

13.1 水生生物の生息環境の調査手法と生態的機能の解明に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：天野邦彦（上席）、中西哲、尾嶋百合香、中田和義、小林草平

【要旨】

環境や生態に配慮した河川づくりを考える上で、生物生息場としての河川物理環境とそこに棲む生物の関係を適切に評価することは重要である。長野県千曲川中流において一般に底生動物バイオマスの高い瀬に注目し、河床地形と底生動物群集の対応関係を解明する調査を行った。調査では通常調査が困難である急流部において、重機を利用した簡易水制の作成による生物採集を試みた。測量に基づき河床地形を再現し水理計算を行うとともに河床礫サイズを調べることで、瀬のなかの場所ごとの増水時における流速や河床礫の動きやすさを検討した。本調査から、平瀬、早瀬、深瀬という河床地形の観点から異なる場合は、異なる底生動物群集を持つこと、従来調査対象外であった深瀬は底生動物バイオマスを考える上で重要な場であること、底生動物の分布には平水時の流速とともに増水時における河床安定性が影響していることが示唆された

キーワード：河床地形、生息場、瀬淵構造、底生動物、平水時一増水時、河床の安定性

1. はじめに

自然環境の保全、復元に対する社会の関心が強まるなか、河川事業においても環境や生態に配慮した計画・設計を行うことが必要となりつつある。そのためには生物生息場としての河川物理環境とそこに棲む生物の関係を適切に評価し、瀬淵等河川構造の生態的機能を定量的に解明することで、環境や生態に配慮した保全・再生の技術提案が求められている。

平成 18 年度には河川の物理生息場と生物群集の関係についての研究を遂行する適切な調査地を設定するため、河川事務所や漁協組合との関係をつくとともに、基礎的な調査を行った。平成 19 年度は長野県千曲川において、生息場と生物群集について定量的な研究に取り組んだ。

2. 千曲川中流における瀬内類型景観と底生動物の分布に関する研究

2.1 調査の背景と目的

河川において流れの速い場である瀬は、一般に付着藻類や底生動物の生産量が高く、河川生態系の食物網や、河川における水中と河床の物質のやりとりを考えるうえで中心となる場の 1 つである。瀬について詳細な物理的定義はないが、仮に水面に勾配があり流れの速い場所としても、河川によって、また一河川の区間によって、瀬の形や流れは様々であり、生物群集も同様ではない。瀬

の形と生物群集の関係を明らかにすることは、健全な河川生態系を維持していくための河道改修技術、土砂管理策を考えていくのに不可欠な課題である。

一般に河川において生物の調査は平水時に行われるため、平水時に測定した流速、水深、底質を用いて生物群集や生息量の空間分布が説明される。特に動物は短期間のうちに好ましい場所を求めて自発的に移動することが可能であるため、調査時の分布にはその時点の物理環境が強く影響しているが、生物群集には以前からの環境条件によって決まるものもある。例えば、礫間に巣を張り定住生活を送るヒゲナガカワトビケラは日本の川を象徴する瀬の水生昆虫であるが、流れの速い場所が彼らの好む環境であったとしても、そこで最近礫が動いていたとするならば生息量が高いことは期待できない。河川では絶えず流量が変動しており、場所による流速の大小関係は流量によって変わることが考えられ、また場所によって増水時に河床が不安定になることも考えられる。このように過去の様々な流量時の物理特性が調査時の生物分布に影響するが、流量変動を加味した生息場の評価はこれまでほとんど行われていない。

本研究は、瀬において生物群集に対応した類型景観区分を行うことを目標に、1 つの瀬を視覚的観点から平瀬、早瀬、深瀬の場に区分し、場と底生動物群集の対応関係を明らかにするとともに、瀬における底生動物の空間分

布を規定している要因として、平水時の流速とともに増水時の河床の安定性について検討した。

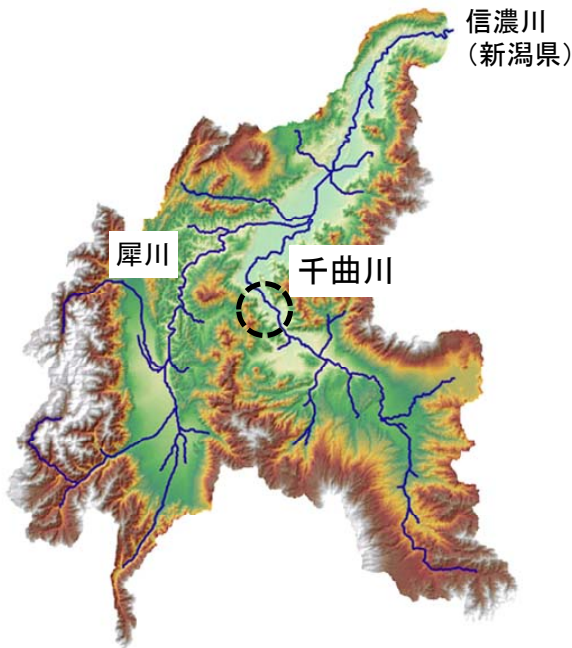


図-1 千曲川における調査地の位置

2.2 調査場所の概況

調査は長野県上田市および埴科郡坂城町における、千曲川直轄区間 97 km 付近の鼠橋下流および 104 km 付近の上田橋下流 (36° 25' N, 138° 11' E) において 2007 年 3 月 13 日から 15 日に行った (図-1)。当箇所では、計画河床勾配は 1/213 と急勾配で、平均流量は約 60 m³/s、川幅は 50-100 m である。調査期間において、雪解けなどによる明瞭な増水はなかった (流量約 25 m³/s)。

いずれの地点においても調査対象の区間では、全流量が砂州上を中央から左岸に向かって流れ、縦断距離 20 m、横断距離 250 m の早瀬が形成されており、その上流に平瀬、下流に深瀬、淵が連続している。平瀬から淵にかけての落差は 1.5-2.0 m で早瀬は比較的浅い。調査時に見られた瀬淵構造は、2006 年 7 月の出水により変化・形成されたものである。河床材料は礫、玉石が多く、付着藻類が繁茂している。水質は調査日において pH7.5、電気伝導度 21 mS/m、濁度 14.8 NTU、溶存酸素 9.5 mg/L、水温 6.3 °C であった。

2.3 調査内容

地形測量 瀬の地形を再現し、水理解析に基づき様々な流量時の流れを平面的に把握するため、2 つの瀬それぞれについて 200 m 区間を対象に河床高を測量した。基本

的に縦断方向には 20 m 間隔で、横断方向には河床形状の変化点で測量ポイントを設け、計 400-500 ポイントを測った。

水理計算 測量結果をもとに、5 m グリッドの河床地形を GIS ソフト (ESRI 社、ArcGIS Ver. 9) を用いて作成し、River 2D (Alberta University) を用いて二次元水理計算を行った。上流端から与える流量は 25-465 m³/s の範囲で 10 段階設定し、各流量に対応して Manning 式による等流水深を下流端水位として設定した。Manning の粗度係数は、一般的に用いられている 0.03 を設定した。

礫付着物および底生動物の採集 本研究では瀬を「平瀬」、「早瀬」、「深瀬」に区分した (図-2)。「平瀬」は瀬の上流部で白波のたたない場、「早瀬」は水面勾配があり白波がたつ場、「深瀬」は瀬から淵への移行部で深い流れの場とした。調査点として、平瀬と早瀬からそれぞれ 3 点、深瀬では水深の大きい流心から 3 点、水深の小さい川縁から 3 点、計 12 点を設定した。

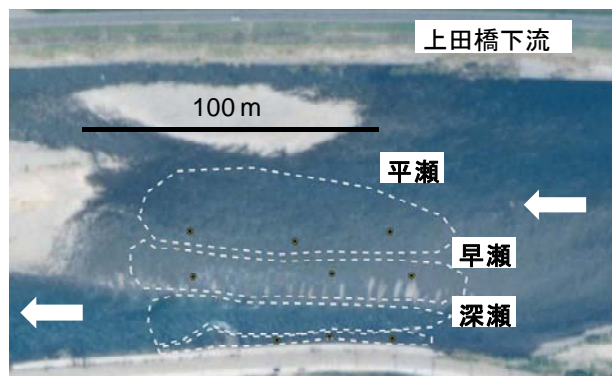
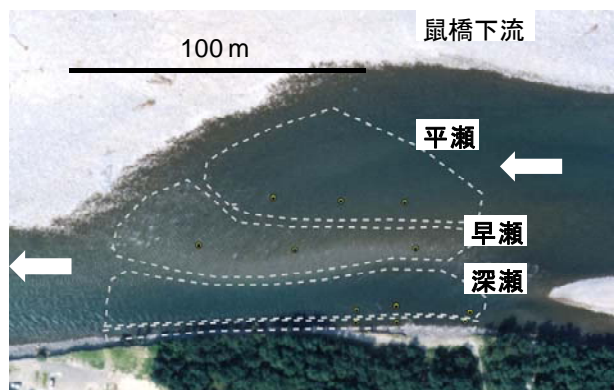


図-2 2 つの瀬における平瀬、早瀬、深瀬の位置と生物採集ポイント

深瀬の流心部は深さに加えて急流であるため、通常は人が定位置ネットでは採集するのはたいへん困難である。場の流速を弱めて付着物や底生動物の採集をするため、採集場の上流 2-3 m に大型土嚢 (直径 1 m) を 5-6 個並べることで簡易的な水制をつくった。大型土嚢は岸から

流心へ流れに対して垂直に並べた。上田橋上流の瀬では深瀬の流心における採集は行わなかった。

各調査点において、長径 10-20 cm の河床の礫を 3 石採取し、それぞれの礫について表面 5 cm 四方をブラシで擦ることで付着物を採集し直ちに冷凍保存した。また、サーバーネット (50 cm コドラート、メッシュサイズ 0.5 mm) を用いて底生動物と砂礫の採取を行った。サーバーネットで採集した底生動物は直ちに 10%ホルマリンで固定し分析室に持ち帰った。採集した礫はフルイを用いて 0.5-2 mm、2-16 mm、16-64 mm、64-128 mm、128-256 mm、>256 mm にサイズ区分し、区分ごとに重量を計測した。また、これらの採集に先立ち、各地点において流速と水深を測定した。

分析室において付着藻類の種を同定し細胞数を計数するとともに、クロロフィル a 量を測定した。底生動物は種ごとに個体数を計数し乾燥重量を測定した。底生動物はさらに摂食機能群 (付着物食者、ろ過食者、堆積物食者、捕食者)、生活型 (固着型、遊泳型、滑行型、掛歩型、這歩型) の区分を行った。

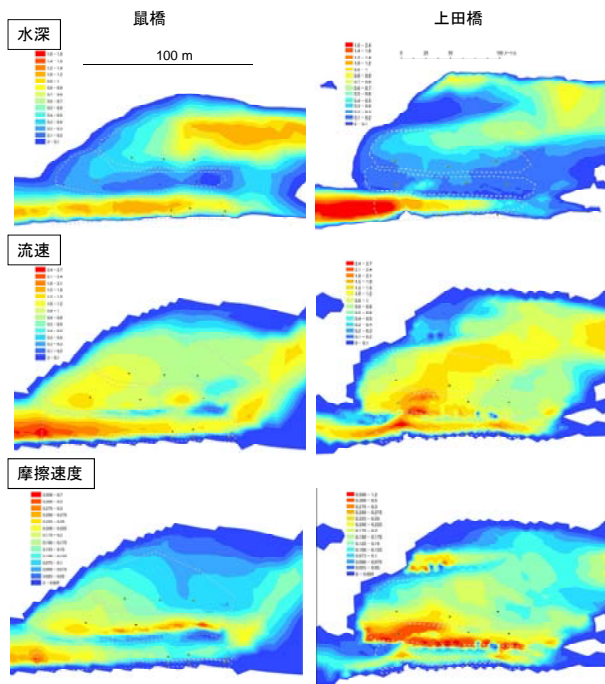


図-3 水理計算による瀬のなかにおける水深、流速、摩擦速度の分布

2.4 結果

水理解析 水理解析により得られた平水時流量 (25 m³/s) における水深の空間分布は、現地の状況と対応するものであった (図-3); 早瀬において水深が最も小さくなり、下流の深瀬でかなり大きな水深がみられた。深

瀬では川縁と早瀬との境界を除くと一様に大きな流速を示した。平瀬と早瀬では水深の大きい流筋に当たる部分で流速は大きいもののそれ以外では流速の小さい部分もみられた。摩擦速度は早瀬において 0.35 m/s を越す値もみられ (0.35 m/s は 15 cm の礫の限界掃流力に相当)、平瀬や深瀬に対して高かった。

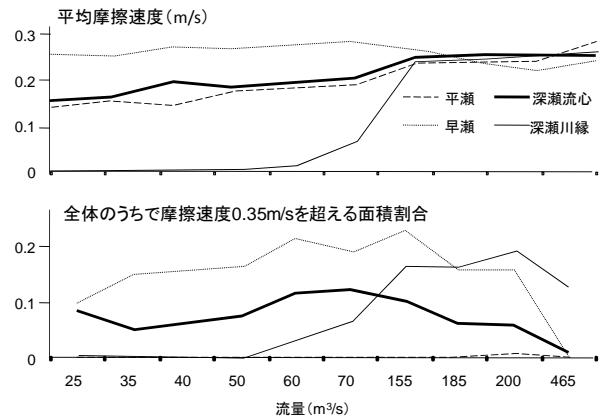


図-4 流量と各景観における摩擦速度の関係

流量を増加させた場合の各景観の摩擦速度を比較してみると (図-4)、流量 60 m³/s までは平均摩擦速度は早瀬で最も高いが、70 m³/s を越すと摩擦速度は収束しどの景観でも同じような値を示した。摩擦速度が 0.35 m/s を超える箇所の面積割合でも (図-4)、流量 60 m³/s までは早瀬で顕著な増加がみられた。このことは、景観によって礫サイズに大きな違いがない場合、多少の増水時において (場合によっては平水時においても) 早瀬でもっとも礫が動きやすいことを示している。

河床礫サイズ 深瀬の縁の多くの点で >256 mm の礫が優占するなど、他の景観に比べてサイズが大きかった。平瀬、早瀬、深瀬の中央では 64-256 mm の礫が優占し、景観による明瞭な違いは見られなかったが、早瀬の上流側の点は礫サイズが小さい傾向にあった (調査時の観察においても早瀬の上流側には比較的小さな礫が優占しているのがみられた)。

礫付着物 図-5 に各景観における礫表面の付着有機物量とクロロフィル a 量の平均値を示す。どちらの瀬においても平瀬や早瀬に比べて深瀬において有機物量、クロロフィル a 量ともに大きかった。現地調査時においても深瀬の礫は緑色のカワシオグサまたは由来不明の有機物が付着しているのが多くみられるのに対し、平瀬や早瀬の礫は付着物が少なく表面はきれいか、または黒色のミズオが付着しているものが多く見られた。

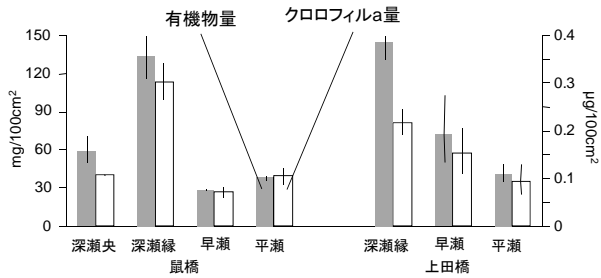


図-5 各景観における付着有機物量とクロロフィル a 量の平均値

底生動物

カワゲラとトビケラの仲間を中心に 80 を超える底生動物分類群が確認された。出現頻度の乏しい分類群を除いた 52 分類群の生息量 (重量) をもとに群集の座標付けとクラスター分析を行った。座標付けでは百分率差異によって地点間の群集距離を求め多次元尺度解析法に基づき二次元平面上に群集をプロットした。クラスター分析では地点間のユークリッド距離を求め Ward 法の基づきグループ分けを行った。いずれの解析も PC-ORD (Ver. 5、MjM software 社製) により行った。これらの分析において、群集はおおむね景観ごとに分かれる傾向を示した (図-6)。深瀬とそれ以外の景観にまず大きな違いがあり、深瀬においても流心部と川縁部では異なった。また、深瀬と早瀬が対極に位置した。これらのことは景観ごとに特徴的な群集を持っていることを意味している。

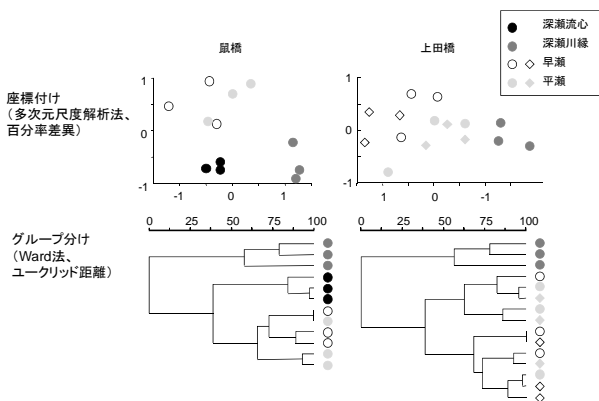


図-6 底生動物群集の座標付けおよびグルーピング (クラスター分析) の解析結果

全底生動物バイオマスは、どちらの瀬においても深瀬で最も高く、早瀬で最も低かった (図-7)。鼠橋では深瀬の流心部は、平瀬や早瀬の 5 倍以上のバイオマスがあった。上田橋では深瀬川縁部は平瀬や早瀬の 3-8 倍のバイオマスがみられた。上田橋は鼠橋と比べて深瀬の川縁

部は 2 倍大きかったが、早瀬は 1/2 程度であった。

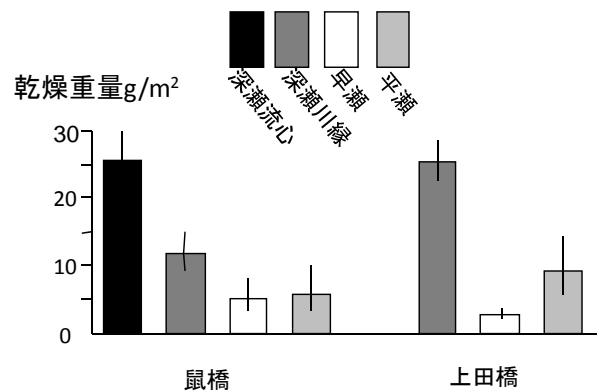


図-7 各景観における全底生動物バイオマス

底生動物を摂食機能群に区分して見てみると、深瀬でバイオマスを支えているのはろ過者と呼ばれる、流下有機物を餌資源とするものであった (図-8)。これらはシマトビケラ、コガタシマトビケラ、ヒゲナガカワトビケラを中心とするグループである。付着物食者については、上田橋では景観による大きな違いはみられなかった。堆積物食者もそうであるが特に捕食者は深瀬川縁部で圧倒的にバイオマスが大きかった。

底生動物を生活型に区分すると、深瀬のバイオマスを支えているのは固着型と呼ばれる礫表面や礫間に巣を持つ種類であった (図-9)。これらはろ過者であるシマトビケラ、コガタシマトビケラ、ヒゲナガカワトビケラに加えて、付着物食者であるクダトビケラやウスバガガンボを中心とするグループである。固着型に比べてバイオマスは圧倒的に小さいものの、移動性の高いグループ (遊泳型、滑行型、掛歩型) のバイオマスは、景観による大きな違いはないか、または深瀬よりも平瀬や早瀬で高い傾向にあった。これらはマダラカゲロウ、コカゲロウ、ヒラタカゲロウを中心とするグループである。

鼠橋において、固着型の中でも礫表面に多い仲間は、深瀬川縁に比べて流心部で 4 倍以上大きいものの、礫間に多い仲間 (ヒゲナガカワトビケラ) は川縁部と流心部で大きな違いはみられなかった。這歩型は深瀬流心部、平瀬、早瀬に比べて深瀬川縁部で圧倒的にバイオマスが大きかった。

2.5 考察

早瀬、平瀬、深瀬はそれぞれ異なった底生動物群集を持つ景観と言うことが本研究から示された。これらの景観は視覚的のみならず、河床地形の観点においても異な

る場であることは明らかである。つまり瀬内のスケールにおいても河床地形に対応するかたちで底生動物群集が分布していることを示している。従来から平瀬と早瀬の区分は少なからず行われてきた。本研究では深瀬という場を新たに定義し底生動物群集の比較を行った。深瀬という場は区間スケールからは淵とみられやすいが、千曲川中流では実際は急流であり、底生動物群集の観点からも瀬の一部として捉えるのが妥当と考えられる。本研究からこの深瀬という場が底生動物群集のバイオマスを考える上で重要な場であることが示された。このような調査が困難な場に底生動物が多いと言うことは、こうした場を扱ってこなかったこれまでの調査では、底生動物バイオマスを実際よりも低く見積もっていた可能性がある。他の河川においても深瀬という場がみられるのか、急流で深い場はどのような条件で形成されるのかは今後の研究課題である。

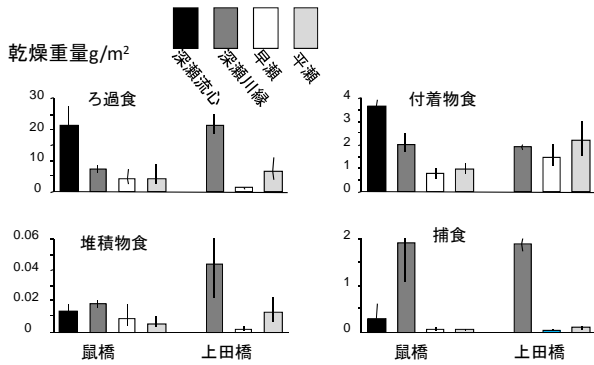


図-8 各景観における摂食機能群別のバイオマス

本研究から示される重要なもう一つのポイントは、瀬の中においても河床地形に応じて礫の安定性が異なり、そのことが底生動物群集に大きく影響するという点である。早瀬は他の河川では底生動物が最も多い場として認識されている場合が多いが、千曲川中流では底生動物群集が最も少ない場であった。水理計算によると早瀬は礫が受ける力が最も強い場であり、また早瀬の礫の大きさは他の景観と比べて同程度かやや小さい傾向にあることから、瀬のなかで最も礫が動きやすい場と考えられる。早瀬の礫は比較的付着物が少ないこと、さらに、底生動物群集をみると移動性（滑行型、掛歩型など）のものに対して定住性（固着型）のものが少ないことは、早瀬における礫の不安定さを指示するものである。早瀬はところどころ大きな流速があり一見底生動物に好適にみえるが、増水時の河床の不安定さによって、高い生息量を維持することができないものと考えられる。逆に、深瀬はカワシオグサが生えるなど礫表面の付着物は多く、

また定住性の底生動物によって高い底生動物バイオマスが支えられていた。特に深瀬の川縁部ではサイズの大きな礫が多く、河床の安定性が底生動物バイオマスの維持に大きく貢献していると考えられる。河床の安定性の観点では平瀬と深瀬には大きな違いはみられなく、平水時の流速の違いが平瀬と深瀬による底生動物群集の違いをもたらしていることが考えられる。

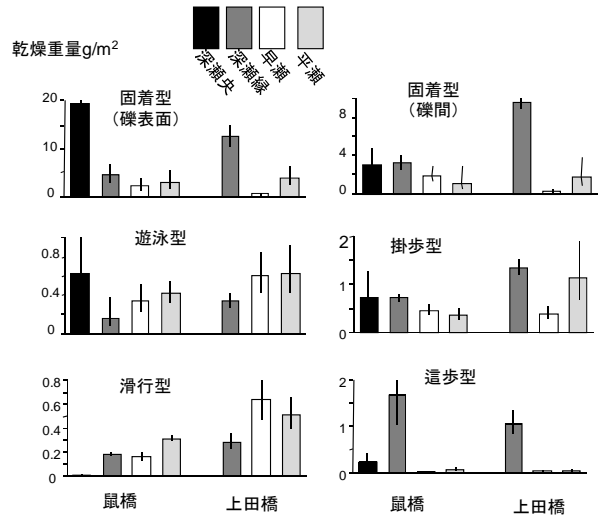


図-9 各景観における生活型別のバイオマス

上述したとおり早瀬で底生動物が少ないことは一般ではない。一般的なパターンとの違いを理解するうえで、どのような河床地形において不安定な早瀬が生じるかを明らかにしていく必要がある。今回の結果に関しては、調査が行われる約8ヶ月前（2006年7月）の大出水が大きく影響している可能性がある。すなわち早瀬ではそのときの出水によって堆積した礫が洗掘を受けている過程であったことが考えられる。洗掘が進みきって大粒径の礫が残り河床が安定的になった場合は、深瀬に類似した群集へと遷移する可能性がある。出水の履歴に応じて景観と底生動物群集がどう変化していくかを今後見ていくことによって、これらの理解が深まるものと思われる。

大きな出水を含む時間スケールで瀬をながめると、大きな出水時において早瀬は土砂が堆積する場、深瀬は土砂が浸食する場であるが、平水時から小さな増水時において早瀬は土砂が移動し深瀬は土砂が移動しない場となる。大きな出水時には浸食が卓越する場所が平水時は安定的な生息場を提供するということが、土砂動態-生息場形成-生物群集の関係を理解する上で重要な意味を持つと思われる。

3. まとめ

千曲川中流において、瀬のなかを早瀬、平瀬、深瀬に区分し底生動物群集を比較するとともに、それぞれの景観における出水時の河床の安定性について検討を行った。急流で深い場である深瀬は通常調査が困難な場であるが、今回大型土嚢による簡易水制をつくることで調査が可能となった。一般に底生動物バイオマスが高いと思われている早瀬は少しの増水で礫が移動している可能性が高く、底生動物は移動性の高いグループで特徴づけられ全バイオマスは低かった。一方、深瀬は定住性の強いグループ

で特徴づけられ全バイオマスは早瀬や平瀬の5倍もみられた。本研究から得られた結果は主に(1)瀬の中においても河床地形に対応するかたちで底生動物群集の空間的変異が存在する、(2)これまで調査が行われてこなかった深瀬は瀬の底生動物バイオマスを理解する上で重要な場である、(3)平水時の流速に加えて増水時の河床の安定性が、底生動物の分布に大きく影響している、という3点である。

METHODOLOGY FOR EVALUATION OF HABITAT CONDITIONS OF AQUATIC ORGANISMS AND CLARIFICATION OF ECOSYSTEM FUNCTIONS

Abstract : Appropriate evaluations of the relationships between physical habitats and aquatic organisms are inevitable on making guidelines for environment- and ecosystem-integrated river-managements. We studied the relationship between streambed topography and macroinvertebrate communities of riffle, a habitat with high invertebrate biomass in general, in Chikuma river, Nagano Prefecture. Qualitative samplings in deep and fast flowing areas (generally ignored for samplings) were conducted by creating flow controls of large sandbags. Spatial distribution of flow velocity and bed mobility within a riffle during normal- and high-flows was examined based on field surveys of streambed topography and particle size, and hydraulic simulations on a constructed topography. Results showed that 1) macroinvertebrate community differed among micro-landscapes (run, shallow, deep) within a riffle, 2) deep areas in riffles were hot spots of invertebrate biomass, and 3) variations in streambed mobility as well as flow velocity are important determinants of invertebrate distribution within riffles.

Key words : streambed topography, habitats, riffle-pool structures, invertebrates, low- and high-flows, streambed mobility