千曲川における大量発生昆虫オオシロカゲロウの流程分布

誌名	陸水学雑誌
ISSN	00215104
著者名	関根,一希 末吉,正尚 東城,幸治
発行元	日本陸水學會
巻/号	74巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 73-84
発行年月	2013年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

陸水学雑誌（*Japanese Journal of Limnology*）74 : 73 - 84（2013）

短報〔Note〕

千曲川における大量発生昆虫オオシロカゲロウの流程分布

関根一希[1)]・末吉正尚[2)]・東城幸治[3,4)*]

Current distribution of the polymitarcyid mayfly *Ephoron shigae* in the Chikuma-gawa River

Kazuki SEKINÉ[1)], Masanao SUEYOSHI[2)], and Koji TOJO[3,4)]

Abstract

The polymitarcyid mayfly *Ephoron shigae* is widely distributed in Japan, and inhabits burrows in gravel riverbeds in the mid and lower regions of rivers. This mayfly is renowned for synchronized mass emergences at dusk in early autumn, which have been frequently observed in various Japanese rivers since the 1970s. Although much geographic documentation of synchronized mass emergence has accumulated for major populations, there is not much information for smaller populations. There are a number of reasons the full distribution of this mayfly is not well known, including; 1) the comparatively short period of the adult stage (shorter than two hours), 2) the short emergence season (one or several weeks per year), 3) the short nymphal season (*E. shigae* remains as diapause stage eggs from autumn to spring), and 4) the typical habitats are below deep water riverbeds in the mid to lower reaches of comparatively large rivers. In this study, we investigated the current distribution range (i.e., the geographic distribution range along the river' s course) of the mayfly *E. shigae* in the Chikuma-gawa River (Nagano Prefecture), where it is considered to be one of the largest continuously extant meta-populations of this mayfly. The first record of mass emergence of this mayfly in the Chikuma-gawa River was reported in the novel entitled "Hounen-mushi" written in 1928 by Shiga Naoya, and has since been observed for more than 80 years. In the results of our research, it was revealed that *E. shigae* inhabits an extended distribution range from the city of Ueda to the town of Obuse. Further, we observed high mayfly density and high biomass in a region around the Heiwa-bashi and Awasa-bashi bridges. From these areas, the density, body size and the biomass of the mayflies decreased gradually in both the upstream and downstream zones. This result is consistent with a previous study investigating the distribution of the adult stage of this species. However, contrary to the previous study, we found many more nymphs at the downstream sites (the Yashima-bashi and Obuse-bashi bridges) than at the Sai-gawa tributary merge point. However, the collected individuals at these two downstream sites were markedly smaller in size. The

[1)] 日本学術振興会特別研究員 PD（独立行政法人農業生物資源研究所昆虫科学研究領域）〒 305-8634 つくば市大わし 1-2 Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science (Division of Insect Sciences, National Institute of Agrobiological Sciences) 1-2, Owashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8634, Japan

[2)] 北海道大学農学院環境資源学専攻 〒 060-8589 札幌市北区北 9 条西 9 Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9 Nishi 9, Kita-ku, Sapporo 060-8589, Japan

[3)] 信州大学理学生物科学科 〒 390-8621 松本市旭 3-1-1 Department of Biology, Faculty of Science, Shinshu University, Asahi 3-1-1, Matsumoto, Nagano 390-8621, Japan

[4)] 信州大学山岳科学総合研究所 〒 390-8621 松本市旭 3-1-1 Institute of Mountain Science, Shinshu University, Asahi 3-1-1, Matsumoto, Nagano 390-8621, Japan

（連絡先 東城幸治 ktojo@shinshu-u.ac.jp）

inflow of Sai-gawa River into the Chikuma-gawa River is comparatively oligotrophic and may provide fewer food resources for the detritus-feeding nymphs.

Key words: aquatic insect, Ephemeroptera, geographic parthenogenesis, macrobenthos, synchronized mass emergence

摘　要

オオシロカゲロウは国内広域の河川中・下流域に棲息し，幼生は河床の砂礫に潜って生活する。羽化は初秋（1週間から数週間程度）の日没後にみられるが，極めて同調性の高い羽化であり，交尾飛翔・群飛が認められ，大発生に至ることもある水生昆虫である。1970年代から本種における大発生は日本各地の河川において報告されてきたが，本種の棲息状況に関しては，羽化個体において評価されるに留まっており，河川内の詳しい分布は十分には把握されていないのが現状である。理由としては，1）短い亜成虫・成虫期間（長くても2時間程度），2）短い羽化時期，3）短い幼生期間（約半年を休眠卵で過ごす），4）典型的なハビタットは比較的大きな河川の中下流で，かつ河床の砂礫に潜る生活型であることがあげられる。このような状況から，本研究では，本種の大発生が1928年と最も古い記録（志賀直哉の小説「豊年蟲」としての記録）として残され，現在も規模の大きな発生が続いていて，個体群規模も大きな長野県・千曲川を調査地として，幼生ステージにおける分布調査を実施した。その結果，羽化量調査による先行研究と同様，最も多くの羽化個体が認められた平和橋–粟佐橋調査区において，体サイズの大きい幼生が高い個体密度で棲息することが確認された。一方，平和橋–粟佐橋調査区より上流や下流側では，個体密度や体サイズなど現存量の低下が認められた。羽化量調査により分布が認められないとされていた犀川合流地点よりも下流側においても，幼生の棲息が認められた。しかし，幼生の体サイズは小さく，比較的貧栄養的な犀川の合流により千曲川の汚濁度が低下し，幼生の餌であるデトリタス量が低下したことに原因があるのかもしれない。

和文キーワード：水生昆虫，カゲロウ目，地理的単為生殖，大型底生生物，一斉羽化

はじめに

カゲロウ目の昆虫類は，成虫期間が短いことで知られるが，なかでもシロイロカゲロウ科 Polymitarcyidae のオオシロカゲロウ *Ephoron shigae*（Takahashi）の成虫期間は極めて短く，長い個体でも亜成虫・成虫＊期をあわせて2時間程度である。本種は年一化の生活史をもち（Ban et al., 1994; 関根ら，2007; Watanabe and Ohkita, 2000），羽化時期は初秋（9月上・中旬頃）の数日間から長くとも3週間ほどで，羽化時間帯は日没後の1–2時間である。羽化の同調性は極めて強く，時には大発生に至ることもある（渡辺ら，1993; Watanabe and Ishiwata, 1997; Watanabe et al., 1999; 東城ら，2002; Tojo et al., 2006）。2時間程度の短い亜成虫・成虫期間に空中で交尾を行い，その後，メス亜成虫は着水し，水面から卵塊を産下する。このことで胚発生が開始し，卵塊が解れながら沈水し，それぞれの卵が河床の砂礫に付着して胚発生を続ける（中村，1985）。産卵後約一月で，ほぼ胚発生の最終ステージにまで進行すると，一旦，発生が停止し休眠状態となる（中村，1985; Nakamura et al., 1999）。そのまま休眠卵として越冬し，翌年の早春（2月末–4月初め）に休眠が解除されると，幼生が孵化し（渡辺ら，1993; Watanabe and Ohkita, 2000; 関根ら，2007），はまり石のある砂礫質の河床にU字状の巣穴を掘り，デトリタスを餌とする掘潜型の濾過食者となる（野崎，1983; 蓮田，1989）。

本種の体長は約20 mmと国内で最も大きいカゲロウの一種であり，乳白色をした亜成虫・成虫は薄暗い中で目立つ姿をしている。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の周りに群飛し，その様子は吹雪のような光景になることもある。メス亜成虫の歩脚はいずれも退化的で短く，一旦，地面に降り立つと再び飛び上がることが困難である。これは，2時間程度の成虫期間であるため，空中で行われる交尾も含めて空中のみでの生活スタイルに特化した適応の一つであると考えられる。このため，本種の死骸や卵塊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るため，大量羽化がみられるような河川においては，しばしばメディアにも取り挙げられてきた。

このようなオオシロカゲロウ亜成虫・成虫の大量羽化は，1970年代から福島県をはじめとする多くの河川で報告されており（e.g., 塩山, 1978; Ishiwata, 1996; Watanabe and Ishiwata, 1997），ダムによる水量の安定化や餌となるデトリタスの堆積に原因があると考えられてきた（渡辺ら, 1993; 渡辺, 1996; 伴, 1997; 千葉, 2000, 2010）。しかし，本種の大量羽化の記録はかなり古くからあり，1928年に文豪・志賀直哉によって，長野県上田・戸倉付近を舞台に執筆された小説「豊年蟲」には，上田と戸倉・上山田地域の千曲川で大発生するカゲロウ（豊年蟲）のことが詳述されている。この作品には，実に詳細な形態や生態に関する描写がなされており，このカゲロウ（豊年蟲）がオオシロカゲロウであることは間違いない。そして，当時からは80年以上も経過した現在においても，千曲川ではオオシロカゲロウの大量羽化が認められている。千曲川個体群の分布は，高度経済成長期による人為的な干渉にも影響されていると考えられるが，従来の千曲川の河道特性とも関連があるのかもしれない。

本種の棲息状況に関しては，1）短い亜成虫・成虫期間（長くても2時間程度），2）短い羽化時期，3）短い幼生期間（約半年を休眠卵で過ごす），4）典型的なハビタットは比較的大きな河川の中・下流で，かつ河床の砂礫に潜る生活型であり，比較的調査が困難であることから，容易な調査が可能である羽化個体において評価されるに留まっている。千曲川においても中村（1999）により，上田盆地から長野盆地までの本種成虫の羽化量調査

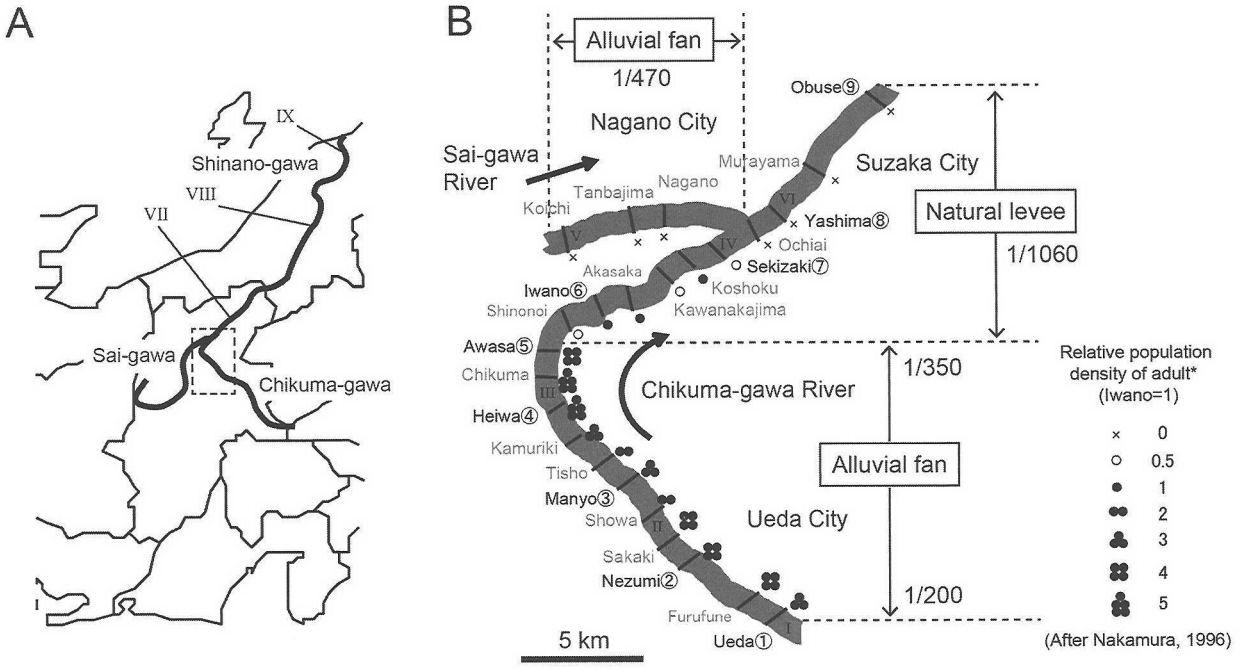


Fig. 1. Map showing the location of the Chikuma-gawa River in the Shinano-gawa River basin (A); and the relative population density* of adult *Ephoron shigae* observed in the previous study (Nakamura, 1996) (B). Detailed view of area within dashed lines in Fig. 1A. We investigated nine sites marked ①–⑨ included in a previous study (Nakamura, 1996). Roman numerals indicate the locations observing BOD (biochemical oxygen demand) and COD (chemical oxygen demand) data referred to in Fig. 5. I: the Ikuta observatory, II: the Kogai-bashi observatory, III: the Chikuma-bashi observatory, IV: the Sekizaki-bashi observatory, V: the Koichi-bashi observatory, VI: the Yashima-bashi observatory, VII: the Tachigahana-bashi observatory, VIII: the Chosei-bashi observatory, IX: the Heisei-ohashi observatory. Fractions indicate stream gradients.

図1 信濃川水系千曲川の地図（A）と先行研究（中村, 1996）におけるオオシロカゲロウ成虫の発生量（B）. Aにおける破線枠部の拡大図をBに示す. 図内の地名は中村（1996）の調査地24地点であり，そのうち今回の調査地9地点を①–⑨で示す. 番号IからIXは図5において扱われた水質データ（BODおよびCOD）が測定された観測所を示す. I: 生田観測所, II: 笄橋観測所, III: 千曲橋観測所, IV: 関崎橋観測所, V: 小市橋観測所, VI: 屋島橋観測所, VII: 立ヶ花橋観測所, VIII: 長生橋観測所, IX: 平成大橋観測所. 分数は河川勾配を示す.

＊岩野橋の成虫発生量を1とした時の相対量.

が 24 地点でなされており（Fig. 1），本種成虫が認められたのは上田市・上田橋から長野市・関崎橋にかけての千曲川（約 32 km）に限定されていること，千曲川最大の支川である犀川の入点より下流側では全く認められないこと（犀川においても認められていないこと）が報告されている。しかし，これらの調査は成虫を対象としたものであり，また，橋上に設置された照明の強度や水面からの設置距離（高さ）によって影響される可能性も考えられる。総延長 360 km を超え，本邦最長の河川である千曲川（信濃川）の中でも，わずか 1 割程度の流程にだけ棲息する本種の分布要因については，以前から課題として挙げられつつも未解決のままである。

そこで，千曲川におけるオオシロカゲロウの局所的分布の謎に迫るため，先ず，千曲川における本種幼生の分布を調査し，より正確なオオシロカゲロウの分布状況を明らかにすることを目的とした。

調査地点および方法

本研究では，長野県・千曲川を調査河川とし，中村（1999）の調査地を含めた上田盆地から長野盆地までの流程内に 9 つの調査地区を設定した。各調査地区は，上流側から①上田市・上田橋地区（N 36° 23' 47.44", E 138° 14' 38.76"），②埴科郡坂城町・鼠橋地区（N 36° 25' 37.75", E 138° 11' 22.01"），③千曲市・万葉橋地区（N 36° 28' 44.84", E 138° 8' 53.73"），④千曲市・平和橋地区（N 36° 30' 59.15", E 138° 6' 43.69"），⑤千曲市・粟佐橋地区（N 36° 32' 24.69", E 138° 6' 55.66"），⑥長野市・岩野橋地区（N 36° 33' 42.81", E 138° 9' 24.98"），⑦長野市・関崎橋地区（N 36° 36' 21.24", E 138° 13' 25.22"），⑧長野市・屋島橋地区（N 36° 38' 24.18", E 138° 15' 29.28"），そして⑨小布施町・小布施橋地区（N 36° 42' 20.61", E 138° 17' 46.47"）である（Fig. 1, 2）。⑧屋島橋地区と⑨小布施橋地区の 2

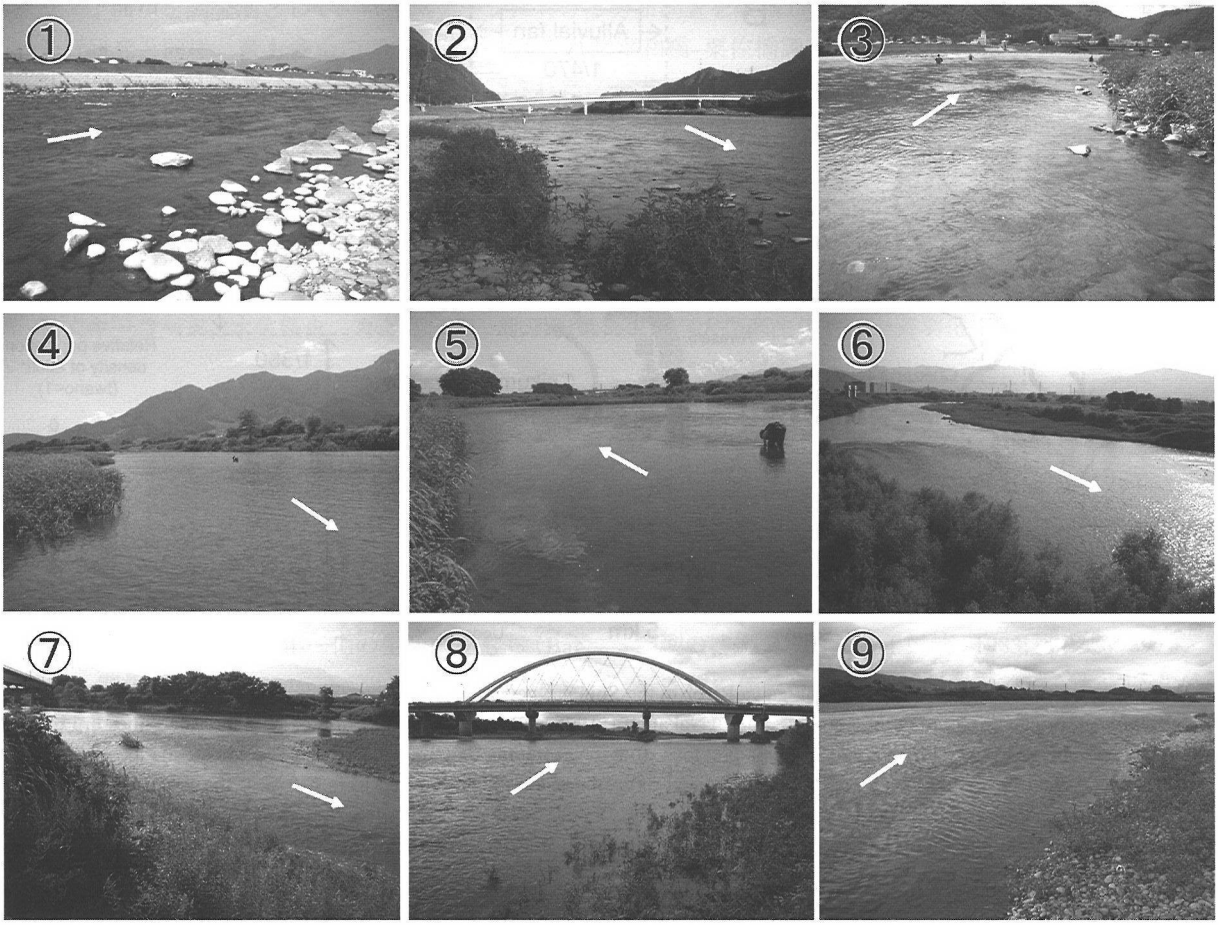


Fig. 2. The landscape of each study area along the Chikuma-gawa River. ① : the Ueda-bashi research site, ② : the Nezumi-bashi research site, ③ : the Manyo-bashi research site, ④ : the Heiwa-bashi research site, ⑤ : the Awasa-bashi research site, ⑥ : the Iwano-bashi research site, ⑦ : the Sekizaki-bashi research site, ⑧ : the Yashima-bashi research site, ⑨ : the Obuse-bashi research site.

図 2 千曲川における各調査地区の景観．①：上田橋調査地区，②：鼠橋調査地区，③：万葉橋調査地区，④：平和橋調査地区，⑤：粟佐橋調査地区，⑥：岩野橋調査地区，⑦：関崎橋調査地区，⑧：屋島橋調査地区，⑨：小布施橋調査地区．

つの調査地区は，千曲川最大の支川である犀川が流入する地点よりも下流部にあたる。千曲川における本調査地の河川地形については，上田（河川勾配 1/200）–粟佐橋地区（1/350）が扇状地帯に該当し，粟佐–小布施橋地区は自然堤防帯（1/1060）であり河川の蛇行が繰り返される（国土交通省北陸地方整備局，1997）。

雨による大規模な増水が生じていなかった 2007 年 7 月 28 – 30 日の 3 日間を調査日として，各調査区で 10 区画のコドラート（300 × 300 mm）一体型のサーバーネット（離合社製；NGG42: 目合 0.450 mm）内で深さ約 300 mm までのはまり石を掘り返す定量調査を行ない，10 回のコドラート採集において，幼生が認められたコドラートの割合（幼生の出現率）および個体密度を調べた。各調査地区におけるコドラート設置区画の選定に際しては，各地区における典型的な瀬ハビタットからランダムに 10 区画を選定したが，コドラート調査である都合上，水深や流速に関しては，ある一定の条件内に限定せざるを得なかった。しかし，大型カゲロウとしては十分な個体数を得ることができた。採集したサンプルについては，現地にて白バット上で本種幼生をソーティングし，70% EtOH で固定して，実験室へ持ち帰った。実験室において，方眼紙上で幼生の体長および最大頭幅を測定し，電子天秤（A&D 社製，FX-300i）により各幼生個体の湿重量を計測した。それぞれのコドラート採集地点については，サンプル採集の直前に水深を，電磁流速計（KENEK 社製，VE10）により水深 60% の流速を計測した。また，採集地点の河床に方形枠を置き，水中カメラ（オリンパス社製，μ Tough）により撮影・記録した。撮影した河床写真から，砂（粒径 < 2 mm），小礫（2-16 mm），中礫（17-64 mm），大礫（65-256 mm），巨礫（257-1024 mm）としてそれぞれの被度を測り，底質粗度（= 砂被度 × 1 + 小礫被度 × 2 + 中礫被度 × 3 + 大礫被度 × 4+ 巨礫 × 5; Bain et al., 1985; Inoue and Nakano, 1998）を算出した。

また，千曲川（信濃川）および犀川における生物化学的酸素要求量 biochemical oxygen demand（BOD），化学的酸素要求量 chemical oxygen demand（COD），および水温の基礎的データに関しては，国土交通省北陸地方整備局 I. 生田観測所，II. 笄橋観測所，III. 千曲橋観測所，IV. 関崎橋観測所，V. 小市橋観測所，VI. 屋島橋観測所，VII. 立ヶ花橋観測，VIII. 長生橋観測所，IX. 平成大橋観測所におけるほぼ同時期に測定された観測データを参照した（Fig. 1）。千曲川個体群におけるオオシロカゲロウの孵化期は 3-4 月および羽化期は 9 月と考えられるため（渡辺ら，1993; Watanabe and Ohkita, 2000; 関根ら，2007），BOD および水温についてはいずれの観測所においても 2005 年 3 月 9 日，4 月 20 日，5 月 18 日，6 月 15 日，7 月 20 日，8 月 17 日，および 9 月 28 日の午前中に測定された観測データを参照し，一年間に二度しか測定されていない COD については 2005 年 8 月 17 日（観測所 I-VII）および 2005 年 7 月 20 日（観測所 VIII および IX）の観測データを参照した。

結　果

各調査地区の物理的環境データとして，水深，流速，河床の底質粗度を計測した（Fig. 3）。各調査地区の水深は 0.15-0.64 m，流速は 0.025-0.968 m s^{-1}，底質粗度 1.37 – 3.58（鼠橋の河川粗度データなし）の範囲であった。各調査区での底質粗度については粟佐橋地区 - 岩野橋地区間において，流速については万葉橋地区と他全ての調査地区間において，水深については鼠橋地区 - 粟佐橋地区間において有意な違いが認められた（$p < 0.05$; Steel-Dwass test）。いずれの物理的環境データについても，犀川の流入地点の上下流間での有意な変化は認められなかった。全調査地区における河床材料は，ほぼ中礫（被度 0-90%）と大礫（0-83%）により占められていた。ただし，上田橋地区や鼠橋地区では，目視により多数の巨礫が認められたが（Fig. 2- ①，②），巨礫箇所においては 300-300 mm のコドラート調査ができないため，本調査においては対象外とした。

今回調査された千曲川のいずれの地区においてもオオシロカゲロウ幼生の棲息が認められた（Fig. 4A）。すなわち，中村（1999）による羽化成虫の報告とは異なり，犀川流入地点よりも下流側の地区においてもオオシロカゲロウ幼生が棲息していることが明らかとなった。各調査地区における幼生の出現率は，平和橋地区および粟佐橋地区で 100% と最も高く，次いで犀川合流後の屋島橋地区で 80%，小布施橋地区で 70% であった。また，平和橋地区より上流へ向かうほど，幼生出現率は低くなっていった。幼生が認められた物理的環境データについては，水深は 0.26-0.51 m，流速は 0.100-0.968 m s^{-1}，底質粗度 1.40-3.58 の範囲であった。

現存量（湿重量）および個体密度も，平和橋地区，粟佐橋地区および屋島橋地区で高かった（Fig. 4B, C）。いずれも上田橋地区から粟佐橋地区間では徐々に増加し，岩野橋地区で減少，関崎橋地区および屋島橋地区で再び増加した後，小布施橋地区で減少した。

体サイズ（頭幅）については，粟佐橋地区をピークに

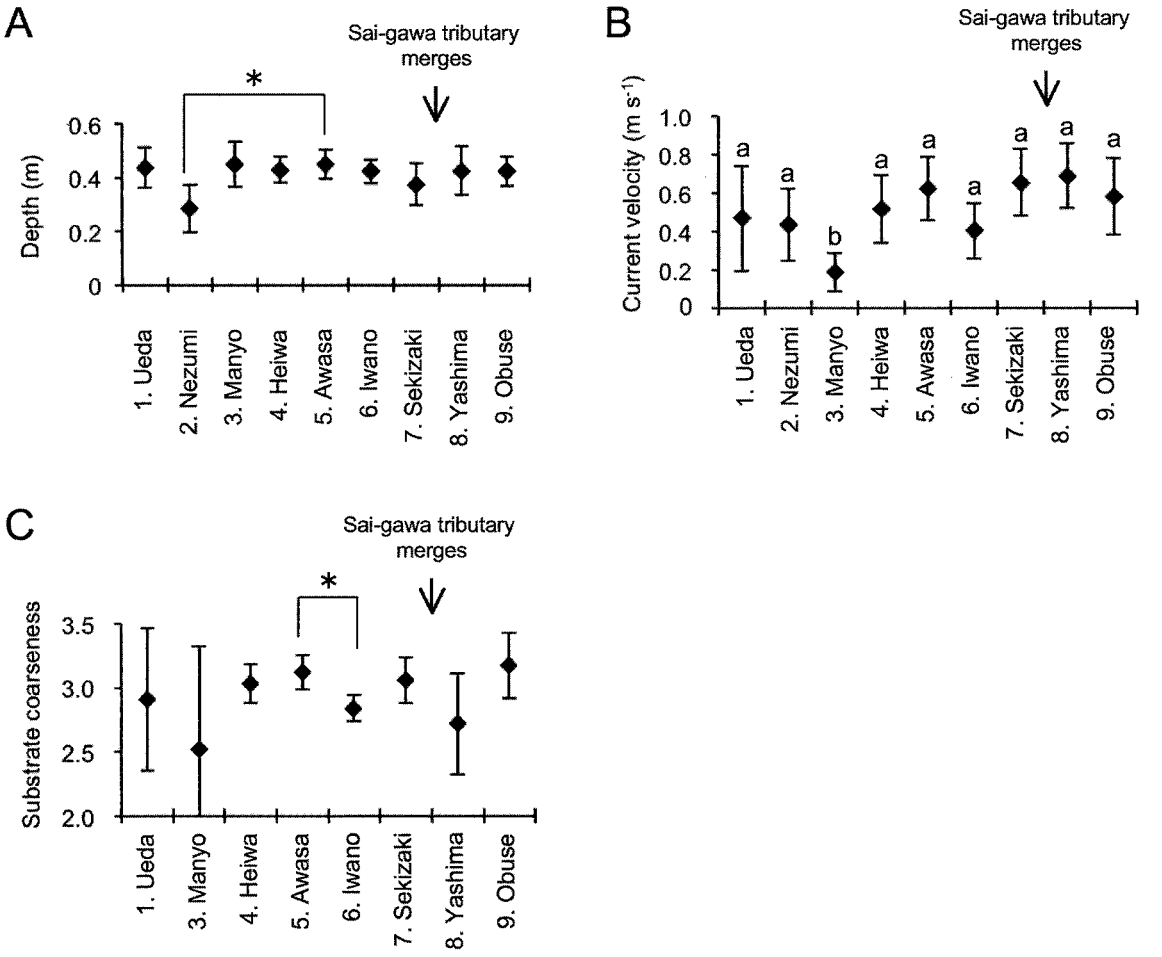


Fig. 3. Depth (A); current velocity at 60% of total depth (B), substrate coarseness (C) at each research site. Black dots and error bars indicate the mean and standard error at each research site. Asterisks (*) and different letters (a, b) indicate significant differences between the research sites ($p < 0.05$, Steel-Dwass test).

図3 各調査地区における水深(A), 水深60% 流速(B), 底質粗度(C). 黒点およびエラーバーはコドラート地点の平均値および標準偏差を示す. 有意に異なる調査地区間を * あるいは, 異なるアルファベット(a, b)で示す($p < 0.05$, Steel-Dwass test).

一山型の分布となった(Fig. 4D, 5)。平和橋および粟佐橋地区に棲息する幼生の体サイズは関崎橋, 屋島橋および小布施橋地区に棲息する幼生に対して有意に大きかった。また, 岩野橋地区における幼生の体サイズも小さかったが, 採集された個体数が少なく平和橋および粟佐橋地区の幼生との有意な体サイズの違いは認められなかった。オオシロカゲロウは地理的単為生殖種であり, 千曲川の個体群はメスだけで構成される雌性個体群(単為生殖個体群)であることが明らかになっている(Watanabe, 1998; Tojo et al., 2006; 関根・東城, 2008; Sekiné and Tojo, 2010)。今回の調査においても, 採集された個体はいずれもメス個体であり, 体サイズの雌雄差を考慮する必要はない。一個体当たりの湿重量についても体サイズと同様の傾向が認められ, 平和橋地区および粟佐橋地区における幼生は高い湿重量をもつ一方で, 屋島橋および小布施橋地区における幼生では有意に低い湿重量が認められた(Fig. 4E)。

千曲川および犀川の各観測所における2005年のBODおよびCOD計測データからは, 生田から関崎橋地区までの区間において, 犀川や信濃川下流部と比べて高いBODおよびCOD値が認められる傾向があり(Fig. 6A, B), オオシロカゲロウの幼生期である3–9月におけるBOD値については, 観測地点間での有意な違いが認められた($p < 0.001$, Friedman test)。Scheffeによる多重比較では, 生田から関崎橋観測地点までの区間と犀川流入地点より下流部との間に有意な違いは認められなかった

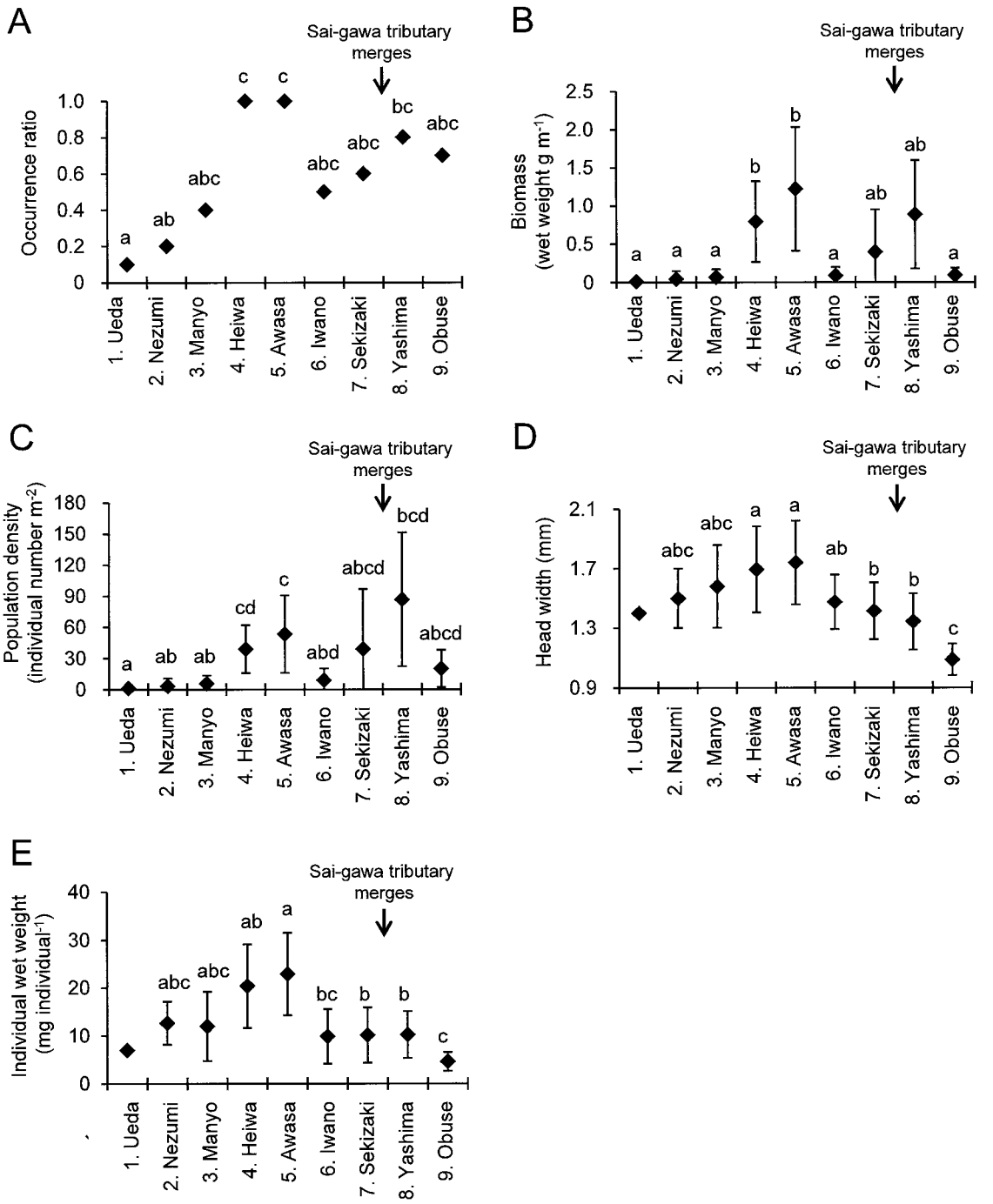


Fig. 4. Occurrence ratio (A); biomass (B); population density (C); size of nymph (D) and wet weight of nymph (E) at each research site. Black dots and error bars indicate the mean and standard error for each research site. The different letters (a, b, c, and d) indicate significant differences between the research sites ($p < 0.05$; A: Tukey test, B-E: Steel-Dwass test).

図 4 各調査地区において認められたオオシロカゲロウの出現率 (A), 現存量 (B), 個体密度 (C), 頭幅サイズ (i.e., 個体サイズ)(D), そして個体湿重量 (E). 黒点およびエラーバーは平均値および標準偏差を示す. 有意に異なる調査地区間を異なるアルファベット (a, b, c, d) で示す ($p < 0.05$; A: Tukey test, B-E: Steel-Dwass test).

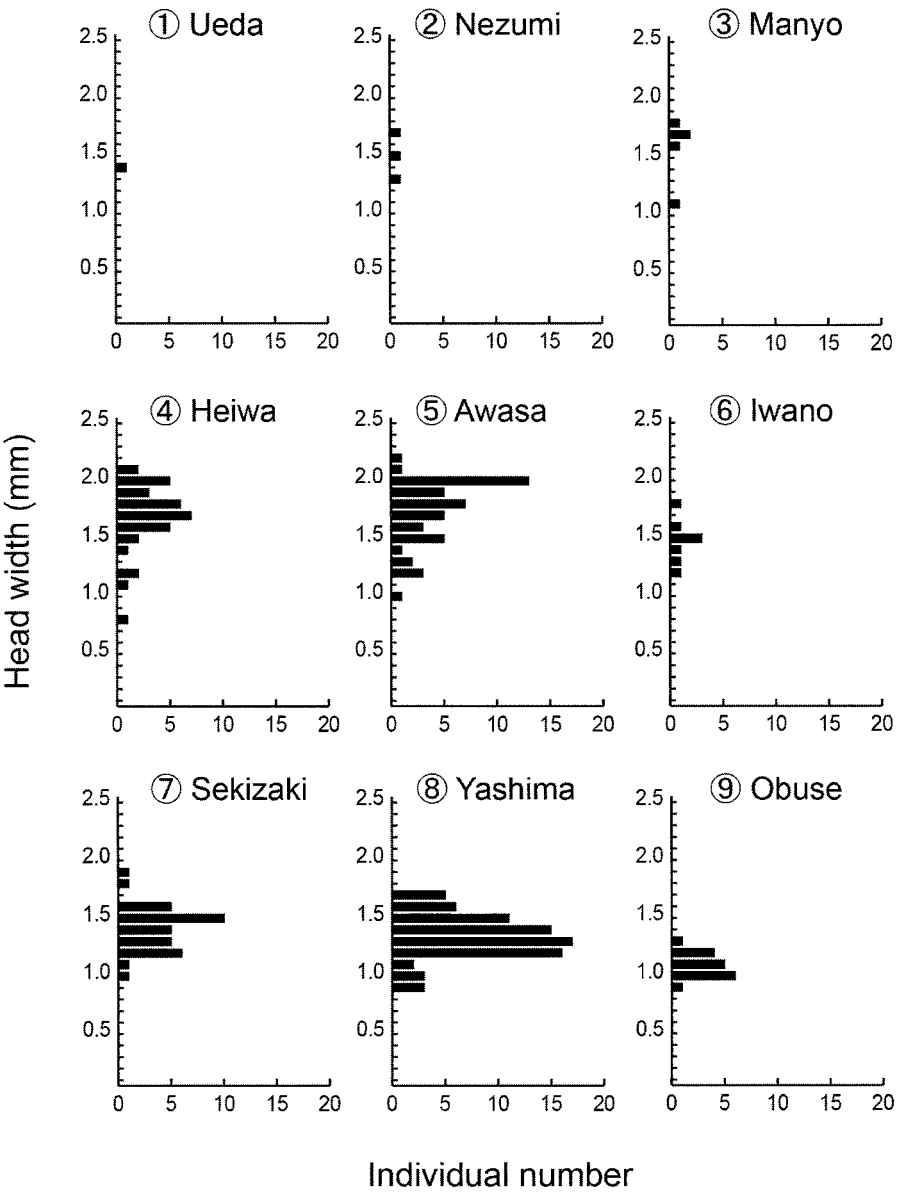


Fig. 5. Body size (head width) distribution of all collected *Ephoron shigae* specimens in each research site.

図5　各調査定点において採取されたオオシロカゲロウ幼生の体サイズ（頭幅）の分布.

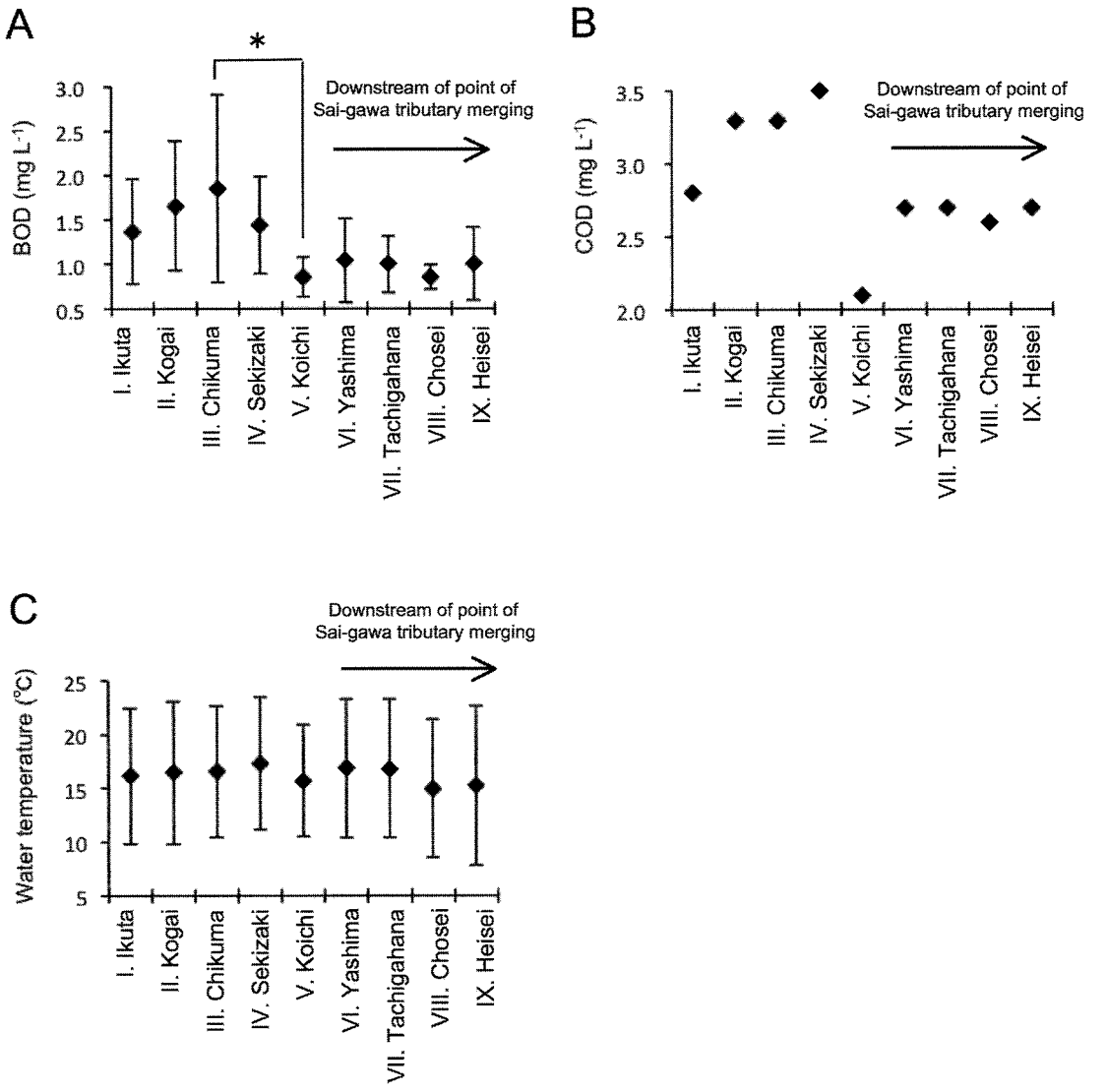


Fig. 6. BOD (biochemical oxygen demand) (A), COD (chemical oxygen demand) (B), and water temperature (C) data in the Shinano-gawa River basin. BOD (A) and water temperature (C) are significantly different between the observatory sites (A: $p < 0.001$, C: $p < 0.01$, Friedman test), and asterisks (*) indicate significant differences ($p < 0.05$, multiple comparison with Scheffe test). Black dots and error bars indicate the mean and standard error at each research site.

図 6 信濃川水系における BOD (A), COD (B), および水温 (C). A, C: BOD および水温のいずれについても，観測所間での有意な違いが認められ (A: $p < 0.001$, C: $p < 0.01$, Friedman test), Scheffe 法による多重比較で有意な違いが認められた観測所間については * で示す ($p < 0.05$). 黒点およびエラーバーは平均値および標準偏差を示す.

ものの，犀川の小市橋観測地点の BOD 値は千曲橋観測地点より有意に低い値であった。

千曲川および犀川の各観測地点間における水温測定データには有意な違いが認められたものの ($p < 0.01$, Friedman test), Scheffe による多重比較ではいずれの観測地点間においても有意な違いは認められなかった (Fig. 6C)。

考　察

千曲川におけるオオシロカゲロウの分布域は，従来考えられていたよりも広く，少なくとも上田橋から小布施地区までの間に分布しており，中村 (1999) の調査では成虫が確認されなかった犀川の流入点よりも下流側にも幼生が分布していることが明らかとなった (Fig. 1, 3–5)。ただし，本調査では分布の上・下限が明らかになっ

ていないため，本調査地域より上流や下流側においても分布する可能性がある。

平和橋地区から粟佐橋地区では幼生の体サイズは大きく，高い現存量と個体密度が認められており，好適なハビタットがあるものと考えられる（Fig. 4, 5）。また，粟佐橋地区より下流へ向かうにつれて体サイズが小さくなる傾向が認められた（Fig. 4D, 5）。水温は幼生の成長率に影響を与えると考えられるが，調査地区間での違いは認められず，幼生の体サイズの低下は水温によるものではないと考えられる（Fig. 6C）。オオシロカゲロウ幼生は，デトリタスを餌とする濾過食者であり（野崎, 1983; 蓮田, 1989），富栄養な河川を好むと考えられる。本種の分布が認められた上田–須坂市間では，BODやCODが下流域（新潟市）と同様に高い数値を示すことが報告されている（国土交通省北陸地方整備局, 1997; 沖野ら, 2006）。一方，犀川と合流することによりBODやCOD値は低下することが言われている。2005年のBODやCOD値のデータからも上田–須坂市間で高く，犀川との合流で低下する傾向が認められた（Fig. 6）。千曲川の中流域では，上田市をはじめとする流域市町村から栄養塩類が流入するため，付着藻類の現存量が高いことが報告されているが（沖野ら, 2006），平和橋や粟佐橋地区のような富栄養な河川地区では，餌となるデトリタスが豊富に存在するため，幼生は高い成長率で成長することができると推察される。屋島橋や小布施橋地区では比較的貧栄養な犀川の合流により餌不足を生じてしまい，幼生の成長率の低下を引き起こしてしまうのかもしれない。

しかし，上田橋から下流へ向かうほど増加する幼生の体サイズや現存量は，犀川の入点よりも上流側の岩野橋地区から低下する傾向が認められており，粟佐–岩野橋地区間に該当する千曲橋–関崎橋観測地点間では，BODやCOD値に大きな違いは認められなかった（Fig. 6A, B）。したがって，幼生の体サイズや現存量の低下の原因は犀川合流の影響だけではないと考えられる。粟佐–岩野橋地区間は，扇状地帯（上田–粟佐橋地区）から自然堤防帯に移行する地形に該当している（国土交通省北陸地方整備局, 1997)(Fig. 1)。オオシロカゲロウ幼生は，こぶし大程度のはまり石のある河床にU字型の巣を堀って潜る，いわゆる掘潜型のカゲロウである（蓮田, 1989; Ban et al., 1994）。平和橋や粟佐橋地区は扇状地末端部であり，千曲川の大きな湾曲部に位置するため，餌となるデトリタスをはじめ，幼生が好むこぶし大程度の中礫や，間隙を形成するための土砂などが多く供給されると考えられる。一方，千曲川の大きな湾曲が終わり，河川勾配も緩やかな自然堤防帯に移行した岩野橋地区では，供給される堆積物，特にこぶし大程度の石の供給が減少するため，底質が細かくなり（Fig. 3C），幼生にとってのハビタットの質が低下した可能性が考えられる。また，幼生の個体密度が再び増加する屋島橋地区は千曲川の自然堤防帯であるが，扇状地末端部を流れた犀川の流入直後でもあるため，犀川から本種の生息に適したサイズの石が再び供給され，適したハビタットが多く生じるのかもしれない。しかし，水質は比較的貧栄養であるため体サイズは小さく，利用空間が体サイズの大きい個体に比べて小さくて済むため，高い個体密度が認められたと推察される。

平和橋地区や粟佐橋地区における集中的な分布については，中村（1999）における成虫の発生量の結果と矛盾しないが，上田橋地区や鼠橋地区などの上流側における幼生の個体密度は比較的低く評価された（Fig. 1, 4, 5）。今回の調査では，立ち入ることが可能な範囲でしか調査できていないため，河川の流心部分については評価できていない。また，オオシロカゲロウのメス個体では，羽化後に再度脱皮することなく亜成虫のまま産卵のための遡上飛行（卵や幼生期における流下を補償するための飛行）をすることが知られるが，個体密度の高い平和橋や粟佐橋地区由来のメス亜成虫が遡上飛行することで，上流側の万葉橋や鼠橋，上田橋地区にまで移動することもあるのかもしれない。

犀川の入点よりも下流側の流程では，中村（1999）の調査において羽化個体が目撃されていなかった。オオシロカゲロウの羽化時期は短く同調的であるが，体サイズの小さな個体の羽化は羽化時期の比較的後半に生じるとされており（渡辺ら, 1993; Watanabe et al., 1998），調査時期に羽化していなかった可能性が考えられる。また，遡上飛行による影響や橋上に設置された照明の強度および水面からの設置距離（高さ）による影響もあるかもしれない。下流側ほど羽化成虫の体サイズが小さく，羽化時期が遅れるのかどうかについては，今後の課題である。

謝　辞

本調査研究に際し，河川生態学術研究会千曲川グループ（中村浩志代表）の皆様，および国土交通省千曲川工事事務所の皆様，信州大学理学部物質循環学科の戸田任重教授，兵庫県立大学環境人間学部の片野泉准教授，独立行政法人農業生物資源研究所の畠山正統主任研究員，信州大学東城研究室の方々にご協力頂いた。また，本研

究においては，（財）リバーフロント整備センター研究助成金，JSPS 科研費（#21-7173, #23-7977, KS），信州大学山岳科学総合研究所重点研究費からの助成も頂いた。ここに深謝申し上げる。

引用文献

Bain, M. B., J. T. Finn and H. E. Booke (1985): Quantifying stream substrate for habitat analysis studies. North American Journal of Fisheries Management, 5: 499-500.

伴幸成 (1997): アミメカゲロウの発生に対するダム・堰堤の影響 . TaKaRa ハーモニストファンド，平成 8 年度研究報告 : 35-44.

Ban, Y. and CHUBU aquatic insects research group (1994): Life history and habitat preference of the burrowing mayfly, *Ephoron shigae* Takahashi (Ephemeroptera: Polymitarcyidae) in the Yahagi River in central Japan. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 25: 2468-2474.

千葉克彦 (2000): 長良川下流部で確認されたアミメカゲロウの大発生 . 兵庫陸水生物，51・52: 227-231.

千葉克彦 (2010): 河口堰上流で集団発生したオオシロカゲロウ . 長良川下流域生物相調査報告書，2010-11: 110-117.

蓮田裕一 (1989): アミメカゲロウ幼虫の生態 . インセクト，40: 12-18.

Inoue, M. and S. Nakano (1998): Effects of woody debris on the habitat of juvenile masu salmon *(Oncorhynchus masou)* in northern Japanese streams. Freshwater Biology, 40: 1-16.

Ishiwata, S. (1996): A study of the genus *Ephoron* from Japan (Ephemeroptera, Polymitarcyidae). Canadian Entomologist, 128: 551-572.

国土交通省北陸地方整備局 (1997): 千曲川・犀川の河道特性 ー川の流れのしくみー . 国土交通省北陸地方整備局，長野 .

中村和夫 (1985): アミメカゲロウの卵の発生条件 . インセクト，36: 83-86.

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 the Arthropodan Embryological Society Japan, 34: 11-16.

中村浩志 (1999): 千曲川の自然 . 信濃毎日新聞社，長野 .

野崎隆夫 (1983): 相模川に生息するアミメカゲロウの生態 . 神奈川自然誌資料，4: 37-41.

沖野外輝夫・河川生態学術研究会千曲川グループ (2006): 洪水がつくる川の自然 . 信濃毎日新聞社，長野 .

関根一希・東城幸治 (2008): メスだけで世代を繋ぐ千曲川産オオシロカゲロウ . New Entomologist, 57: 57-64.

Sekiné, K. and K. Tojo (2010): Automictic parthenogenesis of a geographically parthenogenetic mayfly, *Ephoron shigae* (Insecta: Ephemeroptera, Polymitarcyidae). Biological Journal of the Linnean Society, 99: 335-343.

関根一希・鶴田大三郎・東城幸治 (2007): 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 . 陸水学雑誌，68: 253-260.

塩山房男 (1978): アミメカゲロウの大量発生 . インセクト，29: 1-6.

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 ー個体群間での単為生殖能力の差異についてー . Proceedings of the Arthropodan Embryological Society Japan, 37: 53-56.

Tojo, K., K. Sekiné and A. Matsumoto (2006): Reproductive mode of the geographic parthenogenetic mayfly *Ephoron shigae*, with findings from some new localities (Insecta : Ephemeroptera, Polymitarcyidae). Limnology, 7: 31-39.

渡辺直 (1996): 大発生するオオシロカゲロウ . 海洋と生物，107: 424-428.

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.

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.

Watanabe, N. C., I. Mori, and I. Yoshitaka (1999): Effect of water temperature on the mass emergence of the mayfly, *Ephoron shigae*, in a Japanese river (Ephemeroptera : Polymitarcyidae). Freshwater Biology, 41: 537-541.

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., K. Hatta, K. Hisaeda, K. Hoshi, and S. Ishiwata (1998): Seasonal and diurnal timing of emergence

of *Ephoron shigae* (Ephemeroptera: Polymitarcyidae) from four Japanese rivers. Japanese Journal of Limnology, 59: 199-206.

脚　注

* オオシロカゲロウのメスは亜成虫ステージで交尾・産卵を行い，成虫への脱皮を行わない（メス亜成虫の体内には成虫のクチクラ分泌がなされているため，交尾・産卵するステージであっても成虫とは区別して，一般には亜成虫として扱われている）