

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

大場信義*・後藤好正**

Geographical variation on the morphology and behavior of *Curtos costipennis* and
C. okinawana (Coleoptera: Lampyridae) in the Southwestern Islands

OHBA N.* and GOTO Y.**

The firefly, *Curtos costipennis* is approximately 8 mm in body length, body is black, pronotum and elytra are yellow. This species is widely distributed in the Southwestern Islands except Okinawa Islands. However its population is geographically isolated in the Southwestern Islands. A small morphological difference in the body size and color pattern of the elytra is recognized among populations of these Islands, but no distinct studies have been made on the morphology and behavior of each population. The other species of firefly, *C. okinawana* which is very similar to *C. costipennis* is distributed in the Okinawa Islands as a substitute species of *C. costipennis*. In the paper, the authors have examined phylogenetic relation of *C. costipennis* and *C. okinawana* in the size of pronotum, shape of male genitalia, color pattern of elytra, luminescent behavior, ecology, and habitats in the Southwestern Islands. The results are as follows. Geographical variation of *C. costipennis* was recognized in the size of pronotum and color pattern of elytra. The size of pronotum of *C. costipennis* from Amami Oshima Is. was the largest among the fireflies of the Southwestern Islands. There was a tendency that size of pronotum gradually became larger and the black spot on the apex of elytra became clearer from southern to northern islands. However there were no distinct difference in the size of pronotum, and shape of genitalia. Occurrence of *C. costipennis* in Amami Oshima Is. was the latest and also the occurrence period was shortest among the Southwestern Isls. The differences between *C. costipennis* and *C. okinawana* in luminescent behavior and flash patterns were not so distinct. Males of *C. costipennis* were attracted well by artificial light of which flash pattern was made to resemble calling signals of the female. However, males of *C. okinawana* often flew away when they discriminated the artificial light. Larvae of *C. okinawana* often emitted continuous light on the ground, while most of larvae of *C. costipennis* rarely emitted light. *C. costipennis* and *C. okinawana* lived in forest, field, and alongroadside, where old trees grow. Competitive species of *C. costipennis* was *Luciola yayeyamana* in Iriomote Is. and Ishigaki Is., but it was *Pyrocoelia miyako* in Miyako Is. and Kurima Is. In Yonaguni Is. and Amami Oshima Is., there were no competitive species. In the case of *C. okinawana*, competitive species was *Luciola kuroiwae* in Okinawa Is. and Kumejima Is. *C. costipennis* and *C. okinawana* were isolated from the competitive species by activity time at the respective habitats. *C. okinawana* is considered to have been derived from *C. costipennis* by geographical isolation. Color of apex of elytra is black in *C. costipennis*, which suggests that *C. okinawana* speciated as this black spot of *C. costipennis* spread over the whole elytra.

* 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, 5-27-5, Kamiyabecho, Sagami-hara 229.

原稿受付 1993年8月10日 横須賀市博物館業績 第445号

キーワード: ホタル, スジボタル属, 形態, 習性, 地理的変異 Key words: firefly, *Curtos*, morphology, behavior, geographical variation

はじめに

キイロスジボタル *Crutos costipennis* GRORHAM, 1880 は体長約 8 mm, 体は黒色で前胸背, 上翅は黄色, 上翅には明瞭な縦の隆起線がある。中国福建省から記録され, 台湾および, 沖縄諸島を除く南西諸島に広く分布している。各島嶼に生息するキイロスジボタルは地理的に生殖隔離されており, 体長や上翅の斑紋パターンにわずかな差異が認められる。これまでは中條・佐藤(1970)により中国産およびトカラ・奄美・八重山群島産との簡単な比較がされているにすぎず, これらの集団について比較検討された例はない。また, 沖縄諸島にはキイロスジボタルにきわめて近縁なオキナワスジボタル *C. okinawana* MATSUMURA, 1918 が分布する。オキナワスジボタルはキイロスジボタルに形態や発光行動, 生態などの上でよく似ていること, また両種の配偶行動様式はホタル属 *Luciola* のヘイケボタル *Luciola lateralis* の配偶行動様式に代表される LL システムに該当し, 両属間が近縁な関係にあることを示唆している(OHBA, 1983; 大場, 1984; 大場・後藤, 1990)ので, 両種の類縁関係や分布拡散の過程さらにスジボタル属 *Crutos* やホタル属 *Luciola* との系統類縁関係を考察する上で重要である。そこで与那国島から奄美大島に至る島嶼に生息するキイロスジボタルの各集団および沖縄本島と久米島のオキナワスジボタルの各集団について, 前胸背板の大きさや雄成虫の生殖器(ゲニタリヤ)形態・上翅の色彩や斑紋パターン・さらに生息環境と生息状況・生態・発光行動などについて比較検討することによって, 各島嶼間の地理的変異・分布拡散過程と種分化を考察する。この研究の一部は文部省科学研究費一般研究 C No.02640515 および平成 5 年度西表野生基金によった。

生息環境

I. キイロスジボタル

与那国島 最高標高は231mである。低地部では水田耕作されている。生息地は限定され, 島中央部の林道沿いの林縁である。生息地(24°26'N, 123°0'E)には古木や大木など多様な植物が見られ, 林内は昼間でも暗く湿潤であり, 周辺には人家がない。調査地周辺に人工照明はない(第1図1)。生息範囲は道路沿いの約50mであった。

西表島 最高標高は447mで, 島周縁を除いて亜熱帯の森林に覆われる。生息地はサトウキビ畑周囲の緑地や戦後に植栽されたギンネム林, さらに山地の林道沿いである。生息地(24°21'40"N, 123°45'20"E)は祖内から白浜に至る中間地点の林道(第1図2)と上原の畑周辺のギンネ

ム林である。生息範囲は道路沿いの約150mであった。

石垣島 最高標高は526mで, 人家周辺の畑周辺や道路沿いの林縁, さらに山地に広くキイロスジボタルが生息する。生息地(24°22'40"N, 124°10'10"E)はバンナ岳山腹に通る林道沿いで標高約100mにある。植生は多様であり, 昔ながらの景観をとどめている(第1図3)。生息範囲は道路沿いの約100mであった。しかし1990年12月にはバンナ岳の道路沿いの生息環境は破壊された。

宮古島 平坦なサトウキビ畑に覆われている。生息地(24°47'50"N, 125°19'E)は植物園周辺の緑地で, 道路沿いの林縁である。植物園であるために樹木は良好に保全され, 林床は暗く湿潤である(第1図4)。生息範囲は道路沿いの約300mであった。

來間島 宮古島に隣接した小さな島で, 台地上に集落がある。サトウキビやタバコなどの畑があり, 防風林やギンネム林などの緑地が存在する。生息地は畑の農道沿いにあるギンネム林(第1図5)で農道沿いの約30mの範囲であった。

奄美大島 平坦地が少なく急峻な海岸線に囲まれる。琉球列島に比べて標高が高い大きな山地(最高標高は694m)が存在するために, 水系が多く, 大雨時には急流となる。生息地は油井岳(28°16'N, 129°19'E)や湯湾岳の林道沿いである。油井岳山腹は, 標高約400m, 林道は幅約3mで道路沿いの樹木が林道を覆っている。このために昼間でも暗い湿潤な環境で, 様々な生物の生息場所となっている(第1図6)。キイロスジボタルの生息範囲は道路沿いの約200mであった。

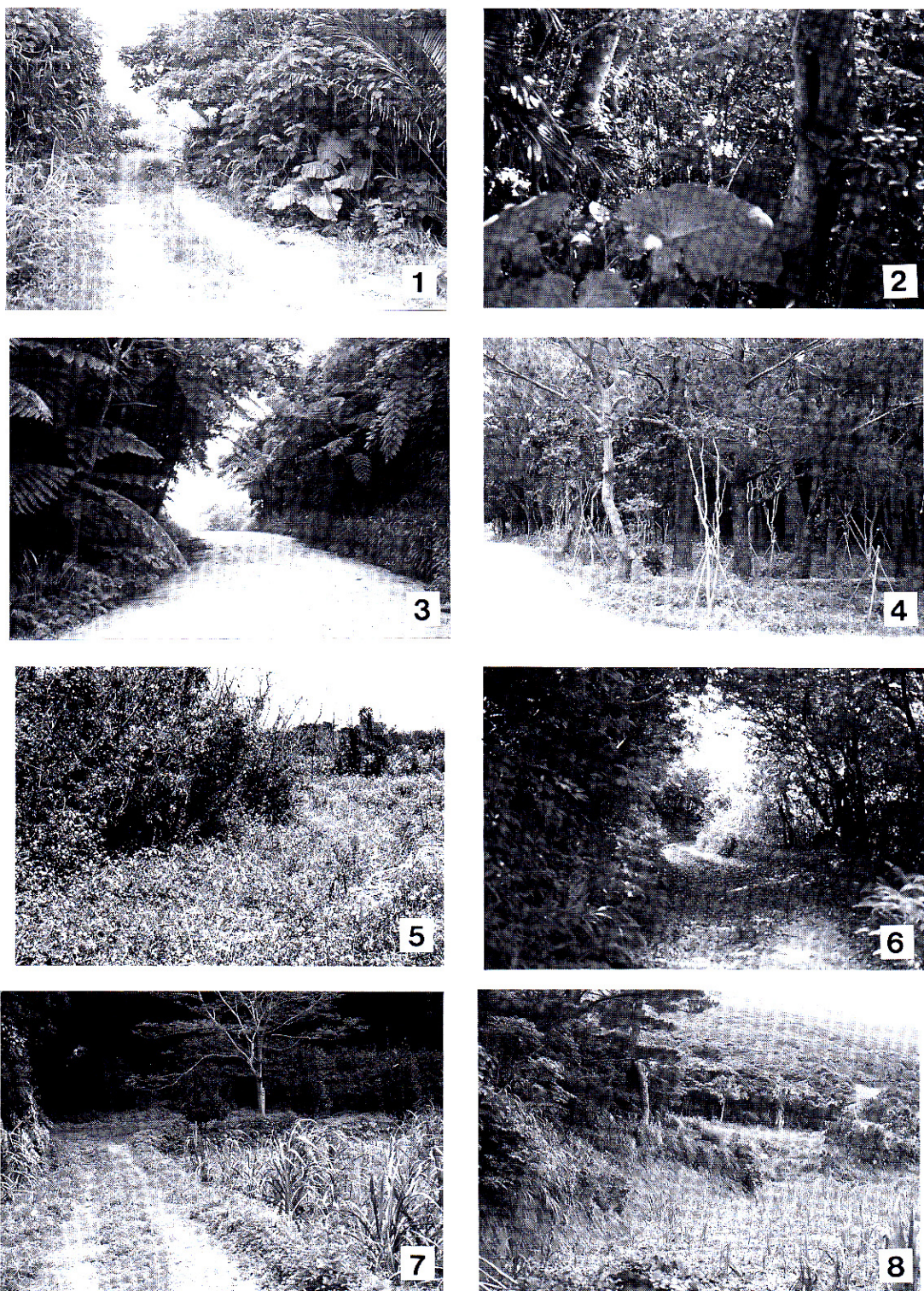
II. オキナワスジボタル

沖縄本島玉城村百名 台地上から海岸へ下る農道のほぼ中間に生息地(26°07'50"N, 127°47'30"E)がある。農道沿いには小さなサトウキビ畑があり, その背後には墓や遺跡がある崖地があり, 古木や大木が生えていて, 良好な自然環境を残している。崖地にはわき水が流れるところもあり, 湿潤な環境を保っている。周辺には人家がないために人工照明の影響がほとんどない(第1図7)。

沖縄県久米島 最高標高326m。山を背後にしたサトウキビ畑とその周辺が生息地(26°20'N, 126°35'E)である。背後に山があるために林縁環境が形成され, 畑は飛翔空間となっている(第1図8)。クロイワボタル *Luciola kuroiwae* と共存し, 最初にクロイワボタルが発生, その後にオキナワスジボタルが発生する。オキナワスジボタルとクロイワボタルは形態や色彩がよく似ている。

研究方法

研究対象としたホタルは南西諸島の島嶼に生息するキ



第1図 キイロスジボタル(1～6)およびオキナワスジボタル(7, 8)の生息環境.

1. 与那国島, 2. 西表島, 3. 石垣島, 4. 宮古島, 5. 来間島, 6. 奄美大島, 7. 沖縄本島, 8. 久米島

イロスジボタルおよびオキナワスジボタルである。前胸背板幅および前胸背板長は万能投影機(NIKON V12)で計測し地理的変異を比較した。さらに雄生殖器官や上翅端の黒色斑紋パターンを比較した。生態観察地は沖縄県与那国島・西表島・石垣島・宮古島・来間島・奄美大島であり、生息地の環境比較および生態・発光行動を観察比較した。発光パターンの解析は大場(1985)を改良し、スターライト・スコープ(浜松ホトニクス)を装着させた8mmビデオカメラを使って、ホタルの発光行動を収録した。それらは室内にて再生し、映像を光感受器(CdS)で受けて電氣的に増幅し、その電気信号をAD変換ボードを通してノート型パーソナルコンピュータで波形表示をさせた。また、両ホタルの発生期や分布図は文献記録や横須賀市自然博物館所蔵の標本(YCMI)のデータから作成した。

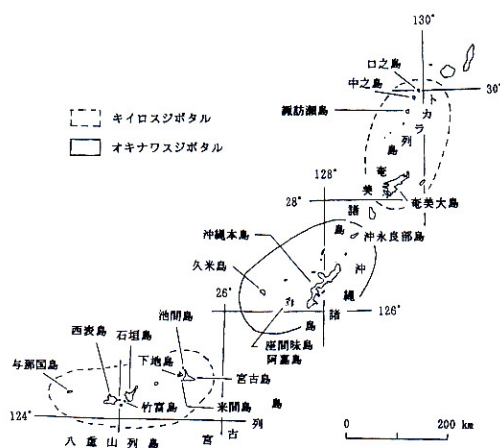
諏訪之瀬島のキイロスジボタルと沖永良部島のオキナワスジボタルは鹿児島県の上野武次氏の私信による。波形解析プログラムはオリンパス光学工業(株)BRCの牧野徹および鈴木浩文の各氏が大場のフローチャートを元に作成した。また佐藤安志氏はゲンタリアを走査型電子顕微鏡で撮影頂いた。

結 果

I. キイロスジボタル

分布(第2図)

キイロスジボタルは与那国島・西表島・竹富島・石垣



第2図 キイロスジボタルおよびオキナワスジボタルの分布。

横須賀市自然博物館所蔵昆虫資料(YCMI)と中條道夫・佐藤正孝(1970); 中根猛彦(1981)の記録から作製

島・宮古島・来間島・池間島・奄美大島・トカラ列島に記録確認された。オキナワスジボタルは沖縄本島・久米島・慶良間諸島で記録確認され、奄美大島(中根, 1981)でも記録されているが、以後に全く採集されていない。

発生期(第3図)

与那国島 5月11日～8月18日であった。

19630511(田原川)中条・佐藤; 1970, 19860818(ももん

(月)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(旬)	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
(キイロスジボタル)												
諏訪之瀬島												
口之島												
中之島												
奄美大島												
宮古島												
来間島												
石垣島												
西表島												
与那国島												
(オキナワスジボタル)												
沖永良部島												
沖縄本島												
久米島												
座間味島												
阿嘉島												

■ 発生期 + 発生確認できず

第3図 キイロスジボタル(上)およびオキナワスジボタル(下)の発生期。

橋), 19910512。

1991年5月12日の発生時間は19:45~深夜に及んだ。このときの気温は25°Cで、照度が0.75 lx以下であった(第4図)。道路沿い50mの緑地の発生個体数は目視により約200個体と推定された。

西表島 発生期はこれまでの記録から4月27日~11月となるが更に今後も調査を要する。19790427(大原), 19790428; 19930513(大富) 19850501-2; 19880507; 19891101(上原); 19610801-03; 19890504(仲間川), 19850510; 19910509; 19930512-13(祖内), 19650730(波照間森), 19690502(インダ)(中条・佐藤, 1970)。

石垣島 石垣島におけるキイロスジボタルの発生期は次の記録から4月1日~10月31日と推定された。19790504; 19791031; 19820512; 19840730; 19850508; 19890508-10(パンナ岳), 19770502; 19870401-02; 19930514; 19630504(川平); 19670519(高田), 中条・佐藤; 1970。

宮古島 宮古島におけるキイロスジボタルの発生期は次の記録から3月31日~11月5日と推定した。19791105; 19860502(城辺町), 19790508(野原岳), 19890331-0401(平良市), 19910514(植物園)。

来間島 来間島におけるキイロスジボタルの発生期は次の記録から5月4日~11月4日と推定された。

19750506; 19780504; 19791104; 19850506-07; 19890511; 19910513; 19850506,07; 19910513。

奄美大島油井岳 奄美大島での観察回数は不十分であるが、次の記録から7月と推定された。19610705(Ikari) 中条・佐藤; 1970, 19920717(油井岳), 19920720(湯湾岳)。

南西諸島では以上のほかに次の記録がある。**トカラ列島口之島** 19690717(中条・佐藤, 1970), **トカラ列島中**

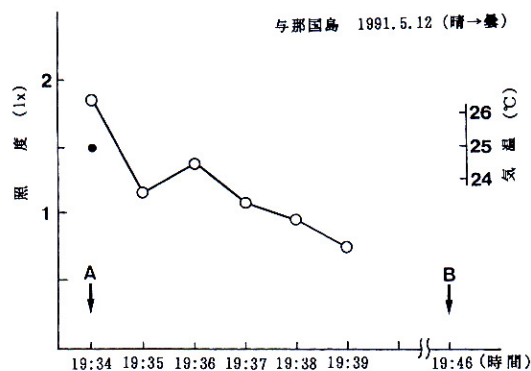
之島 19600705~12(中条・佐藤, 1970)と19910222(楠木)。

生態・発光行動

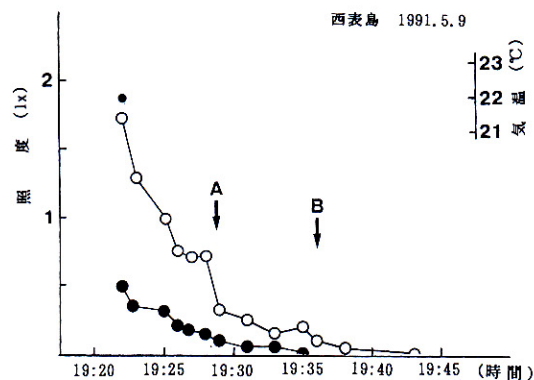
与那国島 林内で時々数個体が数秒間だけ飛翔発光するが、すぐに葉に止まって休止した。雄は飛翔時に弱い持続光を放った。雌は強く明滅したがともに発光個体数は少なかった。緑色の発光ダイオードを約1秒間に1回点滅させた結果、雄のみがよく誘引された。幼虫は発見できなかった。発光する他のホタル類の幼虫・成虫はともに発見できなかった。

西表島 1991年5月9日の発生時刻は19:30前後であり、気温と照度は第5図の通りであった。発光最盛時刻は20:00前後であった。発生個体数は1979年5月に上原では数百個体以上であったが、環境変化とともに年ごとに激減し、1993年現在では数十個体に減少した。祖内~白浜の林道では1993年5月に約50個体が観察された。

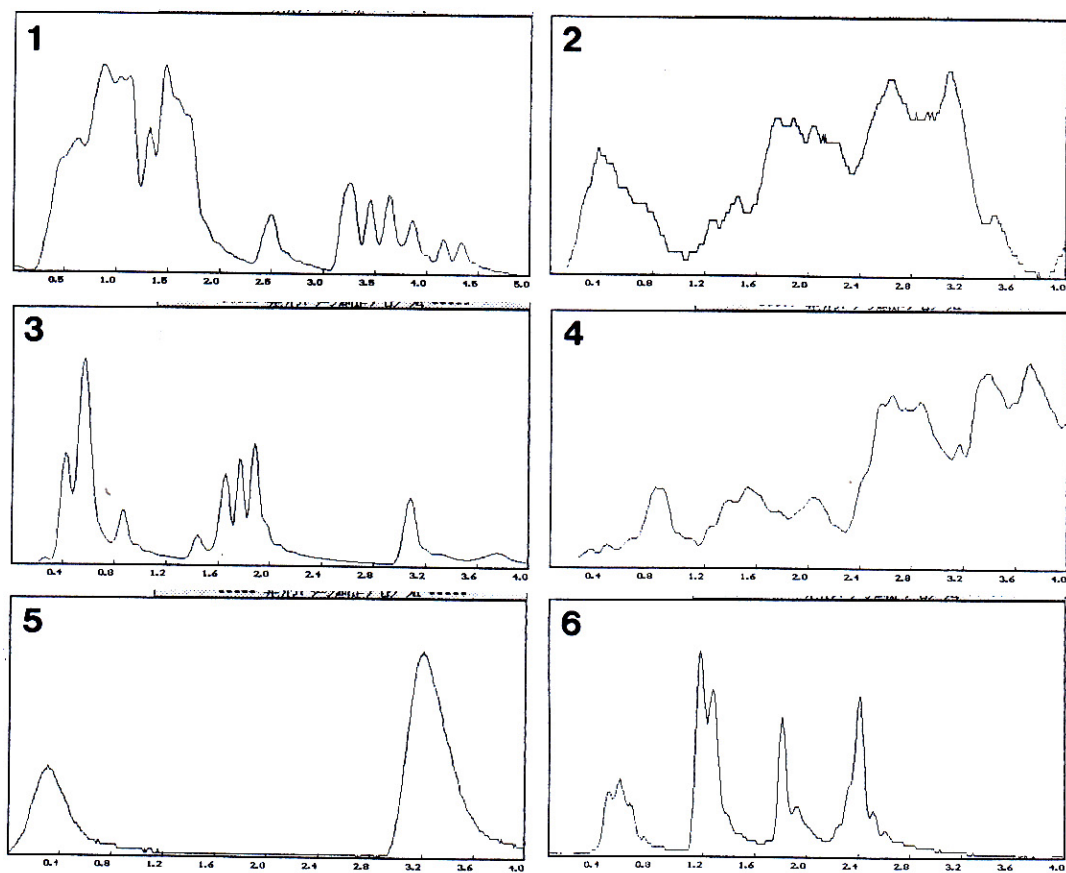
1993年5月12日, 19:30より林内で発光を開始しはじめ、時間経過とともに飛翔しながら持続光を放った。20:00には道路上を持続光を放ちながら地上2~5mを飛翔した(第6図1)。この行動は次第におさまったが深夜にまで及んだ。雌は強くゆっくりと明滅発光を繰り返した。クモの巣にかかった雄成虫は雌と似たパターンで発光し、他の雄個体も誘引されて複数個体がクモの巣にかかっていた。1987年5月20日の観察では19:44にキイロスジボタルが発光開始した。1993年5月12日(晴)には19:20に気温26.0°Cとなり、19:30にコウモリの1種およびリュウキュウアカショウビンが飛翔した。19:40に森の奥



第4図 与那国島1991年5月12日におけるキイロスジボタルの発生時刻および気温・照度。
○: 照度1 (道路端の照度) ●: 気温 A: セミの1種が鳴きやむ B: 発光開始



第5図 西表島1991年5月9日におけるキイロスジボタルの発生時刻および気温・照度。
○: 照度1 ●: 照度2 (林床の照度) ●: 気温 A: イワサキヒメハゼミ鳴きやむ B: キイロスジボタル発光開始



第6図 キイロスジボタルおよびオキナワスジボタルの発光パターン。

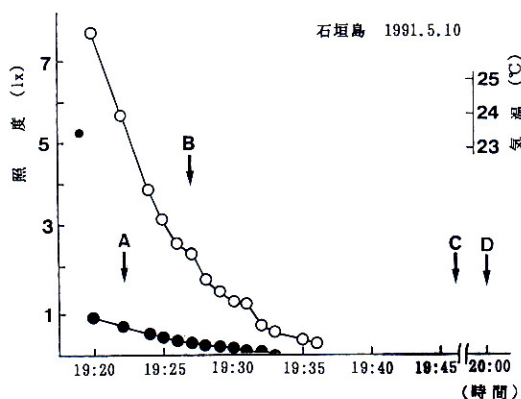
横軸は時間(目盛単位:0.4秒, 1のみ0.5秒), 縦軸は発光強度

1. 西表島のキイロスジボタル雄の飛翔発光, 2. 石垣島パンナ岳のキイロスジボタル雄の飛翔発光, 3. 来間島のキイロスジボタル雄の飛翔発光, 4. 奄美大島のキイロスジボタル雄の飛翔発光, 5. 来間島のキイロスジボタルの雌の発光, 6. 玉城村のオキナワスジボタル雌の発光

でヤエヤマボタル *Luciola yayeyamana* MATSUMURA が発光開始し, 20:00には飛翔活動が最盛となった。20:05(気温25.0°C)に急激にヤエヤマボタルの活動が低下し, オオシママドボタル幼虫とキイロスジボタルが発光を開始した。1993年5月13日(晴)には19:40(26.0°C)にヤエヤマボタルが発光を開始し, 20:03にヤエヤマボタルが活動を停止するとキイロスジボタルが飛翔発光を開始した。大富のヤエヤマカグラコウモリ群生地付近では21:00にキイロスジボタルが葉にとまって発光していた。いずれの生息地においてもキイロスジボタルの発光開始前にはヤエヤマボタルが飛翔発光し, ははその最盛期が過ぎたところにキイロスジボタルの発光活動が最盛期となり, 地表にはハラアカオバボタル *Pyrocoelia abdominalis* NAKANE やオオシママドボタル *P. atripennis* LEWIS,

アカボタルモドキ *Drilaster ohbayashii* M. SATO, クシヒゲボタル属の一種 *Stenocladus* sp. などの幼虫が発光を開始した。

石垣島 1989年5月10日の発生時間は19:41にヤエヤマボタルが発光開始し, 20:00に活動をほぼ終了した直後の20:02に, キイロスジボタルが林内を飛翔発光しはじめ, 次第に林道上でも飛翔した。生息地の気温と照度は第7図の通りであった。発生個体数は1987年5月16日, 20:00には約50個体が目視確認できた。しかし飛翔個体数は少なかった。1989年5月10日には雌は葉上で強くゆっくりと明滅発光を繰り返した。地上約3mの上空を早く飛翔発光する雄個体(第6図2)と地上数10cmをゆっくりとやや停滞飛行しながら発光する雌個体が観察された。1986年12月26日に石垣島川平において体長約5

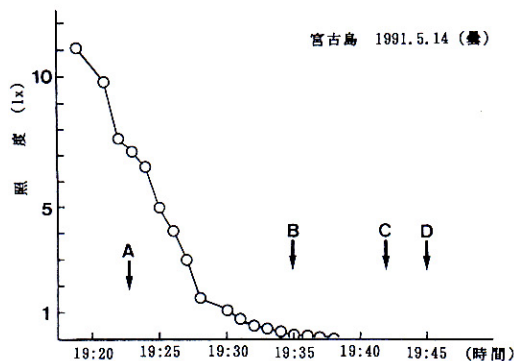


第7図 石垣島1991年5月10日におけるキイロスジボタルの発生時刻および気温・照度。

○：照度1（路上） ●：照度2（林内） ●：気温 A：イワサキヒメハルゼミ鳴く B：イワサキヒメハルゼミ鳴きやむ C：ヤエヤマボタル発光 D：キイロスジボタル発光開始

mmのキイロスジボタルの幼虫が発光していた。同所にはハラアカオバボタルの幼虫も多数発光していた。また石垣島バナナ岳中腹において降雨直後の道路沿いの側溝で白色のキイロスジボタルの幼虫が持続光を放っていた。この幼虫の形態はオキナワスジボタルの幼虫に酷似するが、全体に汚れない白色であった。キイロスジボタルの発光行動が最盛期を迎えると同時に、ハラアカオバボタルやオオシママドボタル・アカホタルモドキ・クシヒゲボタル属の一種の幼虫が地表で発光した。1987年5月16日には19:30(26.0°C)にハラアカオバボタルの幼虫が発光、19:43(24.0°C)にはヤエヤマボタルとキイロスジボタルが発光した。また1991年4月9日(曇後晴、後曇)には19:45にヤエヤマボタルとキイロスジボタルが発光した。1991年5月10日におけるキイロスジボタルの発光開始時刻・照度・気温などの状況を第7図に示す。

宮古島 1991年5月14日の植物園における発光開始時刻は19:30ごろであり、20:00ごろによく飛翔発光した。生息地の気温と照度は第8図の通りであった。発生個体数は1991年5月13日には300個体以上が目視により確認された。1991年5月14日の植物園では雄は20:00ごろに地上1~3mを飛翔しながら弱い持続光を放ったが、観察された発光個体数に比較して飛翔個体数は少なかった。雌は葉上で強く明滅した。雄は葉に止まっていた、ほとんど発光しなかったが、光を当てるなどの刺激を加えると一時的に発光した。ミヤコマドボタル *P. miyako* NAKANE 雄成虫が個体数はわずかであるが、キイロス



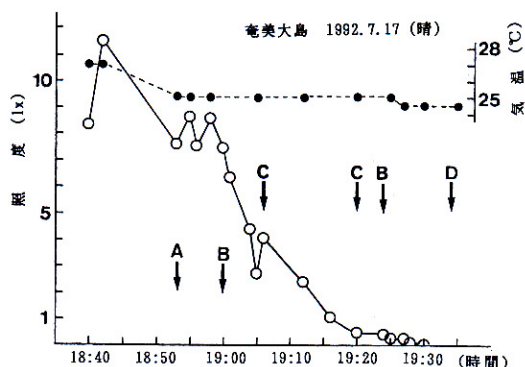
第8図 宮古島1991年5月14日におけるキイロスジボタルの発生時刻および気温・照度。

○：照度1 A：ミヤコニニイ鳴く B：星が見え始める C：セミの1種が鳴きやむ D：キイロスジボタル発光開始

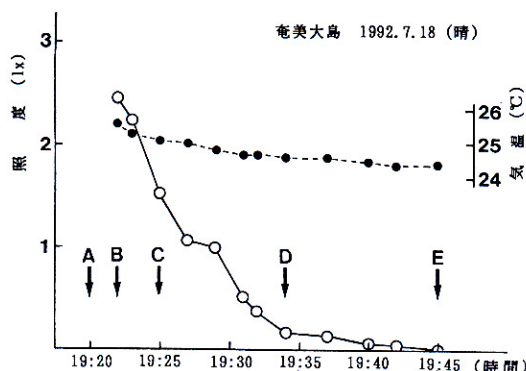
ジボタルの最盛期直前まで見られた。キイロスジボタルの活動最盛期には同種の交尾個体が確認された。同生息地では成虫の生息密度が高いにもかかわらず、幼虫は全く観察されなかった。

来間島 発生時間は19:30ごろで、発生個体数は1985年5月6日には数千個体以上であった。1984年5月10日は19:49に発光開始した。20:00には数百個体が飛翔しながら持続光を放った(第6図3)。飛翔高度は約2m前後であり、樹幹から舞い降りたり、地表から舞い上がる個体が観察された。同時にミヤコマドボタルの雄もやや強い持続光を放って飛翔し、発光パターンからでは両種の区別は困難であった。しかしキイロスジボタルは調査地より遠く離れることがないが、ミヤコマドボタルは通過個体が多かった。またミヤコマドボタルは20:00には活動を終えたが、キイロスジボタルは飛翔個体は減少するものの、深夜に及んだ。活動最盛期には交尾個体が多く確認され、また雌は強くゆっくりと明滅し、このシグナルに雄が誘引されて、各所に密度の高いキイロスジボタルのコロニーが形成された。また、別の雌は地上数cmをゆっくりとやや瞬きを伴う持続光を放って停滞しながら飛翔していた。月明かりや強風は発光行動を阻害した。キイロスジボタルの幼虫は発見できなかったがミヤコマドボタルの幼虫は無数に発光していた。1991年5月13日(晴)は19:44の照度が0.91 lx、気温24.5°Cの条件下で、ミヤコマドボタルが発光した。20:06にはキイロスジボタルが発光したが個体数は少なかった。緑色発光ダイオードを雌の発光パターンに似せて点滅させると、次々と雄成虫が誘引された。

奄美大島油井岳 生息地の1992年7月17日(晴)の発生開



第9図 奄美大島油井岳1992年7月17日におけるキイロスジボタルの発生時刻および気温・照度。
○：照度1 ●：気温 A：セミの1種(a)なく、B：セミの1種(b)鳴く C：ヒグラシ鳴く D：キイロスジボタル発光開始



第10図 奄美大島1992年7月18日におけるキイロスジボタルの発生時刻および気温・照度。
○：照度1 ●：気温 A：セミの1種(a)鳴く、セミの1種(b)どヒグラシ鳴きやむ B：セミの1種(a)とヒグラシ鳴き始める C：セミの1種(b)鳴き始める、セミの1種(a)とヒグラシ鳴きやむ D：セミの1種(b)鳴きやむ E：キイロスジボタル発光開始

始時間は19:52(気温24度℃)であり、気温・照度・発生時刻は第9図の通りであった。発生個体数は目視観察で約200個体以上であった。19:34にはオオシマゼミが鳴き止み、19:45にキイロスジボタルが発光開始した。20:00には飛翔発光の最盛期となり、雄成虫は林内で数十個体が飛翔発光した。雄成虫は1~3mの高度を持続した光を放ち(第6図4)ながら飛翔し、林道上も通過した。林道上で発光ダイオードを点滅させるとほぼ一定方向から光源に向かって次々に雄成虫が飛来した。飛来した個体は葉上で発光して個体以外のものが多く含まれていた。発光行動は20:00以降には低下するものの、深夜に及んだ。同生息地にはアマミダボタル *P. oshima-na* NAKANE やクシヒゲボタル属の一種の幼虫が発光していた。最盛期を過ぎると、雌は林道に飛来し、地上十数cmを持続した光を放ってゆっくりと飛翔した。1992年7月18日の発生時刻と気温・照度は第10図に示した。1993年5月16日には19:30、気温16.0℃の条件下で発光活動は認められず、その1時間後もキイロスジボタルは発光しなかった。

雄成虫の形態・色彩雄の前胸背板幅と長さ 南西諸島産のキイロスジボタル雄成虫の前胸背板幅(PW)と前胸背板長(PL)を万能投影機で計測した結果を第1表に示す。奄美大島の集団は他の地域の集団より前胸背板幅と長さが大きい。奄美大島を除く他の集団間には特に顕著な差は見られないものの、生息地が低緯度に位置するほど小型になる傾向が見られた。

雄ゲンタリア形態 各島嶼のキイロスジボタル雄成虫のゲンタリアを第11図に示す。ゲンタリア形態に大きな相

違は認められなかった。沖縄諸島に分布するオキナワスジボタル雄成虫のゲンタリア(第11図)とキイロスジボタル雄成虫のゲンタリアは酷似していた。

上翅の黒紋変異 上翅の末端部分にある黒色紋について各島嶼の集団についての比較結果を第12図に示す。各集団ともに集団内での変異が認められた。奄美大島の集団は黒色紋が最も大きく、次いで来間島、宮古島、与那国島の順で最も黒紋が消失した集団は西表島、石垣島であった。各集団の上翅黒色紋は生息地が北になるほど大きくなる傾向があった。沖縄諸島に生息するオキナワスジボタルは全て、上翅全体が黒色である(第12図)。

II. オキナワスジボタル

発生期(第3図下)

沖縄本島 オキナワスジボタルの発生期は次の記録から4月30日~8月28日。

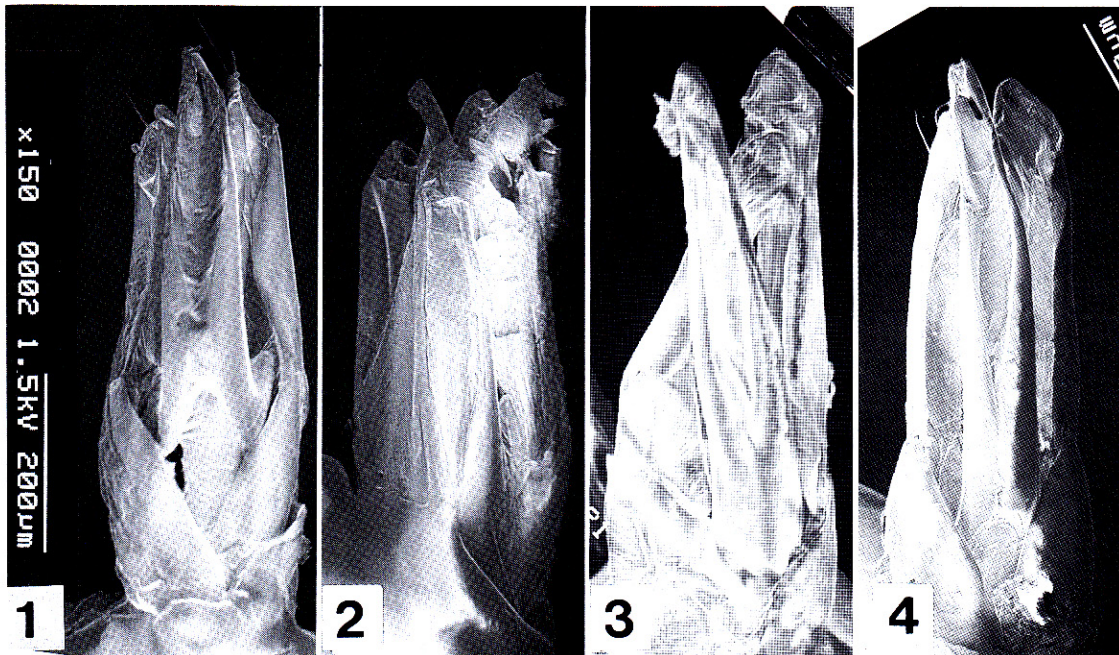
19640722; 19650717; 19670513; 19690812; 19740525~27; 19760707; 19760720(与那), 19850513(名護), 19640828; 19840804(首里), 19880430; 19930515(末吉公園), 19790505(糸満), 19870406; 19870525; 19870506; 19800515; 19890516; 19920715(百名), 19600810(識名) 中条・佐藤; 1970。

久米島 久米島における発生期は島尻において1993年5月7~8日に観察したのみで今後の調査を要する。

沖永良部島 19670828(知名)中条・佐藤; 1970の記録がある。

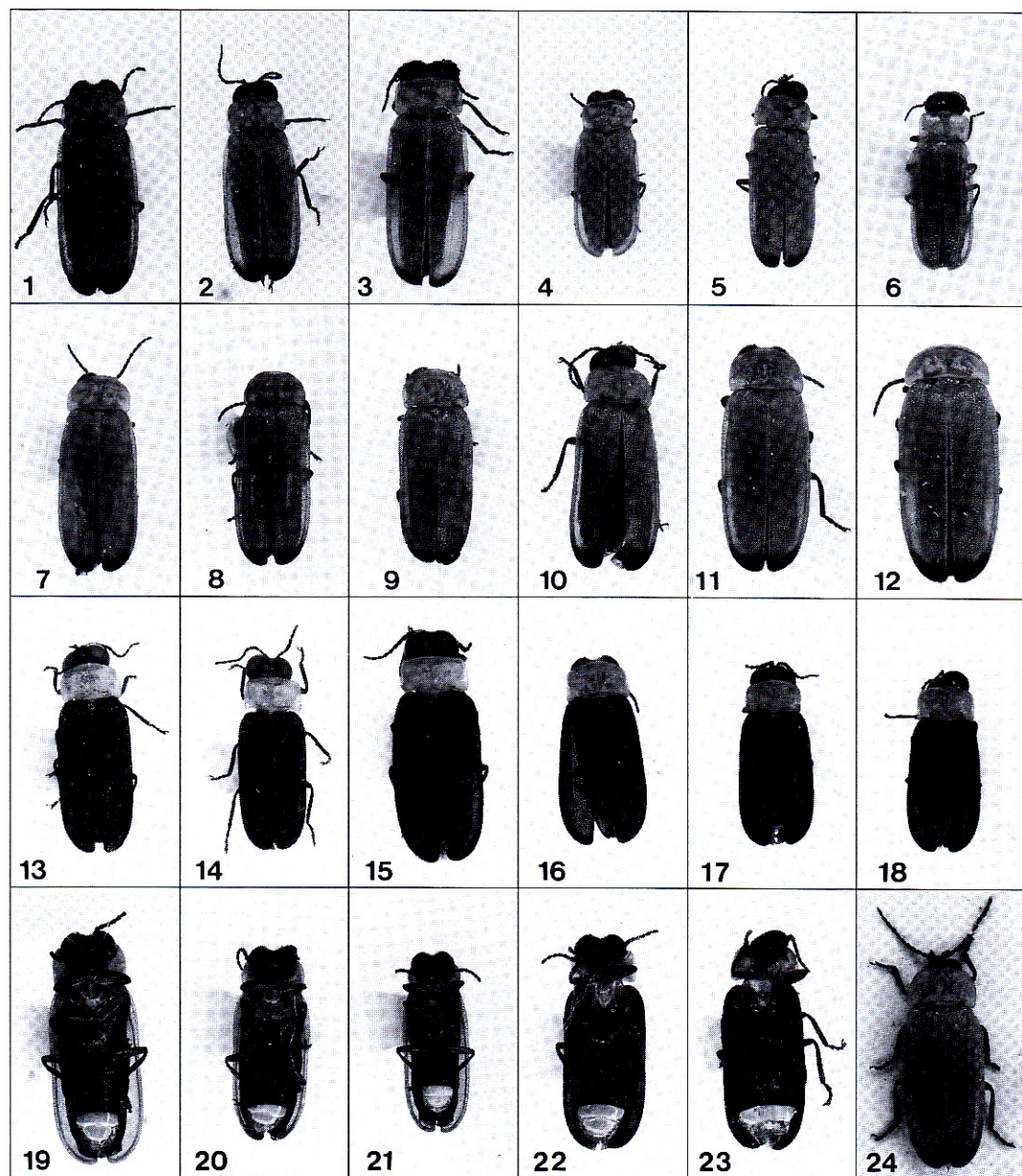
第1表 キイロスジボタルの雄成虫およびオキナワスジボタルの雄成虫の前胸背板長(PL)と前胸背板幅(PW).
単位(mm)

キイロスジボタル												オキナワスジボタル				
奄美大島			宮古島		来間島		石垣島		西表島		与那国島		沖縄本島		久米島	
No.	PW	PL	PW	PL	PW	PL	PW	PL	PW	PL	PW	PL	PW	PL	PW	PL
1.	2.50	1.44	2.23	1.37	2.00	1.21	1.67	1.02	1.82	1.11	1.91	1.08	1.83	1.04	2.06	1.18
2.	2.53	1.46	2.06	1.20	2.10	1.23	1.73	1.10	2.15	1.35	1.89	1.03	2.02	1.19	2.17	1.21
3.	2.48	1.42	1.86	1.14	2.19	1.20	1.88	1.16	2.11	1.31	1.79	1.11	1.72	1.05	1.99	1.23
4.	2.66	1.43	1.99	1.26	2.02	1.17	1.91	1.16	1.67	1.05	1.76	1.10	1.91	1.20	1.88	0.99
5.	2.70	1.61	1.98	1.14	2.00	1.15	1.98	1.15	2.17	1.31	1.77	1.00	1.95	1.20	1.84	1.01
6.	2.36	1.38	2.20	1.31	2.06	1.18	1.63	0.92	1.76	1.09	1.68	1.06	2.38	1.47	2.00	1.18
7.	2.01	1.19	2.03	1.25	2.23	1.34	1.68	1.12	2.13	1.30	2.18	1.20	1.76	1.13	2.29	1.38
8.	2.02	1.17	1.99	1.18	1.97	1.17	1.95	1.14	2.03	1.25	1.98	1.08	2.02	1.24	2.08	1.12
9.	2.45	1.45	1.96	1.24	2.12	1.29	1.71	1.02	2.23	1.34	1.79	1.07	2.54	1.41	2.11	1.28
10.	2.59	1.45	1.63	1.02	2.15	1.34	1.76	1.05	1.80	1.08	1.81	1.15	2.03	1.24	2.17	1.29
11.	2.10	1.10	1.96	1.25	2.29	1.33	1.84	1.10	2.00	1.28	1.99	1.21	2.25	1.33	1.99	1.10
12.	2.41	1.44	1.95	1.14	2.10	1.23	1.89	1.10	1.47	0.95	1.68	1.04	1.92	1.12	1.80	1.03
13.	2.15	1.34	1.76	1.07	2.13	1.22	2.01	1.23	1.93	1.20	1.83	1.15	2.05	1.26		
14.	2.23	1.30	1.93	1.22	1.84	1.07	1.86	1.09	1.62	0.93	1.68	0.92	2.39	1.46		
15.	2.04	1.21	2.15	1.29	2.15	1.28	2.13	1.26	2.23	1.34			2.08	1.26		
16.	2.32	1.34	1.66	1.00	2.19	1.26	1.82	1.12	2.04	1.26			1.73	1.15		
17.	2.05	1.24	1.87	1.08	1.96	1.10	2.21	1.21	2.10	1.23			2.22	1.29		
18.	2.32	1.34	1.75	1.05	2.21	1.28	2.35	1.37	1.77	1.06			2.11	1.30		
19.	2.32	1.37	1.69	1.01	2.18	1.27	2.27	1.42	1.93	1.19						
20.	2.18	1.20	1.97	1.20	2.09	1.12	1.67	1.02	1.76	1.06						
Av.	2.32	1.34	1.93	1.17	2.10	1.22	1.90	1.14	1.94	1.19	1.84	1.09	2.05	1.24	2.03	1.17
sd.	0.21	0.12	0.17	0.10	0.11	0.08	0.20	0.12	0.21	0.13	0.14	0.08	0.23	0.12	0.14	0.12



第11図 キイロスジボタル(1～3)およびオキナワスジボタル(4)雄のゲンitalia形態.

1. 与那国島産, 2. 石垣島産, 3. 奄美大島産, 4. 久米島産



第12図 キイロスジボタルおよびオキナワスジボタルの外部形態変異。

1～12. キイロスジボタル雄, 13～18. オキナワスジボタル雄, 19～22. キイロスジボタル雄の腹面, 23. オキナワスジボタル雌, 24. キイロスジボタル雌, 1～2. 与那国島産, 3～4. 西表島上原産, 5～6. 石垣島産, 7～8. 宮古島産, 9～10. 來間島産, 11～12. 奄美大島産, 13～15. 沖縄本島玉城村百名産, 16～18. 久米島産, 19～21. 西表島産, 22. 沖縄本島玉城村百名産, 23. 沖縄本島糸満市産, 24. 中之島産

生態・発光行動

沖縄本島玉城村百名 1987年5月6日の発生時間は19:30～深夜に及んだが最盛期は20:00前後であった。クロイワボタルも同所に数千個体がやや早く発生した。同生息地の周辺は道路整備などによって環境変化が進み、1992年7月14日には十数個体確認されたに過ぎなかった。発光活動開始に至るまでの時間・気温・照度の関係を第13図に示した。

1987年5月23日, 19:47にクロイワボタルが発光, 20:15には気温26.0°Cであった。21:00にはオキナワスジボタルが飛翔発光し, 人工光を点滅させるとより強く発光した。1992年7月14日にはオキナワスジボタル成虫は19:52, 気温25.2°Cに発光開始し, 20:06, 気温24°Cに雄飛翔。20:18, 気温24.1°Cには雌が発光した。20:43, 気温24.3°Cには十数個体が発光し, 数個体が飛翔した(第13図)。これまでの調査から日没後に最初に発光し始めるのはクロイワボタルであり, 最盛期をやや過ぎてから, オキナワスジボタルが飛翔発光を開始した。オキナワスジボタルはクロイワボタルがほぼ飛翔発光活動を終えた後にも飛翔発光を続けるが, 21:00以降は発光しないまま飛翔する個体が増加した。オキナワスジボタルの雌は強くゆっくりと明滅し, キイロスジボタルの発光パターンに酷似した(第6図5, 6)。雨水が溜まった農道には夜間に本種の幼虫が多数弱く発光していた。このボタルの幼虫は陸生の小さな巻貝を捕食した。幼虫はキイロスジボタルの幼虫に比較するとやや大型であり,

体色は濁った白色で, 地表にしばしば見られた。緑色発光ダイオードを約2秒に1回点滅させた結果, 雄成虫は一定方向から飛来して2～3mまで遠巻きに停滞飛行し, 光源の発光パターンが雌の発光パターンと異なると認識した場合に, 雄はUターンして発光を停止しながら速度をあげて他方向へ飛び去った。このときに, 発光ダイオードの発光間隔を微調整したが, キイロスジボタルに見られたような明瞭な接近行動が見られなかった。21:00以降は発光しなくなるが, 人工光を点滅させると飛翔していた個体が一齐に発光し, 点滅を停止すると再び発光を停止した。

那覇市末吉公園 1993年5月15日には19:30, 気温23.0°Cにクロイワボタルが発光開始し, 19:45にオキナワスジボタルが飛翔発光を開始した。20:00にはクロイワボタルは発光活動を停止したが, オキナワスジボタルは弱い持続光を放っていた。

久米島 1991年5月8日にクロイワボタル・オキナワスジボタルが発光した。地上にはオキナワオバボタルの幼虫も発光するのが観察された。

形態

前胸背板の幅と長さ 雄成虫の前胸背板幅(PW)と前胸背板長(PL)を万能投影機で計測した結果を第1表に示す。**雄ゲニタリア** 双眼実態顕微鏡による観察では沖縄本島と久米島産の雄ゲニタリアの外部形態はほとんど同じであった。さらに, 走査型電子顕微鏡によっても, 基本的に同様な結果を得た。

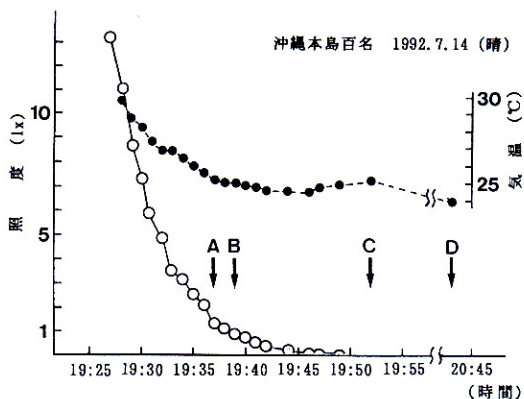
考察

I. 各島嶼間のキイロスジボタル集団の比較

分布 横須賀市博物館昆虫標本資料 YCMI および中根(1981); 中條・佐藤(1970)によれば, キイロスジボタルの分布は沖縄諸島を除く全域に広く分布する。この分布様式から1)本種が分布拡散北上する過程で沖縄諸島を経由しなかった, 2)分布拡散後に沖縄諸島で絶滅, 3)沖縄諸島で種分化を起こしたなどのいくつかの経過が想定される。3)の場合は種分化した近縁種がキイロスジボタルに代わって沖縄諸島に分布していることになり, その存在が重要な鍵となる。

生息環境 各集団の生息環境要素は島嶼間で基本的な相違は認められないので, 生息環境の空間的相違による各集団の生活史に及ぼす影響は小さいと考えられる。

生態・発光行動 発生期は奄美大島の場合5月には出現しないが, 西表島や宮古島では4月から出現する点において異なり, 奄美大島の集団に固有性が認められる。成虫に比べると幼虫は極端に発見率が低く, 降雨後の湿っ



第13図 沖縄本島玉城村百名1992年7月14日におけるオキナワスジボタルの発生時刻および気温・照度。

○:照度 1 ●:気温 A:セミの1種鳴きやむ B:ホオグロヤモリ鳴く C:オキナワスジボタル発光開始 D:オキナワスジボタル4個体発光

た地表で発光する個体がわずかに発見されたに過ぎない(大場, 1979; 1981; 1984)。このことから本種の幼虫はほとんど地中で生活しているか、地表に現れても稀にしか発光していないということが推察される。一方、八重山諸島ではヤエヤマボタル(大場・後藤, 1989)、宮古諸島ではミヤコマドボタルと同所的に生息し、発光するが、これらの競合種とは時間的な棲み分けが認められる。各集団の発光開始時刻は各島嶼に生息するセミ類が鳴きやんだ直後であり、ほぼ一定である。各集団間で雌が雄を誘引する時、雄が雌に接近飛翔する時や交尾後の雌が地表近くをゆっくりと飛翔する時の発光パターンは基本的な差が認められない。雄は雌が放つ誘引シグナルに似せた人工光を点滅させると光源に飛来し定位するが、光源の発光パターンが適合していない時には向きを変えて、飛び去る(OHBA, 1983)ことから雄は光源の発光パターンを識別し、雄は飛来する時と飛び去る時とで目的に応じた発光様式を使い分けられていると考えられる。各島嶼の集団間での発光行動の相違は特に認められない。

外部形態・色彩 各集団の体の大きさ(前胸背板幅と長さ)は第1表に示すように、各集団間では大きな差は認められないが、奄美大島の集団の前胸背板幅と長さは最も大きく、最小は与那国島の集団であり、各集団間にわずかな差が認められる。この差は生息地の緯度が下がるほど大きくなる傾向が認められる。上翅末端部の黒色紋が最も明瞭な集団は奄美大島の集団で、色斑が消失した集団は西表島や石垣島の集団にも混ざっており、集団内でやや変異幅はあるものの、固有な特徴のひとつにあげられる。

雄ゲンタリア (Genitalia) 雄成虫のゲンタリアの形態は各集団間での基本的相違が認められない。キイロスジボタルは標本の保管状態で雄ゲンタリアの外部形態が曲がったりして変形しやすく、比較検討しにくい、大きさは変異するが基本的相違は認められない。

II. 各島嶼間のオキナワスジボタル集団の比較

分布 沖縄諸島・沖永良部島に分布するほか、奄美大島に分布するとされる。しかし、現時点では奄美大島におけるオキナワスジボタルの確実な分布は未確認であり、今後の再調査が必要である。奄美大島諸島にオキナワスジボタルが確実に分布する場合は、本種の種分化やその分布拡散経路を解明する上できわめて重要な鍵となる。
生息環境 沖縄本島と久米島の生息地の共通の環境要素としては道路に沿って古木や草が生える暗い湿った環境である。

発生 沖縄本島では4～10月まで発生期間が他のボタル

類に比較して異例に長い。久米島や沖永良部島での詳細は不明である。

生態・発光行動 幼虫は湿った路上などで発光し、多く発見されることから地表で生活することが多い種と推察される。一方、雄成虫は飛翔中に発光を休止する特異な傾向があり、このことは本種の配偶行動様式の特質(OHBA, 1983)から発光による資源消費を抑制する行動として解釈できる。また本種は沖縄本島および久米島においてクロイワボタルと同所的に生息するものの時間的棲み分けが認められる(大場・後藤, 1992)。各集団ともに発光開始時刻は各生息地に分布するセミ類が鳴きやんだ直後であり、ほぼ一定である。沖縄本島と久米島とで雄と雌の発光パターンともに基本的な相違は認められず、ほとんど同一の習性を有していると考えられる。雌が放つ誘引シグナルに似せた人工光を点滅させると雄は光源から約2m離れた位置で停滞飛行して光源の確認を数秒間続け、雌でないと認識した途端に向きを変えて、速度を上げ飛び去ることが多い(OHBA, 1983)。このことはオキナワスジボタルは光源の発光パターンを正確に識別していることを示している。

外部形態・色彩 各集団の体の大きさ(前胸背板幅と長さ)は第1表に示すように、各集団間では大きな差は認められない。

雄ゲンタリア 雄成虫のゲンタリアの形態は各集団間での基本的相違が認められない。キイロスジボタルと同様に標本の保管状態で雄ゲンタリアの外部形態が変形しやすい。

III. キイロスジボタルとオキナワスジボタルとの比較
分布 両種は配偶行動様式が同一であり、異種間交尾も確認されている(大場・後藤, 1990)ので、奄美大島においては生息地を異にすることによって各々の種が棲み分けをしている可能性も僅かに残るものの、同所・同時に生息することは考えられない。両種は各島嶼において広域に生息し、発生期間も長いことなどからも、現時点では島嶼ごとに棲み分けしていると考えerるほうが妥当であろう。さらに両種の分布状況から次のことが想定できる。
1) 南西諸島が陸続きであった時代にキイロスジボタルが奄美諸島やトカラ列島にまで分布拡散北上し、2) その後次第に島嶼に分かれたために、キイロスジボタルの集団は分断されたが、まだ沖縄諸島が陸続きであった時代にキイロスジボタルから分化したオキナワスジボタルが沖縄諸島に分布拡散し、3) さらに沖永良部島が沖縄諸島と陸続きであった時代にオキナワスジボタルは分布を広げ、4) その後に沖縄諸島と奄美諸島は多くの島嶼に

分かれ、現在の分布状況を形造った。

生息環境 両種の共通の生息環境要素としては、道路に沿って古木や大木が生え、下草も多く、周辺には人工光がなく暗いということであり、島嶼間で基本的な相違はない。

発生期 キイロスジボタルは広域分布種であることを反映してオキナワスジボタルに比較すると、その発生期はやや長い。一方、オキナワスジボタルは沖縄本島では4～10月まで発光し、他のホタル類に比較すると長期間発生し、異例である。

幼虫 キイロスジボタルの幼虫はオキナワスジボタルの幼虫に比較して発見頻度が大変低いので、地表よりも地中に生息することが多いと考えられる。

発光行動 発光開始時刻は両種ともにセミ類が全て鳴きやんだ直後であり、照度が発光開始時刻を決定する要因の一つになっていると考えられる。両種は発光パターンや配偶行動様式がよく似ているので、互いに近縁であることを示している。しかし、キイロスジボタルはオキナワスジボタルよりも、雄の飛翔時に発する光がやや明るいことなどの点で発光行動が微妙に異なるほか、飛翔中に発光を休止する傾向は小さいなどの僅かな差異も認められる。両種ともに雌の低高度の飛翔は産卵場所の探索行動と考えられる。また両種ともにクモの巣にかかった雄は発光し他の個体を誘引するが、この発光は特別の意味を持たないと考えられる。一連の野外実験からオキナワスジボタルはキイロスジボタルよりも十分に光源の発光パターンを識別している傾向が強い。また両種の雄は飛来する時と飛び去る時とで目的に応じた発光様式を使い分けられていると考えられる。細かな差異が認められるものの、各島嶼の集団間での発光行動の本質的な相違は特に認められない。

形態 キイロスジボタルおよびオキナワスジボタルの前胸背板の幅と長さは各種の変異幅を考慮すると、ほぼ同じといえる。また、雄ゲンタリアの形態も基本的によく似ているので、両種は相互にゲンタリアの形態的相違によって生殖隔離されている可能性が低い。

種間関係 以上に示されるように、オキナワスジボタルの形質がキイロスジボタルに酷似していることや両種の分布状態などから、オキナワスジボタルはキイロスジボタルから派生的に種分化したと推定することができる。このことを実証するためには各集団について遺伝的背景を把握する必要があり、今後、アロザイム解析とDNAレベルの解析を進めたい。

まとめ

南西諸島に広く分布するキイロスジボタルおよびオキナワスジボタルの各集団について形態・習性・行動・生態の地理的変異を詳細に比較検討するとともに、両種の類縁関係についても考察を加えた結果は以下のとおりである。

1) 南西諸島島嶼のキイロスジボタルの各集団に前胸背幅と長さ、上翅の黒色紋パターンは前胸背板幅と体長は生息地が北になるほど大きくなる傾向があり、上翅翅端の黒色紋は生息地が北になるほど大きくなる傾向が認められる。

2) 各島嶼のキイロスジボタルとオキナワスジボタルの集団は形態的に酷似し、前胸背板幅や長さ、雄ゲンタリアなどに明瞭な差異が認められない。また両種間でも明瞭な相違は認められない。

3) キイロスジボタルは高緯度の奄美大島の集団の発生が最も遅く、発生期間も短い。

4) 両種の各集団間および種間で発光行動や発光パターンは基本的に同じである。キイロスジボタル雄成虫は雌の発光パターンに似せて点滅させた人工光によく誘引され、各集団間でもその行動に相違が認められない。しかし、オキナワスジボタルは誘引されてから停滞飛行しながら光源の発光パターンを識別した後飛び去ってしまう個体が多い。

5) オキナワスジボタルの幼虫は地表で頻度高く発光するが、キイロスジボタルの幼虫は 降雨直後の暗夜に稀に地表で発光するに過ぎず、両種の幼虫の習性に差が認められる。

6) 両種の各集団は湿潤で大木・古木が生えた林道沿い、または畑周辺に生えている古い防風林周縁に多く生息する。

7) キイロスジボタルと同所的・時間的に発光する競合種は、西表島と石垣島においてはヤエヤマボタル、宮古島、来間島ではミヤコマドボタルであり、与那国島と奄美大島では競合種が生息しない。沖縄本島と久米島に生息するオキナワスジボタルの競合種はクロイワボタルである。これらの競合種は各々の生息地において発生時間を異にして時間的に棲み分けている。

8) オキナワスジボタルは地理的隔離によって、キイロスジボタルから派生的に種分化を遂げた種と考えられる。上翅が黒色であるのは、キイロスジボタル上翅の翅端黒色紋が上翅全体に広がったパターンとして考えることができる。

引用文献

- 中條道夫・佐藤正孝 1970. 日本および台湾産 *Curtos* 属について. 香川大学教育学部研究報告, **2**(192): 59-65.
- 中根猛彦 1981. 日本にいるホタルの種類. ホタルの観察と飼育: 81-113. ニューサイエンス社.
- 大場信義 1979. 沖縄産ホタル類の形態と生態予報. 横須賀市博物館館報, (25): 20-24.
- 大場信義 1981. 沖縄産ホタル類の形態と生態予報 (II). 横須賀市博物館館報, (27): 8-11.
- 大場信義 1984. 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 1985. 発光シグナルの記録とその解析法. 植物防疫, **39**(9): 46-51.
- 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.
- 大場信義・後藤好正 1990. ホタルの異種間交尾. 横須賀市博研報(自然), (38): 1-5.
- 大場信義・後藤好正 1992. オキナワスジボタルおよびクロイワボタルの飛翔発光活動. 横須賀市博研報(自然), (40): 7-10.
- OHBA N. 1983. Studies on the communication system of Japanese fireflies. *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.*, (30): 1-62, pls. 1-6.