

流域地質に起因する礫床環境の異質性と それが底生動物群集に及ぼす影響

GEOMORPHIC HETEROGENEITY IN COBBLE-BED ENVIRONMENT AND
ITS EFFECT ON BENTHIC MACROINVERTEBRATE ASSEMBLAGE
WITH PARTICULAR REFERENCE TO WATERSHED GEOLOGY

田代喬¹・岩田裕輝²・辻本哲郎³

Takashi TASHIRO, Yuuki IWATA and Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 博（工） 名古屋大学准教授 減災連携研究センターライフライン地盤防災寄附研究部門
（〒464-8601 名古屋市中千種区不老町1番地 名古屋大学減災館401室）

²非会員 工修 元 名古屋大学大学院博士課程前期課程学生 環境学研究科都市環境学専攻

³フェロー会員 工博 名古屋大学大学院名誉教授 工学研究科社会基盤工学専攻
（〒464-8603 名古屋市中千種区不老町1番地 名古屋大学工学部9号館）

Geology is one of the crucial components for defining riverbed materials and textures, which might effects on their aquatic communities. In this study, the Kushida River basin, central Japan, composed of different geologic units such as plutonic, metamorphic, and sedimentary terrains, was selected to clarify the relationships between riverbed textures and benthic micro invertebrates.

Field surveys were conducted at riffle units in each of the three stations (the main stem and its two tributaries with the watershed geological differences) and also control experiments in the main stem station with the ex-closures replacing their beds with the cleaned sediment in other two stations. Some of the statistical analyses could indicated that there were strong relationships among the watershed geologies, the physical characteristics of cobble-bed textures and the features of species and life type compositions of benthic micro invertebrates.

Key Words : Basin geology, bed environment, benthic macroinvertebrate assemblage, cobble river

1. はじめに

流域地質は水・土砂の流出機構の素因とされ、渓流水の水質や流出量のほか、生産・流出する材料構成や河床環境に広く影響を及ぼす。河川生態系の成立とも関わりが大きいと考えられるが、流域地質と生物群集の関係について直接的に研究対象とした事例は少ない^{1) 2)}。

本研究では、流域地質が河川の生物群集に及ぼす影響を整理するとともに、特に礫床環境の異質性を介して底生動物の群集構造成立に及ぼす要因と過程について明らかにすることを目的とする。具体的には、文献レビューによる既往知見の整理・分析と操作実験を伴う現地調査により構成した。前者では、流域地質と生物群集との関係性を考察した国内外の事例を分析し、これまでに得られている知見を概観することにより各種の要因と過程を抽出して系統的な整理を試みる。後者では、近接して異

質な流域地質、礫床環境が併存する櫛田川水系（三重県中部を流れる一級河川）を対象として実施した現地調査について報告する。

2. 河川生態系における流域地質のはたらき

河川・砂防分野における流域地質の取り扱い、崩壊や土石流の発生機構との関係^{3) 4)}、河川へ流出する水量（流況）との関係⁵⁾が中心であった。ただし、中下流域の河川景観に関しては、山本⁶⁾が河道特性との関連性について言及し、吉野⁷⁾が砂礫径分布に及ぼす影響を考察したが、これまで実証的に調査されていない。流域内にモザイク状に入り組んだ地質分布を鑑みるに、流域地質が河川景観に及ぼす影響は、一般に流域規模が大きくなるほど複合的な要因により見え難くなり、上流域において顕著に生じ得るものと想像される。実際、山地域では

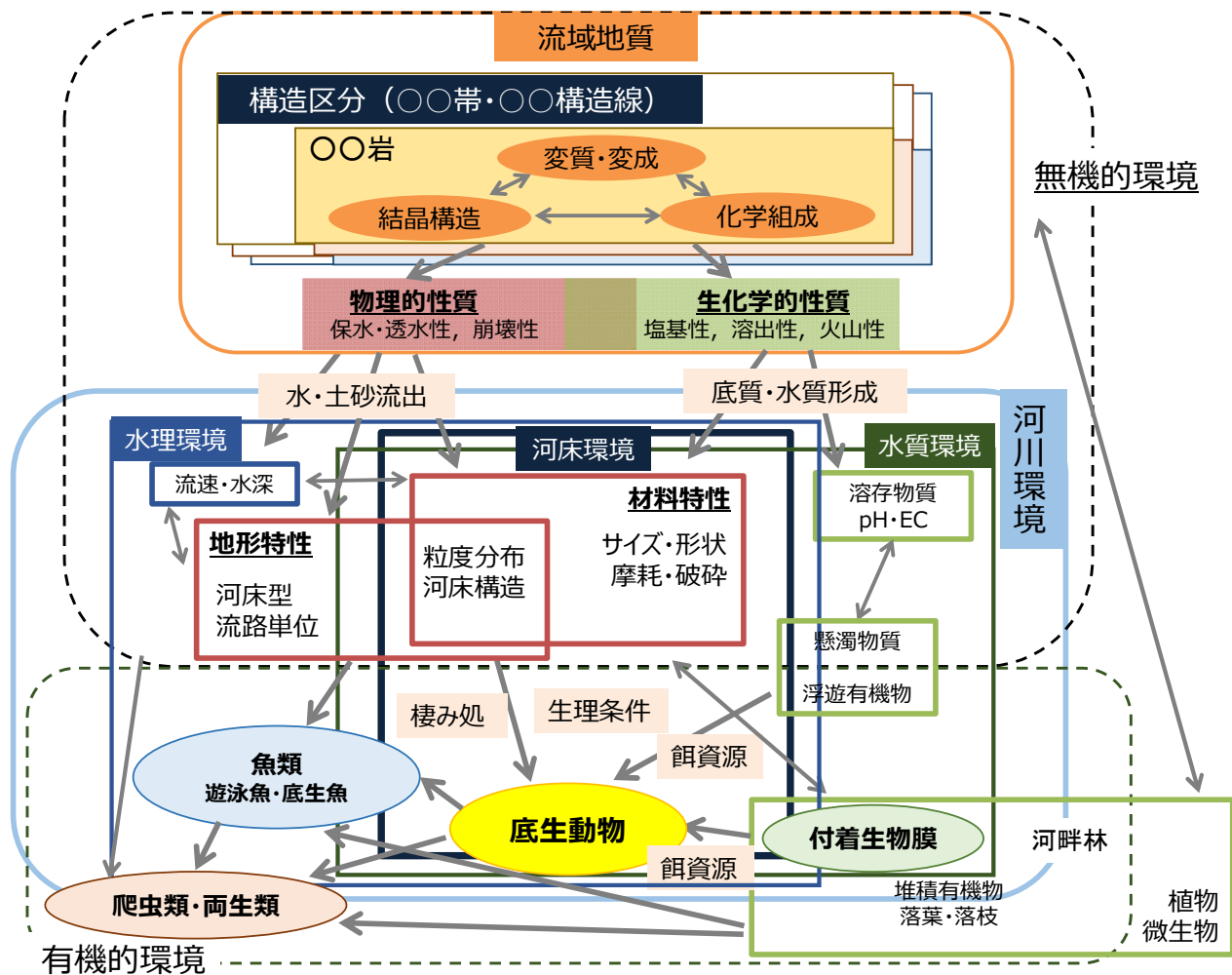


図-1 流域地質に起因して変化する河川生態系概念図

流域地質が河道特性だけでなく、河床の材料構成に影響を及ぼすことを報告した事例が多い⁸⁾⁻¹²⁾。

流域地質が生物群集に及ぼす影響は、少ないながらも古くから調査されてきた。自然度の高い山地溪流の調査からは、河川水中の溶存物質が多いと種の多様度が高くなる傾向が見出されており^{13), 14)}、溶存栄養塩¹⁵⁾、粒状有機物^{16), 17)}や付着藻類¹⁸⁾といった食物に繋がる要因や浸透圧^{19), 20)}などの生理的要因と関連付けて考察されている。また、流域地質が流出水の水温を変化させ、底生動物の成長速度を制御した可能性を指摘した事例²¹⁾⁻²³⁾や、産出される岩石の違いが河床環境や流路地形を変化させ、サケ科魚類の分布^{24), 25)}や底生動物の群集構造¹⁾に及ぼす影響を示した事例が報告されている。

Olson²⁶⁾は、流域地質と底生動物群集の関係性をレビューする中で、水質、栄養物、流路地形、流域水文の4項目が、それぞれ浸透圧調整、食物供給、生息場所調整、水温形成といった4要因を介して、流域地質が底生動物群集に影響を及ぼす関係を整理した。こうした中から、水中の溶存物質質量 (TDS: total dissolved solids) に対する浸透圧調整を通じた生理的応答が唯一のcausal pathと結論付け²⁶⁾、他の要因に関わる素過程は記述していな

い。このことは、栄養物、流路地形、流域水文といった他項目が、生産-消費などの生物間相互作用、土砂 (or砂礫) 輸送に伴う地形形成、降水に起因する水・土砂流出といった地質以外の多要因が輻輳する中で成立することによる。Neff and Jackson²⁷⁾やShearer and Young²⁸⁾が、流域を跨いだ地域の河川生物群集を解析するに当たり、説明・目的変数の一つとして流域地質を扱ったことはこうした視点に立った展開と言えよう。ただし、包括的に扱う要因が増えると、地質単独による影響の素過程が捉えにくくなるため、現象解明には必ずしも繋がっていないのが現状と認識される。

以上に鑑み、ここでは流域地質に起因する礫床環境に着目し、底生動物群集に及ぼす影響について描いた概念図を図-1に示す。図では、気象由来の動的な現象は含んでいないが、地質由来の物理・生化学的性質が、水・土砂流出、底質・水質形成といった要因を介して、水理、河床、水質環境に及ぼす地質の働きと、各種過程を介して生息生物を含む有機的環境に及ぼす影響を概略的に示した。流域地質と河川生態系の関係性を議論する際には、不完全ながらここで記載した背景、要因と過程の関連性についての配慮が必要であるものと考えられる。

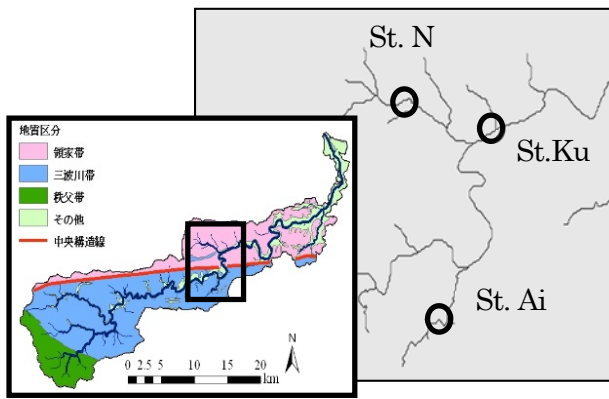


図-2 榑田川流域の地質分布 (左) と調査地の位置 (右)



図-3 St. Ku で実施した河床環境の操作実験の様子

3. 礫床環境からみた底生動物群集

流域地質に起因する礫床環境が底生動物群集に及ぼす影響を議論するに当たり、図-1の前提が成立する地理的に近接する河川を対象とし、水理・水質環境がほぼ同様な条件下で対比を行うこととした。過去に著者ら^{1), 2)}の調査実績がある榑田川流域は、東西に走る中央構造線を境に流域地質の構造区分が異なり、北側に領家帯 (花崗岩類)、南側に三波川帯 (結晶片岩) が位置し、単相区分からなる流域地質を有する候補地の確保が容易である。

ところで、調査結果の一般性を担保するにはデータ数を増やすことが多いが、地質以外の影響要因が多いため (図-1参照)、外的条件を揃えながら多地点の結果を集積することが難しい。そこでここでは、礫床環境のみを人為的に制御した実験区を同一調査地内に設け、底生動物の侵入・定着過程に着目した「エクスクロージャー (囲い区)」型の操作実験も合わせて企画した。

調査地は、榑田川に南北から流入する支川である、領家帯の仁柿川 (St. N)、三波川帯の相津川 (St. Ai) とそれらの合流後の本川 (St. Ku) の平瀬であり、本川では、他の2カ所から採取した河床材料を用いた操作実験

を実施した。図-2には、榑田川流域の地質分布とともに調査地の位置図を示す。各調査地の流域面積は、Arc View 10.2 (ESRI Japan) で算定したところ、支川のSt. Nで11.8 km²、St. Aiで5.8 km²、本川のSt. Kuでは310 km²であり、特に本支川間では、平時の水理量や出水時のインパクトが異なる。

(1) 材料と方法

調査は、a) 方形区調査と、b) 操作実験に大別される。いずれの調査時にも、多項目水質計 (YSI / Nanotech Inc. 製 556MPS) によりpH、ORP (酸化還元電位)、DO (溶存酸素濃度)、EC (電気伝導度) を記録した。調査で得られた各諸量は、その平均値について河川や季節を要因とする検定を行い、群集組成データは非計量多次元尺度構成法などによる群集解析に供した。なお、一連の調査を実施した期間中、各調査地ではHOBO U20-001、U24-001ロガー (Onset社製) により水深とECの連続観測 (15分間隔) も合わせて実施した。

a) 方形区調査

2014年10月 (繰返し数 4)、同12月 (繰返し数 3) の2回、実施した。各地点の方形区 (河床面30cm×30cm) では10月調査時に、巨礫 (> 256 mm)、大礫 (64 - 256 mm)、中礫 (16 - 64 mm)、小礫 (2 - 16 mm)、砂 (< 2 mm) の河床被度 (%) を目視判別した後、その中心点において1 cm単位で水深、60%深度にて電磁流速計 (JFEアドバンテック社製AEM-1D) により流速を記録した。河床材料と底生動物の試料採取は、両時期に方形区内の河床表層10 cm程度についてサーバーネット (0.5mm目合い) を用いて行い、実験室に持ち帰った後、ふるい分け試験と底生動物分析 (既存文献^{29), 30)}にしたがった科レベル、生活型ごとの個体数計数) を実施した。また、各地点における餌環境把握のため、10月調査時に当該方形区内の河床面に存在する任意の大礫を1つ選び、その上面の付着物を採取して、既報にしたがってChl. a量 (ユネスコ法^{31), 32)}と強熱減量³³⁾を測定した。

b) 河床操作実験

2014年10月下旬から12月中旬にわたり、榑田川本川 (St. Ku) において河床環境を操作し、周囲の河床からの底生動物の侵入・定着を追跡する現地実験を実施した。図-3に示すように、各エクスクロージャー (40cm×40cm×63cm, 5mm目合い。以下、「ケージ」と表記) 内には、各調査地から採取し洗浄した河床材料を敷き詰めて準備した (繰返し数 2)。実験開始時には、ケージ内外の水深、流速 (60%深度) を計測し、実施期間中は、各調査地の水位とECの連続観測 (4時間間隔、HOBO社製U20-001およびU24-001) を行った。設置から2週 (2W)、4週 (4W) 後には、ケージ内の底生動物を採取して前記の方法で分析した。期間中は週1回程度の頻度でケージの維持作業を行い、水位低下などによりケージが干出した場合にはその都度、再設定し、付着し

たゴミなども除去して設置当初の状態を極力保持するように調整した。

以上のような準備によって、混合地質区分を流域とする櫛田川本川に、仁柿川の花崗岩類のみからなる礫床 (Ex. N-2W, 4W) , 相津川の結晶片岩のみからなる礫床 (Ex. Ai-2W, 4W) , その場所の材料からなる礫床 (Ex. Ku-2W, 4W) が造成されることになる。これによって、流域地質 (礫床環境) 以外の外的条件を極力揃えながら、底生動物の応答を観察することが可能になる。

(2) 結果と考察

a) 水質・水理・河床環境

調査地の水質は、調査時期を通じてほとんど差が無く、いずれの地点でも pH : 7 - 8, ORP : +180 - 300 mV, DO : 8 - 10 mg/L の範囲内であったが、EC (25℃換算値, 単位 : mS/m) のみ, St. N (仁柿川) : 0.081 - 0.088, St. Ai (相津川) : 0.04 - 0.05, St. Ku (櫛田川) : 0.06 - 0.079 となり、ロガーによる連続観測においてもほぼこれに準拠する範囲を示すなど、河川 (調査地) 間で若干の差異がみられた。花崗岩 (領家帯) の仁柿川で結晶片岩 (三波川帯) の相津川よりやや大きく、この傾向は、櫛田川本川流域における結晶片岩割合が大きいこととも対応することから、この地域の領家帯花崗岩を流域とする河川の特徴と考えられる。ただし、既往文献^{13) 14) 26)}で言及する生理的反応が生じるレベルにはなく、底生動物の息を直接制御する要因には成り得ない。

調査地の10月時点の水理・河床条件について、水量に関する一元配置分散分析を実施したところ、流速はいずれの地点とも30 cm/s前後で有意な差は無かったものの、水深は有意差が認められたため ($P < 0.01$) , 事後検定を実施したところ、河川規模のやや小さなSt. Ai (16.6 ± 5.1 cm) がSt. N (31.3 ± 9.3 cm) に比べて有意に小さくなった ($P < 0.01$, Tukey-Kramer's test) 。河床被度では、小礫、砂の被度に有意差が認められたため ($P < 0.01$) , 事後検定を実施したところ、花崗岩 (領家帯) のSt. Nで砂の被度が有意に大きくなった ($P < 0.01$, Tukey-Kramer's test) 。また、大礫上の付着藻類については、Chl. a量、強熱減量ともに有意な差は認められなかった (一元配置分散分析) 。

図-4には、ロガーで計測された各調査地の調査期間中の水深変動を示す。図より、支川2カ所 (St. Ai, N) での変動が10~15 cmの範囲に収まっているのに対し、本川のそれは前半に顕著な低下傾向 (約50 cm低下) を示し、後半に30~40 cmの水位上昇が複数回確認された。期間前半の本川の低下傾向は、洪水期 (10月末まで) から非洪水期 (11月以降) へ移行に伴う蓮ダム (上流支川に設置) の放流操作によるもの³⁰⁾と推察される。

以上を踏まえるに、主に仁柿川 (花崗岩) , 相津川 (結晶片岩) の調査結果の対比では、水質・水理環境の違い、餌環境による直接的影響はおおよそ排除できる一

方、本川の河床操作実験では、様々な流況条件下において異なる河床環境が底生動物の定着状況に及ぼす影響を議論できるものと考えられる。

b) 底生動物の方形区調査

2014年10月の結果から、底生動物密度はSt. Nで最も大きく、St. AiとSt. Kuでほぼ同じ値となった。図-5には、生活型別個体数密度 [匹/cm²] を示す。生活型でみると、匍匐型においてSt. Ai, St. N間で有意な差が確認された ($P < 0.05$, Tukey-Kramer's test) 。St. Nの特徴である厚みのある丸い礫が適度な間隙空間を創出したため³⁰⁾、表面、間隙を這い回る匍匐型個体が多くなったと考えられる。

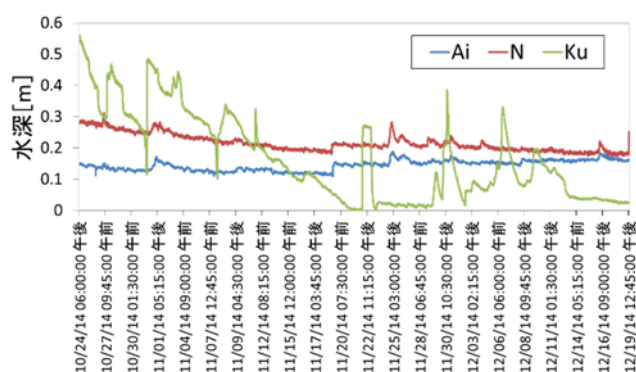


図-4 各調査地の任意地点における調査期間中の水深変動

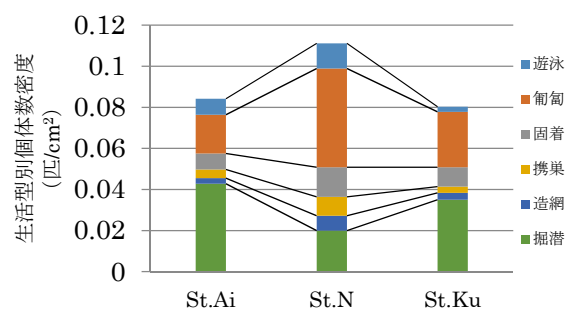


図-5 2014年10月調査における底生動物生息密度 (生活型による区分として平均値で表示)

a) 相津川礫床環境模式図



b) 仁柿川礫床環境模式図

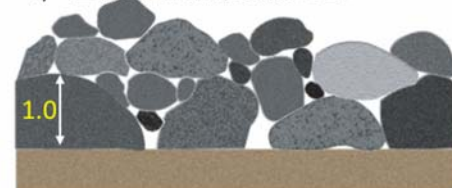


図-6 流域地質の異なる礫床環境の模式図 (図中の数値は礫の扁平度を表す)

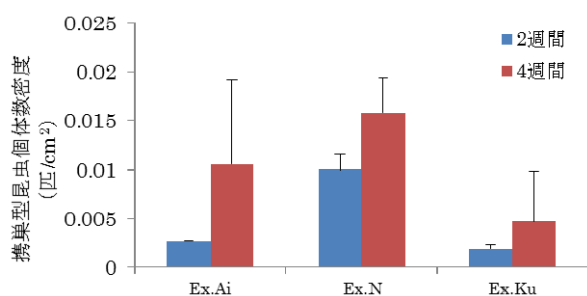


図-7 河床操作実験に対する底生動物（携帯型）の応答
（平均値と標準偏差で表示）

図-6には、著者らが過去に求めた礫扁平度の違い（結晶片岩・相津川で花崗岩・仁柿川の約70%）³⁵⁾にしたがい、礫床環境を模式的に示した。この図で自明のように、各間隙空間は仁柿川（St. N）で大きくなるのが正に影響したものと考えられる。ただし、12月の結果では、匍匐型の個体数密度において逆転現象が確認され、St. AiがSt. Nのそれを有意に上回った（ $P < 0.05$, Student's *t* test）。St. Aiで検出された匍匐型の多くがヒラタカゲロウやマダラカゲロウといった比較的体サイズの小さな種であったのに対し、St. Nではサイズの大きいカワゲラが多く確認されたことによるもので、前記の間隙空間による影響は変わらないものの、時季によって利用する個体の種組成が変化した結果と考えられる。

c) 河床操作実験

操作実験では、全地点においてハエ目・掘潜型が70%以上を占めた。これは、ユスリカ科幼虫が大量に検出されたためである。既往研究では、攪乱が起きてから個体数密度、種数が攪乱前の状態の80%回復するのにかかる時間は約9カ月と報告されており、ユスリカ科などの世代期間が短い底生動物は回復の初期段階で優占種となることが示されている³⁶⁾。本実験では河床材料を洗浄し、藻類や底生動物等の付着物を取り除いた状態で設置したため、人為的な攪乱以後の回復過程に沿った結果が表れたものと考えられる。したがって、攪乱からの回復の初期段階を再現しているに過ぎず、この段階では限定的な検証に留まるといわざるを得ない。

定着数は全体的に少なかったが、生活型ごとに河川、実験期間を要因とする二元配置分散分析を実施したところ、携帯型昆虫の密度に関して河川の違い（ $P = 0.05$ ）と設置期間の違い（ $P = 0.075$ ）による相対的にやや大きな差異が確認され、特に、仁柿川の礫床環境を再現したケージ（Ex. N）で最も多く検出された（図-7参照）。本実験は、出水期の終了前後の約1カ月間で実施したが、期間中に何度かケージが冠水するような水位上昇を経ており、仁柿川の河床材料は相津川のそれと比べ、前記のように空隙が大きいほか、表面が粗いという特徴があり、携帯型昆虫の定着を促した可能性が考えられる。ただし、網目を通して周辺河床から侵入したか、水位上昇時にケージ上部から漂着したかといった経路特定はできな

かった。今後は、水位上昇時の流れ場やそれに対する底生動物の応答も含めた形での記述が必要である。

4. おわりに

(1) 河川生態系における流域地質のはたらき

国内外で企画・実施された流域地質と河川生物群集の関係を扱った既往研究の分析から、礫床河川における水理環境、河床環境、水質環境に対する流域地質のはたらきを整理した。さらに、これらを介して生物群集がカスケード的に影響を受ける様相を示し、流域地質によって変化する礫床河川の生態系を概念的に整理した。

(2) 礫床環境からみた底生動物群集

櫛田川本川と流域地質が異なる支流2河川の平瀬で方形区を設置した底生動物調査を行うとともに、本川では、流域地質に起因して異なる礫床環境を再現した「エクスクロージャー」を設置し、そこへの底生動物の定着過程を追跡する河床操作実験を実施した。

方形区調査では、丸い礫によって構成される「花崗岩」河川の礫床環境において広い間隙空間が創出されることにより、匍匐型昆虫の密度が大きく変化する様子が示された。河床操作実験では、底生動物の初期回復過程を追跡できたに過ぎないが、携帯型昆虫の生息密度が有意に異なるなどの結果が得られた。以上の結果から、河床環境の無機的特徴と底生動物の生息状況は密接に関連付けられることが明らかになった。

謝辞：本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発公募地域課題分野（平成25～27年度、代表：田代喬）、および、一般財団法人水源地環境センターの水源地生態研究会・ダム湖と下流の生態研究グループの調査研究の一環として実施した。ここに記して御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 田代喬・辻本哲郎：流域地質の異質性からみた山地河川の河床材料構成と底生動物の関係：櫛田川流域における現地観測，応用生態工学，Vol.18，No.1，pp.35-45，2015。
- 2) 田代喬：「流域地質で変わる川の底生動物の多様性」，自然保護，No.549（2016年1・2月号），pp.32-34，2016。
- 3) 相澤泰造：三重の地質と斜面リスクマネジメント。（財）三重県建設技術センター，津，120p，2005。
- 4) Wallbrink P.J., Murray A.S., Olley J.M. and Olive L.J.: Determining source and transit times of suspended sediment in the Murrumbidgee river, New South Wales, Australia, using fallout ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb. *Water Resources Res.*, Vol.34, No.3, pp.879-887, 1998。
- 5) 虫明功臣・高橋裕・安藤義久：日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果，土木学会論文報告集，第309号，pp.51-62，1981。

- 6) 山本晃一：構造沖積河川学：その構造特性と動態。山海堂，東京，690p，2004。
- 7) 吉野文雄：山地流域の構成地質が河床砂礫径分布に及ぼす影響。土木技術資料，Vol.21，No.10，pp.535-540，1979。
- 8) Kodama Y.: Downstream changes in the lithology and grain size of fluvial gravels, the Watarase river, Japan: Evidence of the role of abrasion in down-stream fining. *J. Sedimentary Res.*, Vol.A64, No.1, pp.68-75, 1994.
- 9) 田代喬・佐藤圭輔・中村直斗・登立公平・辻本哲郎：流域の地質構造・地形特性に着目した河川景観の階層性の分析。河川技術論文集，Vol.13，pp.279-284，2007。
- 10) Thompson C.J., Croke, J. Ogden R. and Wallbrink P.: A morpho-statistical classification of mountain stream reach types in southeastern Australia, *Geomorphology*, Vol.81, pp.43-65, 2004.
- 11) Sable, K.A. and Wohl, E.: The relationship of lithology and watershed characteristics to fine sediment deposition in streams of the Oregon Coast Range, *Environmental Management*, Vol.37, pp.659-670, 2006.
- 12) Snelder, T. H., Lamouroux, N. and Pella, H.: Empirical modelling of large scale patterns in river bed surface grain size, *Geomorphology*, Vol.127, pp.189-197, 2011.
- 13) Egglisshaw, H.J. and Morgan, N.C.: A survey of the bottom fauna of streams in the Scottish Highlands. Part II. The relationship of the fauna to the chemical and geological conditions, *Hydrobiologia*, Vol.26, pp.173-183, 1965.
- 14) Minshall, G.W. and Kuehne, R.A.: An ecological study of invertebrates of the Duddon, an English mountain stream, *Archiv für Hydrobiologie*, Vol.66, pp.169-191, 1969.
- 15) Holloway, J.M., Dahlgren, R.A., Hansen, B. and Casey, W.H.: Contribution of bedrock nitrogen to high nitrate concentrations in stream water. *Nature*, No.395, pp.785-788, 1998.
- 16) Egglisshaw, H.J.: The quantitative relationship between bottom fauna and plant detritus in streams of different calcium concentrations, *Journal of Applied Ecology*, Vol.5, pp.731-740, 1968.
- 17) Krueger, C.C. and Waters, T.F.: Annual production of macroinvertebrates in 3 streams of different water-quality. *Ecology*, Vol.64, pp.840-850, 1983.
- 18) Leland, H.V. and Porter, S.D.: Distribution of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use., *Freshwater Biology*, Vol.44, pp.279-301, 2000.
- 19) Minshall, G.W. and Minshall, J.N.: Further evidence on the role of chemical factors in determining the distribution of benthic invertebrates in the River Duddon, *Archiv für Hydrobiologie*, Vol.83, pp.324-355, 1978.
- 20) Willoughby, L.G. and Mappin, R.G.: The distribution of *Ephemera ignita* (Ephemeroptera) in streams - the role of pH and food resources, *Freshwater Biology*, Vol.19, pp.145-155, 1988.
- 21) Huryn, A.D., Benke, A.C. and Ward, G.M.: Direct and indirect effects of geology on the distribution, biomass, and production of the freshwater snail *Elimia*, *Journal of the North American Benthological Society*, Vol.14, pp.519-534, 1995.
- 22) Wiley M.J., Kohler S.L. and Seelbach P.W.: Reconciling landscape and local views of aquatic communities: lessons from Michigan trout streams, *Freshwater Biology*, Vol.37, pp.133-148, 1997.
- 23) Jin H.S. and Ward G.M.: Life history and secondary production of *Glossosoma nigrior* Banks (Trichoptera: Glossosomatidae) in two Alabama streams with different geology, *Hydrobiologia*, Vol.575, pp.245-258, 2007.
- 24) Nelson, R.L., Platts, W.S., Larsen, D.P. and Jensen, S.E.: Trout distribution and habitat in relation to geology and geomorphology in the North Fork Humboldt River drainage, northeastern Nevada, *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol.121, pp.405-426, 1992.
- 25) Hicks, B.J. and Hall, J.D.: Rock type and channel gradient structure salmonid populations in the Oregon Coast Range, *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol.132, pp.468-482, 2003.
- 26) Olson, J.R.: The influence of geology and other environmental factors on stream water chemistry and benthic invertebrate assemblages. All Graduate Theses and Dissertations. Paper 1327. Utah State University, <http://digitalcommons.usu.edu/etd/1327>, 2012.
- 27) Neff, M.R. and Jackson, D.A.: Effects of broad-scale geological changes on patterns in macroinvertebrate assemblages, *Journal of the North American Benthological Society*, Vol.30, pp.459-473, 2011.
- 28) Shearer, K.A. and Young, R.G.: Influences of geology and land use on macroinvertebrate communities across the Motueka River catchment, New Zealand, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, Vol.45, pp.437-454, 2011.
- 29) 川合禎次・谷田一三：日本産水生昆虫一科・属・種への検索，東海大学出版会，1342p，2005。
- 30) 竹門康弘：底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態系評価，日本生態学会誌，第55号，pp.189-197，2005。
- 31) Suzuki, R. and Ishimaru, T.: An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using N, N-dimethylformamide, *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, Vol.46, pp.190-194, 1990.
- 32) Jefferey, S.W. and Humphrey, G.F.: New spectrophotometric equation for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton, *Biochem. Physiol. Pflanzen*, Vol.167, pp.191-194, 1975.
- 33) Biggs, B.J.F. and Kilroy, C.: Stream Periphyton Monitoring Manual. New Zealand Institute Water and Atmosphere for Ministry for the Environment, Christchurch, New Zealand, http://www.niwa.co.nz/sites/default/files/import/attachments/peri_complete.pdf, 2000.
- 34) 国土交通省中部地方整備局蓮ダム管理所：蓮ダム操作規則，<http://www.cbr.mlit.go.jp/hachisu/image/pdf/sousa1.pdf>，2000。
- 34) 田代喬・畔柳諒輔・岩田裕輝・辻本哲郎：石礫の輪郭形状に着目した河床間隙の評価と移動床現象に関する考察，河川技術論文集，Vol.21，pp.149-154，2015。
- 35) 加賀屋隆：河川生物の生態―底生無脊椎動物，河川生態学（川那部浩哉・水野信彦監修，中村太士編集），講談社，東京，pp.88-115，2012。

(2016. 4. 4受付)