

ヘイケボタル(*Luciola lateralis*)の休眠と有効積算温度関口伸一¹,山本雅道²¹海城中学高等学校,²信州大学山岳科学総合研究所Diapause & thermal constant of firefly(*Luciola lateralis*)S. Sekiguchi¹& M. Yamamoto²¹Kaijo Junior & Senior High School & ²Institute of Mountain Science, Shinshu University

摘要

ヘイケボタル(*Luciola lateralis*)は日本各地に生息しており,生息環境の保全活動などが行われている.ヘイケボタルの生活史の推定に必要な,発育零点,有効積算温度,休眠の有無,低温による休眠覚醒を飼育実験により明らかにした.その結果,ヘイケボタルの卵から三齢までは発育速度と飼育温度に強い正の相関が見られたが,四齢では強い負の相関となった.このことから,ヘイケボタル幼虫は四齢で休眠すると考えられた.また,休眠開始には日長が関与しない可能性があり,休眠の覚醒には90日程度の10℃以下の低温期間が必要である事がわかった.

Abstract

Luciola lateralis inhabits the various parts of Japan and their habitats are conserved. In this paper we show the threshold of development, thermal constant, diapause presence and breaking diapause caused by the low temperature, by a breeding experiment. These are necessary in guessing a life cycle of *L. lateralis*. As a result, there is a strong positive correlation between the velocity of development (1/Days) and temperature, at egg, 1st, 2nd and 3rd instar. On the other hand, there is strong negative correlation at 4th instar. It's indicates that *L. lateralis* larva had diapause at 4th instar. In addition, it is considered that photo period did not participate in a diapause start. The 4th instar of *L. lateralis*, it was thought that the diapause breaking occurred because of low temperature less than 10℃ of 90 days.

キーワード: 発育零点, 生活史, 生活環, 適応, 保全

Keywords: Threshold of development, Life history, Life cycle, Adaptation, Conservation

はじめに

ヘイケボタル(*Luciola lateralis* Motsulsky)は,九州, 四国,本州,北海道など日本中に広く生息している(大場,1986).生息環境は主に水田,流れの緩やかな水路,小川や湿地などの止水帯である.日本の夏の風物詩として人気があり,長野県松本市(上條ら,2005),広島県東広島市(佐々木ら,2009),神奈川県横須賀市や東京都目黒区(大場,2004)など,日本各地でヘイケボタルとその生息環境を保全する活動が行われている.こうした活動をしていくためには,ヘイケボタルの生態や生活史に合わせた保全策をとることが効果的であり,必要とされている.

ヘイケボタルの生態について,南(1966)は,幼虫は水中で主に淡水巻貝を捕食し,4回脱皮して終齢となり,上陸し土の中で蛹になるとしている.

また,ヘイケボタルの生活史は地域によって異なっており,本州では1年1化であるが,北海道では2年1化であると報告されている(大場ら,1993).この違いは,ヘイケボタルの生息場所の水温が関係していると考えられている(大場,1986).

昆虫の生活史(齢進行等)の推定には有効積算温度が用いられ,坂巻ら(2003)はトマトハモグリバエを,梅谷・山田(1973)はコナガの有効積算温度を算出し,生活史の考察を行っている.

また,内田(1957)は78種の昆虫の発育零点を報

告し,温度と昆虫の生活史の関係を明らかにしている.ヘイケボタルにおいても有効積算温度を明らかにすることが,生活史を解明する手がかりになると考えられる.

ヘイケボタルの休眠について,古河(2014)は,ヘイケボタル幼虫が冬期にも活動していることから,休眠ではなく休止であると述べているが,金・金(2000)は,幼虫を低温にさらすことで,休眠が覚醒されることを報告しており,ヘイケボタルの休眠の有無,休眠を起こす要因やその覚醒条件が注目されている.

本研究では,ヘイケボタルの生活史の推定に必要な卵や幼虫の有効積算温度を様々な温度条件で飼育し,算出することを目的としている.

また,休眠の有無や日長が休眠に与える影響,休眠の覚醒に必要な低温とその期間を明らかにすることも目的としている.

方法

飼育条件

2005年7月中旬に長野県松本市里山辺地区で採取したヘイケボタル成虫から,関口・山本(2014)に基づいて採卵し,幼虫の飼育を行った.

幼虫飼育は,明期を14時間,暗期を10時間(以下14L10Dのように表記する)とし,水温24°C,22°C,20°C,18°C,16°C,14°Cの恒温器の中で飼育した.明暗期12L12Dでは,23°C,20°C,17°C,14°Cの条件下で飼育した.

恒温器内には温度ロガー(HOBO,ペンダントロガー)を入れ,飼育期間の温度の平均値を計算し発育零点や有効積算温度の算出を行った.

飼育は採卵順に行い,それぞれの日長・温度条件下で130~200個程の卵を使用した.

飼育期間は,明暗期が14L10Dの条件と12L12Dの23°Cでは190日間であった.12L12Dの20°C,17°Cでは75日間,14°Cは105日飼育した.

各発育段階の期間の求め方

各発育段階の期間は,求める発育段階が終わるまでの平均日数から前成長段階が終わるまでの日数の平均を引いて求めた.すなわち,卵期間は平均孵化日数で,一齢期間は一齢が終わるまでの平均日数から平均孵化日数を引いて求めた.二齢,三齢,四齢,終齢についても同様に求めた.

発育零点および有効積算温度の算出

各発育段階の有効積算温度は有効積算温度則に従い以下の式で算出した.

$$K = D \times (t - t_0)$$

Kを有効積算温度とし,Dは発育日数,tは飼育温度,t₀は発育零点である.

発育零点は,発育速度が0になるときの温度で,発育日数の逆数,1/Dと定義されている.これは,発育速度と飼育温度の関係の回帰直線から求めた.

低温による休眠覚醒の実験

2006年7月中旬に長野県松本市里山辺地区の水田で採取したヘイケボタルから採卵し,孵化後上径6cm,下径4.5cm,高さ3.5cmのプラスチック容器に入れ,20°Cの恒温器内で,四齢まで単独飼育した.

四齢となってから,5°C,10°Cの低温飼育を行った.10°Cの飼育前には14°Cで3日間,5°Cで飼育する場合は,14°Cで3日,10°Cで3日間温度馴化飼育を行った.低温での飼育終了後,再度温度馴化飼育を行い20°Cで単独飼育した.これらから四齢の期間を調べた.

Table1. Mean days of *L.lateralis* developmental stages at various temperatures & two photoperiods.

Photoperiod	Temperature(°C)	Days of eggs	Days of larvae				
			1st instar	2nd instar	3rd instar	4th instar	Last instar
14L10D	24	22.0 (155)	13.0 (117)	8.9 (116)	12.3 (105)	89.7 (40)	2.3 (11)
	22	32.3 (51)	20.3 (24)	10.5 (24)	13.6 (24)	67.1 (15)	
	20	30.1 (142)	17.2 (124)	14.6 (124)	17.5 (102)	67.0 (78)	5.4 (38)
	18	33.6 (145)	21.1 (126)	17.8 (126)	18.4 (102)	38.5 (73)	31.1 (47)
	16	38.5 (152)	29.0 (130)	30.9 (130)	29.8 (89)	31.4 (66)	
	14	58.2 (104)	58.2 (45)	32.0 (22)	19.2		
12L12D.	23	29.3 (71)	14.0 (55)	10.1 (55)	10.7 (47)	61.7 (19)	
	20	30.9 (198)	17.1 (183)	14.4 (110)	17.1 (60)		
	17	31.0 (133)	20.0 (113)	19.8 (62)			
	14	58.2 (101)					

* () shows number of individuals.

結果

飼育結果

Table1 に各発育段階の平均期間と期間測定に使用した個体数を示した。

卵期間,一齢期間,二齢期間,三齢期間は,温度が高いほど短くなった.四齢期間は,他の発育段階と異なり,温度が高いほど長くなった.終齢の期間は,温度が高いほど終齢期間が短い傾向が見られたが,上陸個体が少ないため,実際の期間より短くなっている可能性がある.蛹期間は,1匹のみの確認であるが,16日間であった。

日長の違いと発育期間

20°Cの卵の期間は14L10Dで30.1日,12L12Dで30.9日,一齢期間は14L10Dで17.2日,12L12Dで17.1日,三齢期間は14L10Dで14.6日,12L12Dで14.4日であった。

また,14°Cでの卵期間は,14L10D,12L12Dともに58.2日であり,卵から三齢幼虫には日長の違いによる発育期間の違いは見られなかった。

発育零点と有効積算温度の算出

卵から四齢の飼育温度と各発育段階の発育速度(期間の逆数)の関係を調べたところ,卵,一齢,二齢,三齢では,強い正の相関が見られた(Fig.1)。

一方,四齢では,発育速度と飼育温度の間で強い負の相関が得られた(Fig.2)。

発育零点は卵で7.3°C,一齢で9.6°C,二齢で11.5°C,三齢で10.7°Cであった.四齢では,発育速度と飼育温度で負の相関となり,有効積算温度則による発育零点や有効積算温度は算出できなかった。

以上で求めた発育速度と飼育温度の回帰式から算出した発育零点と有効積算温度をTable2に示した。

Table2. Regression of velocity of development (V) at each stage to temperature(T) for *L.lateralis*, correlation coefficient, temperatures, threshold of development and thermal constant.

Stage	Regression equation	Correlation coefficient (r ²)	Temperature (°C)	Threshold of development(°C)	Thermal constant (degree-days)
egg	V=0.0027T-0.0196	0.9296	23.6, 19.8, 19.8, 17.8, 17.1, 15.9, 14.1, 14.0	7.3	361.9
1st instar	V=0.0057T-0.055	0.9431	23.6, 23.1, 19.8, 19.8, 17.8, 17.1, 15.9, 14.1	9.6	186.0
2nd instar	V=0.0088T-0.1012	0.9651	23.6, 21.5, 19.8, 17.8, 15.9, 14.1, 23.1, 19.8, 17.1	11.5	112.4
3rd instar	V=0.0068T-0.0733	0.9154	23.6, 23.1, 21.5, 19.8, 19.8, 17.8, 15.9	10.7	148.5
4th instar	V=-0.0024T+0.0678	0.8391	23.6, 21.5, 19.8, 17.8, 15.9, 23.1	-	-

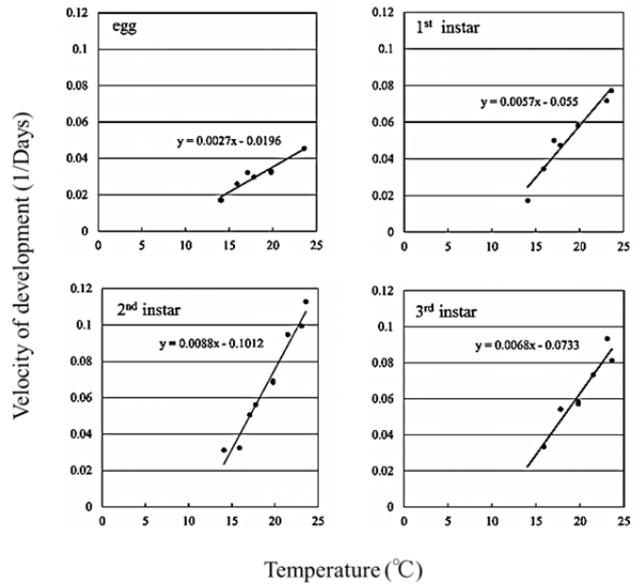


Fig.1. Relationship between velocity of development (1/Days) and temperature of egg, 1st instar, 2nd instar and 3rd instar of *L.lateralis*.

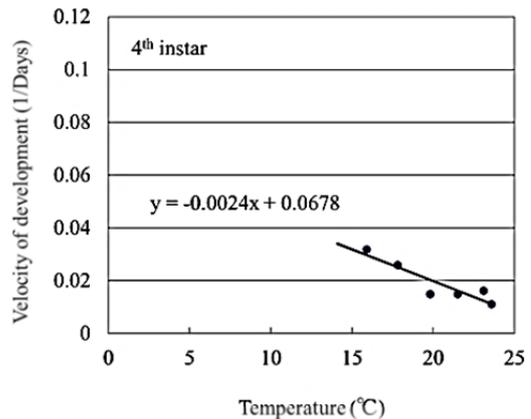


Fig.2. Relationship between velocity of development (1/Days) and temperature of 4th instar of *L.lateralis*.

有効積算温度は卵で 361.9°C・日,一齢は 188.0°C・日,二齢は 112.4°C・日,三齢は 148°C・日であった。

低温処理した四齢幼虫の飼育期間

四齢の期間に低温処理を行わなかった場合,四齢の期間は 126±49 日であった.低温処理を 10°C で 30 日間行った場合は,84±26 日, 10°C 60 日間は 82 日±26 日, 10°C 90 日間は 71±32 日, 5°C 30 日間は 124 日±27 日, 5°C 60 日間は 77±38 日, 5°C 90 日間は 81±26 日となった。

四齢の期間は,低温処理の温度と期間で有意な違いが見られた.(Kruskal-Wallis test, 自由度 6, $P < 0.01$).これらのうち, 5°C 90 日と 10°C 90 日は低温処理をしなかったものに比べ,四齢期間が有意に短くなっていった(Fig.3, Steel test, $P < 0.05$).

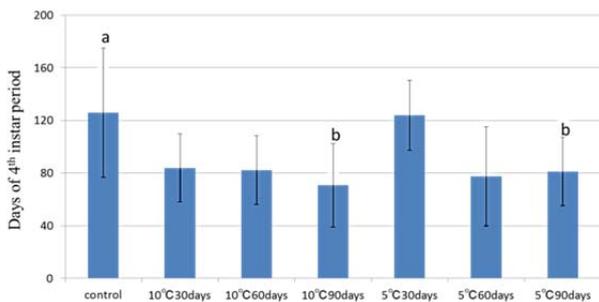


Fig.3. Days of 4th instar periods of *L.lateralis* after two low-temperatures treatment at various days. There is significantly different between a and b (Steel test, $P < 0.05$).

考察

休眠の有無

卵から三齢までは発育速度と飼育温度の間に強い正の相関がみられたが,四齢では強い負の相関となった.これらは,ドウガネブイブイの発育段階における発育速度と飼育温度の関係でも見られ,卵から三齢前期までは正の相関であるが,三齢の後期の黄熟期では,負の相関となる.成長が速い個体が積極的に休眠を行うためであると考えられている(Fujiyama and Takahashi, 1973a).

ヘイケボタルの四齢幼虫でも発育速度と飼育温度に負の相関が見られたことから,ヘイケボタルの幼虫は四齢で休眠すると考えられる。

藤山(1991)は,昆虫の休眠の意義として,生活環を季節変化に同調させることを挙げている.ヘイケボタル成虫の野外での寿命は約 7~8 日である

(三石,1996・上條ら,2005).休眠性を持ち,生活環を揃えることで,成虫の発生時期を揃え,短い成虫期間での雌雄の交配の確率を上げている可能性が考えられる。

また,藤山(1991)は,休眠の意義として低温,高温などの不適な物理環境に耐える能力をつけることも挙げている.昆虫は越冬する際に休眠をするものが多いと言われている(石井,1988).休眠現象は温帯地方の昆虫にみられる越冬のための適応現象であると言われる(岸野,1970).そのため,越冬齢と休眠齢は一致することが考えられる。

ヘイケボタルはほとんど四齢で越冬する(東京ゲンジボタル研究所,2004)とされるが,四齢と終齢で越冬する滋賀県守山の例(南,1966),終齢で越冬する神奈川県三浦半島の例(大場,1986)が報告されている.長野県では,三齢と四齢で越冬する(三石,1996)と報告されている。

本研究ではヘイケボタルは四齢で休眠すると考えられたが,環境条件により休眠齢は異なる可能性がある.これは,コガネムシ類など温度の安定している土中で越冬するものは,休眠の発育段階が様々であること(藤山,1991)と同様に,土中や水底などの温度が安定している場所で越冬する(三石,1996)ヘイケボタルは,休眠齢に融通性がある可能性が考えられる。

日長が休眠開始に与える影響

昆虫の休眠は,日長により引き起こされると言われている(Danilevskii,1966).その例として,ニカメイチュウ(岸野,1969)やアメリカシロヒトリ(伊藤,1972)があげられる。

一方,コガネムシ類は,日長に関係なく,発育が進んだ個体から休眠を開始することが知られており,休眠に日長が影響しないと報告されている(Fujiyama and Takahashi, 1973b・藤山,1991)).

14L10D と 12L12D の異なる日長条件下飼育したが,卵から三齢までの期間に日長の違いが発育期間に影響を与えることはなく,どちらの日長条件下でも四齢で休眠していたので,ヘイケボタルでは,日長は休眠に影響していないものと考えられる。

低温による休眠覚醒

ヘイケボタルの二齢幼虫の発育零点は,11.5°C,三齢幼虫の発育零点は 10.7°Cであることから,実

験のために設定した 5°C と 10°C は四齢幼虫の発
育零点以下であったと推測される

四齢幼虫を 5°C と 10°C で 90 日間低温処理を行
った場合、四齢期間が低温処理を行わなかった場
合と比べ、有意に短くなっていた。金・金(2000)は、
ヘイケボタルの終齢幼虫を 2.5°C 90 日間の低温飼
育により休眠覚醒がおこると報告している。これ
らの事より、ヘイケボタルの休眠覚醒には 10°C 以
下の低温期間が 90 日以上あることが必要である
と推定される。

おわりに

本研究により、ヘイケボタルの発育零点や有効
積算温度が明らかになった。また、低温による休眠
覚醒が明らかになったことにより、野外のヘイケ
ボタル成虫の発生時期や生息地の水温からヘイケ
ボタルの生活史を推測することができるであ
ろう。

なお、本研究は、関口伸一の信州大学理学部物質
循環学科卒業論文「長野県松本市の水田における
ヘイケボタル(*Luciola lateralis*)の生活史」(2006)、
及び信州大学工学系研究科地球生物圏科学専攻
修士論文「長野県松本市におけるヘイケボタル
(*Luciola lateralis*)の生活史」(2008)の一部をまと
めたものである。

本研究を行うにあたり、多くのアドバイスや支
援をしてくださった藤山静雄氏、上條慶子氏に感
謝の意を表す。

引用文献

- Danilevskii, A. S.(1961) 昆虫の光周性(日高・正木訳
,1966).293pp. 東大出版会, 東京.
- Fujiyama, S. and Takahashi, F.(1973a) Studies on the self-
regulation of life cycle in *Anomala cuprea* Hope
(Coleoptera; Scarabaeidae) 1.The effects of constant
temperature on the developmental stages. *Memoirs of the
College of agriculture, Kyoto University*, 104:23-30.
- Fujiyama, S. and Takahashi, F.(1973b) Studies on the
self-regulation of life cycle in *Anomala cuprea* Hope
(Coleoptera; Scarabaeidae) 2.The effects of low
temperature and photoperiod on The induction and
termination of the larval diapause. *Memoirs of the
College of agriculture, Kyoto University*, 104:31-39.
- 藤山静雄(1991). コガネムシの越冬戦略. 昆虫と自然,

26(13) : 20-26.

- 古河義仁(2014) ホタル百科事典:「ホタルの生息環境6.ヘイ
ケボタルの生態と生息環境」
http://www.tokyo-hotaru.com/jiten/heike_hotaru.html
- 石井実 (1988) 生活史と行動, 第3章1化性昆虫の季節学.
名筋房夫 編. 66-108. 冬樹社, 東京.
- 伊藤嘉昭 編(1972) アメリカシロヒトリ, 中央公論社.
185pp.
- 上條慶子・関口伸一・藤山静雄・山本雅道(2005) 松本市庄
内の都市計画に伴うヘイケボタル水路移転の試み.
信州大学環境科学年報, (27):75-81.
- 金三銀・金鍾吉(2000) 低温処理によるヘイケボタル
(*Luciola lateralis*)の休眠打破. 全国ホタル研究会誌,
33:35-38.
- 岸野賢一(1969) ニカメイチュウの休眠誘起に及ぼす日長
および温度の影響(1). 日本応用動物昆虫学会,
13(2):52-60.
- 岸野賢一(1970) ニカメイチュウにおける休眠と発育の地
域性. 日本応用動物昆虫学会, 14(1):1-11.
- 南喜市郎(1966) ホタルの研究. 185pp. 太田書店, 彦
根.(1973. 復刻版 サイエンス社, 東京.)
- 三石暉弥(1996) 人里の可憐な昆虫 ヘイケボタル, ほおず
き書籍. 東京.
- 大場信義(1986) ヘイケボタルの生活. *インセクトarium*,
23(6):4 - 10.
- 大場信義・圓谷哲男・本多和彦・村田省平・大森雄治(1993)
北海道釧路湿原と厚岸のヘイケボタルの生態. 横須
賀市博物館報告(自然),(41):15-26.
- 大場信義 編著(2004) だれにでもできるホタル復活大作
戦. 合同出版, 東京.
- 関口伸一・山本雅道 (2014) ヘイケボタルの飼育法及び齡
の測定法. 信州大学環境科学年報,(36).
- 坂巻祥孝・遅玉成・櫛下町鉦敏(2003) トマトハモグリバエ
(*Liriomyza sativae*)の発育零点と有効積算温度. 鹿児島
大学農学部学術報告, 53:21-28
- 佐々木晶子・小倉亜紗美・福田栄二(2009) 住民参加による
ホタル再生に向けた地域環境の現状評価. 広島大学
総合博物館研究報告(1): 71-76.
- 東京ゲンジボタル研究所(2004) ホタル百科. 52-54. 丸善株
式会社, 東京.
- 内田俊郎(1957) 昆虫の発育零点. 京都大学農学部昆虫学研
究室業績,286:46-53.
- 梅谷献二・山田偉雄(1973) コナガの発育零点と発育有効積
算温度, およびその地理的差異. 日本応用動物昆虫学
会誌,17(1):19-24.

(原稿受付 2014. 4. 6)