

ホタルの実験的異種間交尾

大場信義*・後藤好正**

Experimental mating in closely related species of Japanese fireflies

Nobuyoshi OHBA* and Yoshimasa GOTO**

Communication system of Japanese fireflies has been classified into six types, namely HP, LL, LC, PR, CR, and LB, and the role of species-specific signals in reproductive isolation has been demonstrated. In Japanese fireflies, closely related species have a similar communication system. They often copulated with different species in the laboratory observation. Crossing in fireflies is an important knowledge for considering the functioning and evolution of mating behavior of fireflies. However, there have been no studies on crossing in Japanese fireflies. This paper deals with experimental crossing among closely related species of Japanese fireflies. Mating with different species of fireflies was observed in the following species: *Hotaria parvula*, *Hotaria* sp., *Luciola yayeyamana*, *L. kuroiwae*, *L. lateralis*, *Luciola* sp., *Curtus costipennis*, *C. okinawana*, *Pyrocoelia matsumurai*, *P. matsumurai kumejimensis*, *P. abdominalis*, *P. miyako*, *P. atripennis*, *P. rufa*, *Lucidina biplagiata*, *L. accensa*. The outdoor observations and the results of the experiments on the fireflies were discussed. Based on observations of 16 species, We consider that some of them have been derived from the same ancestral species. They became isolated and speciated in the course of geographical isolation of their localities. All of the Japanese fireflies are isolated from each other in their communication systems, function of genitalia, geographical and seasonal distribution. There is no competition among them. Under such circumstances, it was possible for them to retain the mating behavior of their ancestor. Therefore, crossing at their habitats would never occur.

はじめに

日本産ホタルのコミュニケーション・システムはヒメボタルに代表される HP 型システムをはじめとして、ヘイケボタルの LL 型システム、ゲンジボタルの LC 型システム、アキマドボタルの PR 型システム、ムネクリイロボタルの CR 型システム、オバボタルの LB 型システムに大きく分類される(OHBA, 1983)。同じ型のコミュニケーション・システムを有する種群のなかには、地理的隔離や生息地の隔離、発生期の相違などによって、種分化を遂げたものが認められ、こうした種群のなかには祖先種のコミュニケーション・システムをそのままに保持しているとみなされるものがある。そこで各種のホタ

ルについて同一システムに属する種間交尾を実験的に観察し配偶行動からみた種間の類縁性を検討した。交尾実験はホタル類の飼育が難しい上に、発生期が異なるなどのことから、その実験例はほとんどない。

方法

実験対象とした種は第1表の通りである。小型ヒメボタル(仮称) *Hotaria* sp. はヒメボタルと比較して大きさが著しく小型の集団であり(大場, 1986)さらにヒメボタルの発光間隔に比較して約半分の0.5秒であり、明瞭に相違する。小型ヒメボタルは関東以西に分布するがヒメボタルは青森県を分布の北限としている。関東以西ではヒメボタルと小型ヒメボタルが生息するが、両者は明瞭

* 横須賀市自然博物館 Yokosuka City Museum, Yokosuka, 238.

** 神奈川自然保全研究会 Kanagawa Natural Preservation Society, c/o Yokosuka City Museum.
原稿受付 1990年9月10日 横須賀市博物館業績 第397号

キーワード: コミュニケーション, 交尾, ホタル Key words: communication, firefly, mating

第1表 実験対象としたホタルとその採集地・採集日

種類	採集地	採集日
ヒメボタル <i>Hotaria parvula</i> Kiesenwetter	名古屋市名古屋城外堀	1989, 1990.5
	神奈川県丹沢ヤビツ峠	1990.7.12
小型ヒメボタル <i>Hotaria</i> sp.	神奈川県箱根町大平台	1990.7.12
ヤエヤマボタル <i>Luciola yaeyamana</i> Matsumura	沖縄県石垣島パンナ岳	1989.5.8-10
クロイワボタル <i>L. kuroiwa</i> Matsumura	沖縄県玉城村百名	1989.5.16-17
ヘイケボタル <i>L. lateralis</i> Motschulsky	神奈川県横須賀市吉井	1982.6
<i>Luciola</i> sp.	台湾苗栗県苗栗	1982.6
キロスジボタル <i>Curtos costipennis</i> Gorham	沖縄県宮古諸島来間島	1989.5.11-13
オキナワスジボタル <i>C. okinawana</i> Matsumura	沖縄県玉城村百名	1989.5.16-17
オキナワマドボタル <i>Pyrocoelia matsumurai</i> Nakane	沖縄県国頭郡与那	1989.5.14
オキナワマドボタル久米島亜種 <i>P. matsumurai kumejimensis</i> Chûjô et Satô	沖縄県久米島	1985.4
サキシママドボタル <i>P. abdominalis</i> Nakane	沖縄県石垣島川平	1985.4
ミヤコマドボタル <i>P. miyako</i> Nakane	沖縄県宮古諸島来間島	1987, 1989.5 1989.5.11-13
オオシママドボタル <i>P. atripennis</i> Lewis	沖縄県石垣島パンナ岳	1986.3.23
アキマドボタル <i>P. rufa</i> E. Olivier	長崎県対馬厳原町経塚	1986.10.1-4
オバボタル <i>Lucidina biplagiata</i> Motschulsky	愛媛県面河溪	1989.7.12
オオオバボタル <i>L. accensa</i> Gorham	愛媛県面河溪	1989.7.12

に棲み分けていて、著者らは同一種ではないと考えている。両者の分類学的な類縁関係についてはさらに検討を要する。

異種間交尾行動を実験観察するために、野外で各種ホタルの終齢幼虫を採集し、それらを室内で飼育することにより、実験に用いるホタルの処女雌を得た。発生期の相違する異なった種を同時期に得るために、飼育条件(飼育温度など)を変えて羽化期を同調させた。またいくつかのホタルの雌は野外で採集したものを直接実験対象とした。この場合、明かに未交尾であることが発光パターンから容易に判別可能なヒメボタルや小型ヒメボタルに限った。しかし、雄は全て野外で採集し、実験に供試した。比較検討のために同種間の交尾実験も行い、観察した。一部の種については交尾行動の観察はこれまで

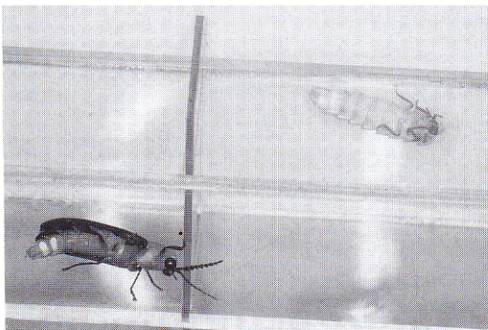
全くなされていなかったもので、本報告で記載した。夜行性のホタルは透明プラスチック容器(9.0×6.0×4.0cm)に置いて暗所において発光状態や交尾行動を観察した。フェロモンを発する種では真中に仕切板のある透明アクリル容器(19.5×2.5×2.0cm)で実験した(第1図)。

結果

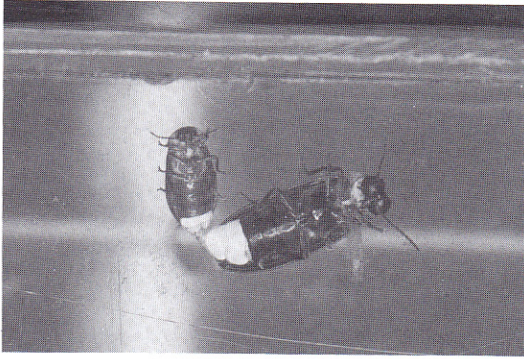
交尾の組み合わせと実験結果は第2表に示す通りである。比較のために一部のものは文献記録があるものにつ

第2表 交尾実験の組み合わせと結果

雄	雌	交尾 行動	交尾
ヒメボタル	小型ヒメボタル	+	+
小型ヒメボタル	ヒメボタル	+	+
ヤエヤマボタル	ヤエヤマボタル	+	+
ヤエヤマボタル	ヒメボタル	-	-
クロイワボタル	ヤエヤマボタル	+	+
ヘイケボタル	<i>Luciola</i> sp.	+	+
キロスジボタル	オキナワスジボタル	+	+
サキシママドボタル	オキナワマドボタル 久米島亜種	+	+
サキシママドボタル	オキナワマドボタル	+	+
ミヤコマドボタル	オオシママドボタル	+	+
ミヤコマドボタル	オキナワマドボタル	-	-
アキマドボタル	アキマドボタル	+	+
アキマドボタル	オオシママドボタル	+	+
オバボタル	オオオバボタル	+	-



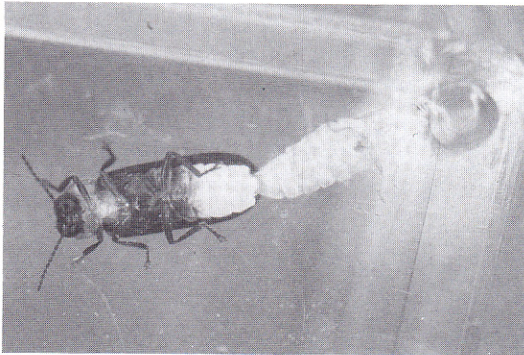
第1図 実験容器。



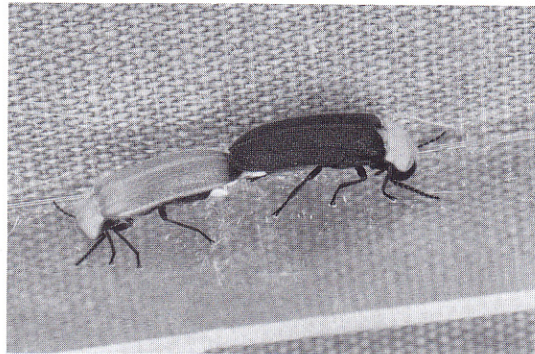
第2図 ヒメボタル雄(右下)と小型ヒメボタル *Hotaria* sp. 雌(左上)の交尾.



第3図 ヒメボタル雌(左)と小型ヒメボタル *Hotaria* sp. 雄(右後)の交尾.



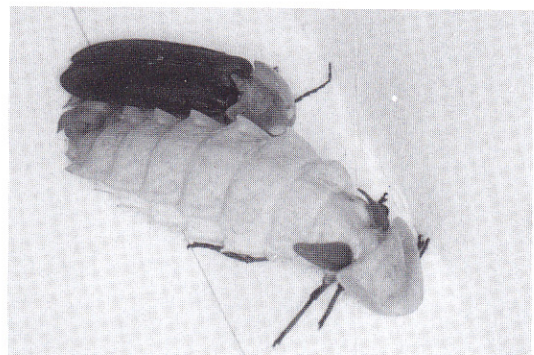
第4図 クロイワボタル雄(左)とヤエヤマボタル雌(右)の交尾.



第5図 オキナワスジボタル雌(右)とキイロスジボタル雄(左)の交尾.



第6図 サキシママドボタル雄(右)とオキナワマドボタル雌(左)の交尾.



第7図 アキマドボタル雄(上)とオオシママドボタル雌(下)の交尾.

いても再実験した。

交尾行動

各種の交尾行動は同種間で、空実験を実施し、比較観察資料とした。同種間では処女雌と雄を同一容器に入れることにより、交尾行動が解発された。

1. ヒメボタル雄×小型ヒメボタル雌

雌の誘引信号としての発光シグナルの間隔が約0.4秒と短いので雄の発光シグナルに対応して応答発光が可能であり、交尾した。雄はマウント後に交尾し、後向きになった(第2図)。しかし、交尾は長くは続かず、数分後に離れた。

2. 小型ヒメボタル雄×ヒメボタル雌

神奈川県丹沢山のヤビツ峠産ヒメボタル雌と箱根町大平台産の小型ヒメボタル雄との反応を実験した。小型ヒメボタル雄の発光間隔が約0.5秒であるのに対し、ヒメボタル雌の誘引シグナルの発光間隔は2～3秒であるが、雄の発光に対応して次第に回答発光し、約1分後には交尾した(第3図)。しかし交尾は長くは続かず、数分後には離れた。

3. 小型ヒメボタル雄×小型ヒメボタル雌

基本的にヒメボタルの交信様式と同じである。雄の探雌時における発光間隔が約0.5秒であり、明滅間隔が短いことがヒメボタルとの顕著な相違点である。交尾体勢はヒメボタルとほぼ同様である。

4. ヤエヤマボタル雄×ヒメボタル雌

沖縄県石垣島で採集したヤエヤマボタル雄と名古屋市産ヒメボタル雌の交尾行動は観察できなかった。ヤエヤマボタル雄の発光間隔が約0.4秒であり、これに対しヒメボタル雌の回答発光のタイミングが間延びして合わなかった。しかし、この実験に用いたヤエヤマボタルの雄は採集後、3日ほど経っている上に、生息地の気温と実験場所の気温が約7℃も相違し、実験条件が不適切であった可能性もあり、今後再実験を要する。

5. クロイワボタル雄×ヤエヤマボタル雌

クロイワボタル雄はヒメボタルに酷似した発光パターンで発光する。実験容器を暗い状態に放置すると、ヤエヤマボタル雌は、約1秒に1回閃光を放つクロイワボタル雄に回答発光し、交尾した(第4図)。雄は雌に接近し、マウント、交尾し、数分後に後向の体勢になった。ヤエヤマボタルの回答発光はヒメボタルの雌のそれよりも高いが、瞬きをほとんど伴わない。

6. キイロスジボタル雄×オキナワスジボタル雌

キイロスジボタルの雄を同種の雌に接近させて交尾行動を開発させた直後に、その雌をオキナワスジボタルの雌に接近させたところ相互に発光し、交尾した(第5図)。野外における両者の発光パターンの相違はほとんどないが、人工光(モデル光)に対する反応はキイロスジボタルの雄は明瞭な反応を示し、簡単に誘引される。交尾体勢はヘイケボタルと同様である。交尾直後は雌に雄がマウントしているが、数分後には後向きになった。観察条件が不安定であると、交尾体勢が変化しやすい。基本的にLL型システムのコミュニケーション・システムであった。

7. オキナワマドボタル雄×オキナワマドボタル雌

雄と雌を同一容器に入れると交尾行動が解発された。雄は前脚を立てて触角をV字状に延ばして左右にゆっくり振った。この行動は昼間でも見られ、サキシママドボ

タルのそれに類似した。オキナワマドボタルはこうした行動を繰り返して、雌に少しづつ接近して定位し、交尾した。基本的にムネクリイロボタルの配偶行動様式(CR型システム)に該当した。

8. サキシママドボタル雄×オキナワマドボタル雌

昼夜いつでも両者を接近すると交尾行動が解発された(図6図)。これらの種は微弱で連続した光を放つだけであり、光でコミュニケーションを計るには不適切である。雄の雌への定位は、触角をV字型に立てて、オキナワマドボタル同士の交尾行動に酷似する。

9. ミヤコマドボタル雄×オキナワマドボタル雌

両者を同一のスチロール容器内に入れたが、性行動が観察できなかった。ミヤコマドボタルは強い連続した光を放つ大型のホタルであり、PR型システムに含まれる。一方、オキナワスジボタルは光が弱く、小型でありCR型システムに含まれる。形態、習性、発光パターン、コミュニケーション・システムなども大きく相違しているためか、関心を示さなかった。

10. アキマドボタル雄×オオシママドボタル雌

アキマドボタルの雄と雌で観察されたのと同様な行動が昼間でも観察された(第7図)。この行動は昼夜ともに見られ、実験下では発光行動に関係なく交尾行動がみられた。

11. オバボタル雄×オオオバボタル雌

オオオバボタルの雌の臭いが分散したために、同一容器に入れたオバボタル雄とオオオバボタル雌の交尾行動が見られた。基本的にはLB型システムに含まれる。

考 察

ホタルは昼行性と夜行性さらに両行性の種が含まれ、フェロモンや光シグナルで交信している。こうしたホタルの信号は種特異的であり、配偶相手を識別する上で重要な役割を演じているとされている。(LLOYD, 1964; OHBA, 1983)。異種間交尾行動の実験結果は実験対象種が同一の型のコミュニケーション・システムに含まれる場合は配偶行動が認められ、交尾に至ることもあり、コミュニケーションの相違による生殖的隔離は完全でないことを示唆する。しかし、日本列島には同じ場所と同じ型に属するコミュニケーション・システムを有するホタルが複数種生息することはない。日本列島に分布拡散したホタル類は地域ごとに種分化を遂げ、また地理的隔離、発生期や生息地などの相違による生殖隔離によって適応進化を遂げたと考えられる。

HPシステムを有するヒメボタルと小型ヒメボタルは標高・発生期・生息地を相違させることで生殖的に隔離

している。例えば神奈川県箱根町では標高約800mを境に上にヒメボタル、下に小型ヒメボタルが明瞭にすみわけている。両型の相違点は後者の体長が前者に比べて約半分で5~6mm、発光間隔は同様に約半分の0.5秒である。こうした体の大きさや発光パターン、習性が著しく異なる種どうしても、人為的に交尾行動を解発させることが可能であるが交尾時間は短い傾向にあった。

オオシママドボタルやミヤコマドボタル、アキマドボタルは島ごとに種分化したにもかかわらず、配偶行動様式は祖先種のものそのまま受け継いでいるとされ(OHBA, 1983)、異種間交尾が可能と考えられる。同様な現象はLL型システムを有するオキナワスジボタルとキイロスジボタルの間にも認められる。オキナワスジボタルは沖縄本島に分布するがキイロスジボタルは沖縄本島を除いた沖縄諸島に分布する。従って人為的に接近させると交尾可能であるが、野外では両種の交尾の可能性は全くない。ヘイケボタルと台湾産ホタル *Luciola* sp. についても同様なことがいえる(OHBA, 1983)。

ミヤコマドボタル雄とオキナワマドボタル雌との交尾実験では反応が認められない。これは同じマドボタル属ではあるが前者はPR型システム、後者はCR型システムであり、コミュニケーション・システムの型が相違することに加え、性フェロモンが異なるものであることを示唆する。さらに両種は体の大きさが著しく異なり、交尾器の大きさなど交尾行動時の物理的整合性に欠ける。しかし、この属の雄交尾器の外形態は互いにきわめて類似している。

LB型システムを有するオバボタルとオオオバボタルは接近させることで交尾行動が解発される。両種は体の大きさが異なるものの、きわめて類似した形質を有し、両種の生息地も隣接するか、一部重なる。今後、発生期も大きな相違がないこの両種について生殖的隔離がいかなる要因によるものか更に検討したい。さらに交尾が認められたものについて妊性の有無を確認したい。

まとめ

- 1) 日本産ホタルでは同一の型のコミュニケーション・システムを有するホタルは人為的に異種間交尾するものが確認された。
- 2) 人為的に異種間交尾行動が解発されたホタルのほとんどは野外では地理的隔離、生息地や発生期の隔離などにより交雑する可能性は低い。
- 3) クロマドボタルとオオマドボタル、オバボタルとオオオバボタルなど交尾可能な種どうしであるが、同一生息地に生息し、生殖的隔離機構が明かでない。

謝辞

ホタルの交雑の実験観察を進めるにあたり、神奈川県自然保全研究会の相内幹浩、渡辺政人、木村喜芳の各氏からホタルの採集協力を頂いた。ここに記し感謝の意を表す。この研究の一部は平成2年度文部省科学研究費補助金一般研究C No. 02640515および財団法人富士フィルム・グリーンファンド研究助成によった。

引用文献

- 大場信義 1986a. ホタルのコミュニケーション. 241ページ, 東海大学出版会.
- 大場信義 1986b. 森に広がる光の絨毯, アニマ, (162): 38-48. 平凡社.
- 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.
- OHBA, N. 1983a. Studies on the communication system of Japanese fireflies. *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.*, (30): 1-62, pls. 1-6.
- OHBA, N. 1983b. Flash communication in *Luciola kuroiwae*(Coleoptera: Lampyridae). *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.*, (31): 1-8, pl. 1.

