

# 行動生態学から見たゲンジボタル成虫の雌雄サイズの違いについて

井口豊

〒394-0005 長野県岡谷市山下町 1-10-6 生物科学研究所  
bio.iguchi@gmail.com

全国ホタル研究会誌, 35: 23-26, (2002)

Behavioral ecology of sexual size dimorphism in the firefly *Luciola cruciata*

Yutaka Iguchi

E-mail: bio.iguchi@gmail.com

Laboratory of Biology

Yamashita-cho 1-10-6, Okaya, Nagano Prefecture, 394-0005 Japan

Zenkoku Hotaru Kenkyukai-shi, 35: 23-26, (2002)

# 行動生態学から見たゲンジボタル成虫の雌雄サイズの違いについて

井口 豊（長野県岡谷市）

## 1. はじめに

ゲンジボタル成虫のサイズについては、これまで日本各地から多数の調査結果が報告されている（大場，1988：三石，1990を参照）。それらによると、平均して雌が雄より大きく、地域差も存在する。しかし最近、筆者は成虫サイズに顕著な季節的変異を認め、これまで報告されたサイズの地理的変異には季節的変異も含まれている可能性を指摘した（Iguchi, 2001）。成虫サイズの季節的変異は、Yuma（1981）が明らかにした上陸幼虫のサイズの季節的変異を反映している可能性もある。

以上の研究は、主として1変数（例えば、体長）を比較するものであった。しかしながら、他の生物種においてはアロメトリーと言われる2変数関係（例えば、体長と体幅の関係）がしばしば調べられてきた（多数の研究例について、Gould, 1966参照）。最近、大場（2001）は日本各地のゲンジボタルについて前胸背長と前胸背幅の間の回帰を調べ、その地理的変異を論じた。しかしながら、ゲンジボタルの性差について2変数関係を調べた研究例はほとんどない。本研究では、雌雄間で体長と体幅を比較した上で、体長-体幅の関係も比較する。そして、ゲンジボタル雌雄の形態差と行動差の関連を行動生態学の観点から考察する（行動生態学については、例えば、Krebs and Davies, 1981参照）。

## 2. 方法

ゲンジボタル雌雄各60個体を、長野県上伊那郡辰野町松尾峡において、1998年6月20日に採集し、体長と体幅を測定した。本研究では、Iguchi（2001）同様、頭部を除いた体の長さを体長とし、上翅の最大幅部分の長さを体幅とした。

統計的検定は、Sokal and Rolf（1981）、

Zar（1996）を参考にした。雌雄の平均差についてはt検定とMann-WhitneyのU検定を併用した。パラメトリックなt検定を適用する標本には正規性と等分散性が要求されると一般に言われる。しかしながら多くの統計的研究は、t検定が頑強な（robust）検定であり正規性や等分散性からのズレに影響されにくいことを示している（Zar, 1996）。比較する標本サイズが等しく、しかもある程度大きければ（ $n \geq 20$ 程度）、等分散かどうかはほとんど問題にならない（Zar, 1969）。また竹内（1975）によれば、 $n \geq 10$ くらいならば分布型に関係なくt検定を用いても安全であり、t検定は漸近的なノンパラメトリック検定である。本研究では雌雄60個体を用いており、t検定が十分適用可能と考えられる。しかしながら、ノンパラメトリックなU検定を併用し、両検定の結果が矛盾しないか確認した。

雌雄間での測定値のバラツキの差を調べるために、分散（標準偏差の2乗）と変動係数（標準偏差/平均）を計算し、前者についてはF検定、後者についてはZ検定を実行した。

さらに、体長と体幅の関係を一次式で近似し回帰分析した。また、この一次式を利用して体長と体幅の比（ $R = \text{体幅} / \text{体長}$ ）の変化を調べた。その方法は、一次回帰式  $y = ax + b$ （ $x$ は体長、 $y$ は体幅）において、

$$R = (ax + b) / x$$

これを  $x$  で微分して、

$$dR/dx = -bx^{-2}$$

この式の値について考察した。体形の変化については、いわゆるアロメトリー式  $y = ax^b$  も調べて計算した。

## 3. 結果および考察

表1に測定値の統計的データを示す。平均値は、体長・体幅とも雌が雄より有意に大き

表 1. ゲンジボタル雌雄のサイズの比較

	体 長			体 幅		
	平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数
雄	12.2	0.88	0.072	4.4	0.34	0.077
雌	14.5	1.16	0.080	5.3	0.45	0.085
有意水準	0.001	0.025	0.5	0.001	0.025	0.5

(注) 個体数は雄雌ともに 60. 変動係数 = 標準偏差 / 平均. 単位

かった。これは従来の研究結果 (大場, 1988 ; 三石, 1990) と一致する。標準偏差も体長・体幅とも有意に雌が雄より大きかった (F 検定, U 検定ともに  $p < 0.001$ ) が, 変動係数は体長・体幅とも有意な差はなかった。標準偏差は平均値に影響され, 平均値が大きくなると標準偏差も大きくなる傾向がある (Sokal and Rolf, 1981; Zar, 1996)。したがって, 異なる平均値を持つ集団間でバラツキの相対的程度を比較するには, 変動係数を利用するのが良いとされる (Sokal and Rolf, 1981; Zar, 1996)。本研究の雌雄間で, 標準偏差は大きく異なったが, 変動係数が異ならなかったのは, 雌のサイズのバラツキが単に平均値の増大に伴って起きたものであることを示唆する。

本研究で得られたゲンジボタルの平均値や変異幅の性差は, クワガタムシやカブトムシの性差とは対照的である。すなわち, クワガタムシやカブトムシの雄では, 平均体長だけ

でなく変異幅も雌より大きい。この場合, 体が大きいことや立派な角や大顎を持つことは雄にとって戦いに有利になり, 結局繁殖に有利になる。このような雄の変異は, 性選択の結果として解釈されている。しかしながら, 雄の体長や角長の大きな変異 (大きな標準偏差や変動係数) には, 性選択で単純に説明できない面もある。それは, 小型雄と大型雄の共存というパラドックス (Eberhard, 1980) である。事実, 日本産クワガタムシでは, 最小の雄は最小の雌と同じくらいの大きさだが, 最大の雄は最大の雌よりかなり大きい。(林, 1987 ; 井口, 未発表)。結果として雄の集団は平均値が大きだけでなく変異幅も大きい。最近になって, このような雄の集団の大きな変異に対する説明として, 小型雄が大型雄と異なる代替的行動を示すことによって適応度を高めていることが示されている (近, 1998)。つまり, 小型雄と大型雄のどちらにも生存・繁殖に有利な場合があるために, 結果として

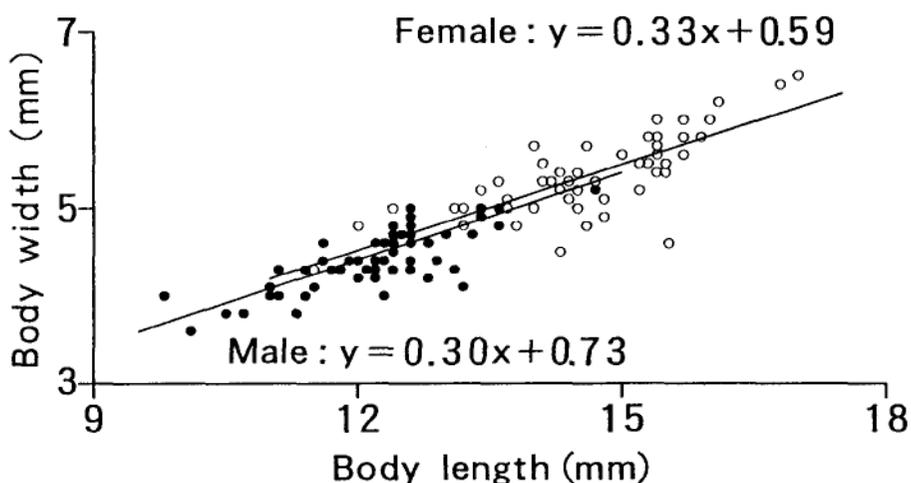


図 1. ゲンジボタルの体長と体幅の関係

雄の集団中に大きな変異が存在している。しかも、小型雄になるか大型雄になるかは、遺伝的条件よりもむしろ幼虫時代の栄養条件に決まることも明らかになりつつある（例えばカブトムシについては、Iguchi, 1998）。本研究で得られたゲンジボタルの変異（図1）を見ると、例えば体長に関して、最小の雌は最小の雄より1.7mm（割合にして約1.17倍）大きく、最大の雌も最大の雄より2.3mm（約1.16倍）大きい。すなわち、雌の集団全体が雄の集団全体より平均的に大きくなっただけで、変動係数の増大は生じていない。このことからゲンジボタルでは、どちらか一方の性で、幼虫時代の栄養条件に依存して極端に大型化したり小型化したりすることはなさそうだと推定される。ただし、このこと確認するためには、栄養条件を変えて幼虫を飼育し、出現する成虫のサイズを調べてみる必要がある。Yuma (1986)によれば、ゲンジボタルは6齢幼虫か7齢幼虫で蛹化するが、雌は雄に比べて7齢幼虫で蛹化する割合がかなり高い。このように幼虫の生活史には雌雄で差があるにもかかわらず、成虫サイズに変動係数が差がないのは興味深い。

図1に体長・体幅の散布図および回帰直線を示す。両性の回帰直線は傾きが有意差がなく（t検定,  $p > 0.5$ ）、しかも平行な別々の直線となった（t検定,  $p < 0.01$ ）。これは両性とも体長に対して同じ割合（約0.3）で体幅が増加すること、同じ体長の個体でも雌のほうが大きな体幅を持つことを意味する。雌が相対的に大きな体幅を持つことは大場

(2001)も指摘しており、ゲンジボタルの形態的特徴のひとつと言える。

雄の回帰直線が、雌の回帰直線の下方に位置する理由は、以下のように説明できるかもしれない。

ゲンジボタル雄では、その生活史において、浮遊するように飛翔することが重要な行動要素である。そのためにはサイズを小さくしながらも、羽を相対的に長くする必要がある。その結果、雄は相対的に体幅が小さくなり、回帰直線は下方にずれるであろう。中田中学科学クラブ（1976）によると、ゲンジボタルの単位体重当たりの上翅下翅の面積和は雄の

方が大きい。これは本研究の結果と矛盾しない。

一方、雌は雄に比べて飛翔することが少なく、むしろ体内の卵数を多くすることが重要となる。そのためには飛翔能力を多少犠牲にしてもサイズを大きくする必要がある。その結果、相対的に体幅が大きくなり、回帰直線は上方にずれるであろう。勝野（1968）によると、雌はサイズが大きいかほど産卵数が多い。これは本研究の結果からも推察される。

体長と体幅の平均値には有意な性差が認められたが、両性の回帰直線の傾きはほぼ等しい。したがって、どちらか一方の性だけが極端に体型を変化させる利点は無いらしい。

体長と体幅の比（ $R = \text{体幅} / \text{体長}$ ）の変化率は、

$$\text{雄} : dR/dx = -0.73x^{-2}$$

$$\text{雌} : dR/dx = -0.59x^{-2}$$

これは、両性とも体長増加に伴い体幅/体長比が減少する、つまり体が細長くなることを意味する。一方、アロメトリー式は

$$\text{雄} : y = 0.55x^{0.83}$$

$$\text{雌} : y = 0.53x^{0.86}$$

両式とも指数部（相対成長係数） $< 1$ より、 $R$ の変化同様、両性とも体が細長くなる傾向を示す。アロメトリー式を両対数変換して一次関数を雌雄間で比較すると有意差はなかった（ $p > 0.5$ ）。雌雄いずれも小型個体から大型個体まで同一のアロメトリー関係を示した。これは、雄でも雌でもほぼ同じ割合で体長に対する体幅の変化が生じていることを意味する。以上の結果は、両性とも体の大型化に伴う体重増加を極力避けて体幅増加を抑制していることを示唆する。これは個体の飛翔能力と関連していると予想されるが、それを確認するためには、体長（あるいは体幅）と上翅・下翅の面積の関係を調べる必要がある。

#### 4. 引用文献

- Eberhard, W. G. 1980, Horned beetles. *Sci. Am.*, **242**: 124-131.  
 Gould, S. J. 1966, Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biol. Rev.* **41**: 587-640.  
 林長閑 1987, ミヤマクワガタ. 文一総合出版.

- Iguchi, Y. 1990, Horn dimorphism of *Allomyrina dichotoma septentrionalis* (Coleoptera: Scarabaeidae) affected by larval nutrition. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, **91**: 845-847.
- Iguchi, Y. 2001, Seasonal variation in adult body size in the firefly *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae). *Ent. Rev. Japan*, **56**: 35-38.
- 勝野重美 1968, 辰野のホタルと人工孵化養殖. 昆虫と自然, **3**(6): 13-17.
- 近 雅博 1998, コガネムシ上科の雄の角の二型と代替戦術. 昆虫と自然, **33**(8): 8-11.
- Krebs, J. R. and Davies, N. B. 1981, An introduction to behavioural ecology. Blackwell Scientific Publications.
- 三石暉弥 1988, ゲンジボタル. 信濃毎日新聞社.
- Ohba, N. 1984, Synchronous flashing in the Japanese firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae). *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.*, (32): 23-33.
- 大場信義 1988, ゲンジボタル. 文一総合出版.
- 大場信義 2001, ゲンジボタルの形態と発光パターンの地理的変異. 横須賀市博研報, (48): 45-89.
- Sokal, R. R. and Rolf, F. J. 1981, Biometry, 2nd ed. W. H. Freeman & Co..
- 富山県高岡市立中田中学校科学クラブ 1976, ゲンジボタルの研究. 上記の三石 (1988) p. 57 より引用.
- Yuma, M. 1981, The body size variations of the climbing larvae of the firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae). *Jap. J. Ecol.*, **31**: 57-66.
- Yuma, M. 1986, Growth and size variations in the larvae of *Luciola cruciata* (Coleoptera: Lampyridae) in relation to the egg size. *Physiol. Ecol. Japan*, **23**: 45-78.
- Zar, J. H. 1996, Biostatistical analysis, 3rd ed. Prentice Hall.