短報 [Note]

ゲンジボタルの羽化時の性比

守屋節男^{1)†}・山内健生^{1),2)*}・中越信和¹⁾

Sex ratios in the Japanese firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae) at emergence

Setsuo MORIYA^{1)†}, Takeo YAMAUCHI^{1),2)*} and Nobukazu NAKAGOSHI¹⁾

Abstract

The ratio of the sexes in the Japanese firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae) at emergence was surveyed. In 2006 and 2007, firefly larvae in the climbing stage were collected in Kure City, Japan. These were placed in growth chambers under 24-h dark at 17, 20, and 23°C, and the sex of each emerged adult was then recorded. The sex ratios of emerged adults under three temperature conditions were significantly male-biased in both years, but were not significantly different among the three temperature conditions in each year.

Key words: emerged adult, climbing larvae, temperature condition

摘 要

2006 年および 2007 年の 4-5 月に、広島県呉市にて上陸中のゲンジボタル幼虫を採集し、17, 20, 23°C に設定した恒温器内で全暗状態にて飼育し、羽化成虫の性比(雄比)を調査した。その結果、羽化時の性比は、2006 年が 60.3 %, および 2007 年が 64.7 % で、両年とも有意に雄に偏っていた。また、すべての温度区で雄が有意に多く羽化し、温度条件による性比の変動はみられなかった。

キーワード：羽化成虫、上陸幼虫、飼育温度

(2008 年 8 月 21 日受付；2008 年 11 月 21 日受理)

はじめに

ゲンジボタル *Luciola cruciata* Motschulsky (コウチュウ目：ホタル科) は、日本の固有種で、ホタル科の中で幼虫が水中生活を行なう数少ない種のひとつである。その幼虫は水中で淡水生巻貝(主としてカワニナ *Semisulcospira libertina libertina* (Gould)) を捕食して成

長し、春の夜に川岸へ上陸し、土中に潜って蛹となる(神田, 1935)。本種はすべての発育段階で発光することが知られるが、特に上陸後の老熟幼虫と成虫はよく発光し、夜間に観察しやすいため、その生態は比較的良好に研究されている。しかし、本種の性比に関する知見は非常に少ない。本種の染色体数は雌雄とも $2n=18$ で、性決定様式は雄ヘテロ XY 型である(井上・山本, 1987)。したがっ

¹⁾ 広島大学大学院国際協力研究科 〒739-8529 東広島市鏡山 1-5-1 Graduate School for International Development and Cooperation, Hiroshima University, 1-5-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8529, Japan

²⁾ 現所属：富山県衛生研究所 〒939-0363 富山県射水市中太閤山 17-1 Present address: Toyama Institute of Health, 17-1 Nakataikoyama, Imizu, Toyama 939-0363, Japan

† 故人(2007 年 11 月 30 日逝去；Deceased, November 30, 2007)

* 連絡先 (Corresponding author)

て、性染色体による性決定様式に従うならば、本種の理論上の一次性比（受精時の性比）は♂：♀＝１：１となる。しかしながら、京都市清滝川における標識再捕法によって推定された１シーズン全体の成虫の性比（堀ら，1978），および同地において肥満度に基づいて性別が推定された上陸幼虫の３シーズン全体の性比（Yuma, 1981）は，どちらも♂：♀＝３：１である。よって，羽化直後の成虫の性比も雄に偏っているものと予想されるが，飼育実験に基づいた本種の羽化時の性比に関する報告はない。羽化直後の性比は，本種の繁殖戦略に大きく関わる要素であり，本種の保全活動にも資する重要な情報である。また，同じコウチュウ目のカミキリムシ科マツノマダラカミキリ *Monochamus alternatus* Hope では，幼虫期以降の温度条件によって羽化脱出した成虫の性比が変動することが示唆されており（岸，1988），夏季の気温が異常な高温になると羽化脱出個体に占める雌の比率が小さくなる事例が示されている（谷脇ら，2003）。ゲンジボタルについては温度条件と性比の関係が不明であるため，本研究では，上陸幼虫を３つの温度条件で飼育し，羽化時の性比を調べた。

材料と方法

調査地の概要

上陸幼虫の捕獲は，Moriya et al. (2007) と同じく，

広島県呉市を流れる二河川（総延長 21 km）の支流である鎌ヶ原川で行なった。捕獲地は，標高 220 m で，川幅 2 m，両岸は高さ 2 m のコンクリート護岸，川底には大小の石があり，毎年ゲンジボタルの成虫が飛翔する場所である。

調査方法

ゲンジボタル上陸幼虫の捕獲は，2006 年の 4 月 4 日から 5 月 6 日にかけて 7 回，および 2007 年の 4 月 13 日から 5 月 16 日にかけて 7 回実施した（Table 1）。その際，幼虫の発光を目印として，上陸中の幼虫をランダムに捕獲した。なお，これらの捕獲日は，この地域における幼虫上陸期間のほぼ全体に該当する（守屋ら，2006）。

捕獲した幼虫を，Yuma (1981) の方法を参考に，円筒形の蛹化用飼育容器（直径 3.1 cm，高さ 5.1 cm）に 1 頭ずつ投入した。これらの容器を，幼虫の重量に偏りが生じないよう 3 つのグループに分け，それぞれ 17, 20, 23℃ に設定した恒温器（2 台の Incubator SANYO-MIR252 と 1 台の HITACHI-CRB32A，温度分布精度 ± 1.0℃）内で全暗状態にて飼育した（Table 1）。供試虫の羽化を毎朝確認し，それらの性別を記録した。

統計解析

性比の解析には χ^2 検定を用いた。

Table 1. Incubation conditions and sample information (numbers) of climbing larvae of *Luciola cruciata* used in rearing experiments.

表 1. 上陸幼虫の採集日と実験に用いた個体数.

Year	Sampling Date	Incubation conditions			Total
		17℃	20℃	23℃	
2006	Apr. 4	25	25	24	74
	Apr. 10	25	26	26	77
	Apr. 15	27	26	26	79
	Apr. 19	27	28	28	83
	Apr. 22	28	28	28	84
	Apr. 26	22	22	23	67
	May 6	26	26	27	79
	Total	180	181	182	543
2007	Apr. 13	99	99	99	297
	Apr. 16	50	50	49	149
	Apr. 18	37	37	37	111
	Apr. 22	62	61	61	184
	Apr. 30	16	17	17	50
	May 5	34	33	33	100
	May 16	21	20	20	61
	Total	319	317	316	952

ゲンジボタルの羽化時の性比

Table 2. Sex ratios (male %) of emerged *Luciola cruciata* at each incubation condition (17, 20 and 23°C).

表 2. 上陸幼虫の採集日と飼育温度別の性比（雄比）.

Year	Sampling Date	Incubation conditions			Total
		17°C	20°C	23°C	
2006	Apr. 4	69.6 (23)	66.7 (24)	68.4 (19)	68.2 (66)**
	Apr. 10	61.9 (21)	50.0 (22)	33.3 (18)	49.2 (61) ^{n.s.}
	Apr. 15	58.3 (24)	55.0 (20)	66.7 (18)	59.7 (62) ^{n.s.}
	Apr. 19	64.0 (25)	68.0 (25)	77.3 (22)	69.4 (72)**
	Apr. 22	51.9 (27)	55.6 (27)	63.6 (22)	56.6 (76) ^{n.s.}
	Apr. 26	57.1 (21)	64.3 (14)	68.8 (16)	62.7 (51)*
	May 6	54.5 (22)	55.6 (18)	55.6 (18)	55.2 (58) ^{n.s.}
	Total	59.5 (163)*	59.3 (150)*	62.4 (133)**	60.3 (446)**
2007	Apr. 13	68.8 (77)	60.9 (46)	67.2 (58)	66.3 (181)**
	Apr. 16	67.6 (34)	66.7 (39)	65.5 (29)	66.7 (102)**
	Apr. 18	74.1 (27)	76.0 (25)	59.1 (22)	70.3 (74)**
	Apr. 22	68.9 (45)	51.2 (43)	78.9 (19)	63.6 (107)**
	Apr. 30	54.5 (11)	66.7 (6)	37.5 (8)	52.0 (25) ^{n.s.}
	May 5	53.3 (15)	41.7 (12)	57.1 (7)	50.0 (34) ^{n.s.}
	May 16	100.0 (3)	50.0 (4)	66.7 (6)	69.2 (13) ^{n.s.}
	Total	67.9 (212)**	60.6 (175)**	65.1 (149)**	64.7 (536)**

Numbers in parentheses indicate total numbers emerged.

Asterisks (* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$) present a significant difference from the expected value when sex ratio was thought to be 1:1 by chi-square test. ^{n.s.} Not significant.

結 果

2006 年に捕獲した上陸幼虫 543 頭のうち、羽化したのは 446 頭（羽化率 82.1 %）で、その性比は有意に雄に偏っていた（ $\phi : \psi = 269 : 177$, $\chi^2 = 18.97758$, $P < 0.001$ ）（Table 2）。

2007 年に捕獲した上陸幼虫 952 頭のうち、羽化したのは 536 頭（羽化率 56.3 %）で、その性比は有意に雄に偏っていた（ $\phi : \psi = 347 : 189$, $\chi^2 = 46.57462$, $P < 0.001$ ）（Table 2）。

上陸時期と性比の関係については、2006 年には明確な傾向はみられなかったが、2007 年には期間の前半で有意に雄が多い傾向がみられた（Table 2）。

温度条件と性比の関係については、いずれの年においても、すべての温度区で有意に雄が多く（雄比 59.3-67.9%）、また温度条件による性比の変動に有意差はなかった（Kruskal-Wallis 検定, $P > 0.05$, Table 2）。

考 察

羽化成虫の性比はいずれの年においても有意に雄へ偏っていた。この結果は、羽化成虫の性比は雄に偏るといふ堀ら（1978）の推定を支持するものである。一方、本研究では飼育途中（前蛹～蛹期間中）に死亡した個体

数が多かったため、上陸幼虫の正確な性比を求めることはできない。したがって、上陸幼虫の性比が雄に偏るといふ Yuma（1981）の推定に関してはここで議論することができない。

ゲンジボタルの性決定は XX-XY（雄ヘテロ）型の性染色体に支配されるので、理論上、受精時の性比は $\phi : \psi = 1 : 1$ となる。したがって、本研究の結果は、受精から羽化までの間に性比が雄に偏ったことを示している。なお、蛹の時期の生存率には雌雄で差がないとの報告（遊磨, 1982）があることから、受精から蛹化までの期間における雌の死亡率が高いものと考えられる。蛹化までの期間における死亡要因については不明な点も多いが、病気や環境変化に対する耐性に性差があり、雌雄の死亡率が異なっている可能性がある。また、幼虫期における捕食されやすさに雌雄差が存在する可能性もある。ゲンジボタルの幼虫は成虫と同様に捕食者に対する忌避物質をもつとされるが（神田, 1935; 南, 1961; 大場, 1988; 東京ゲンジボタル研究所, 2004）、アメリカザリガニ *Procambarus clarkii* (Girard)、ミヤマアカネ *Sympetrum pedemontanum elatum* (Selys) の幼虫、ウスバキトンボ *Pantala flavescens* (Fabricius) の幼虫、アブラボテ *Tanakia limbata* (Temminck and Schlegel)、カワムツ *Zacco temminckii* (Temminck and Schlegel) がゲンジボタルの 1 齢幼虫を捕食することが実験的に確認されている

ことから（守屋, 2001）, 幼虫期の死亡要因として捕食者による影響が大きいことも考えられる。また, ゲンジボタル幼虫の上陸時期には, 雄よりも雌の方が大型であるため（Yuma, 1981; Moriya et al., 2007）, 捕食者に発見される確率も雌の方が高いという可能性をあげることができる。それに関連して, より大型となる雌幼虫の方が雄幼虫よりも多くの餌を必要とし, 餌となる淡水生巻貝を求めて移動する頻度が高いため, 捕食者に発見されやすいということも考えられる。しかし, ゲンジボタル幼虫の行動に雌雄差があるか否かはこれまで調べられたことがなく, 蛹化までの死亡率における雌雄差とともに今後の研究課題である。

本研究で示された羽化時の雄比は, 2006 年が 60.3 %, および 2007 年が 64.7 % で, 両年とも堀ら（1978）が標識再捕法を基に推定した成虫の雄比 75 % よりも低かった。堀ら（1978）と本研究における性比の違いは, 推定値と実測値の違いなのかもしれないが, 調査地や調査年の違いによるものとも考えられる。ゲンジボタルの他の地域個体群においても性比に関する研究が実施されることが望まれる。

他のホタル科昆虫で知られているように（Lewis and Wang, 1991 など）, ゲンジボタルにおいても成虫羽化期の前期には雄比が高く, 発生期が進むにつれて雌比が高くなることが報告されている（堀ら, 1978; 守屋, 2004）。本研究のうち, 2007 年のみではあるが調査期間前半に有意に雄が多く羽化したことは, こうした現象と一致する。

温度条件によっては雌雄いずれかの死亡率が高くなり, 性比が変動する可能性もあると考えられるが, 本実験で設定した 17-23℃の範囲では, 全温度区で羽化成虫の雄比が有意に高く, 温度区間で性比の有意な変動はみられなかった（Table 2）。したがって, この温度範囲では, 老熟幼虫から羽化までの死亡率に雌雄差はないことが示唆された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたって, 調査に協力いただいた「ひろしま自然の会」の守屋泰祐氏, 資料作成を手伝っていただいた呉市水道局の福島彰宏氏, データ解析のアドバイスをいただいた呉大学の丸井美保教授に深く感謝申し上げます。さらに, 原稿の校閲をしていただき, 多数の有益なご助言をいただいた農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所の井上広光博士に厚くお礼申し上げます。

。本研究成果を発表するにあたって, 山口大学の守屋康子氏にひとかどならぬご尽力をいただいた。心からのお礼を申し上げます。

文 献

- 堀 道雄・遊磨正秀・上田哲行・遠藤 彰・伴 浩治・村上興正（1978）: ゲンジボタル成虫の野外個体群. インセクトリウム, 15(6): 4-11.
- 井上正志・山本秀行（1987）: ホタル科の細胞学的研究 I. ヘイケボタルとゲンジボタルの核型. 染色体, 2, 45: 1440-1443.
- 神田左京（1935）: ホタル. 日本発光生物研究会（復刻版 1981）, サイエンス社, 東京.
- 岸 洋一（1988）: マツ材線虫病—松くい虫—精説. トーマスカンパニー, 東京.
- Lewis, S. M. and Wang, O. T. (1991): Reproductive ecology of two species of *Photinus* fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *Psyche*, 98: 293-307.
- 南 喜一郎（1961）: ホタルの研究. 太田書店（復刻版 1983）, サイエンス社, 東京.
- 守屋節男（2001）: ゲンジボタル幼虫の捕食者に関する実験. 全国ホタル研究会誌, (34): 31-34.
- 守屋節男（2004）: 広島県呉市におけるゲンジボタルの調査・研究. 全国ホタル研究会誌, (37): 38-43.
- 守屋節男・山内健生・中越信和（2006）: 広島県呉市におけるゲンジボタル幼虫の上陸行動. 昆虫（ニューシリーズ）, 9: 59-68.
- Moriya, S., Yamauchi, T. and Nakagoshi, N. (2007): Weight of the climbing larva of the firefly *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae) and its relationship to size, weight, and sex of the adult. *Entomological Review of Japan*, 62: 127-134.
- 大場信義（1988）: ゲンジボタル. 文一総合出版, 東京.
- 谷脇 徹・興津真行・細田浩司・阿部 豊（2003）: 異なる環境下のマツ丸太から羽化脱出したマツノマダラカミキリの消長と性比. フィールドサイエンス, 3: 25-30.
- 東京ゲンジボタル研究所（2004）: ホタル百科. 丸善株式会社, 東京.
- Yuma, M. (1981): The body size variation of the climbing larvae of the firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera; Lampyridae). *Japanese Journal of Ecology*, 31: 57-66.
- 遊磨正秀（1982）: ゲンジボタルの上陸幼虫. インセクトリウム 19(5): 14-22.