

ゲンジボタルの蛹期の長さは 上陸幼虫の重量と温度によって決定される

守屋 節男¹⁾・山内 健生^{1)*}・中越 信和¹⁾

The pupal period of the firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae) is decided depending on the weight of the climbing larva and temperature

Setsuo MORIYA¹⁾, Takeo YAMAUCHI^{1)*} and Nobukazu NAKAGOSHI¹⁾

要 旨

2006年4月4日から5月6日に、広島県呉市の鎌ヶ原川において、ゲンジボタルの上陸幼虫543頭を捕獲した。上陸幼虫の重量は雌雄とも上陸時期が遅い個体ほど軽いという傾向がみられた。上陸幼虫を、17、20、23℃に設定した恒温器内で全暗状態にて個別に飼育した結果、446頭が羽化した。この3種の飼育温度では、温度が高いほど蛹期の長さが短いという傾向がみられた。同じ温度で飼育した場合、上陸時期が遅い幼虫ほど蛹期の長さが短かった。また、同じ飼育温度下における上陸幼虫の重量と蛹期の長さの間には正の相関が認められた。さらに、蛹期の長さ / 幼虫重量は、上陸時期が異なってもほぼ一定であった。これらのことから、ゲンジボタルの蛹期の長さは、上陸幼虫の重量と蛹期間中の温度によって決まり、適度な温度の範囲では、蛹期間中の温度が高く上陸幼虫の重量が軽いほど蛹期の長さは短くなると考えられた。

キーワード：ゲンジボタル、上陸幼虫、湿重量、飼育、蛹期の長さ、温度

はじめに

ゲンジボタル *Luciola cruciata* Motschulsky (鞘翅目：ホタル科) は、日本の固有種で、夜間に発光することから日本で最も人々に愛されている昆虫の一つである。そのため、ゲンジボタルの生態は、神田 (1935)、南 (1961)、大場 (1983, 1986, 1988)、三石 (1990)、遊磨 (1981, 1984, 1986) を始めとして多くの人々によって研究され、その生活史の概略はほぼ解明されている。

ゲンジボタルの幼虫は水中で生活し、春の夜に、成熟した個体が岸へ上陸する。こうした成熟幼虫の上陸は、一ヶ月以上にわたって観察される (遊磨, 1981,

1982; 口分田, 2003; 守屋ほか, 2006)。上陸した幼虫は、土中へ潜り、土繭を作って蛹化する。その後、晩春～夏の約2週間の間に成虫羽化が集中する (遊磨・小野, 1985; 口分田, 2003; 守屋, 2004)。広島県呉市を流れる鎌ヶ原川においても、成熟幼虫の上陸は、4月上旬から5月上旬までの約1ヶ月間に分散して行われる (守屋ほか, 2006)。一方、蛹期間を経由して、成虫が出現するのは、5月下旬から7月上旬までの約40日間で、この間の約2週間に出現のピークが集中する (守屋, 2004)。

ゲンジボタルでは、幼虫の上陸期間と羽化の期間の関係から、幼虫が上陸した時期によってその個体の蛹期の長さが異なると予想される。しかし、上陸時期と蛹期の

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

* 現在の連絡先: 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

長さの関係や、蛹期の長さがどのような条件に影響されているのかは、明らかにされてない。そこで、本研究では、上陸幼虫を捕獲して飼育を行い、ゲンジボタルの蛹期の長さ、上陸時期、幼虫重量、飼育温度との関係を調べた。

材料と方法

1. 調査地の概要

上陸幼虫の捕獲は、Moriya et al. (2007) および守屋ほか (2009) と同じく、広島県呉市を流れる二河川 (総延長 21km) の支流である鎌ヶ原川で行なった。捕獲地は、標高 220m で、川幅 2m、両岸は高さ 2m 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。

2. 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、雨の降った日の 20:00 ~ 22:00 に実施した。調査地では、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 (守屋ほか, 2006)。

このようにして捕獲した幼虫から、乾いたティッシュペーパーを用いて体表の余分な水分を取り除き、上皿天秤 (SARTORIUS type1419) を用いて湿重量 (以下、重量) を 0.001g まで測定した。これらの幼虫を Yuma (1981) の方法を参考に、円筒形の蛹化用飼育容器 (直径 3.1cm、高さ 5.1cm) 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に 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。その後、毎朝、蛹化用飼育容器を確認し、供試虫が羽化していた場合はそれらの性別を記録した。

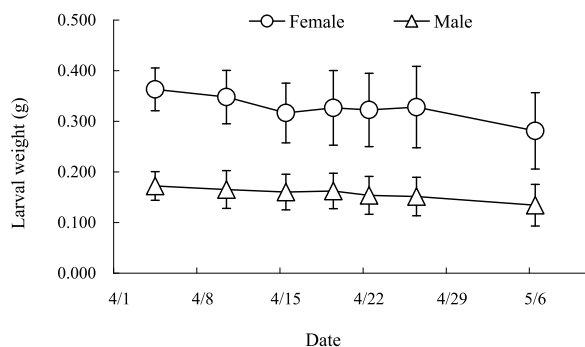


図 1 上陸幼虫の平均重量の季節変化。垂直の線は標準偏差。

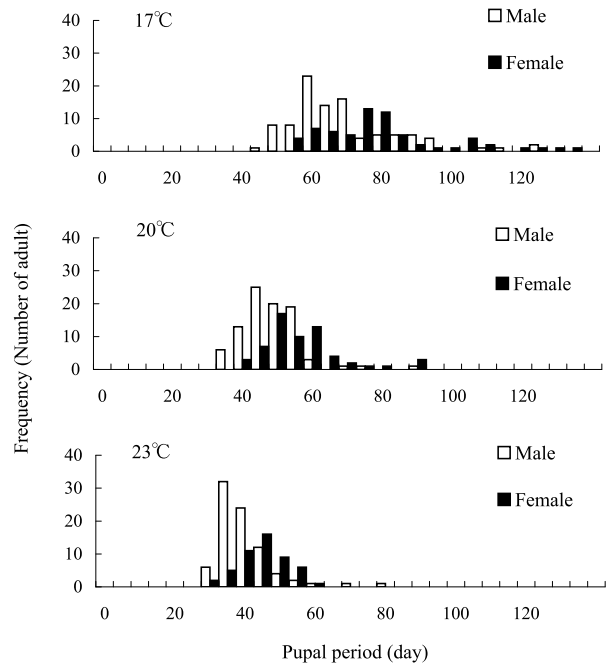


図 2 飼育温度別にみた蛹期間の頻度分布。

なお、本論文では、口分田ほか (1999) と同様に、上陸幼虫の捕獲日から成虫として羽化した日までの日数を蛹期間とした。

結果

1. 上陸幼虫の重量

捕獲した上陸幼虫 543 頭の重量は、0.063 g から 0.564 g の範囲にあった。飼育容器から羽化した成虫は 446 頭 (雄 269 頭、雌 177 頭) で、羽化率は 82.1% であった。羽化した個体については、上陸時の平均重量を、上陸期別・性別に図 1 で示した。上陸幼虫の平均重量は、雄よりも雌が重く、有意差が認められた (t-検定, $p < 0.01$)。また、雌雄とも、上陸時期が遅い個体ほど重量が軽いという傾向がみられた。なお、上陸幼虫の重量については、一部分を Moriya et al. (2007) で報告した。

2. 蛹期の長さ

各飼育温度における蛹期の長さの平均は、17℃では雄が 67.0 日で雌が 78.6 日、20℃では雄が 46.1 日で雌が 55.0 日、23℃では雄が 38.4 日で雌が 42.4 日であった。蛹期の長さの最短は 27 日で、最長は 132 日であった。

蛹期の長さの頻度分布を、飼育温度別・性別に図 2 で示した。また、各飼育温度下における蛹期の長さの季節変化を図 3 に示した。同一温度で飼育した場合でも、蛹期の長さは上陸時期が遅い個体ほど短い傾向がみられた。また、蛹期の長さの平均値は雄よりも雌で長く、有

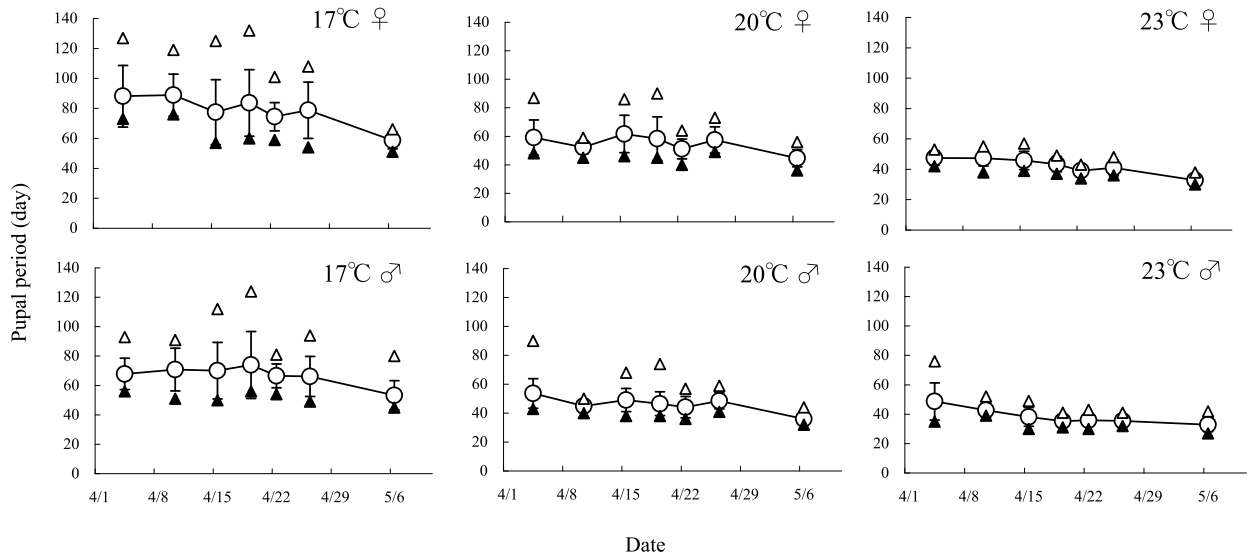


図3 飼育温度別にみた蛹期の長さ. Δ: 最大値, ○: 平均値, ▲: 最小値. 垂直の線は標準偏差.

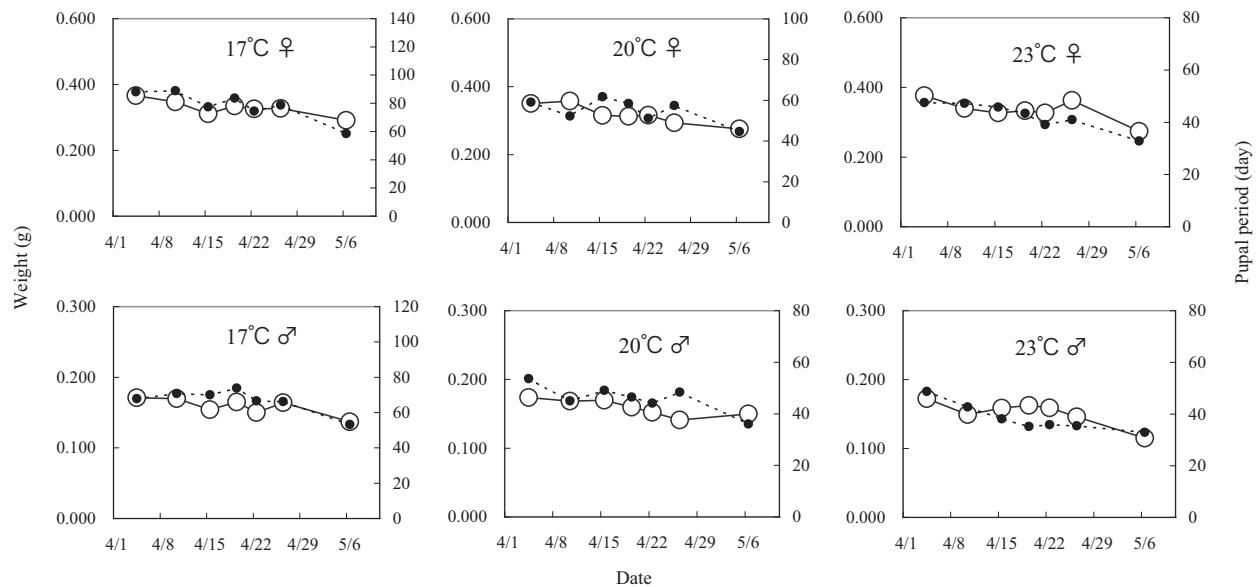


図4 飼育温度別にみた上陸幼虫の平均重量と蛹期の長さの平均値. ○: 平均重量, ●: 平均蛹期間.

意差が認められた (t-検定, $p < 0.01$). 蛹期の長さの平均値は飼育温度が高いほど短く, 標準誤差も小さく, 蛹期の長さの個体差は少なかった. また, 同一条件で飼育した同一上陸日の個体であっても, 蛹期の長さには最大で68日の差があり (飼育温度 17°C, 上陸日 4月19日, 最短日数 56日, 最長日数 124日), 大きなばらつきがあった.

3. 上陸幼虫の重量と蛹期の長さとの関係

同一温度で飼育した場合, 上陸時期が遅いほど蛹期の長さが短く, かつ上陸幼虫の重量も軽いという傾向がみ

られた (図4). そこで, 蛹期の長さの平均 / 平均幼虫重量の値を求めたところ, その値は, 性別と飼育温度によって異なったが, 上陸期間を通してほぼ一定であった (図5).

考 察

今回の飼育実験では, 蛹期の長さの平均値は, 同じ日に上陸した個体でも飼育温度が高いグループほど短かった. これは, 成長限界温度内では温度が高いほど成長が促進されるという有効積算温度の法則に従うためである

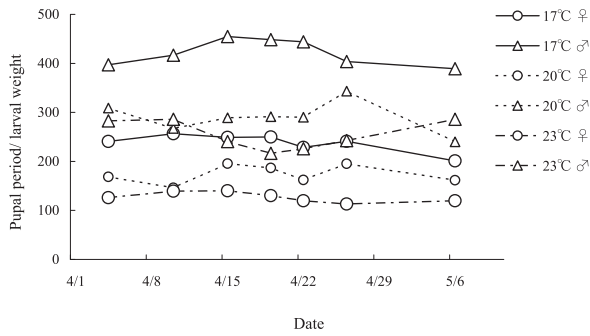


図5 飼育温度別にみた蛹期の長さの平均値 / 平均幼虫重量の季節変化。

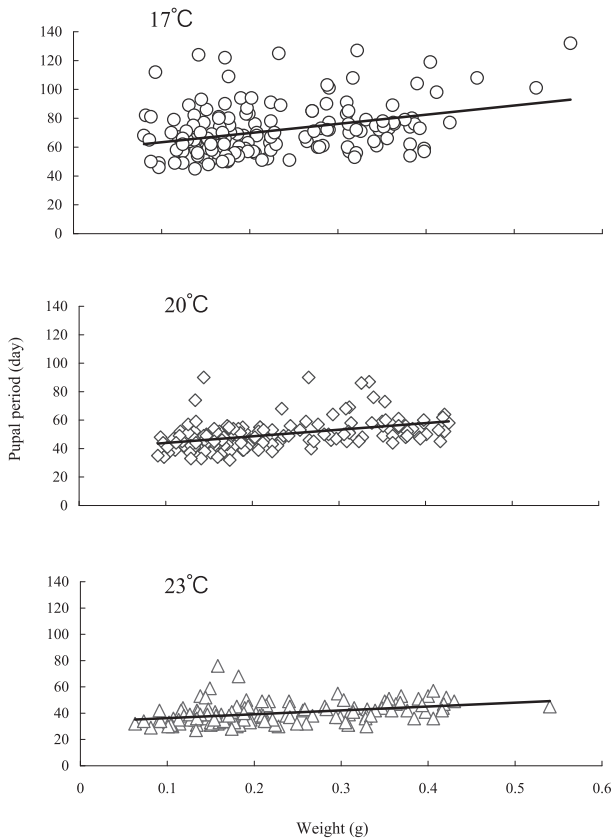


図6 飼育温度別にみた蛹期の長さの平均値と平均幼虫重量の関係。直線は回帰直線を示す。

回帰直線は

$$D = 63.555W + 57.076, R^2 = 0.1248 (17^\circ\text{C})$$

$$D = 46.546W + 39.304, R^2 = 0.1772 (20^\circ\text{C})$$

$$D = 29.407W + 33.28, R^2 = 0.1423 (23^\circ\text{C})$$

D と W はそれぞれ蛹期間 (日) と重量 (g) を表す。

と考えられる。

今回の飼育実験では、同一温度で飼育した場合でも、蛹期の長さは、上陸時期が早い幼虫では長く、上陸時期が遅いほど短いという傾向がみられた。このように温度条件が一定であっても上陸時期の違いによって蛹期の長さに差がみられることから、蛹期の長さに影響を与える要因が温度以外にも存在することが示唆された。また、幼虫重量と蛹期の長さの関係を求めたところ、両者は正の相関を示し、回帰分析により、 $p < 0.05$ で有意性が認められた (図6)。このことから、ゲンジボタルの蛹期の長さは、上陸時の幼虫の重量と蛹期間中の温度とによって決定されると推定された。この結果から、温度条件が一定であれば重い幼虫の方が長い蛹期間を必要とすると考えられる。また、上陸幼虫の雄は雌より重量が軽く蛹期間も短いという今回の結果は、ゲンジボタルの雄成虫が雌成虫よりも早く出現するという従来の報告 (堀ほか, 1978, Yuma and Hori, 1990, Iguchi, 2001) と矛盾しない。

重い幼虫ほど長い蛹期間が必要であり、重量によって蛹期の長さが決定されることはキロショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* Meigen でも報告されている (Nunney, 2006)。また、Yuma (1984) はゲンジボタルの卵が重いほど累積発育温度 (cumulative temperatures) も大きいことを述べており、今回推定した重量と発育エネルギーの関係と一致する。また、帰山 (1993) は、魚類のベニザケ *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) では卵サイズが大きいほど孵化までの期間が長いことが示唆されると報告しており、これも今回の結果と矛盾しない。

ゲンジボタルの成熟幼虫は一ヶ月以上にわたり分散して上陸するが (遊磨, 1981, 1982; 口分田, 2003)、成虫への羽化は一時期に集中する (遊磨・小野, 1985; 口分田, 2003)。今回の結果から、羽化までに長い蛹期間を要する重い幼虫は早期に上陸し、短い蛹期間で羽化する軽い幼虫は後期に上陸するため、結果として、分散して上陸した幼虫が、成虫として一時期に集中して発生すると推察される。終齢幼虫の上陸が一ヶ月以上にわたることで、外敵や急激な気候変動による絶滅の危険を分散し、また、成虫が一時期に集中して発生することで、交尾相手との遭遇確率が高まり、繁殖の成功度を高めているのではないかと推定される。

成熟幼虫の重量と蛹期の長さは、他の昆虫においてもゲンジボタル同様に相関関係を有するのかもしれない。

謝 辞

本研究を遂行するにあたって、環境調査に関する助言をいただいた広島大学大学院国際協力科の菊池亜希良博

士，調査に協力いただいた「ひろしま自然の会」の守屋泰祐氏に深く感謝申し上げる。

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.
- Iguchi, Y. (2001) Seasonal variation in the adult body size of the Genji-firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae). *Entomological Review of Japan* **56**: 35-38.
- 神田左京 (1935) ホタル. 日本発光生物研究会 (復刻版 1981), サイエнтиスト社, 東京, 496 p. + 12 pls.
- 帰山雅秀 (1993) サケ属魚類の発育と成長 5. 再び有効積算温度の法則について. *魚と卵* **162**: 77-80.
- 口分田政博 (2003) ゲンジボタル幼虫の上陸と発生状況の推移. 鴨と蛭とさぎ草のまち **15**: 16-22.
- 口分田政博・田中万祐・遊磨正秀 (1999) ゲンジボタル成虫の発生時期の予測. *応用生態工学* **2**: 205-210.
- 南 喜一郎 (1961) ホタルの研究. 太田書店 (復刻版 1983), サイエнтиスト社, 東京, 350 p.
- 三石暉弥 (1990) ゲンジボタル 水辺からのメッセージ. 信濃毎日新聞社, 長野, 227 p.
- 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) The weight of the climbing larvae of the firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae) and relationship to adult. *Entomological Review of Japan* **62**: 127-134.
- 守屋節男・山内健生・中越信和 (2009) ゲンジボタルの羽化時の性比. *陸水学雑誌* **69**: 255-258.
- Nunney, N. (2007) Pupal period and adult size in *Drosophila melanogaster*: a cautionary tale of contrasting correlations between two sexually dimorphic traits. *Journal of Evolutionary Biology* **20**: 141-151.
- Ohba, N. (1983) Studies on the communication system of Japanese fireflies. *Science Report of the Yokosuka City Museum* **30**: 1-6.
- 大場信義 (1986) ホタルのコミュニケーション. 東海大学出版会, 東京, 241 p.
- 大場信義 (1988) ゲンジボタル. 文一総合出版, 東京, 198 p.
- 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.
- Yuma, M. (1984) Egg size and viability of the firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera, Lampyridae). *Kontyû* **52**: 615-629.
- Yuma, M. (1986) Growth and size variation in the larvae of *Luciola cruciata* (Coleoptera; Lampyridae) in relation to the egg size. *Physiological Ecology Japan* **23**: 45-78.
- Yuma, M. and Hori, M. (1990) Seasonal and age-related changes in the behaviour of the Genji Firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae). *Japanese Journal of Entomology* **58**: 863-870.
- 遊磨正秀・小野健吉 (1985) ゲンジボタル成虫の発生消長と羽化数推定—琵琶湖疏水の場合—. *横須賀市博物館研究報告 (自然)* **33**: 1-11.

(2009年7月27日受付)

(2009年9月4日受理)

