《報告》

野外生息地におけるゲンジボタルの同調発光の解析

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

はじめに

ゲンジボタル Luciola cruciata Motschulsky, 1854 は雄が他個体と点滅を同調して発光する"集団同時明滅"す ることが知られている(例えば,Ohba, 1984). この行動習性を有するホタルは,国内ではゲンジボタルの他 にクメジマボタル Luciola owadai Sato et Kimura, 1994(大場ほか, 1994)のみで,国外からは東南アジアに分布 する Pteroptyx 属の数種(Buck & Buck, 1968; Lloyd, 1973; Buck, 1988; 大場, 1999; Ohba & Wong, 2004), Pyrophanes appendiculata Olivier, 1885(松香, 1988),北アメリカに分布する Photuris frontalis LeConte, 1852(Copeland & Moiseff, 2004)と Photinus 属の数種(Otte & Smiley, 1977; Copeland & Moiseff, 1995)で確認されているに過ぎない. 特に、東南アジアに分布する Pteroptyx 属は、特定の木に集団を形成して同調発光することが知られ(大 場, 2015),この同調機構を解明するために、数学的なアプローチを含め、さまざまな研究がなされている (Ermentrout, 1991;田中ほか, 2001;小松崎ほか, 2000;蔵本, 2014).しかしながら、ゲンジボタルに関しては、 集団同時明滅時の地域間や時間帯での発光間隔の違いや気温による発光間隔の変化に関する調査はなされ ているが(例えば,Ohba, 1984; 笹井, 1999;渡辺, 2002; Iguchi, 2002; 阿部ほか, 2004;川野, 2011),この同調機 構を解明するための研究はほとんど行われていない.

そこで、本稿では、ゲンジボタルの同調機構を解明するための予備調査として、野外生息地において同 調過程を調査した. なお、ゲンジボタルの発光パターンを記録・解析する場合2つの問題がある. 1つ目は、 海外の集団同時明滅するホタルでは閃光的な短い発光パターンであるのに対して、本種は緩慢な発光パタ ーンで同調するため、長時間の解析が必要になる. 2つ目は、集団同時明滅するホタルの大部分の種が木に とまって同調するのに対して、本種は北米産の Photinus concisus Lloyd, 1968 (Otte & Smiley, 1977) 同様に飛翔 移動しながら発光・同調するため、集団形成時では特定の個体の発光を追跡して記録・解析することが困 難となる. これらの問題を解決するために、集団形成時の発光個体を対象とするのではなく、単独で飛翔 発光している個体を対象とし、それが他個体と接近したときに見られる同調過程を追跡して記録・解析した.

調査地および方法

ゲンジボタルの単独接近時の発光行動を記録するために、山口県下関市豊田町楢崎(稲見川)で2016年 6月7日20時39から21時11分まで調査を行った.調査を行った時間の調査地の気温は22.5±1.0℃(平均 ±S.D.)であった.調査方法は、本種が多い河川内を避け、河川から約5m(直線距離)離れた森林側を対 象とした(図1).対象に向けて高感度モノクロビデオカメラ(Wat-100N, Wat 社製)を固定して動画を撮影 し(30フレーム/秒)、さらにそれと併用して接近する個体間の距離やそれぞれの行動を音声で動画に付加 して記録した.

撮影した動画は研究室に持ち帰り,発光パターンおよび相対的な発光強度を個体毎に解析した.解析は 独自の解析プログラムを用いて行った(例えば, Kawano, 2012).解析対象としたゲンジボタルとカメラと の距離は 5m-10m であった.また,飛翔経路も合わせて解析するために,川野(2015)と同様な方法で 0.1 秒毎のホタルの飛翔発光経路を図示した.

81



図 1. 調査地の環境と高感度ビデオカメラ撮影画角 1-2. 調査地の環境(1 上空,2 下流側上空から望む);3. 高感度ビデオカメラ撮影画角(赤四角)とその周辺の環境;4. 実際の高感度ビデオカメラ撮影画角(夕暮れ時).※1-3は2017年1月5日撮影,4 は調査日の2016年6月7日撮影.

結果および考察

調査の結果, 11ペアの接近時(すべて飛翔した状態)の同調行動を解析することができた.解析するこ とができた11ペアの同調過程を図2-12に示した.また,同調したとみなした両個体の発光同調誤差を図 13に示した.表1に解析した発光持続時間,発光休息時間,発光同調誤差を一覧にした.なお,解析した 個体にはそれぞれ便宜的に撮影した映像の経過時間を個体番号として付し(例えば,映像の経過時間2分 13秒01であれば021301),解析時間内で早く発光した個体をA,遅かった個体をBとして区別した.以下に, 各個体の単独接近時の行動を記載した.なお,すべての事例において両個体が接近するのは数秒で,その 後はすぐに飛び去った.

個体番号:021301

Aが地上高約4.5mでホバリングして発光していると、河川側(下流)からAにBがゆっくり接近した. AはBが接近するまで同じところでホバリングしていたが、Bが接近すると(図2;発光VIとVIIの間)、 河川側(上流)に逃げるように飛び去った.BはAが飛び去る後を追従するように移動したが、すぐにそ の場でホバリングして留まった(図2:発光v).解析対象とした映像内でAが9回、Bが5回発光し、それ らの発光持続時間はAが1.04±0.11秒(平均±標準誤差)、Bは1.04±0.06秒、発光休息時間はAが1.57± 0.26秒、Bは1.22±0.07秒であった(表1).なお、AはBの明滅に合わせるように、発光VIとVIIの間で 発光休息時間を延ばし、発光のタイミングを合わせようとしているように見えた(図2).この間の発光休 息時間は3.53秒と明らかに他の発光休息時間より長く、これを除外した発光休息時間は1.33±0.09秒であっ た. 同調したとみなした4回(図2:発光 VI-i, VII-iii, VIII-iv, IX-v)の発光同調誤差は0.35±0.11 秒であった(表 1). なお, 誤差は同調回数の増加に伴い小さくなった(図 13-1). 特にそれは,発光のタイミングを A が合わせるように発光休息時間を延ばした後(図2:発光 VI と VII の間)に顕著だった.

個体番号:023718

B が地上高約3mのところ(橋の上)でホバリングしていると上からA がゆっくりと降りてきて接近した. A がゆっくりBに近づくに従い,次第に発光は同調し,最初はAの方が先に発光していたが(図3:発光 IIi,III-ii),A がBに近づくとBもAに近づくように移動した(図3:発光 iii).すると,BがAの発光に合わ せるように遅れて発光するようになった(図3:発光 IV-iii,V-iv,VI-v).解析対象とした映像内でA が6回,B が5回発光し,それらの発光持続時間はA が1.07±0.05秒,Bは0.88±0.13秒,発光休息時間はA が1.20± 0.07秒,Bは1.39±0.08秒であった(表1).同調したとみなした5回(図3:発光 II-i,III-ii,IV-iii,V-iv,VI-v)の 個体間の発光同調誤差は0.08±0.03秒であった(表1).なお,それは,発光 IV-iiiの間で一旦誤差が大きく なり,その後減少した(図13-2).発光 IV-iiiの前はA がBに接近し,発光もA がB に合わせているように 見えたが,その後でB がA に接近するとともに,発光もB がA に合わせるようになった.

個体番号:041517

両個体ともに河川側(下流)から同時にゆっくり上ってきて、地上高約4mのところで1m程度の距離 を保ちながらホバリングした状態で明滅を合わせて発光していたが、発光VI-viの後にAがBから離れる ように上に移動しはじめ、それをBが追跡し、Bが発光viiiで強く光るとAは光を消して飛び去った(図 4). 解析対象とした映像内でAが8回,Bが9回発光し、それらの発光持続時間はAが1.01±0.02秒,B は0.91±0.03秒,発光休息時間はAが1.30±0.02秒,Bは1.40±0.03秒であった.同調したとみなした8回 (図4:発光 I-i,II-ii,II-ii,IV-iv,VI-vi,VII-vii)の個体間の発光同調誤差は0.08±0.02秒であった.な お、全体としてBがAに合わせるように発光していた(図4).AがBから離れるように移動しはじめた発 光 VI-viの後(図4:発光 VII-vii)に誤差が大きくなったが、BがAを追跡するように移動すると(図4:発光 VIII-viii)誤読は小さくなった(図13-3).

	個体番号		発光持続時間 秒(平均±S.E.)	N	発光休息時間 秒(平均±S.E.)	N	発光同調誤差 秒(平均±S.E.)	N	同調側
1	021301	A B	1.04 ± 0.11 1.04 ± 0.06	9 5	$\begin{array}{rrrr} 1.57 \ \pm \ 0.26 \\ 1.22 \ \pm \ 0.07 \end{array}$	9 4	$0.35 ~\pm~ 0.11$	4	А
2	023718	A B	$\begin{array}{rrrr} 1.07 \ \pm \ 0.05 \\ 0.88 \ \pm \ 0.13 \end{array}$	5 4	$\begin{array}{rrrr} 1.20 \ \pm \ 0.07 \\ 1.39 \ \pm \ 0.08 \end{array}$	5 4	0.08 ± 0.03	5	A3回, B2回
3	041517	A B	$\begin{array}{rrrr} 1.01 \ \pm \ 0.02 \\ 0.91 \ \pm \ 0.03 \end{array}$	8 8	$\begin{array}{rrrr} 1.30 \ \pm \ 0.02 \\ 1.40 \ \pm \ 0.03 \end{array}$	7 8	0.08 ± 0.02	8	B ※同時1回
4	132107	A B	$\begin{array}{rrrr} 1.06 \ \pm \ 0.02 \\ 1.20 \ \pm \ 0.01 \end{array}$	4 3	$\begin{array}{rrrr} 1.34 \ \pm \ 0.04 \\ 1.14 \ \pm \ 0.02 \end{array}$	3 2	0.09 ± 0.06	3	В
5	153119	A B	$\begin{array}{rrrr} 0.96 \ \pm \ 0.04 \\ 1.00 \ \pm \ 0.04 \end{array}$	9 9	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	8 8	0.19 ± 0.02	9	А
6	161826	A B	$\begin{array}{rrr} 0.99 \ \pm \ 0.05 \\ 1.01 \ \pm \ 0.15 \end{array}$	5 4	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	4 3	0.19 ± 0.08	3	А
7	165228	A B	$\begin{array}{rrrr} 0.89 \ \pm \ 0.03 \\ 1.01 \ \pm \ 0.09 \end{array}$	8 7	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	7 6	0.29 ± 0.06	7	А
8	243929	A B	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	8 7	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	8 6	0.08 ± 0.02	7	A3回,B3回 ※同時1回
9	263228	A B	$\begin{array}{rrrr} 1.11 \ \pm \ 0.05 \\ 1.04 \ \pm \ 0.05 \end{array}$	8 5	1.09 ± 0.03 1.19 ± 0.07	8 5	0.22 ± 0.05	6	B ※同時1回
10	273904	A B	$\begin{array}{rrrr} 0.83 \ \pm \ 0.09 \\ 0.92 \ \pm \ 0.11 \end{array}$	7 7	1.20 ± 0.07 1.16 ± 0.06	6 6	0.18 ± 0.05	6	А
11	352507	A B	$\begin{array}{rrrr} 0.80 \ \pm \ 0.03 \\ 1.04 \ \pm \ 0.13 \end{array}$	6 4	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	5 3	0.20 ± 0.12	4	A3回, B1回

表1. 解析した発光持続時間と発光休息時間,発光同調誤差

個体番号:132107

A が河川側(下流)からゆっくり上ってくると、同時に B が A を追跡しながら上がってきた. A は発光 III と IV でスピードを上げて B から離れるように移動し、B は発光 ii と iii の間で追跡を止めてその場に留 まった(図 5). 発光 iii は追跡をやめてその場でホバリングした時の発光(図 5). 解析対象とした映像内 で A が 4 回, B が 3 回発光し、それらの発光持続時間は A が 1.06±0.02 秒, B は 1.20±0.01 秒, 発光休息時 間は A が 1.34±0.04 秒, B は 1.14±0.02 秒であった(表 1). 同調したとみなした 3 回(図 5: 発光 II-I, III-ii, IViii)の個体間の発光同調誤差は 0.09±0.06 秒であった(表 1). なお、3 回すべて B が A に合わせるように発 光し、誤差は回数の増加に従い次第に小さくなった(図 13-4).

個体番号:153119

A が地上高約3mのところでホバリングしていると河川側(下流)からB がゆっくりと接近した.Bは, はじめ単独でゆっくり飛翔していたが,発光iiiとivの間でAの存在に気づいたように,急にA に向けて 移動し,接近した(図6).両個体とも一定の距離を保ちながら,ホバリングして明滅を同調した(図6:発 光 VI-vi, VII-vii, VIII-viii).解析対象とした映像内でA が9回,B が9回発光し,それらの発光持続時間は A が 0.96±0.04 秒,B は 1.00±0.04 秒,発光休息時間は A が 1.32±0.05 秒,B は 1.33±0.04 秒であった(表1).

同調したとみなした9回(図6:すべての発光)の個体間の発光同調誤差は0.19±0.02秒であった(表1). 行動観察からBは、発光iv以降はAの存在を認識していたと思われるが、それ以前は認識していたように は見えなかった.それにも関わらず、発光が同調して見えたことから(図6:発光 I-i, II-ii, II-ii)、両個体が点 滅を同調するのではなく、一方の個体が相手の発光に合わせるように調節していると思われた.なお、発 光の回数が増えるに従い発光同調誤差は小さくなり、それはBがAを認識して接近した発光 IV-iv 以降で 顕著であった(図13-5).

個体番号:161826

A が地上高約3mでホバリングしていると、河川側(下流)からB が接近した.Bが接近するとAはB から離れるように移動したが、B はそれを追跡した.接近時の発光(発光III-i)は、B がAに遅れて合わせ るように発光したが、それ以降はAの方が遅れて発光した(図7).解析対象とした映像内でA が 5 回、B が 4 回発光し、それらの発光持続時間はA が 0.99±0.05 秒、B は 1.01±0.15 秒、発光休息時間は A が 1.28± 0.02 秒、B は 1.06±0.03 秒であった(表 1).同調したとみなした 3 回(図7:III-i, IV-ii, V-iii)の個体間の発光 同調誤差は 0.19±0.08 秒であった(表 1).発光の回数が増えるに従い、誤差が大きくなった(図 13-6).

個体番号:165228

A が地上高約3mで上流側から下流側に移動していると上からBが接近した.AにBが接近すると,B の下流側をAとは別の3個体が横切るように移動し,Bは発光vii以降それらの個体に近づくように向きを 変えて移動した(図8).ただし,Bが向きを変えて接近する前に,それらの個体は森林側に飛び去った. すべての発光でAがBに遅れて合わせるように発光した.解析対象とした映像内でAが8回,Bが7回発 光し,それらの発光持続時間はAが0.89±0.03秒,Bは1.01±0.09秒,発光休息時間はAが1.37±0.04秒, Bは1.26±0.07秒であった(表1).同調したとみなした7回(図8:II-i,III-ii,IV-iii,V-iv,VII-vi,VIII-vi)の 個体間の発光同調誤差は0.29±0.06秒であった(表1).同調誤差は時間経過に伴う特徴的な変化は認めら れなかった(図13-7).

個体番号: 243929

A が橋付近から上にゆっくりと移動すると、上にいた B が A の光に呼応するように光りはじめた.する と、A は B に近づくように移動し、両個体が接近した状態で距離を保ち同調した(図 9). 発光 II-i は B が A に遅れて合わせるように発光したが、発光 III-ii は同時に発光、それ以降 3 回(発光 IV-iii, V-iv, VI-v) は A が B より遅れて発光し、発光 VII-vi, VIII-vii は B が A より遅れて発光した(図 9). 解析対象とした映像内で A が 8 回、B が 7 回発光し、それらの発光持続時間は A が 1.18±0.03 秒、B は 0.86±0.05 秒、発光休息時間 は A が 1.07±0.04 秒、B は 1.40±0.04 秒であった(表 1). 同調したとみなした 7 回(図 9: II-I, III-ii, IV-iiv, VI-v, VII-vi, VIII-vii) の個体間の発光同調誤差は 0.08±0.02 秒であった(表 1). 点滅を合わせる側が交互に入 れ替わったにも関わらず、誤差は時間経過に伴い小さくなった(図 13-8).

個体番号: 263228

A が地上高約3m でゆっくりと発光していると、木にとまっていた B が突然光りを放ち A に向かって接触するほど接近した(図 10:発光 IV と発光 i). そして、その後両個体は少しずつ距離を離しながらゆっくり同調した.解析対象とした映像内で A が 8 回、B が 5 回発光し、それらの発光持続時間は A が 1.11±0.05秒, B は 1.04±0.05秒,発光休息時間は A が 1.09±0.03秒,B は 1.19±0.07秒であった(表 1).同調したとみなした 6 回(図 10: IV-i, V-ii, VI-ii, VIII-v, IX-vi)の個体間の発光同調誤差は 0.22±0.05秒であった(表 1). なお、全体として B が A に合わせるように発光していた(図 10).誤差は時間経過に伴う特徴的な変化は認められなかった(図 13-9).

個体番号: 273904

A が上から落下するように飛来し, B に接近した(図 11:発光 II-i). 接近した後,両個体とも少し距離を保ちながらホバリングして接近していたが(図 11:発光 II-ii, IV-iii),その後ゆっくり離れるように移動しながら同調した(図 11:発光 V-iv, VI-v, VII-vi). 解析対象とした映像内でAが7回,Bが7回発光し,それらの発光持続時間はA が 0.83±0.09 秒,B は 0.92±0.11 秒,発光休息時間はA が 1.20±0.07 秒,B は 1.16±0.06 秒であった(表 1). 同調したとみなした6回(図 11:II-i, III-ii, IV-ii, V-iv, VI-vi)の個体間の発光同調誤差は 0.18±0.05 秒であった(表 1). なお,全体としてA が B に合わせるように発光していた(図 11). 誤差は時間経過に伴う特徴的な変化は認められなかった(図 13-10).

個体番号: 352507

A が地上高約3mでホバリングしていると、上流側の上からB が発光を同調させながらゆっくりと近づいてきた.ただ、B は A の近くに来ると光を消して飛び去った.解析対象とした映像内で A が 6 回、B が 4 回発光し、それらの発光持続時間は A が 0.80±0.03 秒, B は 1.04±0.13 秒, 発光休息時間は A が 1.37±0.02 秒, B は 0.95±0.04 秒であった(表 1).同調したとみなした 4 回(図 12: II-i, III-ii, IV-iii, V-iv)の個体間の発光同調誤差は 0.20±0.12 秒であった(表 1).なお、全体として B が A に合わせるように発光していた(図 12). 誤差は時間経過に伴い小さくなった(図 13-10).

まとめ

集団同時明滅するホタルの中で比較的研究されている Pteroptyx 属のホタルの発光パルス幅は VTR の1コマ(1/30秒)に収まることから、非常に鋭い明滅波形を持つとされ(田中,2001)、同調機構を理解する上で発光持続時間(=発光パルス幅)は考慮されていない.しかし、ゲンジボタルの発光持続時間は1秒程

85

川野敬介

度と長いため、同調するためには発光休息時間だけではなく、発光持続時間も考慮しなければならない. そこで、本研究では、それら両方を考慮して同調過程を詳しく解析し、合わせて行動の記載も行った.

その結果,発光持続時間と発光休息時間は個体によって異なるにも関わらず,同調していることが明ら かになった.なお,同調はどちらか一方が,発光休息時間を調節して発光のタイミングを合わせて,同調 していると思われた.ただし,個体番号 023718,243929,352507 のように同調する側が一定でない場合も 観察された.今回の調査では同調していた 11 ペアを解析したが,野外での観察によれば単独個体が接近す るときは,ほとんどの個体同士が数回の同調後に離れる行動をとっていた.また,単独同士ではなく,複 数個体が行う様子も度々観察された.ただし,いずれも長くても数10秒で,長時間に渡り同一個体が同一 場所で同調することはなかった.

今後,集団形成時における同調機構を把握するために、今回の観察・解析結果を踏まえて少しずつ明ら かにしていきたい.

謝 辞

本稿を作成するにあたり、有益なご助言をくださった大庭伸也博士(長崎大学)に対し、記して深謝申 し上げる.

引用文献

- 阿部宣男・稲垣照美・石川秀之・足立政伸・干場英弘(2004)ゲンジボタルンの発光パターンに及ぼす温度 環境の影響 - 地理的際による2型分布に対する考察 - .日本生物地理学会会報,59:75-81.
- Buck J.B. (1988) Synchronous rhythmic flashing of fireflies II. The Quarterly Review of Biology, 63: 265-289

Buck J.B., Buck E. (1968) Mechanism of synchronous flashing of fireflies. Science, 159: 1319-1327.

- Copeland J., Moiseff A. (2004) Flash precision at the start of synchrony in *Photuris frontalis*. *Integrative Comparative Biology*, **44**(3): 259-263.
- Copeland J., Moiseff A. (1995) The occurrence of synchrony in the North American firefly *Photinus carolinus* (Coleoptera: Lampyridae). *Journal of Insect Behavior*, **8**: 381-394.
- Ermentrout B. (1991) An adaptive model for synchrony in the firefly *Pteroptyx malaccae*. Journal of Mathematical Biology, **29**: 571-585.
- Iguchi Y. (2002) The influence of temperature on flash interval in the Genji firefly *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae). Entomological Review of Japan, **57**: 119-122.
- 後藤好正(2012)神奈川県横浜市におけるゲンジボタル 在来個体群と移入個体群の同時明滅周期について.豊田ホタルの里ミュージアム研究報告書,(4):19-26.
- 川野敬介(2011)ゲンジボタル雄成虫の集団同時明滅時における発光パターンの温度による変化.豊田ホタルの里ミュージアム研究報告書,(3):47-53.
- Kawano K. (2012) Mating behavior of *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae) under field conditions. *Bulletin of the Firefly Museum of Toyota Town*, (4): 27-40.
- 小松崎俊彦・岩田佳雄・佐藤秀紀・斎藤卓志(2000) CA によるホタル群集の発光同期現象のモデル化.日本機械学会第13回計算力学講演会講演論文集(2000-11.28 ~ 30), No. 00-17: 183-184.

蔵本由紀(2014)「非線形科学 同期する世界」244pp.,株式会社集英社,東京.

Lloyd J.E. (1973) Fireflies of Melanesia: Bioluminescence, mating behavior, and synchronous flashing (Coleoptera: Lampyridae).

Environmental Entomology, 2(6): 991 - 1008.

松香宏隆(1988)南の島のホタルの木.インセクタリウム,25(2):12-17.

- Ohba N. (1983) Studies on the communication system of Japanese fireflies. Science report of the Yokosuka City Museum, 30: 1-62.
- Otte D., Smiley J. (1977) Synchrony in Texas fireflies with a consideration of male interaction models. *Biology of behavior*, **2**: 143-158.
- Ohba N. (1984) Synchronous flashing in the Japanese firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae). *Science report of the Yokosuka City Museum*, **32**: 23-33.
- 大場信義・東 清二・西山桂一・後藤好正・鈴木浩文・佐藤安志・川島逸郎(1994) クメジマボタルの形態・ 生活史および習性.横須賀市博研報(自然),42:13-26.
- 大場信義(1999)パプア・ニューギニアのホタル Pteroptyx effulgens の集団同時明滅.横須賀市博研報(自然), 46: 33-40.
- Ohba N., Wong C.H. (2004) External morphology and ecological study of the firefly, *Pteroptyx tener* at Kampong Kuantan, Selangor, Malaysia. *Science report of the Yokosuka City Museum*, 51: 1-33.

笹井昭一(1999)ゲンジボタル明滅周期と気温について.全国ホタル研究会誌,32:22-25.

- 田中久陽・長谷川晃郎・大場信義(2001)集団同期のパーコーレーション効果-東南アジアホタル Pteroptyx 属の棲み分け仮説 - 電子情報通信学会論文誌, AVol. J84-ANo. 6: 870-874.
- 渡辺 努(2002) 静岡県富士宮市・芝川町におけるゲンジボタル同時明滅周期の調査結果.全国ホタル研究会誌,35: 27-29.

図 2-12. ゲンジボタルの同調行動と発光波形

上段に動画から 0.1 秒毎の写真を抽出して合成した同調行動を示し、下段にその発光波形を示す. なお、上段の実線は飛翔発光経路を示し、便宜的に時系列毎に発光に番号をつけた(I, II... または i, ii...). 発光の番号は下段の発光波形と対応している. 上段は A1 から A2 へ、B1 から B2 へと移動したことを示す. A と B が同調したと見なした発光については下段の両個体の波形の間に点線で繋ぎ、その発光同調誤差の時間を点線の横に記載した. なお、同調した(遅れて発光した)側を発光同調誤差の上または下に線を記すことで示した(上に線があれば A が同調したことを示す).





図 2. ゲンジボタル (021301)の同調行動 (上段)と発光波形 (下段)





図 3. ゲンジボタル(023718)の同調行動(上段)と発光波形(下段)



川野敬介



図 4. ゲンジボタル(041517)の同調行動(上段)と発光波形(下段) 上段の*を付した発光は0.1秒で抽出した場合,光が小さかったため図示されていない. そこで、発光がある 位置のみを示した.





図 5. ゲンジボタル(132107)の同調行動(上段)と発光波形(下段)





図 6. ゲンジボタル(153119)の同調行動(上段)と発光波形(下段)





図7. ゲンジボタル(161826)の同調行動(上段)と発光波形(下段)



図 8. ゲンジボタル(165228)の同調行動(上段)と発光波形(下段)



図 9. ゲンジボタル(243929)の同調行動(上段)と発光波形(下段)



川野敬介



図 10. ゲンジボタル (263228) の同調行動 (上段) と発光波形 (下段)





図 11. ゲンジボタル (273904) の同調行動 (上段) と発光波形 (下段)





図 12. ゲンジボタル (352507) の同調行動 (上段) と発光波形 (下段)

