

瀬淵構造を持つ河川区間における微地形と 水生昆虫の分布に関する現地調査

FIELD SURVEY ON THE DISTRIBUTION OF AQUATIC INSECTS AFFECTED
BY THE SMALL SCALE RIVERMORPHOLOGY

天野 邦彦¹・時岡 利和²・傳田 正利²・対馬 孝治³

Kunihiko AMANO, Toshikazu TOKIOKA, Masatoshi DENDA and Kouji TSUSHIMA

¹正会員 博(工) (独) 土木研究所 上席研究員 (〒305-8516 つくば市南原1-6)

²正会員 (独) 土木研究所 研究員 (〒305-8516 つくば市南原1-6)

³正会員 博(農) 独立行政法人土木研究所 専門研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
(現所属 豊橋技術科学大学 建設工学系 助教 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町字雲雀ヶ丘1-1))

Distribution of benthic macroinvertebrates such as aquatic insects seems to be dependent on the physical environment like mean velocity and bed material in lotic environment. We have conducted field survey in which part of a river was dried so that we were able to sample aquatic insects from various places. Survey results showed that aquatic insects which belong to collector-filterer were abundant at places with high flow velocity and those belong to collector-gatherer were found in large number in area where flow velocity is small and sediment settles. Flow pattern controls dominant species because species that has a feeding function which is suitable to the flow environment can be dominant. High correlation between velocity and biomass of collector-filterer was found.

Key Words : Benthic invertebrates, riffle, pool, river morphology, aquatic insect

1. はじめに

河川がそこに生息する生物に提供する棲み場には、数々のものがある。その中で河床に目を向けると、河床は、付着藻類や底生動物の棲み場としての重要な役割を果たしている。付着藻類は河川生態系の一次生産者として生態系を支えているし、河床に生息する底生動物である水生昆虫は、河川水中にさまざまな形態で存在する有機物を消費する一次消費者として重要な役割を果たしている。これら水生昆虫は、さらに魚類の餌となることで魚類の生息を可能としていることから、同様に河川生態系において重要な役割を果たしている。このように河川生態系において重要な役割を果たしているさまざま付着藻類や水生昆虫が河床においてどのように生息しているかという特性を知ることが、河川環境の保全の見地から重要なことといえる。

付着藻類や水生昆虫のような底生生物の生息分布に関しては、数多くの研究が行われているが、Statzner¹⁾は、流水性の水域における無脊椎動物の分布に対しては、河床特性よりもむしろ平均流速などの水理量の方が影響が大きいと指摘している。河川における流れの場

は、河床の粒径分布や形状を規定するため、このような間接的な影響を考えると、流速分布などの水理条件は底生生物の分布に大きく影響すると考えられる^{2) 3)}。そこで、本研究では、実河川において多様な河床特性をもつ一区間を対象に、流速分布が河床材料特性および水生昆虫の分布に与える影響について調べることを目的に現地観測を行った。

流れや河床特性といった物理環境と水生昆虫の分布とを関連づけることは、河川管理を行う上でも重要と考えられる。河川改修において、河川形状の改変が生じるが、このような形状改変を行う際にも、物理環境特性と水生昆虫分布との関連性が評価できていれば、新たに形成される物理環境が生物の視点から見てどのような特性を持つものかを評価することが可能で、そこに棲む生物への影響を緩和するためにとりうる手段(河川形状の設計等)を選択することが可能となると思われる。

河川形状のスケールとして、まずリーチスケールを考慮すれば、河川改修の際にも直接的に底生生物の視点から見て良好な川の瀬淵構造を保全、もしくは創出するような計画を立てることが可能であろう。そこで、本研究では長野県千曲川中流域におけるリーチスケールを有する一区間を対象として瀬淵の物理環境、生物調査を行う

と共に水理計算を実施することで、瀬淵の地形とそれが形成する流れ場とそこに生息する生物との関係性を評価することを試みた。

2. 研究方法

(1) 調査地の概要と現地調査

長野県上田市にある千曲川鼠橋地区における瀬淵で2005年2月末に調査を行った(図-1)。本河川は流域面積7,163km²、流路延長214kmの大河川であり甲武信ヶ岳(標高2475m)から長野盆地を流下し新潟県境に入り信濃川と名前を変える。

本研究においては、リーチスケールでの水生昆虫の分布を河川微地形、河床特性と関連づけて調査を行うことを目指したが、瀬淵の調査を行う際に問題となるのは、水深が深い淵や流速が極めて速い瀬など簡単に立入ることができない場所における試料採取が難しいことである。そこで本研究では、このような場所においても調査が可能となるように、以下の手順で調査エリアを作成した。

①図-2に示す鼠橋地区における1組の瀬淵を調査エリアとして選定した。

②調査エリア上流に盛土を設置し、上流からの水の流入を遮断すると共に、下流の河床を掘削することによって調査エリアの水位を下げると共に流れを止めた。

この様に作成された調査エリアにおいて以下に示す調査を行い、瀬淵の生態的機能評価を試みた。

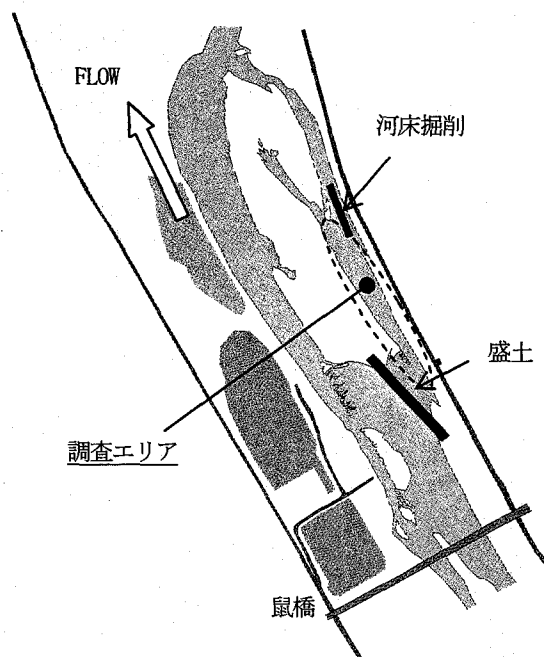


図-2 鼠橋地区における調査エリア



写真-1 調査エリア作成の様子

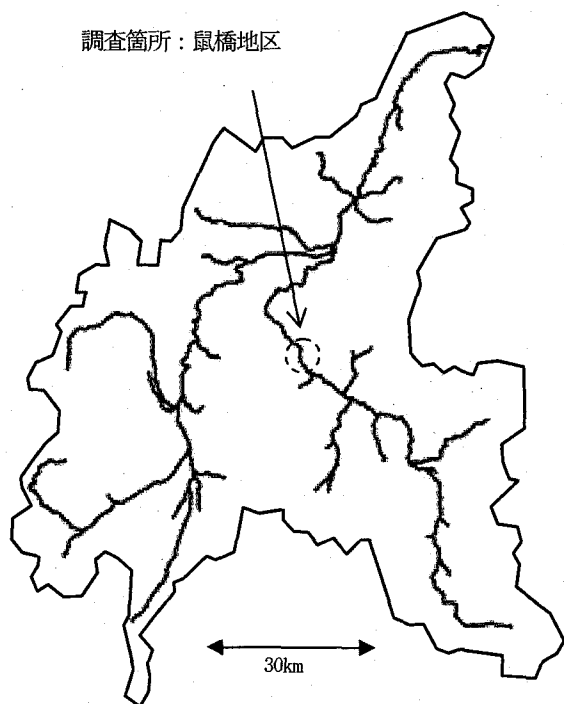


図-1 調査位置（千曲川鼠橋地区）

(2) 水生昆虫および河床特性調査

今回作成した調査エリアにおいて、流速分布との関連

づけを目指した水生昆虫調査を行うために、図-3に示す地点（19地点）において水生昆虫の採取を行った。今回の調査では、最深部まで干出させる程の水位低下は行わなかったため、図に示すように、最深部を挟んで左右岸沿いに調査地点を設けた。このうち、St.1～St.9については25cm×25cmのサーバーネットを用いて採取し、採取した水生昆虫について個体数計測、重量計測、種同定を行った。また、Sta～St.Jについては50cm×50cmの枠を設置して、その中におけるヒゲナガカワトビケラ(*Stenopsyche marmorata*)のみを採取し、個体数計測、重量計測を行った。Sta～St.Jにおいて礫が重なっている場所では、表層一層のみに存在するものを対象に採取した。

また、St.1～St.9付近の河床に堆積している細かい粒径の泥の堆積厚を測定すると共に、堆積土を採取し、強熱減量、粒径分布を測定した。

(3) 河川微地形と流れ場特性の関係検討

水位が下がった調査エリア内において地形測量を行い、調査エリア河床形状データを作成した。作成した河床形状データを用いて、調査エリア内の水理計算を行った。様々な流量を条件として計算を行うことから、水際の境界条件の自由度が高く一般座標系を用いた平面2次元流解析プログラム⁴⁾を用いて定常計算を行った。

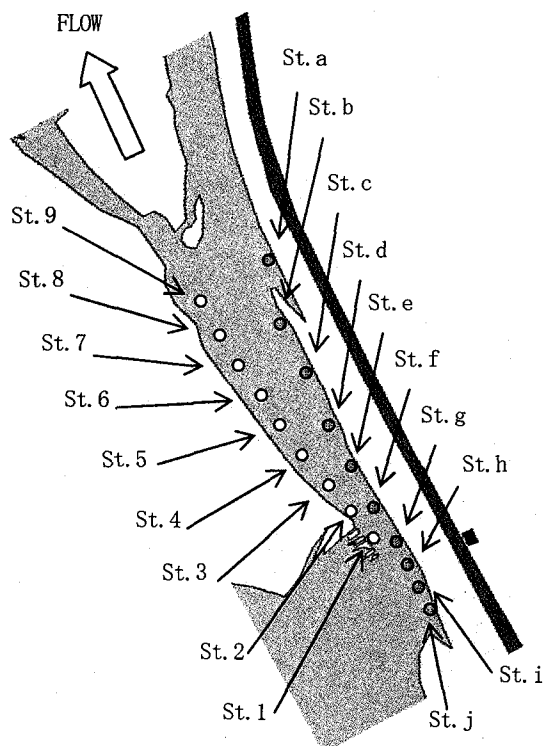


図-3 水生昆虫採取地点（調査エリア拡大）

上流端流量は調査時期とほぼ同じ流量である $30\text{ m}^3/\text{s}$ と若干流量の増加した $70\text{ m}^3/\text{s}$ で計算をおこなった。下流端水位データの整備に関しては、上流端から与える流量に対応してManning式による等流水深を下流端水位として設定した。初期水位データの整備は、各計算横断面においてManning式による等流水深を初期水位条件として設定した。等流公式におけるエネルギー勾配 le は、対象横断面の上下流断面（流下方向に $\pm 6\text{m}$ ）の最深河床勾配とした。逆勾配が生じている区間では、計算区間全体の最深河床勾配である $1/227$ を与えた。Manningの粗度係数 n （以下、 n ）については、一般的な河床粗度として良く使用される数値である $n=0.032$ とした。計算時間ステップ Δt は、 $\Delta t=0.1[\text{sec}]$ を基本とし、数値振動が発生する場合は $\Delta t=0.05[\text{sec}]$ とした。

上記の条件で算出した水理計算結果をGIS（ESRI社、ArcGIS Ver.9）を用いて図化し空間分析ツール（ESRI社、Spatial Analyst）を用いて10mグリッドの流速、水深分布を算出した。

流速分布の計算結果を現地調査結果と重ね合わせ、瀬淵の流速分布とそこに堆積する土砂の特性や水生昆虫の生息状況との関係性を評価した。

3. 研究結果

(1) 河川微地形と流れ場特性の関係

図-4に調査エリアにおける流速分布の計算結果を示す。計算結果は流速の違いを明確に表すため、 $70\text{ m}^3/\text{s}$ 流量時の結果を示している。調査エリア上流側の瀬では 1m/s 程度の流速が出ており（エリア①）、調査エリア上流側の右岸側（エリア②）は水衝部となっており、岸付近でも 50cm/s 程度の速い流速になっていることが分かる。右岸側は水流が強く河床は礫主体であったが、今回生物調査を実施した地点では下流に行くほど流速は小さくなっており、下流部では砂が混じる状況であった。また、調査エリア下流側の淵では流速は遅くなっており（ 20cm/s 程度）、淵の左岸側（砂州側）では $0\sim 15\text{cm/s}$ 程度の遅い流速のエリアが岸から 10m 程度の広い範囲で存在していることが分かる（エリア③）。この部分は、流路幅が漸増しており、このため流速が小さく懸濁物が堆積しやすい場所となっていた。

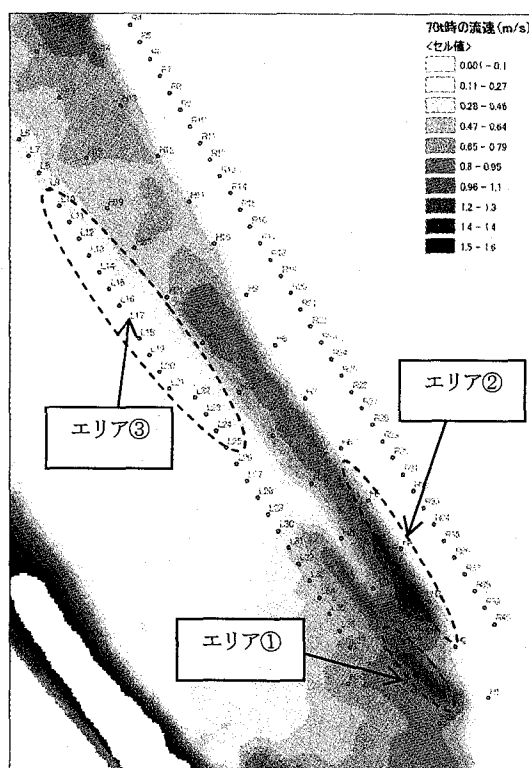


図-4 $70\text{ m}^3/\text{s}$ 流量時における流速分布

(2) 水生生物分布

図-5に調査エリア右岸側におけるヒゲナガカワトビケラの個体数（ m^2 換算）を示す。結果を見ると、調査エリア上流側の瀬に近い部分では個体数が多く、下流の淵に近づくにつれて個体数が減少する傾向にあることが分かる。次に、水深平均流速とヒゲナガカワトビケラの個体数の関係を図-6に示す。流速が早くなるほどヒゲナガカワトビケラの個体数が増える傾向を示していることがわ

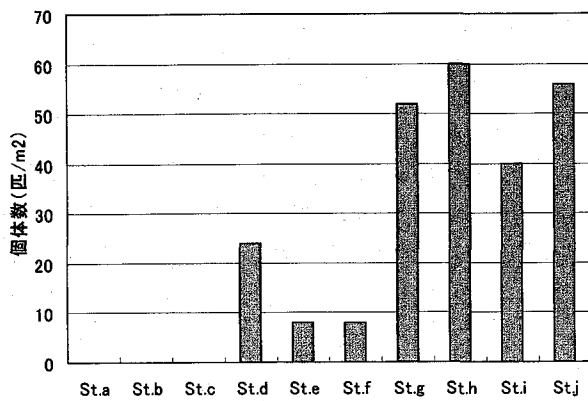


図-5 右岸側におけるヒゲナガカワトビケラの個体数

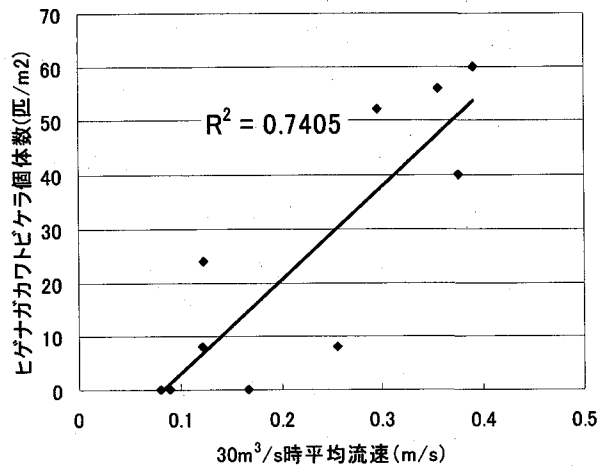


図-6 右岸側におけるヒゲナガカワトビケラ個体数と水深平均流速の関係 (流量30m³/s時)

かる。

次に、図-7に砂州側における水生昆虫の種別個体数 (m²換算) を示す。調査エリア上流の瀬に近い部分では St.1およびSt.2ではユスリカ以外の種が確認できたが、淵に近くなると、ほぼユスリカのみで占められる。個体数については多い地点と少ない地点があり、St.1～St.9にかけて流速との明確な相関は見られなかった。

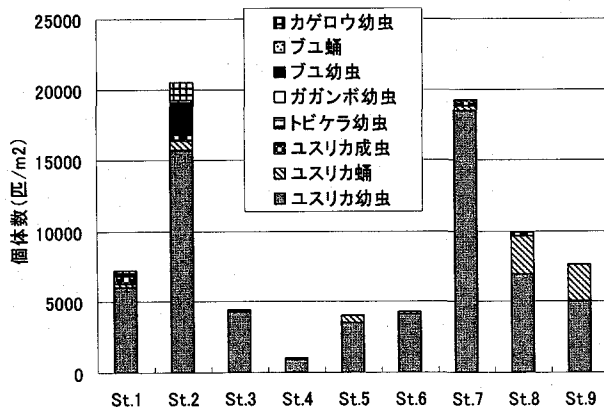


図-7 砂州側における水生昆虫個体数

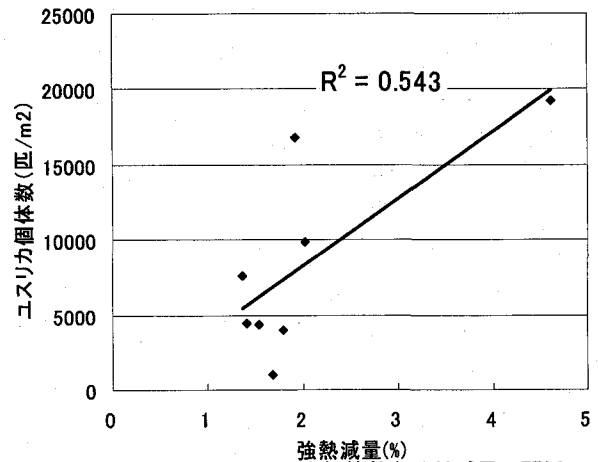


図-8 砂州側におけるユスリカ個体数と強熱減量の関係

ただし、図-8に示すように、河床堆積物の強熱減量とユスリカの個体数には若干の相関が見られた。ユスリカは湖沼などの底泥に代表されるような嫌気的な環境を好む種が多く⁹⁾、有機物の含有量が比較的多い淵の砂州側縁部に多く生息していたと考えられる。

図-9に砂州側堆積土砂の平均粒径、強熱減量、堆積泥厚を示す。結果を見ると、淵の砂州側において粒径の細かい (平均粒径0.1mm～0.3mm) 土砂が多く堆積していることが分かる。また、同エリアにおいて強熱減量の値も他の場所より高くなっていることから、この場所には有機物を多く含む細かい土砂が堆積しているものと考えられる。また、図-4に示した流速分布の結果から、このエリア付近は比較的流速の遅い箇所であり、別途計算した結果から水深も比較的浅い (10cm～30cm)。このため、上流から流れてきた細かい土砂や粒子状有機物が河床に沈降し易く、下流に流されにくいいため、このような細かい土砂が堆積したものと考えられる。このエリアは土砂の平均粒径が非常に細かく、有機物を多く含んでいることから、表層を除くと嫌気的な河床環境になっていた (写真-2)。



写真-2 干出した底質の様子

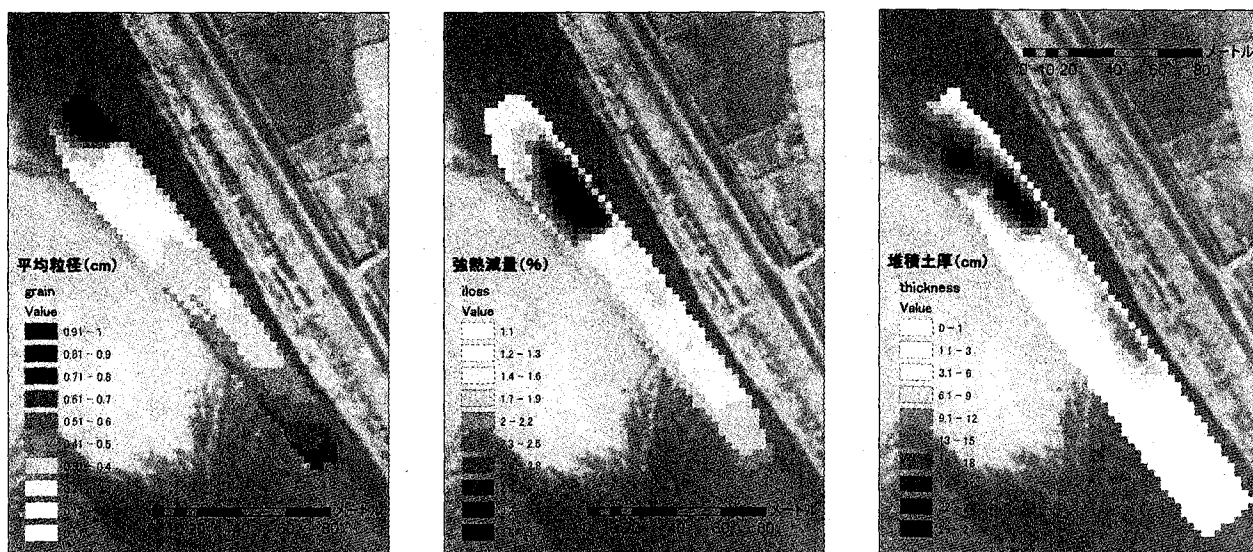
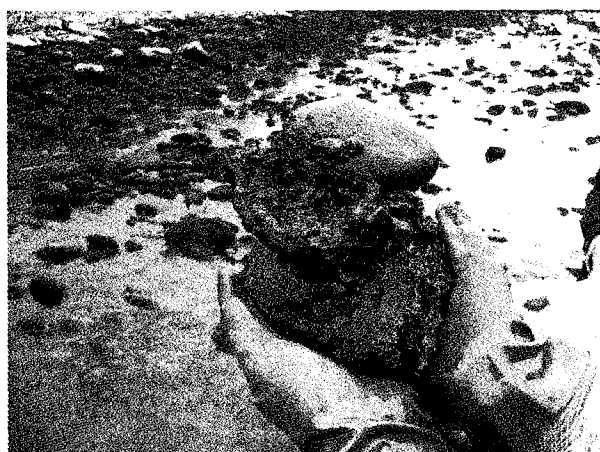


図-9 砂州側堆積土砂の平均粒径、強熱減量、堆積土厚

4. 考察

(1) 水衝部における水生昆虫分布

今回の調査において、右岸側に位置するSt. a～jの地点においては、流速が速い地点ほど、ヒゲナガカワトビケラの現存量が多い結果であった。ヒゲナガカワトビケラは造網性の水生昆虫であり、流下してくる有機物を餌として取り込んでいる。よって、流速の速い場所ほど餌の取り込みに有利であり、そのため個体数と流速の相関が高かったと考えられる。今回調査した地点(St. a～j)における河床は、粒径20cm以上のレキが分布しており、ヒゲナガカワトビケラの巣網によりこれらが互いに接着されたような状況になっていた(写真—3)。



写真—3 ヒゲナガカワトビケラの巣網により接着された河床礫

水生昆虫は、摂食機能群により分類することが可能であり、ヒゲナガカワトビケラは、上述のように流下してくる有機物を網で捕捉し、餌としている。著者らは、同じく千曲川においていくつかの地点で水生昆虫調査を実

施したが、流れの速い瀬の区間でヒゲナガカワトビケラは多く発見されている。彼らは、河川を流下する粒子性有機物(POM)を餌として利用していることが、安定同位体比計測から判明している⁶⁾。St. g～jは、直上流で右岸側に衝突する早瀬からの流れがある部分であり、この早瀬においても付着藻類が大量に存在しており、剥離したこれら付着藻類が流速の速い流れにより河床礫の間隙にまで供給されることから、この部分において造網性のヒゲナガカワトビケラが大量に生息し得たと考えられる。

さらに、高速の流れが存在することで、曝気が促進されると共に水生昆虫の排泄物を含んだ有機物のフラッシュが常に行われていると考えられる。これは、酸素条件から見ても大量の水生昆虫の存在を可能にしている条件であると考えられる。流速が大きいほど、生息量が多いのは、このように造網性昆虫に環境が有利なのと比較的大きな礫が安定的に存在する場合、生息可能な間隙の体積が大きいためと考えられる。

(2) 水裏部における水生昆虫分布

左岸側の調査地点であるSt. 1～9では、ユスリカの幼虫が多く発見された。左岸側には中州が存在しており、本調査エリアにおいては下流に行くにつれて水面幅が徐々に広がっている。水位を低下させた後の調査地点において撮影した写真を写真—4に示す。

水位を低下させたところ、出水時に形成されたと考えられる礫からなる中州の上に、出水ピーク後及び平水時に堆積したと見られる細粒土砂分が堆積していた。水裏部で流速が緩い上に平面的に見ても水面幅が下流に向けて漸増しているので懸濁物が堆積しやすい場所になっている。

ユスリカは、このような場所において堆積した有機物を餌として利用しているものと考えられる。特にSt. 7



写真—4 左岸側における細粒土砂の堆積状況

地点においては、水位低下後、写真—5に示すように大量のユスリカの巣穴と底質から直上水上に発達したチムニーが発見された。

水理計算による検討から、本調査エリアの左岸側では、出水時においてもあまり大きな流速が出ないことが判明している。このため、細粒土砂分と流下有機物が堆積しやすいといえる。このため、写真—2に示したように底質の中は嫌氣的状況になっている。このため、底質深部では昆虫の生息は困難と思われるが、写真—5に示すように底質表面に酸素を取り入れるための煙突（チムニー）を形成することで呼吸を可能にしていると考えられる。流れは緩いものの河川の順流域に存在しているため、底質表層では酸素が常に供給されていると考えられるため、このような生態を持つユスリカ幼虫の生息を可能にしていると考えられる。



写真—5 ユスリカの巣（チムニー）

5. まとめ

瀬淵構造を有する河川の一部において流れを一時的に停止させることで、通常の調査においては、実施するこ

とが困難である流れの速い瀬や深い淵において流速場のような物理環境と水生昆虫の分布の関連性について、調査を行った。

今回の調査からも、流速分布によって水生昆虫の分布特性が大きく異なることが示された。特に水衝部と水裏部における顕著な違いが明らかになった。水衝部では、高速流が大量の有機物（食料）と酸素を常に供給すると共に、排出物が堆積しないことから、好気的環境を好むと共に、礫間に棲み高速流でもフラッシュされない造網性昆虫の大量の生息が可能となっていた。このような特性から、流速と昆虫の現存量は高い相関性を有していた。

水裏部では、堆積有機物を利用するユスリカが多く発見された。これらは、流れが緩い場所に堆積する有機物を利用するため、有機物の堆積量により現存量が強く規定されていた。

流れの分布は、河床形状を規定すると共に、食料の供給、酸素供給、河床材料に影響する。水生昆虫の分布調査については、これらの物理環境要素と関連づけた調査が必要と考えられる。水生昆虫の分布については、ハビタットとしての河床環境の選好性と共に、上流からの供給と言った要素も重要な影響要因である。今回の調査においては、この点については検討していないが、今後このような要因も含めて評価を行うことで、河床環境の保全に役立てていくことが必要である。

謝辞：国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所の職員及び更埴漁業共同組合の組合員の方々には調査期間中、様々な面で便宜を図っていただいた。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Statzner, B, J. A., Gore and V. H. Resh, Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications, Journal of North American Benthologic Society, v. 7, n. 4, pp. 307-360, 1988.
- 2) Sharpe, A.K. and B.J. Downes, The effects of potential larval supply, settlement and post-settlement processes on the distribution of two species of filter-feeding caddisflies, Freshwater Biology, 51, pp. 717-729, 2006.
- 3) Chibana, T. and T. Brackett, Examination of riffle beds and their relationship to the net-spinning caddisfly (*Stenopsyche marmorata*), Annual Journal of Hydraulic Engineering, v. 51, pp. 181-186, 2007.
- 4) 土木学会水理委員会編：水理公式集，河川編，丸善，1999.
- 5) 近藤繁生，平林公男，岩熊敏夫，上野隆平：ユスリカの世界，p7, 2001.
- 6) 対馬孝治，天野邦彦，傳田正利，時岡利和，福永八千代，平林公男：安定同位体比を用いた千曲川における流域土地利用特性と河川生態系の変化，日本陸水学会第70回大会講演要旨集，p. 79, 2005.

(2007.4.5 受付)