1) 強い発光が♂f では 7 回であったが、♂a では 3 回であった。2) ♂f は、強い光を放った後に雌に近づいたが、♂a は強い光を放つ前に雌に近づいた。3) ♂f は雌の横から水平に飛来したが、♂a は雌の真上から垂直に飛来した。また、次のことは共通であった：1) 上流側から飛来した。2) 雌の近くに降り立つ時に光り方や飛翔軌跡を変化させた。3) 雌へは歩いて近づいた。4) 複数個体で飛来したが、雌の近くにとまったのは 1 個体であった。なお、4) については、1 雌に複数の雄が同時に接近することは稀ではないとの報告があり (大場, 1984)、雌に接近した雄が 1 個体ずつであったという今回の観察が、本種に普遍的であるとは言えない。

なお、本観察において♂f が弱い光を放った直後に雌が強い光を放ったが、これが同属のヒメボタル (大場, 1980) 等で報告されている応答発光に相当する行動なのか否かについてはわからない。今後、観察数を増やすことで確かめていく必要がある。

2. キイロスジボタル (個体番号: CC1Y-08-1)

キイロスジボタルの雌雄の発光パターンについては図 6 に、雄の飛翔軌跡については図 7 に示した。雌は、林内の葉上に静止してゆっくり発光していたが、観察するために近くの道路上に移動した。移動直後は発光しなかったが、移動してから約 2 分後には葉上で発光していた時と同様な発光を再開した。雌が発光を再開した時、周囲には雄は見られなかった。雌は、強い光を一気に放ち、ゆっくりと消える光り方を繰り返し、時間が経つに従い 1 回の発光の持続時間が長くなり、さらに発光間隔が短くなった

(図6). ただし、光の強さには大きな違いは見られなかった。発光再開から2分43秒後、雌の上空約3mに雄が発光しながらホバリングしているのが確認され、その数秒後その雄が落下するように雌の近くに飛来した。雄は雌の近くに飛来すると、前種の雄同様、瞬きを伴うような不規則な明滅をして、雌の上空約1m以下をホバリングした(図7)。雌は、雄が上空に現れた時に光を強めた。また、雄が飛来するまでは、連続して発光していたが、雄が飛来した後はそれを一時休止した。しかし、雄が不規則な光を放ちながら雌の周囲を飛翔すると雌はそれに応えるように再び光を放ち始めた。雌が2回目の発光をしたところで雄は、雌の近く約20cmのところに着地して発光を休止したが、雌が3回目の発光をするまで雄は持続的に弱い光を放ちながら歩行により雌に近づき、マウントおよび交尾を開始した。

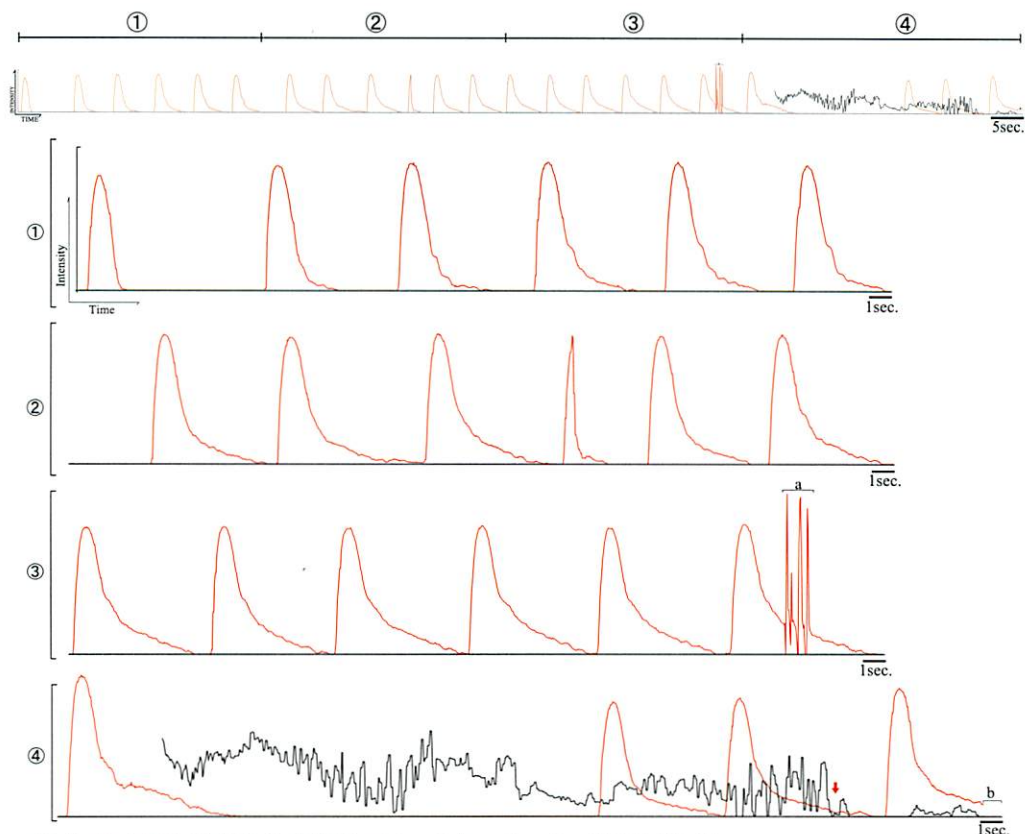


図6 キイロスジボタルの発光コミュニケーション (CC1Y-08-1)

上段は連続録画したすべての発光波形を示し、それを4つに分けてそれぞれ拡大して下段①②③④に示した。赤色の波形は雌の発光を、黒色の波形は雄の発光を示す。aの範囲は、撮影範囲を広げるためにカメラを移動させたことにより生じたノイズにより映像が乱れ、bの範囲は、雌の背に雄がマウントしたため解析できなかった。カメラと雌との距離は、カメラを移動(a)する前は約70cm、後は約1mである。雄が雌の近くに着地した時間は下向きの赤矢印で示した。

今回の観察では、雌の発光は単独時と雄が近くにいる時とで大きな違いは認められず、雌の応答発光については判然としなかった(図6)。ただし、雄が雌に飛来した時に雌は光を強く、長く放ち、さらに雄が接近している時に放った3回の光は、波形自体には大きな違いはないが、徐々に光を強めて発光した。一方、雄は雌が放った3回の光それぞれに反応した。すなわち、1回目の雌の発光に合わせて雄は、瞬きを伴う発光とジグザクとした不規則な飛翔を開始し、2回目の雌の発光に合わせて降下を開始して雌の近くに着地した。そして、3回目の雌の発光に合わせて雄は、休止していた発光を再開して、ゆっ

くりと明滅しながら歩いて雌に近づいた。いずれの行動も、雌のそれぞれの発光がもっとも強い時もしくはその直後に開始された。

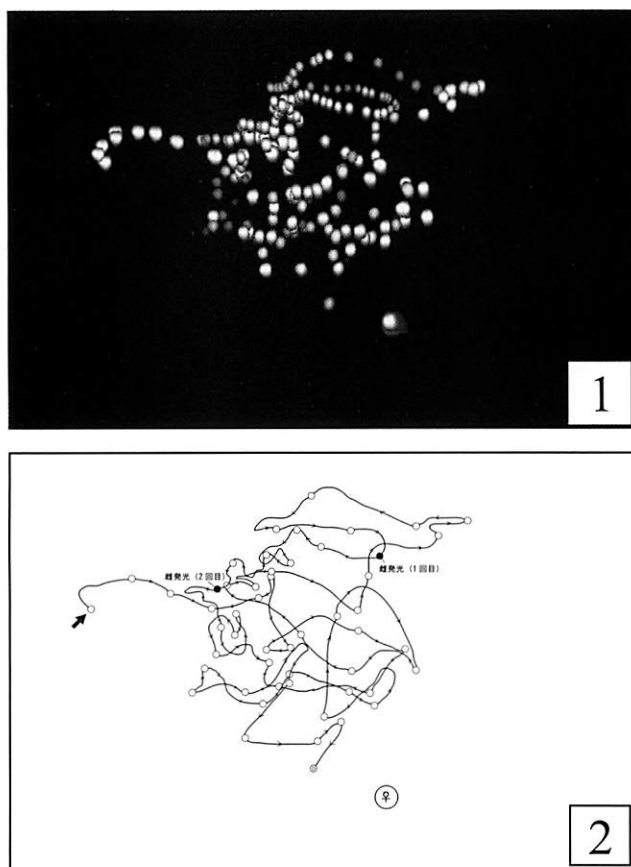


図7 キイロスジボタル雄の飛翔発光軌跡

1: 飛翔発光軌跡写真 (0.1 秒間隔), 2: 飛翔発光軌跡説明図. 解析開始位置を矢印で示す. 雄の飛翔発光は白丸 (適宜省略), 着地は二重丸, 雌が発光した時の雄の位置は黒丸で示す.

おわりに

本稿では、野外生息地で観察されたホタル2種のコミュニケーションをそれぞれ1例ずつ詳細に記載した。これらの観察が一般的なものであるかについては、今後さらに観察記録を蓄積することで明らかにしていきたい。

謝辞

本稿を作成するにあたり、有益なご助言を賜った大場信義博士 (大場蛭研究所)、星川和夫教授 (島根大学)、後藤好正氏 (横須賀市)、川島逸郎氏 (横須賀市) に対し、記して御礼申し上げる。

引用文献

- Kawano K. (2008) A Preliminary Study on Synchronous Flashing by Males of the Japanese Firefly, *Luciola cruciata*, with Special Reference to a Change in Flashing Pattern. 豊田ホタルの里ミュージアム研究報告書, (1): 93-99.
- 栗林 慧 (1980) 「ホタル 光のひみつ」: 7-9. あかね書房, 東京.
- (2003) 「ほたる-源氏蛍全記録」 143p. 学研, 東京.
- 三石輝弥 (1990) 「信州の自然誌 ゲンジボタル 水辺からのメッセージ」 227p. 信濃毎日新聞社, 長野.
- Ohba N. (1980) Mating behavior of a Japanese *Hotaria* firefly (Coleoptera: Lampyridae). *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.*, (27): 13-18.
- (1983) Studies on the communication system of Japanese fireflies. *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.*, (30): 1-62.
- (1985) Flash communication in *Hotaria tsushimaana* (Coleoptera: Lampyridae). *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.*, (33): 13-17.
- 大場信義 (1984) ホタルのコミュニケーション. 遺伝, 38 (8): 51-53.
- (1993) 南西諸島におけるキイロスジボタルとオキナワスジボタルの形態・習性の地理的変異. 横須賀市博研報 (自然), (41): 1-14.
- 大場信義・後藤好正 (1989) ヤエヤマボタルの形態と習性. 横須賀市博研報 (自然), (37): 1-8.
- 矢島 稔 (1978) ホタルの日周行動と光の信号-ゲンジボタルの場合. インセクタリウム, 15 (6): 12-19.