

短報 [Note]

多摩川水系・日野用水におけるオオシロカゲロウ（カゲロウ目・シロイロカゲロウ科）の生活史

関根一希¹⁾・鶴田大三郎²⁾・東城幸治^{3, 4)}

Life cycle of the burrowing mayfly *Ephoron shigae* (Ephemeroptera, Polymitarcyidae) in Hino-yosui population of the Tama-gawa River basin

Kazuki SEKINE¹⁾, Daizaburo TSURUDA²⁾ and Koji TOJO^{3), 4)}

Abstract

Ephoron shigae, a mayfly distributed widely in Japan, displays some characteristics of interest to evolutionary biologists. However, detailed ecological research covering the full life cycle of this mayfly has so far been considered extremely difficult. We commenced our ecological research in the Hino-yosui, a small agricultural flume carrying water from the Tama-gawa River, which these mayflies inhabited at a high density, during 2005. Here we report some results of a study we conducted there during that time. It was revealed that the hatching period lasted mainly from late February to late March (with further minor activity until April), and that the emergence period ran from August 30th to September 20th with the peak of synchronized mass emergence on September 3rd and 4th. Some eggs (embryos still in the diapause stage) were observed to remain unhatched throughout the following year. It is thought that since those diapause-stage eggs had not yet completely achieved the break-diapause stage in the current spring. They would continue in the diapause stage until spring of the following year or later. One possible reason for this characteristic may be that the eggs of this mayfly might have an 'egg bank' which is a storage mechanisms of the kind found in some branchiopod crustaceans and insects.

Key words: aquatic insects, mayfly, *Ephoron shigae*, life history, egg bank, diapause

摘 要

オオシロカゲロウは進化生態学的に興味深い昆虫であるが、比較的大・中規模とされる河川、かつ水深が深い中・下流域に棲息するため、生活史全般に渡る調査研究は困難とされてきた。本研究では、小規模な農業用水路・日野用水（東京都日野市）において本種が高密度で確認されたため、調査に適した棲息地として2005年の一年間、生活史を詳細に追究した。その結果、主たる孵化期間は2月下旬-3月下旬であり、羽化期間は8月30日-9月20日間（ピークは9月3日、4日）であることを確認した。また一方で、一年を通して孵化前卵が認められたが、これは休眠卵に適切な低温処理がなされず、春になっても休眠解除されなかったものであると考えられる。これらの卵は翌年（あるいは、それ以降の年）の

¹⁾ 信州大学大学院工学系研究科地球生物圏科学専攻 〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1, Department of Environmental Science, Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, Asahi 3-1-1, Matsumoto, Nagano 390-8621, Japan (E-mail: s06a503@shinshu-u.ac.jp)

²⁾ 〒191-0002 東京都日野市新町 3-15-1-7-105, Shinmachi 3-15-1-7-105, Hino, Tokyo 191-0002, Japan

³⁾ 信州大学理学部生物科学科 〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1, Department of Biology, Faculty of Science, Shinshu University, Asahi 3-1-1, Matsumoto, Nagano 390-8621, Japan (E-mail: ktojo@shinshu-u.ac.jp)

⁴⁾ 信州大学山岳科学総合研究所 〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1, Institute of Mountain Science, Shinshu University, Asahi 3-1-1, Matsumoto, Nagano 390-8621, Japan (E-mail: ktojo@shinshu-u.ac.jp)

春季に休眠が解除される可能性も考えられ、鰓脚類や一部の昆虫類などでみられるようなエッグバンク的機構が備わっている可能性も示唆された。

キーワード：水生昆虫，カゲロウ，オオシロカゲロウ，生活史，エッグバンク，休眠

(2006年11月1日 受付；2007年4月1日 受理)

はじめに

オオシロカゲロウ *Ephoron shigae* (Takahashi) は、カゲロウ目 Ephemeroptera シロイロカゲロウ科 Polymitarcyidae に属し、河川に棲息する体長約 20 mm の大型のカゲロウである。年一化性であり、成虫は9月上・中旬の夕暮れ時にみられる (Watanabe and Ishiwata, 1997; 東城ほか, 2002)。羽化の同調性は極めて強く、また、強い走光性をもつことから、しばしば川沿い、あるいは橋上の水銀灯などに群飛し、交通障害の原因となる (Watanabe and Ishiwata, 1997; Tojo et al., 2006)。成虫寿命が短いことで知られるカゲロウ類の中でも、とくに本種成虫の寿命は短く、羽化後、数十分から長くとも2時間ほどで完全に息絶える。本種の死骸や卵が川沿いの道路あるいは橋上に積もり、自動車のスリップ事故の原因となることもあり、本種の一斉羽化はしばしばメディアにも取り上げられてきた。このような特徴から、本種、とくに成虫のステージにおいては人目につきやすく、現在までに本州(岩手県北上川以南)、四国(広域)、九州(熊本県緑川以北)から多くの棲息地が報告されてきた (cf. Watanabe and Ishiwata, 1997; 小田ほか, 2002; Tojo et al., 2006)。

また、本種は、地域によってオス・メスが共存する個体群(両性個体群)とメスのみの個体群(雌性個体群)が認められ、すなわち「地理的単為生殖 geographic parthenogenesis」を行なう種とされる。このうち、雌性個体群においては、単為生殖によって個体群が維持されていることが知られている (Watanabe and Ishiwata, 1997; Tojo et al., 2006)。単為生殖を行なう動物は様々な分類群から知られており、昆虫類においても目レベルでは、ほとんどの分類群において認められている (Sherratt and Beatty, 2005)。また、単為生殖昆虫の割合は、およそ2%の種におよぶとも報告されている (Bell, 1982)。昆虫類において、一般には、高緯度、高標高、乾燥域などにおいて (Suomalainen, 1950; Glesener and Tilman, 1978)、あるいは、島嶼や島嶼的環境、種の分布域の周縁部において (Cuellar, 1977)、単為生殖個体群が生じる傾向が強いとされている。一方、本種における地理的単為生殖は、両性生殖個体群と単為生殖個体群とが何ら

かの傾向もなくモザイク的に分布する大変ユニークな例であり、単為生殖個体群誕生の要因を考える上でも興味深い事例である (東城ほか, 2002; Tojo et al., 2006; 関根ほか, 2006)。

このように、オオシロカゲロウは進化生態学的にたいへん興味深い昆虫であり、これまでにも、数多くの研究が展開されてきたが、棲息場所のほとんどは国内においては比較的大・中規模とされる河川、かつ水深の深い中下流域がほとんどであり、生活史全般に渡る詳細な調査・研究は困難であった。

このような背景下において、今回、我々が調査地として選定した日野用水は、小規模かつ年間を通して水位が低く安定的に維持される農業用水路であるが、珍しく本種の棲息が認められており、また、両性個体群であることも既に報告されている (Tojo et al., 2006)。個体密度も高く、全季節にわたる生活史の詳細を追究する上では好適地であると判断した。

本研究では、調査地として好条件の揃った日野用水において、オオシロカゲロウの生活史をより詳しく追究するため、孵化時期、幼生の成長過程、および成虫の出現時期に加え、卵期にも着目し調査した。

調査方法

調査地

本研究では、東京都日野市の多摩川から取水される農業用水路・日野用水を調査地として選定した。日野用水は水面幅約 1.5 m、かつ、取水管理により 0.3 - 0.5 m の水深で年間を通して安定した水量が維持されている。日野用水広域にオオシロカゲロウが棲息し、個体密度も高い。本研究では個体密度の高さや人為的攪乱の低さなどを考慮し、日野市東光寺東地区センター北 (138°15'N, 36°24'E; Fig. 1A-C) を中心に調査を実施した。2005年1月から12月にかけての1年間、毎月1回の頻度で調査を実施した(調査日:1月20日,2月23日,3月25日,4月26日,5月26日,6月18日,7月27日,8月18日,9月26日,10月25日,11月26日,および12月17日)。

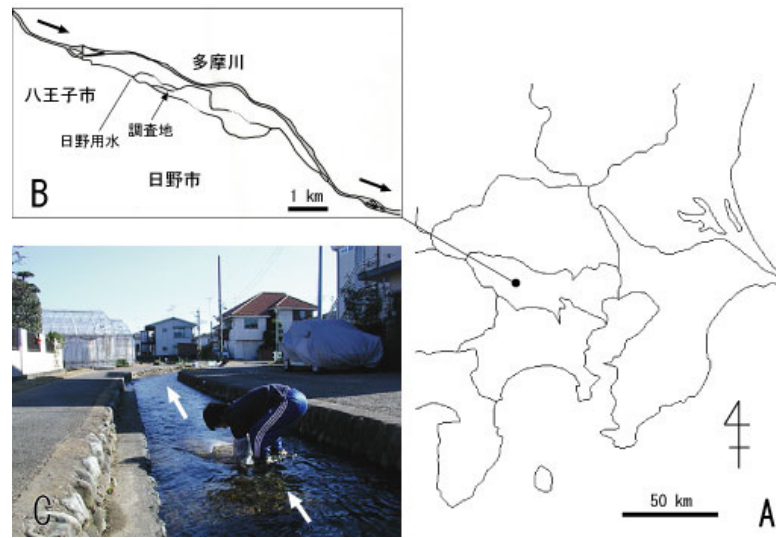


Fig. 1. Map showing location of the research site of Hino-yosui (Hino City, Tokyo Prefecture; A-B), and a photo of the research site (C).
 図 1. 調査地の概略. 東京都日野市の位置図 (A), および調査地・多摩川水系日野用水の位置図 (B), 調査地の写真 (C).

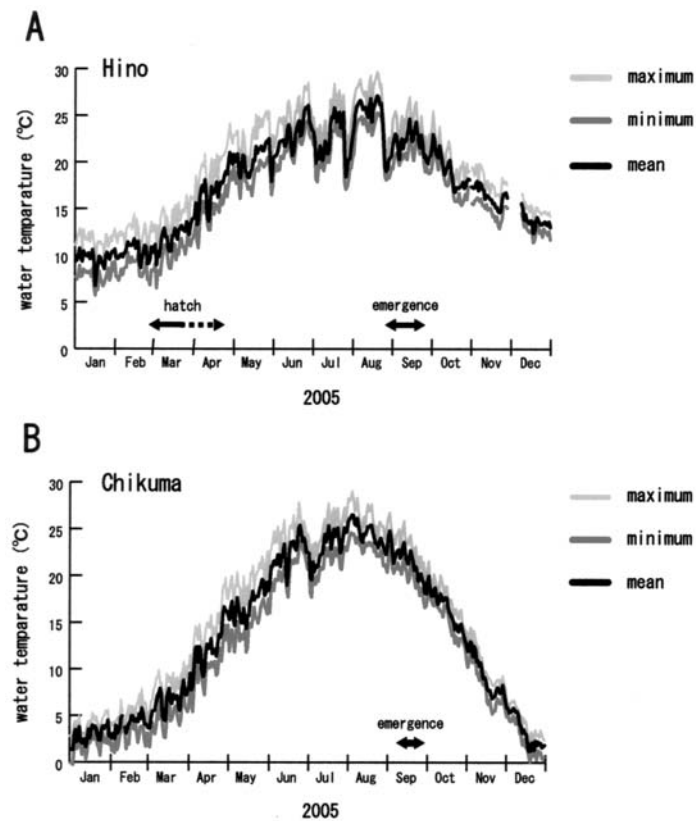


Fig. 2. Seasonal change of water temperature at Hino (Tama-gawa River; A), and at Chikuma (Chikuma-gawa River; B) in the research period (from January 1st, 2005 to December 31st, 2005). Daily water temperature (maximum, minimum, and mean), based on the observed data at the Hino-bashi and the Kuisage Observatories, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

図 2. 調査期間における多摩川 (A) と千曲川 (B) の水温の季節変動. 2005 年 1 月 1 日から 12 月 31 日までの国土交通省日野橋観測所 (多摩川: 東京都日野市) と杭瀬下観測所 (千曲川: 長野県千曲市) のデータ. 一日の最高水温, 最低水温, 平均水温をそれぞれ示した.

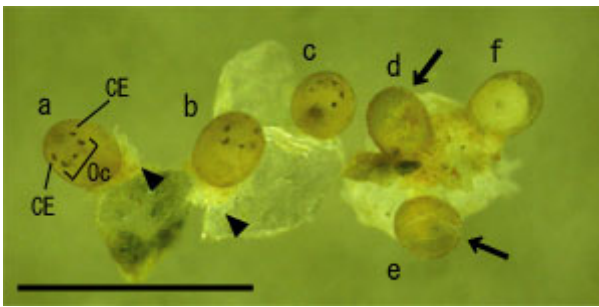


Fig. 3. Eggs of *Ephoron shigae* collected at the research site of Hino-yosui (Aug. 18th, 2005). a-c: Eggs (developed embryos) before hatching. Compound eyes (CE) and ocelli (Oc) are clearly visible. d-e: Eggs after hatching. Arrows show hatching scars from egg teeth visible on chorions. f: Undeveloped egg. Each egg has an adhesive structure (polar caps; arrowheads) at the posterior pole. Scale=500 μ m.

図 3. 日野用水・河床より採集されたオオシロカゲロウ *Ephoron shigae* 卵 (2005 年 8 月 18 日採集). a, b, c は孵化前の卵を示しており, 卵内に複眼 (CE: compound eye) および単眼 (Oc: ocelli) をもつ正常胚が認められる. d, e は孵化後の卵殻を示しており, 卵殻 chorion には卵歯 egg teeth によって裂かれた跡が認められる (矢印). f は, 発生異常の卵. いずれの卵も, 後極側に卵が基質に付着するための polar cap 構造 (矢尻) をもつ. スケール =500 μ m.

また, 羽化が予想された 8 月後半から 9 月末にかけては, 毎晩, 羽化の状況を観察した。

生活史調査

コドラート (300 × 300 mm) 一体型のサーバーネット (離合社製; NGG42: 目合 0.450 mm) を用いて, ランダムに 5 地点から河床の砂礫ごと採取し, 砂をふるった後, ネット内の試料を 70% エタノールで固定した。これらの固定サンプルのうち, 卵と幼生の試料それぞれに関して, 以下のような作業を行なった。なお, 水温等の基礎的データに関しては, 国土交通省日野橋観測所における 2005 年 1 年間の観測データを参照した (毎日 1 時間ごとの水温データ; Fig. 2A)。また, 考察の中で比較対象とした千曲川個体群に関しては, 国土交通省杭瀬下観測所 (長野県千曲市千曲川) における 2005 年 1 年間の観測データを利用し, 参照した (毎日 1 時間ごとの水温データ; Fig. 2B)。

卵: 採集した試料の中から 100 卵に達するまでのランダム抽出を行ない, それぞれの卵における発生段階 (孵化前の胚期であるか, 孵化後の卵殻であるか) を実体顕微鏡下で調べた。卵内に胚が確認できる卵を孵化前の卵とし (カゲロウ類の胚発生に関する Tojo and Machida [1997] によるステージ 13 までにあたる卵), 卵内に胚

Table 1. Population density (individuals m^{-2} ; mean \pm S.D.) of *Ephoron shigae* nymphs with the Hino-yosui and the Chikuma-gawa populations.

表 1. 日野用水, および千曲川のオオシロカゲロウ *Ephoron shigae* 幼生期における個体密度 (個体数/ m^2)。

	Hino-yosui	Chikuma-gawa	Mann-Whitney U-test
Jun.	3993 \pm 1553	42 \pm 25	p < 0.01
Jul.	1153 \pm 229	184 \pm 80	p < 0.01
Aug.	717 \pm 194	62 \pm 36	p < 0.01

はみられず, 卵歯 egg teeth によって卵殻 chorion が裂かれた孵化跡が明確である卵を孵化後卵として扱った (Fig. 3)。また, これらのいずれとも判断がつけられない卵 (発生異常卵など) がわずかに認められたが, これらの卵は対象外としてデータより除外した。

幼生: 採集してきた試料から 100 個体に達するまでの幼生のランダム抽出を行ない, 個体ごとに体サイズ (体長および最大頭幅) を, 実体顕微鏡下で測定した。雌雄の判別が可能な個体については雌雄を区別して扱った (腹部末端にある把握器原基の有無により雌雄を判別した)。

個体密度調査

生活史調査におけるコドラートを用いた採集によって得られた幼生個体数を基に, $1m^2$ あたりの密度を算出した (Table 1; 平均および標準偏差)。日野用水個体群の比較対象とした千曲川個体群 (長野県千曲市栗佐地区) においても, 並行して同一の方法 (ランダム 5 地点による定量採集) で個体密度調査を行なった (調査日: 2 月 4 日, 3 月 8 日, 4 月 6 日, 5 月 11 日, 6 月 8 日, 7 月 13 日, 8 月 9 日, 9 月 9 日, 10 月 14 日, 11 月 15 日, および 12 月 13 日)。

個体群の性比調査

生活史調査の際に, ランダム抽出した 100 個体の幼生のうち, 雌雄の判別が可能であった試料に基づき性比を調べた。雌雄の識別に関しては, 成虫ステージでの採集・調査が容易であり, また本来は成熟個体における性比で議論すべきである。しかし, 本種の成虫の場合は, 成虫期間の大部分が配偶・繁殖行動で占められ, これらの行動には雌雄による行動 (配偶行動) の性差が顕著であるため, 例えばライトトラップやランダムスウィーピングをしても雌雄いずれかにバイアスのかかった調査となることが懸念される。したがって, 本研究では幼生期における性比調査を採用した。

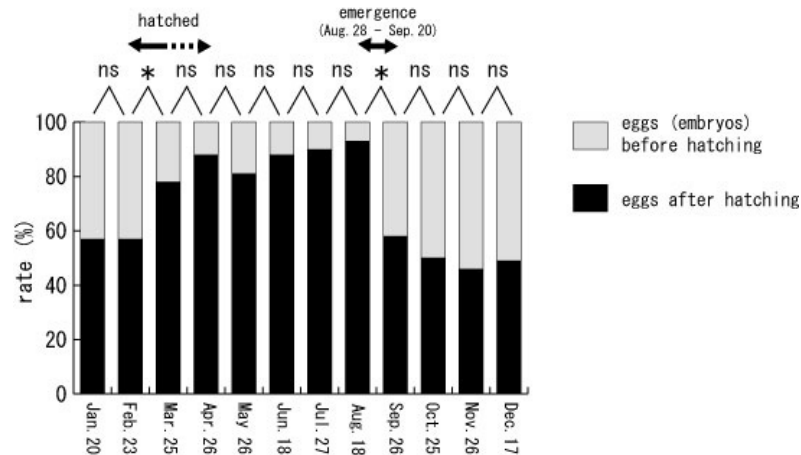


Fig. 4. Seasonal changes in the rate of eggs (embryos) before and after hatching among the Hino-yosui population of *Ephoron shigae* from January to December, 2005. The proportion of eggs after hatching increased significantly between February and March (*: Tukey test $p < 0.05$), whereas the proportion of those before hatching increased markedly between August and September (*: $p < 0.05$). It is thought that the mayflies' hatching period ran from February to March, while the oviposition period extended from August to September. We observed the emergence from August 28th to September 20th (peak days were September 3rd and 4th). Moreover, eggs (embryos) before hatching were observed throughout the year, although their proportion was comparatively low (about 10-20%).

図 4. 日野用水におけるオオシロカゲロウ *Ephoron shigae* 卵における発生状態（孵化前卵 vs. 孵化後卵殻）の季節的変遷（2005 年 1-12 月）。2 月 22 日から 3 月 25 日の間に孵化後卵の割合が急激に増加している（*: Tukey test $p < 0.05$ ）のでこの時期に孵化が起こっていると言える。実際に羽化が確認された 8 月 28 日 - 9 月 20 日をはさむ調査期間（8 月 18 日 - 9 月 26 日）において孵化前卵の割合が増加している（*: $p < 0.05$ ）。また、孵化前卵は年間を通して認められる。

結 果

オオシロカゲロウ日野用水個体群における棲息密度

日野用水でのコドラート調査において、幼生は 4 - 8 月期調査で採集された。一方、千曲川においては 6 - 8 月期にのみ採集された。両個体群において、共に採集された月期の個体密度をそれぞれ比較すると、6 月期の日野用水 vs. 千曲川の 1 m^2 あたりの個体数（平均 \pm 標準偏差）は、それぞれ 3993 ± 1553 vs. 42 ± 25 、7 月期も同様に 1153 ± 229 vs. 184 ± 80 、8 月期は 717 ± 194 vs. 62 ± 36 であり、いずれの調査月期においても両個体群間に有意な差が認められた（Table 1; Mann-Whitney U-test $p < 0.01$ ）。

オオシロカゲロウ日野用水個体群における性比

各月の調査で得られた幼生サンプル（ランダムに抽出された 100 個体）のうち、性比判定の可能なものは 7 月期および 8 月期の調査におけるものであった（7 月期 σ : σ = 45:49; 8 月期 σ : σ = 55:45）。性比はほぼ 1:1 であり、いずれの調査においても有意な偏りは認められなかった（binomial test $p > 0.05$ ）。

オオシロカゲロウ日野用水個体群における生活史

日野用水個体群における 2005 年の羽化調査において、成虫の羽化は 8 月 30 日 - 9 月 20 日（ピークは 9 月 3 日, 4 日）に確認された。いずれの羽化日においても、成虫の出現時間帯は 22 時 - 24 時であり、この時間帯に交尾、産卵が行なわれていた。この観察同様にコドラートによる定量調査においても、成虫の羽化期・産卵のピーク期である 9 月初旬をはさむ 8 月期 - 9 月期間において、孵化前卵が占める割合が有意に増加した（multiple comparison Tukey test $p < 0.05$; Fig. 4）。一方、2 月期 - 3 月期間においては、孵化後卵殻が占める割合に有意な増加が認められた（multiple comparison Tukey test $p < 0.05$ ）。さらに、年間を通していずれの調査月期においても孵化前卵が認められた（Fig. 4）。幼生個体は 1-3 月期のコドラート調査においては全く認められず、4 月期の調査から採集されはじめた。また、成虫の羽化確認の最終日となった 9 月 20 日より後となる 9 月 26 日の調査以降、幼生は全く認められなくなった。幼生サンプルにおける最大頭幅と体長には強い相関が認められることから（Pearson's product-moment correlation $p < 0.001$ ）、本稿においては、クチクラ化が強く、固定によるアーティファク

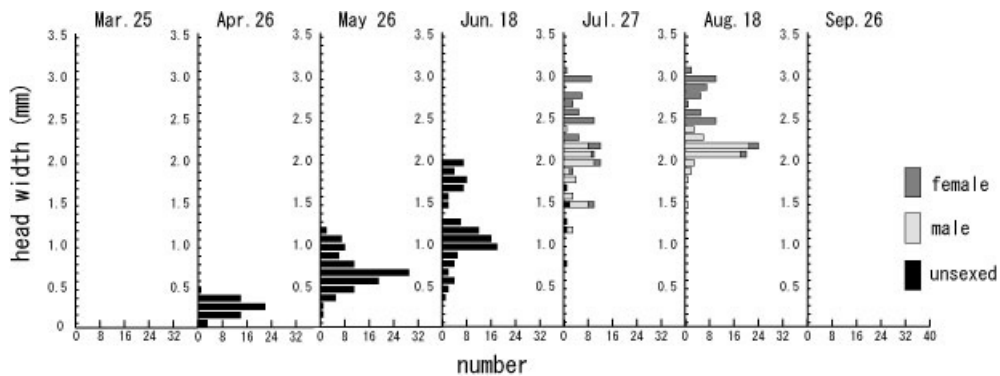


Fig. 5. Records of *Ephoron shigae* body size distribution (head width) from March 25 to September 26, 2005 at Hino-yosui population. In July and August, it was observed that females were significantly larger than males (Mann-Whitney U-test $p < 0.001$).

図5. 日野用水におけるオオシロカゲロウ *Ephoron shigae* 幼生の体サイズ(最大頭幅)の季節的変遷. 7月と8月の調査においては, 雌雄の区別も行なった. メスはオスに対し, 有意に大きいと評価された (Mann-Whitney U-test $p < 0.001$).

トがより小さいと考えられる最大頭幅について成長グラフを示す (Fig. 5)。7月期の調査からはほとんどの個体において雌雄の判別が可能となり, 7月期, 8月期の調査においては, いずれもメス個体がオス個体に対して有意にサイズ大であるとの結果が得られた (Mann-Whitney U-test $p < 0.001$)。6月期の調査においては, 把握器原基による雌雄の判別はできなかったが, 最大頭幅のサイズが大きく2グループに分かれた (大きい方のグループがメス, 小さい方がオスであると考えられる)。

考 察

オオシロカゲロウ日野用水個体群の存在と個体群タイプ (性比)

従来, オオシロカゲロウの分布に関する調査は, 主として規模の大きな一斉羽化を行なう成虫の目撃情報に基づいてなされてきた (Watanabe and Ishiwata, 1997)。したがって, 低密度で棲息する場合や, 棲息地周辺にオオシロカゲロウの飛来を誘引する照明 (川沿いや橋上の水銀灯など) が無いような場合 (最近, 橋上において多用されるナトリウムランプは誘虫力が弱い), また, 交通量が少ない地域では, 仮に本種が棲息していたとしても目撃され難い。実際に幼生期での分布調査においては, 請戸川 (福島県浪江町) から取水される農業用水路や山ノ入ダム (福島県二本松市; 同市・油井川から引水) より放水される小規模河川・山ノ入川などにおいて, オオシロカゲロウの棲息が確認されている (関根ほか, 2006)。日野用水をはじめ, 請戸川用水路や山ノ入川における棲息例は, 小規模なハビタットであってもオオシロカゲロウが棲息できることを示す良い例であるのかも

知れない。

また, 高い個体密度が認められた日野用水個体群と, 大規模な一斉羽化をすることで知られる千曲川個体群との比較 (同月の調査データに基づく密度) において, いずれの調査月においても日野用水個体群の個体密度は有意に高かった (Table 1; Mann-Whitney U-test $p < 0.01$)。日野用水における安定した水位が個体密度にも影響を与えているのではないだろうか。

日野用水個体群における性比に関しては, 偏りが認められず, 典型的な両性個体群であると言える。日野用水の取水源である多摩川においても過去にオオシロカゲロウ棲息の記録があり, 両性個体群であったとされていることから (Watanabe and Ishiwata, 1997), 日野用水個体群は多摩川由来のものであろうと考えられる。関東地方では, 多摩川, 日野用水をはじめとする両性個体群 (他には, 那珂川, 荒川, 養老川, 小櫃川, 夷隅川) とメスのみで構成される単為生殖個体群 (桜川, 鬼怒川, 相模川) の両タイプが混在する (Watanabe and Ishiwata, 1997; Tojo et al., 2006)。なぜ多摩川および日野用水個体群が両性個体群であるのか, また, 日野用水個体群は多摩川個体群の分散により形成された個体群であるのかといった議論に関しては, 遺伝学的手法等により現在解析中である。

オオシロカゲロウ日野用水個体群における生活史

オオシロカゲロウは, 初秋 (9月上・中旬) が羽化・繁殖期であり, この時期に産下された卵は, 直ちに胚発生を開始し, 胚発生の最終ステージまで発生が進んだ状態で卵休眠し, 翌年春季の水温上昇を受けて孵化することが知られる (中村, 1985; 中村ほか, 1986, 1987; 渡

辺ほか, 1993; Nakamura et al., 1999; 中村・遠藤, 2001)。日野用水における本調査研究においても、羽化のピークが9月上旬であること、また3月期調査においては幼生個体が全く認められなかったものの、多数の孵化をすませた卵殻が確認されている。したがって、本調査地点においても、オオシロカゲロウは休眠卵として卵越冬し、孵化は主として2月期(2月23日)から3月期(3月25日)の間に起こっているものと考えられる (Fig. 2A, 4: 孵化矢印実線部分)。3月期の調査で、幼生個体が全く認められなかったのは、おそらく、サイズが小さいためにコドラートをを用いたサンプリングの対象外となったためであろう。

従来、孵化期は3月下旬頃とされてきたが (渡辺ほか, 1993; Watanabe and Ohkita, 2000), 本研究においては有意な差こそ認められないものの、3月期 - 4月期間にも孵化卵殻の占める割合の増加が認められた (Fig. 2A, 4: 孵化矢印破線部分)。千曲川個体群に対し、日野用水個体群においては若干の孵化期の早まりが認められるようである。本個体群においては、羽化時期に関しても、8月下旬から始まるなど若干早めであることから、日野用水個体群におけるオオシロカゲロウの生活史全般が少し早期型にシフトしているようである。

春季における孵化、すなわち卵休眠の解除がどのようなタイミングで生じるかについてはいくつかの先行研究がなされており、温度などの微妙な条件が関与することが知られる (中村, 1985; 中村ほか, 1987; 渡辺ほか, 1993; Watanabe, 1998; Nakamura et al., 1999; 中村・遠藤, 2001)。本個体群において観察された孵化時期と水温との関係を見てみると、孵化は春先の水温が上昇し始める (平均水温が11°C以上となる) 時期に対応する。また、一方で、羽化期は初秋の水温が低下し始める時期に一致する (Fig. 2A)。これらは Watanabe and Ohkita (2000) による知見とほぼ一致する結果である。ちなみに、千曲川個体群 (長野県千曲市) と比較検討してみると、千曲川個体群においては9月中旬より羽化が始まったが、日野用水に比べて千曲川の春季の水温はかなり低く (Fig. 2A vs. B), 日野用水におけるオオシロカゲロウの生活史の少し早めのシフトは、春先から初夏までにおける比較的温暖な水温により、孵化時期および幼生の成長が早まったためと考えられる。

また、本研究においては4月期から8月期の間のように、孵化時期を過ぎたにも関わらず、孵化前のステージにある卵 (まだ休眠中の状態にあることが示唆される卵) が多数認められるといった興味深い結果が得られた

(Fig. 4)。これらの孵化前のステージにある卵は、胚発生の最終ステージ (ステージ13) まで進んだ胚を含むものである (Fig. 3)。このことを考慮すると、休眠した卵が適切な低温処理がされず、春になっても休眠が解除されなかった胚もあるものと考えられる。つまり、これらの孵化前の卵は、春以降もなお休眠をつづけており、翌年 (あるいは、それ以降の年) の春季に休眠を解除する可能性もあると考えられる。なお、一度の低温処理・春化処理では孵化しなかった卵に対し、再度低温処理・春化処理した場合、孵化を誘導することができたとの知見もある (中村, 1985)。

本種は一年一化性であり、9月上・中旬に羽化および交尾をし、メスは直ぐに産卵を行なうこと、そして卵により越冬した後、3月下旬に孵化することが知られてきた (Watanabe and Ohkita, 2000)。そして、今回の調査においても、基本的に年一化性であることが支持された。その一方で、冬を1回経験しただけで孵化する卵もあれば、2回以上の冬を経験して孵化する卵が存在する可能性も示唆された。異なる年に産下された卵に由来する幼生が混在して成長する可能性があることは興味深いことである。異常気象や大規模な出水などによる幼生の大量死滅に対するリスク回避として、植物でのシードバンクに相当するようなエッグバンクの例は動物界では稀であるが、一部の甲殻類 (Hildrew, 1985; De Stasio, 1989; Mura, 2005) や昆虫類では既に報告されている (双翅目: Christophers, 1960; トンボ目: Corbet, 1999)。オオシロカゲロウにおけるエッグバンク的機構の内包、すなわち、翌年以降の春に孵化する可能性の有無については、実験的手法の導入などにより、今後、より詳しく追究していきたい。

謝 辞

調査の際は、信州大学大学院の鈴木浩平、谷澤 崇、宮入 健の各氏、筑波大学大学院の岡 和希氏の協力を得た。また、千曲川における調査においては、千曲川河川生態学術研究会 (中村浩志会長) の皆様、および国土交通省千曲川工事事務所の皆様に協力頂いた。ここに深謝申し上げる。

文 献

Bell, G. (1982): *The Masterpiece of Nature: The Evolution and Genetics of Sexuality*. University of California Press,

- Berkeley.
- Christophers, S. R. (1960) : *Aedes aegypti* (L.), The Yellow Fever Mosquito: Its Life History, Bionomics and Structure. Cambridge University Press, Cambridge.
- Corbet, P. S. (1999) : Dragonflies: Behavior and Ecology of Odonata. Cornell University Press, Ithaca.
- Cuellar, O. (1977) : Animal parthenogenesis. *Science*, 197: 837-843.
- De Stasio, Jr. B. T. (1989) : The seed bank of a freshwater crustacean: copepodology for the plant ecologist. *Ecology*, 70: 1377-1389.
- Glesener, R. R. and D. Tilman (1978) : Sexuality and the components of environmental uncertainty: clues from geographic parthenogenesis in terrestrial animals. *American Naturalist*, 112: 659-673.
- Hildrew, A. G. (1985) : A quantitative study of the life history of a fairy shrimp (Branchiopoda: Anostraca) in relation to the temporary nature of its habitat, a Kenyan rainpool. *Journal of Animal Ecology*, 54: 99-110.
- Mura, G. (2005) : Cyst distribution and hatching pattern of *Chirocephalus ruffoi* (Crustacea, Anostraca) in an experimental undisturbed pool. *International Review of Hydrobiology*, 90: 277-291.
- 中村和夫 (1985) : アミメカゲロウの発生条件. *インセクト*, 36: 83-86.
- 中村和夫・遠藤智美 (2001) : 産下時期の異なるカゲロウ卵の野外での発育. *Proceedings of Arthropodan Embryological Society of Japan*, 36: 17-19.
- Nakamura, K., S. Tsurumaru and K. Kawamura (1999) : Effects of temperature and light on the embryogenesis of genus *Ephoron* mayflies (Insecta: Ephemeroptera, Polymitarcyidae). *Proceedings of Arthropodan Embryological Society of Japan*, 34: 11-16.
- 中村和夫・宇都宮大学生物研究会 (1986) : 栃木県でのアミメカゲロウの分布と発生. *インセクト*, 37: 57-62.
- 中村和夫・宇都宮大学生物研究会 (1987) : アミメカゲロウ卵の孵化 - 処理温度及び野外での状況 -. *インセクト*, 38: 77-81.
- 小田泰史・山形 卓・植木 肇 (2002) : 緑川に出現するオオシロカゲロウ. *熊本県保健環境科学研究所報*, 32: 65-66.
- 関根一希・遠藤絢香・塘 忠顕・東城幸治 (2006) : 福島県および宮城県における地理的単為生殖昆虫オオシロカゲロウについて ~ 新たな生息地および個体群の性比 ~. *福島生物*, 49: 5-11.
- Sherratt, T. N. and C. D. Beatty (2005) : Evolutionary biology: island of the clones. *Nature*, 435: 1039-1040.
- Suomalainen, E. (1950) : Parthenogenesis in animals. *Advances in Genetics*, 3: 193-253.
- Tojo, K. and R. Machida (1997) : Embryogenesis of the mayfly *Ephemer japonica* McLachlan (Insecta: Ephemeroptera, Ephemeridae), with special reference to abdominal formation. *Journal of Morphology*, 234: 97-107.
- 東城幸治・松元篤志・牧岡俊樹 (2002) : オオシロカゲロウ *Ephoron shigae* (Takahashi) (昆虫綱: カゲロウ目・シロイロカゲロウ科) の生殖様式 - 個体群間での単為生殖能力の差異について -. *Proceedings of Arthropodan Embryological Society of Japan*, 37: 53-56.
- Tojo, K., K. Sekiné and A. Matsumoto (2006) : Reproductive mode of the geographic parthenogenic mayfly *Ephoron shigae*, with findings from some new localities (Insecta: Ephemeroptera, Polymitarcyidae). *Limnology*, 7: 31-39.
- Watanabe, N. C. (1998) : Geographical variation in Japan in egg development of the mayfly, *Ephoron shigae* (Ephemeroptera: Polymitarcyidae). *Freshwater Biology*, 40: 245-254.
- Watanabe, N. C. and S. Ishiwata (1997) : Geographic distribution of mayfly, *Ephoron shigae* in Japan, with evidence of geographic parthenogenesis (Insecta: Ephemeroptera: Polymitarcyidae). *Japanese Journal of Limnology*, 58: 15-25.
- 渡辺 直・中村和夫・八田耕吉・久枝和生・石綿進一・星 一彰 (1993) : カゲロウ類の大量発生機構に関する研究. *日産科学振興財団研究報告書*, 16: 151-162.
- Watanabe, N. C. and A. Ohkita (2000) : Life cycle and synchronization of nymphal development of the mayfly *Ephoron shigae* in Japan (Ephemeroptera: Polymitarcyidae). *Aquatic Insects*, 22: 108-121.