

## 福島県の池沼から発見されたヒメシロカゲロウ属の一種 (カゲロウ目:ヒメシロカゲロウ科)の生態

増渕翔太 (福島大学大学院・共生システム理工学研究科)・  
塘 忠顕 (福島大学共生システム理工学類)

### 要 旨

福島県の池沼から未記載種であると考えられる大型のヒメシロカゲロウ属の一種(カゲロウ目:ヒメシロカゲロウ科)の生息が確認された。日本におけるヒメシロカゲロウ属の生態に関する研究の第一歩として、その生態(羽化時季,羽化時間帯,寿命等)に関する研究を行った。その結果,本種の寿命は60分未満とカゲロウ目の中でも最短であること,羽化時間帯は日没後約1時間以内に限定されること,地域によって化性が異なることなどが明らかとなった。また,1化目の羽化時季は発育ゼロ点よりも高い水温での成長停止と低い水温による羽化抑制が関わっている可能性が示唆された。

### I. はじめに

ヒメシロカゲロウ科はニュージーランドと海洋島を除く世界中に広く分布しており,21属を含んでいる(Soldán, 1986; Malzacher, 1997, 2009a, 2009b; Malzacher and Staniczek, 2006; Sun and McCafferty, 2001; Suter, 1999)。幼虫は第1鰓が棍棒状で,第2鰓が方形で第3-6鰓を覆うこと(御勢, 1980),成虫は後翅がなく,雄の把持子は1節よりなる特徴的な形態を示すこと(川合・谷田(共編), 2005),などの特徴によって他科のカゲロウ類との区別は容易である。ヒメシロカゲロウ属は170種を含むヒメシロカゲロウ科最大の属であり,オーストラリア区を除く世界中に広く分布している。ヒメシロカゲロウ属の幼虫は以下の特徴を持つことで,ヒメシロカゲロウ科の他属とは区別される(Malzacher, 1995, 2009a):頭部に小突起,隆起部を欠き,頭盾は前方に突出せず,小顎鬚,下唇鬚はそれぞれ3節からなる。前肢脛節と付節に長毛を欠き,腿節の長さはその幅よりも長く,腿節は脛節よりも太い。第2鰓の腹面に規則的に配置された微毛があり,第3-5鰓にある多数の糸状体は3-4分岐し,腹部側縁の刺状突起は背側に曲がらない。成虫は触角第2節の長さが第1節のその2倍で,前胸腹板の幅は狭く,その形態は三

角形か台形,中胸背板には横方向の隆起部がある。腹部には短い側方突起があり,雄の腹部第9節には亜生殖板(stylicher)があり,把持子に溝を欠く。

東アジアに生息する種については,日本から4種(御勢, 1958; 朝比奈ら(監修), 1965; Malzacher, 1996; 川合・谷田(共編), 2005),韓国から3種(Hwang and Bae, 1999),中国から8種(Tong and Dudgeon, 2002; Zhou and Zheng, 2004),台湾から8種(Kang and Yang, 1994, 1996),極東ロシアから13種(Kluge, 1987, 1997; Malzacher, 1984)が記載されているが,分類学的研究が進んでいるとは言い難い。

上述したように日本からは4種(ビワコヒメシロカゲロウ *Caenis nishinoae*, ヒメシロカゲロウ *Caenis horaria*, ヒメシロカゲロウ属の一種 CA *Caenis* sp. CA, ヒメシロカゲロウ属の一種 CB *Caenis* sp. CB)が記録されているが,成虫と幼虫の関連のついてはものはビワコヒメシロカゲロウとヒメシロカゲロウの2種のみである。ただし,ヒメシロカゲロウは日本の河川に生息しているヒメシロカゲロウ属の種に対してヨーロッパ産の種 *C. horaria* を当てたものであり,日本の河川に広く分布しているヒメシロカゲロウ属の種が本当に *C. horaria* と同一種であるか否かについては精査が必要であると言われている(石綿,

2001). ヒメシロカゲロウ属の一種 CA とヒメシロカゲロウ属の一種 CB は、御勢 (1958) によって未記載のまま記号で区別された種であり、幼虫の形態的特徴のみが知られている。また、日本産ヒメシロカゲロウ属については生活史や化性等の生態学的研究もまったく進んでいない。

筆者らは福島県裏磐梯地域の池沼から終齢幼虫の

体長が 5.8-8.1 mm に達する大型のヒメシロカゲロウ属の一種の生息を確認した (増淵・塘, 2014). また、同一種が福島市土湯温泉町の照南湖にも生息していることを確認した (増淵, 未発表). そこで本研究では、日本産ヒメシロカゲロウ属の生態に関する研究の第一歩として、裏磐梯地域のレンゲ沼及びその周辺と福島市土湯温泉町の照南湖にて本種の羽化時季、

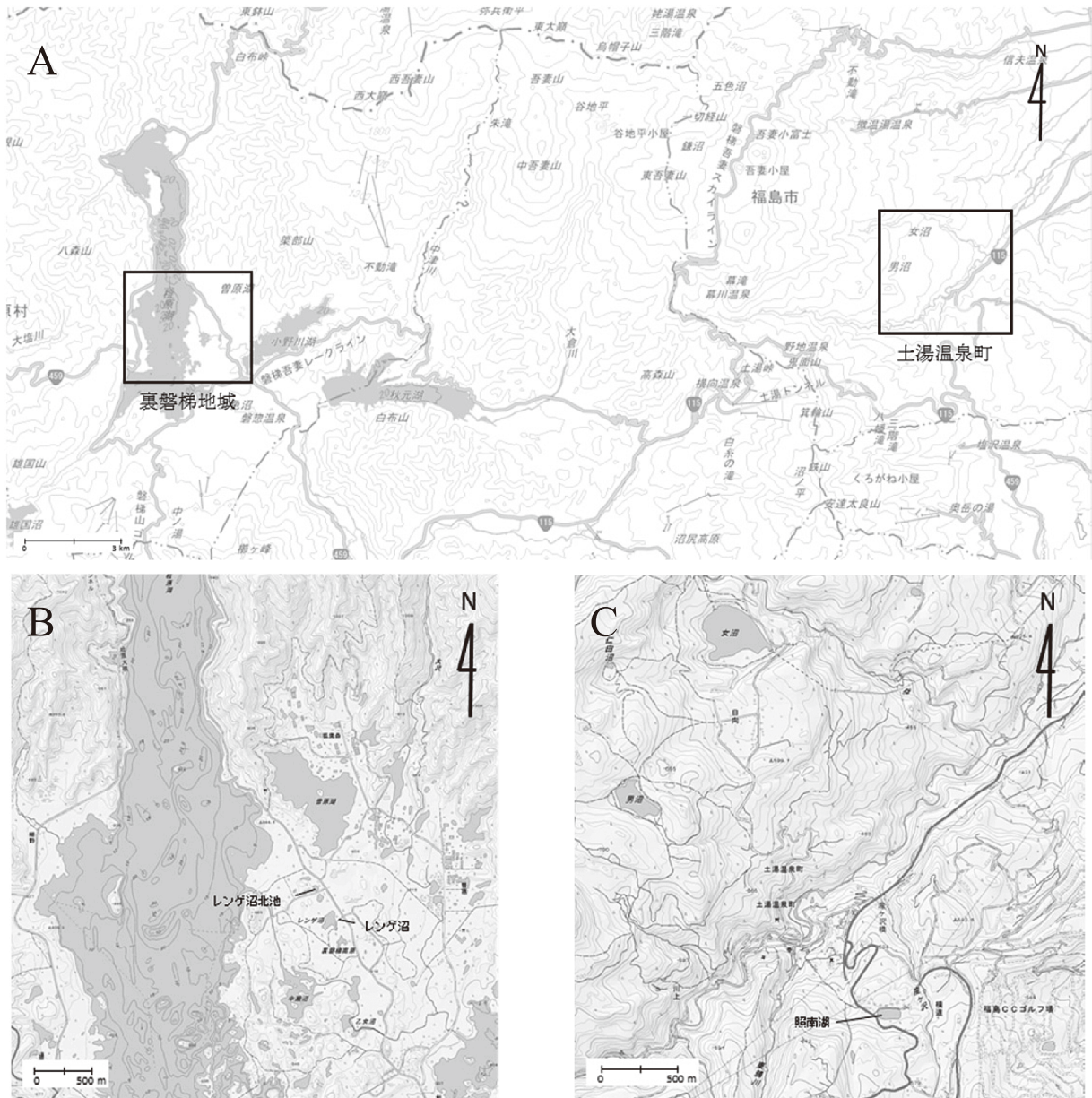


図 1. 調査地位置図

A は調査地全体図, B は裏磐梯地域, C は土湯温泉町である.

羽化時間帯等の生態的特徴に関する調査を実施した。

## II. 調査地および調査方法

### 1. 調査地概要

羽化時季、羽化時間帯、生活史などに関する調査は、福島県裏磐梯地域のレンゲ沼、レンゲ沼北部にある池（以下、レンゲ沼北池とする）（図 1B）と福島市土湯温泉町付近の照南湖（図 1C）で行った。

レンゲ沼は桧原湖の東側、標高 825 m の場所に位置する面積約 0.76 ha の池沼である（図 1B）。北岸付近と南東岸付近には抽水植物が生育し、夏季には水面のほとんどが浮葉植物で覆われる。底質は礫質であるが、その上に落葉落枝等の植物遺骸が堆積している。レンゲ沼北池は上述したレンゲ沼の北西側、標高 827 m の場所に位置する面積約 0.2 ha の通称の定まっていない小さな池沼である（図 1B）。南岸付近と東岸付近には抽水植物が生育し、夏季には水面の約 30%が浮葉植物で覆われる。底質は礫質であるが、その上に落葉落枝等の植物遺骸が堆積する。

照南湖は旧国道 115 号線沿いにある面積約 1 ha の池沼である（図 1C）。昭和 40 年代前半までは福島県営のスケート場として利用され、2009 年以降にスイレンが意図的に植栽されるなど人為的攪乱が大きい水域である。西岸付近には浮葉植物（スイレン）、東岸付近には抽水植物が生育し、夏季には水面の約 30%がスイレンで覆われる。底質は泥質で、落葉落枝等の植物遺骸が堆積している。

### 2. 調査方法

化性推定のための幼虫の採集調査はレンゲ沼北池と照南湖にて、メッシュサイズ 1 mm、フレーム幅約 20 cm の水生昆虫用掬い網（HOGA 社製）を用いて 30 cm×30 cm の区画 3 ヶ所の底質を採取することによって定量的に実施した。採取した底質を 70%エタノールで固定して研究室に持ち帰り、底質中から本種の幼虫を選別した。カゲロウ類やトビケラ類の生活史は幼虫の頭幅の測定結果に基づいて推定する場合が多いため（cf. González et al., 2001; 御勢, 1970）、

選別した幼虫の頭幅を実体顕微鏡の接眼マイクロメーターを用いて測定した。また、各月の幼虫の頭幅の平均値に有意差があるか否かはマン・ホイットニーの *U* 検定を用いて検定した。

幼虫の定量的な採集調査は、レンゲ沼北池と照南湖で 2014 年 4 月から 10 月までの間に 7 回（4 月 26 日、5 月 27 日、6 月 28 日、7 月 24 日、8 月 22 日、9 月 28 日、10 月 25 日）、それぞれ実施した。

水生昆虫の発育や成長に大きな影響を及ぼす環境要因は水温（積算温度）であることが知られている（御勢, 1970）。そこで、レンゲ沼北池と照南湖ではデータロガー（Tidbit v2, Onset 社製）を用いて、2013 年 10 月 29 日から 2014 年 11 月 1 日までの水温を 1 時間に 1 回ずつ連続水温として測定した。

羽化時季の推定と羽化時間帯確認のための成虫の採集調査はレンゲ沼と照南湖にて、ライト・トラップによって実施した。ライト・トラップの光源として 4W の蛍光管を 2 本使用したランタン（Logos 社製）を 3 個使用した。両地域では日没時刻から約 1 時間 30 分から 2 時間後までライトを点灯させ、160 cm×160 cm×180 cm のテント型白幕の幕上に飛来した個体を採集し、個体数を計数した。日没時刻は国立天文台の公表データを参照した（<http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/dni07.html>）。

ライト・トラップによる成虫の調査はレンゲ沼で 2014 年 6 月から 9 月までの間に 6 回（6 月 17 日、7 月 3 日、15 日、28 日、8 月 18 日、9 月 20 日）、照南湖で 2014 年 5 月から 9 月までの間に 10 回（5 月 10 日、28 日、6 月 10 日、16 日、7 月 2 日、23 日、8 月 6 日、22 日、9 月 12 日、27 日）、それぞれ実施した。

羽化様式と亜成虫・成虫の寿命確認のため、ライト・トラップ実施時に両地域で羽化直前の終齢幼虫を採集し、羽化の観察、亜成虫期間と成虫期間の計測を現地で実施した。現地で羽化しなかった幼虫については研究室に持ち帰り、研究室にて観察と計測を実施した。



### III. 結果

#### 1. 幼虫の生長

レンゲ沼北池における定量的な調査結果に基づく幼虫の頭幅の頻度分布の月別変化を図2Aに示した。幼虫の頭幅は4月下旬から夏季に向かって大きくなり、頭幅1 mmを超える老齢幼虫は5月下旬から採集され始めた。翅芽が黒く色付く終齢幼虫は6月下旬に最も多く採集されたが、8月下旬まで確認できた。7月下旬の調査時に初めて採集された若齢幼虫の頭幅は秋季に向かって大きくなったが、9月下旬の頭幅（平均値±標準偏差,  $0.707 \pm 0.105$  mm,  $N=78$ ）と10月下旬のそれ（ $0.716 \pm 0.089$  mm,  $N=348$ ）との間で有意な差は認められなかった（ $U$ 検定： $U=12453$ ,  $p > 0.05$ ）。

照南湖における定量的な調査結果に基づく幼虫の頭幅の頻度分布の月別変化を図2Bに示した。4月下旬に採集された幼虫の頭幅は、5月下旬にはさらに大きくなり、終齢幼虫も採集されたが、6月下旬には幼虫が確認できなかった。7月下旬には頭幅が小さい個体（ $0.867 \pm 0.122$  mm,  $N=66$ ）（若～中齢幼虫）と大きい個体（ $1.091 \pm 0.050$  mm,  $N=9$ ）（老齢幼虫）が認められ、この傾向は8月下旬にも確認できた（若～中齢幼虫： $0.628 \pm 0.068$  mm,  $N=18$  と老齢幼虫： $1.087 \pm 0.081$  mm,  $N=3$ ）。8月下旬に採集された若齢幼虫の頭幅は秋季に向かって大きくなり、10月下旬の頭幅（ $0.922 \pm 0.07$  mm,  $N=26$ ）は9月下旬のそれ（ $0.815 \pm 0.111$  mm,  $N=28$ ）より有意に大きかった（ $U$ 検定： $U=215$ ,  $p < 0.01$ ）。

#### 2. 成虫の羽化時季・時間帯, 羽化様式と寿命

ライト・トラップによって本種の成虫が採集されたのは、レンゲ沼では2014年7月3日と7月15日で、合わせて♂20個体（表1）、照南湖では2014年6月10日と6月16日で、合わせて♂180個体, ♀1個体, そして8月6日と8月22日で、合わせて♂811個体, ♀16個体（表2）であった。ライトへの本種成虫の飛来はレンゲ沼では日没後27-65分の間（表1）、照南湖では日没後23-74分の間（表2）に限定さ

れた。

本種の羽化様式は水面羽化で、羽化に要する時間は一瞬で、亜成虫が成虫への脱皮に要する時間は3分未満であった。亜成虫に羽化した後、成虫への脱

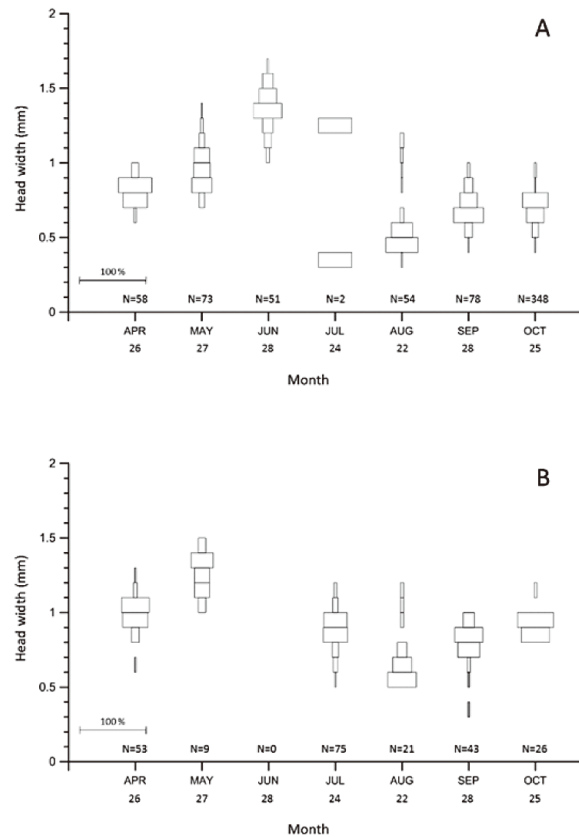


図2. レンゲ沼北池と照南湖におけるヒメシロカゲロウ属の一種の幼虫の頭幅の頻度分布の月別変化

レンゲ沼北池 (A) と照南湖 (B) における定量的な調査結果に基づく幼虫の頭幅の頻度分布の月別変化を示した。縦軸に頭幅, 横軸に調査日を取り, 横軸上の数字はその月の調査日に採集された個体数を示している。ボックスはその頭幅範囲の個体数の割合を示しており, 各月の調査日のボックスの割合を合計すると100%になる。

皮までは同じ場所に静止したまま動かなかったが, 成虫への羽化後は頻繁に飛行を繰り返した。亜成虫期間は♂が8-9分 ( $N=3$ ), ♀が6分 ( $N=1$ ), 成虫へと羽化した個体が飛行不能になるまでの時間（繁殖

可能時間)は♂が46-57分(N=3), ♀が19-30分(N=3)であり, 成虫が体を動かすことができなくなるまでの時間(成虫期間)は♂が158-163分(N=3), ♀が105-130分(N=5)であった。

表 1. レンゲ沼におけるライト・トラップの結果

Date	Sunset	LT arrival	N
2014/6/17	19:02	—	—
2014/7/3	19:04	19:41-19:57	10♂
2014/7/15	19:00	19:27-20:05	10♂
2014/7/28	18:51	—	—
2014/8/18	18:28	—	—
2014/9/20	17:39	—	—

表 2. 照南湖におけるライト・トラップの結果

Date	Sunset	LT arrival	N
2014/5/10	18:36	—	—
2014/5/28	18:51	—	—
2014/6/10	18:59	19:40	1♀
2014/6/16	19:02	19:28-20:07	180♂
2014/7/2	19:04	—	—
2014/7/23	18:55	—	—
2014/8/6	18:42	19:18-19:56	757♂16♀
2014/8/22	18:23	18:56-19:14	54♂
2014/9/12	17:52	—	—
2014/9/27	17:28	—	—

### 3. 水温測定結果

レンゲ沼北池と照南湖に設置したデータロガーによって測定した水温の経時変化を図3に, ロガーに記録された水温データに基づいて算出した両池沼の2013年11月から2014年10月までの各月上旬と下旬の平均水温, 最低水温, 最高水温を表3にそれぞれ示した。

## IV. 考察

### 1. 生活史

裏磐梯地域のレンゲ沼北池に生息する本種の幼虫は, 4月下旬以降, 6月下旬に至るまで頭幅の大きい個体が増加することから, 春から夏にかけて成長す

るものと考えられる。そして, 6月下旬には翅芽が黒く色付く羽化間近な終齢幼虫が最も多く採集されたが, その後8月下旬までの期間, 終齢幼虫は数個体しか採集されなかった(図2A)。ライト・トラップによる採集で成虫が得られたのは, 2014年7月3日と7月15日に限られ(表1), 7月3日以前の調査(6月17日)と7月28日以降の調査では成虫が得られなかった。また, 定性的ではあるが6月28日に幼虫を採集したところ, 終齢幼虫の採集は容易であったが, 7月3日には終齢幼虫が著しく減少しており, 採集は困難であった。これらのことを合わせて考えると, 6月下旬から7月下旬の間にほとんどの個体が羽化したものと考えられる。そして, この羽化個体の産卵した卵に由来すると思われる若齢幼虫が7月下旬から得られ, これらの個体は頭幅の大きさの変化から9月下旬までは成長しているものと考えられた。ところが, 9月下旬と10月下旬に採集された幼虫の頭幅には有意差が認められなかったため, 9月下旬以降は成長が停止するものと考えられる。つまり, レンゲ沼北池における本種は羽化時季が6月から8月で, 6月下旬から7月上旬に羽化の最盛期を迎える年1化の生活史をもつものと考えられる。

一方, 福島市土湯温泉町の照南湖に生息する本種も4月下旬以降幼虫の成長が認められたが, 多くの終齢幼虫が採集される時期は裏磐梯地域よりも1ヶ月早く, 5月下旬であった。ライト・トラップによって成虫が採集されたのも2014年6月10日, 6月16日と裏磐梯地域よりも約1ヶ月早く(表2), 6月下旬には幼虫が採集されなくなった。このことから考えると, 照南湖では6月上旬から中旬に羽化時季があるものと考えられる。羽化が終わった7月下旬には平均頭幅1mm未満の幼虫が多数採集されたが, 同時に平均頭幅 $1.091 \pm 0.050$  mm (N=9)の老齢幼虫も再び採集され, 平均頭幅 $1.087 \pm 0.081$  mm (N=3)の老齢幼虫は8月下旬にも採集された。そして, 2014年8月6日と8月22日のライト・トラップでは両日合わせて♂811個体, ♀16個体の成虫が採集された(表2)。このことは, 照南湖では7月下旬から8月

表 3. 調査池沼における各月上旬と下旬の平均水温（最低水温-最高水温）

		11	12	1	2	3	4
レンゲ沼北池 (裏磐梯地 域)	上	8.603 (5.282-11.2)	3.267 (1.099-4.141)	0.312 (0.163-0.412)	0.311 (0.107-0.356)	0.280 (0.135-0.329)	0.503 (0.135-2.155)
	下	4.872 (2.664-6.661)	0.463 (0.246-1.126)	0.322 (0.107-0.384)	0.268 (0.107-0.356)	0.329 (0.135-0.522)	4.094 (0.439-11.029)
	月	5	6	7	8	9	10
	上	12.016 (9.558-15.079)	18.859 (16.249-21.39)	21.434 (18.129-30.243)	24.205 (20.603-28.667)	20.419 (18.105-22.417)	15.220 (12.413-19.318)
	下	14.331 (9.879-21.485)	20.780 (16.882-30.571)	21.421 (18.628-24.026)	23.155 (19.793-27.087)	17.367 (15.652-20.198)	11.334 (9.139-13.257)
	月	11	12	1	2	3	4
照南湖 (福島市)	上	9.711 (4.688-13.112)	4.940 (3.38-7.393)	4.086 (3.116-5.411)	3.802 (1.751-5.616)	2.710 (1.588-6.23)	12.330 (7.895-17.344)
	下	6.995 (4.454-10.149)	4.300 (3.248-5.591)	3.396 (2.396-5.308)	1.507 (0.797-3.195)	6.795 (3.591-13.93)	15.487 (10.687-21.557)
	月	5	6	7	8	9	10
	上	18.155 (13.834-22.369)	21.382 (17.986-28.891)	20.896 (18.319-25.137)	26.552 (21.819-31.586)	21.239 (18.889-23.713)	16.936 (14.098-20.531)
	下	18.941 (13.088-27.21)	22.637 (19.127-26.329)	23.090 (19.199-29.49)	24.050 (19.246-29.64)	19.493 (16.558-23.04)	13.302 (9.509-16.697)

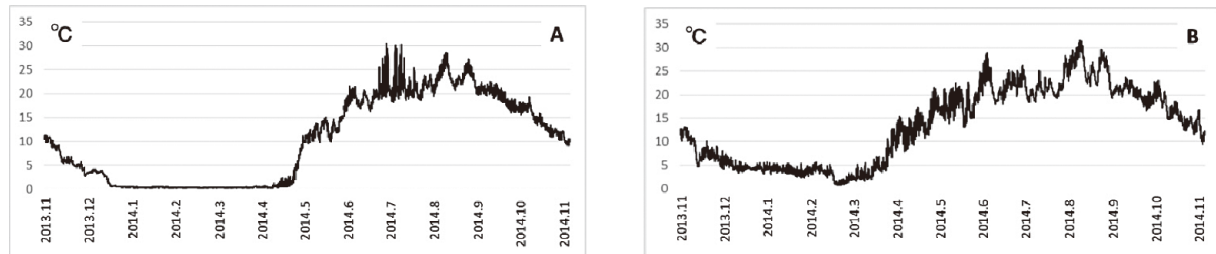


図 3. 調査池沼の水温の経時変化

レンゲ沼北池 (A) と照南湖 (B) に設置したデータロガーによって測定した 2013 年 11 月から 2014 年 10 月までの水温の経時変化を示した。

下旬にも羽化時季があることを意味している。幼虫は 9 月下旬から 10 月下旬にかけても僅かな成長が認められたが、10 月以降は成長が停止するものと思われる。つまり、照南湖における本種は羽化時季が 6 月上旬から 6 月中旬と 7 月下旬から 8 月中旬の年 2 回ある、年 2 化の生活史をもつものと考えられる。

ヒメシロカゲロウ属のカゲロウ類の化性については年 1 化と年 2 化のものが一般的であることが知られており (Clifford, 1982), ヨーロッパ産の *Caenis luctuosa* (Burmeister) などのように同種であっても地域によって年 1 化性から年多化性と生活史が異なる例も知られている (González et al., 2001). 本種も *C. luctuosa* と同様に地域 (裏磐梯地域と福島市) で化性が異なるタイプの種なのであろう。

前述したように、水生昆虫の発育や成長に大きな影響を及ぼす環境要因は水温 (積算温度) であることが知られている (御勢, 1970). レンゲ沼北池に生息する幼虫の頭幅の平均値±標準偏差は、4 月が  $0.716 \pm 0.089$  mm (N=348) であり、9 月と 10 月の頭幅には有意差が認められず、4 月と 10 月の頭幅には有意差が認められた ( $U$  検定:  $U=4107.5, p < 0.01$ ). 9 月と 10 月の頭幅の平均値に有意差は認められなかったものの、10 月に採集された幼虫の頭幅の頻度のピーク (0.7-0.8 mm) は 9 月のそれ (0.6-0.7 mm) よりも大きくなっていることから (図 2A), 9 月以降も幼虫は僅かながら成長しているものと考えられる。したがって、幼虫が成長を停止する発育ゼロ点が水温にあるとすれば、それは 10 月下旬以降ではないか

と思われる。そこで、2013年11月から2014年10月までの水温の経時変化を見たところ、日平均水温は11月下旬頃に5°Cを下回り(図3,表3)、4月下旬以降に5°Cを上回るため、5°Cを本種の発育ゼロ点と仮定し、両地域で本種が成虫に羽化するまでの有効積算温度を算出した(照南湖で日平均水温が5°Cを下回るのは12月上旬,上回るのは3月下旬である(図3,表3))。なお、本研究では水温のデータは1年分しか記録していないため、今回得られた水温の経時変化が毎年繰り返されるものと仮定した。

レンゲ沼北池個体群の1世代目の有効積算温度は約3600日度、照南湖個体群の1世代目の有効積算温度は約3500日度、2世代目のそれは約1100日度であった。照南湖個体群の2世代目の有効積算温度である約1100日度が本種の羽化に必要な積算温度であると思われる。レンゲ沼北池と照南湖の1世代目の有効積算温度はよく一致しているが、両地域の個体群の1世代目の卵が産下されてから約1100日度に達するのは年内である。したがって、積算温度だけでは本種の生活史の違いや羽化時季を説明することができない。ところで、オオナガレトビケラ *Himalopsyche japonica* は、積算温度だけで成長が制御された場合、冬季に成虫が羽化してしまう可能性が生じるため、発育ゼロ点よりも高い水温でも日長を感じることによって成長を停止し、成長を翌春から再開することが知られている(鶴石ら,2002)。本種が発育ゼロ点以上であっても日長によって秋季の成長を抑制するか否かは不明であるが、何らかの要因によって、成虫が冬季に羽化することを回避していると考えられる。また、照南湖個体群においては4月下旬にはすでに終齢幼虫が確認されたものの(図2B)、5月下旬のライト・トラップ調査でも成虫の飛来は認められなかった(表2)。カゲロウ類の羽化には水温が影響を及ぼすことが知られている(Riederer,1985)。照南湖における羽化時季の日平均水温は19.7-23.3°Cであったが、照南湖よりも約1ヵ月羽化時季が遅いレンゲ沼北池の羽化時季の日平均水温も19.7-23.8°Cと照南湖のそれとよく一致していた。こ

のことは、水温が20°C前後になるまで本種の羽化は抑制されていることを示唆している。レンゲ沼北池と照南湖個体群の1世代目は発育ゼロ点よりも高い水温での成長停止と低い水温による羽化抑制によって適切な時季での羽化を保障していると考えられる。

## 2. 羽化様式, 寿命, 羽化時間帯

カゲロウ類の羽化方法には、幼虫が岸辺や水面よりも上にある石や植物等の上に入り、外皮の乾きを待ってから羽化する「水上羽化」、水底から水面に浮上し、水面で羽化する「水面羽化」、水中の石の表面などに付いたまま羽化する「水中羽化」の3型が知られている(御勢,1979)。本種の羽化方法は水面で瞬時に外皮を脱ぎ捨てて羽化する水面羽化であり、羽化に要する時間は極めて短いことが明らかとなった。一般にカゲロウ類の羽化後のステージ(亜成虫と成虫)は短命で、亜成虫の期間は短いもので5分、長いもので3日程度、成虫の生存期間は短いもので数時間、一般に数日、長いもので1週間であることが知られている(御勢,1979; 卵胎生種であるフタバカゲロウの♀は例外的に成虫の寿命が長く、2週間は生きる(石綿・竹門,2005))。本研究における観察の結果、本種の亜成虫期間は10分未満、成虫への脱皮後、飛翔不能になるまでの時間(繁殖可能時間)は60分未満、成虫の生存期間は♂が約160分、♀が約120分であり、成虫の生存期間を除くどの期間も雌雄で顕著な差は認められなかった。成虫は繁殖可能時間を過ぎると飛翔できなくなり、繁殖行動もできなくなることから、事実上これが成虫の寿命とも言える。つまり、本種の成虫の実質的な寿命は60分未満であり、カゲロウ類の中でも極めて短命であると言える。

ライト・トラップによる成虫の採集の結果、裏磐梯地域のレンゲ沼においても福島市土湯温泉町の照南湖においても、ライトへの飛来は日没後約1時間以内のものがほとんどであり(表1,2)、それ以降は飛来しなかった。本種の成虫の実質的な寿命は上述したように60分未満であること、ライト・トラップ



に飛来した個体のほとんどは飛来後数分から数十分の間に飛翔できなくなってしまうことから考えると、本種の羽化は早くても日没時刻の約30分前から、おそらくは日没時刻直後から始まるものと思われる。このことは、本種が日没直前から日没までの間に生じる「ある閾値を下回る照度の低下」に反応して一斉に羽化することを示唆している。これは成虫の極端に短い繁殖可能時間の中で交尾・産卵を確実に行うための適応であると考えられる。

## 謝辞

本研究の一部は2013年度と2014年度の株式会社ニチレイによる研究助成を受けて行われたものです。厚く御礼申し上げます。

現地での採集調査は本研究室の大学院生、学類生の皆様にご協力頂きました。磐梯朝日遷移プロジェクトのメンバーの皆様には本研究を進める上で多くの有益なご助言とご支援を頂きました。以上の方々に感謝申し上げます。

## 引用文献

- 朝比奈正二郎・石原 保・安松京三（監修）（1965）原色昆虫大図鑑〔第3巻〕。358p, 北隆館。
- Clifford, H. F. (1982) Life cycles of mayflies (Ephemeroptera), with special reference to voltinism. *Quaest. Entomol.*, 18, 15-90.
- González, J. M., Basaguren, A. and Pozo, J. (2001) Life history and production of *Caenis luctuosa* (Burmeister) (Ephemeroptera, Caenidae) in two nearby reaches along a small stream. *Hydrobiol.*, 452, 209-215.
- 御勢久右衛門（1958）ヒメカゲロウ科幼虫3種について、関西自然科学研究誌, (11), 32-33.
- 御勢久右衛門（1970）ヒゲナガカワトビケラの生活史と令期分析, 陸水学雑誌, 31 (3), 96-106.
- 御勢久右衛門（1979）日本産カゲロウ類—概説, 海洋と生物, (1), 38-44.
- 御勢久右衛門（1980）日本産カゲロウ類 分類と検索 (10), 海洋と生物, (11), 454-455.

- Hwang, J. M. and Bae, Y. J. (1999) Systematics of the Caenidae (Ephemeroptera) in Korea. *Korean J. Entomol.*, 29 (3), 239-245.
- 石綿進一（2001）千葉県のカゲロウ類—チェックリスト, 記相および検索一, 千葉県立中央博物館自然誌研究報告, 6 (2), 163-200.
- 石綿進一・竹門康弘（2005）カゲロウ目, 「日本産水生昆虫—科・属・種への検索」, pp. 1-8.
- Kang, S.-C. and Yang, C. T. (1994) Caenidae of Taiwan (Ephemeroptera). *Chinese J. Entomol.*, 14, 93-113.
- Kang, S.-C. and Yang, C. T. (1996) A new species of *Caenis* Stephens (Ephemeroptera: Caenidae) from Taiwan. *Chinese J. Entomol.*, 16 (1), 55-59.
- 川合禎次・谷田一三（共編）（2005）日本産水生昆虫—科・属・種への検索, 524p, 東海大学出版会。
- Kluge, N. Y. (1987) Two new mayfly species of the genus *Caenis* (Ephemeroptera, Caenidae) from lower Amur. *Vestnik Leningrad. Univ.*, 3 (1), 91-94 (in Russian).
- Kluge, N. Y. (1997) Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent lands. *S-Petersb.*, 3, 176-220 (in Russian).
- Malzacher, P. (1984) Die europäischen Arten der Gattung *Caenis* Stephens (Insecta: Ephemeroptera). *Stutt. Beitr. Natur: (Ser. A-Biol.)*, 373, 1-48 (in Deutsch).
- Malzacher, P. (1995) Caenidae from Madagascar (Insecta: Ephemeroptera). *Stutt. Beitr. Natur: (Ser. A-Biol.)*, 530, 1-12.
- Malzacher, P. (1996) *Caenis nishinoae*, a new species of the family Caenidae from Japan (Insecta: Ephemeroptera). *Stutt. Beitr. Natur: (Ser. A-Biol.)*, 547, 1-5.
- Malzacher, P. (1997) Relationships in the Caenidae (Insecta: Ephemeroptera). P. Landolt and M. Sartori eds., Ephemeroptera and Plecoptera, *Biology-Ecology-Systematics*, 550-553, MTL.
- Malzacher, P. (2009a) New larvae of Caeninae from Madagascar (Ephemeroptera, Caenidae). *Stutt. Beitr. Natur: A (N. S.)*, 2, 177-194.



- Malzacher, P. (2009b) Two new genera of Caenidae (Insecta: Ephemeroptera) from Guinea, West Africa. *Aqua. Ins.*, 31 (4), 279-292.
- Malzacher, P. and Staniczek, A. H. (2006) Revision of the Madecocercinae (Ephemeroptera: Caenidae). *Aqua. Ins.*, 28 (3), 165-193.
- 増淵翔太・塘 忠顕 (2014) 福島県裏磐梯地域の池沼に生息するヒメシロカゲロウ属の一種 (カゲロウ目: ヒメシロカゲロウ科), 共生のシステム, 14, 110-116.
- Riederer, R. A. A. (1985) Emergence behavior of some mayflies and stoneflies (Insecta: Ephemeroptera and Plecoptera). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22, 3260-3264.
- Soldán, T. (1986) A revision of the Caenidae with ocellar tubercles in the nymphal stage (Ephemeroptera). *Acta Universit. carol., Biol.*, 1982-1984, 289-362.
- Sun, L. and McCafferty, W. P. (2001) *Callistina panda*, a striking new genus and species of Caeninae (Insecta: Ephemeroptera: Caenidae) from Madagascar. *Bull. Soc. d'Hist. Natur. Toul.*, 137, 7-15.
- Suter, P. J. (1999) *Irpacaenis*, a new genus of Caenidae (Ephemeroptera) from Australia. *Australian J. Entomol.*, 38, 159-167.
- Tong, X.-L. and Dudgeon, D. (2002) Three new species of the genus *Caenis* from Hong Kong, China (Ephemeroptera: Caenidae). *Zool. res.*, 23(3), 232-238.
- 鶴石 達・中村寛志・吉田利男 (2002) オオナガレトビケラ *Himalopsyche japonica* (Morton)の越冬蛹が翌春の羽化に要する発育零点および有効積算温度の推定, *New Entomol.*, 51, 29-33.
- Zhou, C.-F and Zheng, L.-Y. (2004) A preliminary study on the genus *Caenis* (Ephemeroptera: Caenidae) from Chinese mainland, with description of a new species. *Entmotax.*, 26(1), 1-7.