

山地河川における岩盤露出による影響と砂礫床回復への取組み

小林草平* 増本みどり** 三輪準二***

1. はじめに

ダム・堰の下流において上流からの土砂供給が減少し、また砂利採取等の影響によって、以前は砂礫床であった場所に岩盤（または土丹）が露出した河川は全国に見られる。岩盤露出は河川環境上様々な問題を引き起こしうる。特に、**河川の食物網***を構成する多くの水生生物が、その生息場として砂礫床が生み出す河床形状や河床空隙に依存していると考えられる。岩盤露出によって、様々な生物の生息場が消失する結果、生物多様性や生態系機能が低下することが懸念されている。

岩盤が露出した地点で砂礫床を回復させる取組が全国で増えつつあるが、その回復は容易ではない。本稿では栃木県日光市の鬼怒川上流（図-1）で実施していた、山地河川での岩盤露出の拡大、岩盤露出が底生動物群集に及ぼす影響に関する研究、砂礫床回復への取組みについて報告する。

2. 鬼怒川黒部ダム下流における岩盤露出

鬼怒川本川の標高665m付近に大正元年（1912年）に竣工された発電用の小規模なダムである黒部ダムがある（東京電力管理、堤高：28.7m、総貯水容量：236,000m³）。黒部ダムは、上流約12kmに川俣ダムがあり、下流約5km地点から川治ダムの湛水域となっている（図-1）。黒部ダムに治水能力はなく、出水時にはダムのゲートが開き、ほぼ満砂状態のダムを上流から運ばれてきた土砂が通過する。川治ダムの年間堆砂量は213,000m³/y（1985年～2004年）で、現在も黒部ダムを通過して川治ダムに運ばれる土砂量は多いとみられる。

黒部ダム上流では、大事沢をはじめ支川からの豊富な砂礫の流入により、長さ100m以上の砂州が発達している。これに対し、黒部ダム下流では大きな砂州は発達せず、点々と河床に岩盤が露出

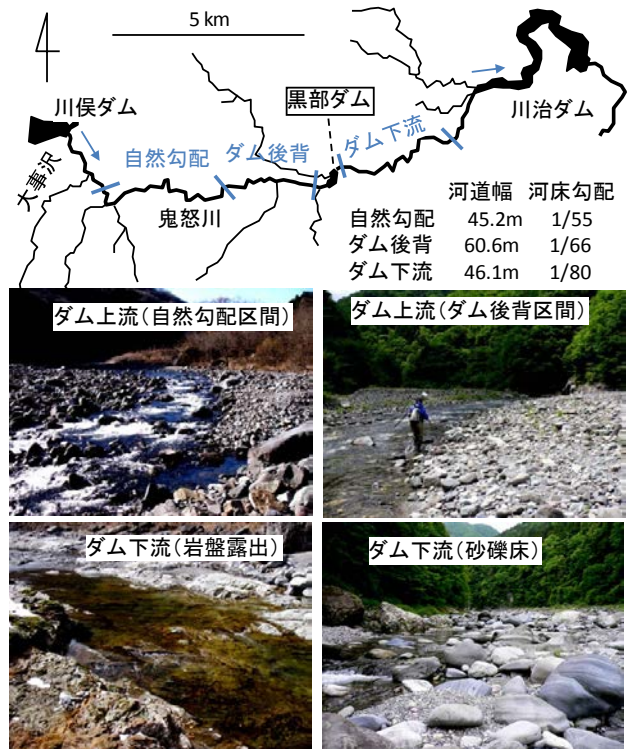


図-1 鬼怒川黒部ダムの位置、上流と下流の景観

し（図-1）、2008年の時点でダム下流区間の37%で流心が岩盤であった¹⁾。過去の航空写真において岩盤露出は1990年代から顕著である。中村²⁾は黒部ダム下流で岩盤露出の調査を20年続けており、岩盤露出の拡大速度は1990年代より2000年以降で大きいことを示している。

過去の航空写真から河床高を判読し、70年～80年代にかけて黒部ダムの上流では最大6m、下流では最大3mの河床低下が判明した（図-2）。この時期、ダム上流の河川区間とダム湛水域で砂利採取が盛んに行われていた（10万m³/y以上）。ダム下流では直接の砂利採取はないが、上流での河床低下が波及したとみられる。ダム下流では3m程度の河床低下で岩盤が露出したのに、ダム上流では最大6mの低下にも関わらず岩盤露出がないのは、黒部ダムによって昭和初期までにダム下流ではある程度の河床低下があり、ダム上流では砂礫が従来よりも厚く堆積していたためと考えられる（特に黒部ダム～3km上流の範囲）。

Ecosystem changes associated with bedrock exposure and a trial to recover gravel-bed in a mountain river reach

*土木用語解説：河川の食物網

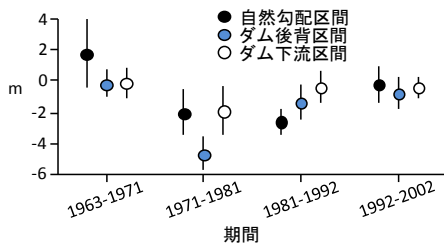


図-2 河床高の変化 (平均±1標準偏差)

3. 中間径礫の不足と岩盤露出

黒部ダムを下流へ通過する土砂量は現在も多いにも関わらず、黒部ダムを境に下流で岩盤露出が目立つのは、砂礫の供給量のみからでは十分には説明できない。ダム下流では砂礫が滞留しにくい河道特性や河床材料特性があることが考えられる。

河床材料調査からダム下流では特に中間径(10-40cm)の礫が少ないことが判明した¹⁾。この調査ではダム上流の2区間(図-1参照)とダム下流区間において、各々12~14の調査区を設定し、各調査区で線格子法に基づくランダムな標本抽出を行い、計100の礫から礫径分布を作成した(図-3)。ダム上流の2区間ではほとんどの調査区でS字の礫径曲線を示し、10-40cmの礫が優占する一方、ダム下流区間では調査区によるばらつきは大きい、10-40cmが優占する区間はなかった。区間全体でみると、10-40cmが占める割合はダム上流の2区間では41-45%、ダム下流区間では22%であった(図-3)。10-40cm礫の不足は

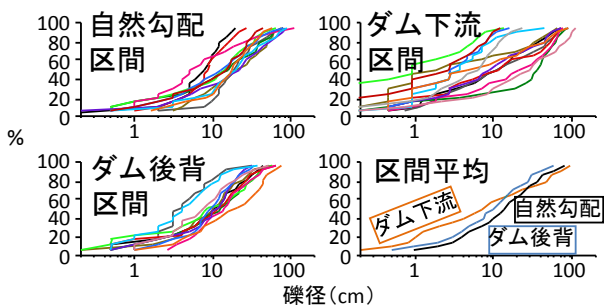


図-3 累積礫径曲線 (調査区別と各区間平均)

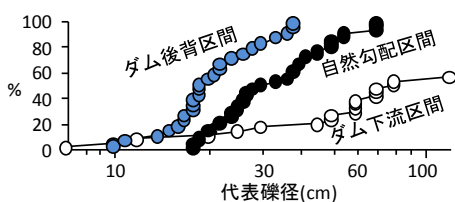


図-4 各区間の全早瀬の代表礫径

早瀬の代表礫径でより顕著であった(図-4)。

ダム下流で10-40cmの礫が少ないのは、こうした礫がダム直上で停滞するためと考えられる。出水時に動きうる礫径を、流れの抵抗則式と岩垣の公式を利用して各区間の河床勾配と河道幅から求めた²⁾(図-5)。ダム上流と下流のほとんどの区間で500m³/s(4・5年に1度発生)や1000m³/s(8~10年に1度且つ既往最大レベル)の出水時には50cm級の礫が動き、200m³/sの出水時(ほぼ毎年発生)でも10cm程度の礫は動きうる河道であることが分かった。これに対しダム直上(河道幅:>130m、勾配:<1/1000)では、1000m³/sでも動きうる礫径は10cm以下であった(これらは簡易な推定であるが、出水時に流量と河道特性に応じた礫径しか主に移動しないことは、発信器付き礫の移動調査により確かめられた³⁾)。

こうした中間径礫の減少は岩盤露出を加速させている可能性がある。中間径がないとより細かい砂礫が巨礫の間でとどまりにくく流出しやすくなる。また、巨礫の周辺に細砂礫がなくなると、巨礫は孤立し動きやすくなると考えられる。現在もまだ流出せずに残る>50cmの巨礫も、いずれは流出し、これによって岩盤が拡大し、砂礫がさらに滞留しにくい状況へ進むと考えられる。これらを踏まえると、岩盤露出の問題においては砂礫の供給量だけでなく特定の径の存在や礫径分布も重要であることが伺える。

4. 岩盤露出と底生動物群集

ダム上流と下流を含む6地点において早瀬(水面勾配が大、白波立つ、浅い)、淵(水面勾配が0、波立ちなし、深い)、平瀬(早瀬と淵の中間的な特徴)を区分し、底生動物の定量調査を行った結果、早瀬で全現存量が大きいことが分かった(淵の8.6倍、平瀬の4.6倍、図-6)⁴⁾。付着藻類を摂食する付着物食者、水中の微小有機物を摂食す

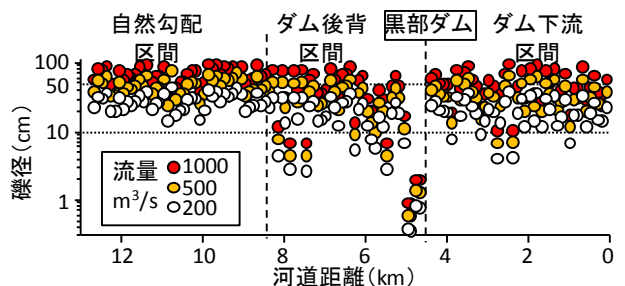


図-5 河道特性から推定される出水時の可動礫径

る濾過食者でこの傾向は顕著であった。また、早瀬の中でも特に10-30cm礫で全現存量(図-6)が大きく、礫間の空隙を利用するカゲロウ、カワゲラ、トビケラが多かった。岩床では礫表面を利用する仲間(特にブユ)がほとんどを占め(全体の85-95%)、全現存量は砂礫床の1/3以下であった。

ダム下流では砂礫減少と岩盤露出によって、底生動物群集に少なくとも2つの影響がある。1つは生息場として重要な10-30cm礫が減少し、一部の底生動物しか利用できない岩盤が増加することで、偏った種構成となり全現存量も小さくなる。もう1つは早瀬の縦断長の変化に関する。ダム下流において河道100mあたりの早瀬の縦断長はダム上流の1/2しかなかった(図-7)。これは、10-40cm礫からなる早瀬(ダム上流)は適度な勾配(1-3%)を保ち長いが、>50cm礫や岩盤からなる早瀬(ダム下流)は急勾配(>4%)で短いからである(図-7)。早瀬が短くなると、特に付着物食者や濾過食者の現存量が小さくなる。ダム下流では早瀬や10-30cm礫の河床が少ないことで、区間全体としての現存量がダム上流の1/2-1/6になると推定された。

5. 岩床に砂礫を回復させる取組み

岩盤が露出した区間に水制工や巨礫の設置を行うことで、砂礫の滞留を促し、砂礫床の回復を狙った取組みが報告されている^{5), 6)}。多くの場合、重機を使用して岩盤の掘削、巨礫の固定等が行われる。ところが、特に山地など斜面が急勾配だと、河川まで重機の搬入路が近辺にない場所が多い。

重機が無くても、砂礫の滞留を促す構造物として、ふとん箆等を現地で組み立てることは可能である。そこで、黒部ダム下流1.5kmの地点(岩盤が露出する20m区間)で、人力のみでふとん箆の設置を行い、その後の変化を調査し、砂礫床回復におけるふとん箆の有効性・可能性を検討した⁷⁾。

河川護岸工や護床工においてジオテキスタイル

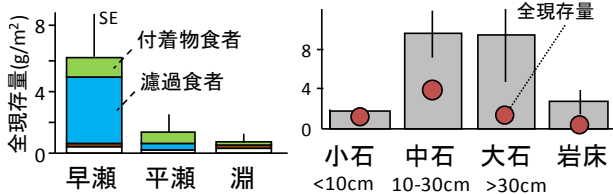


図-6 全底生動物現存量(平均±1標準誤差)

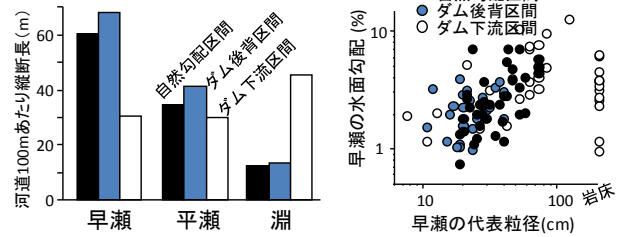


図-7 早瀬、平瀬、淵の縦断長(左)、早瀬の代表粒径と勾配の関係(右)

製のふとん箆の使用が近年増えている。ジオテキスタイルは軽量であるが衝撃や紫外線に対してある程度の強度を有し、柔軟性もあるためその用途は多様である。本研究ではファイバーユニット箱型(ポリエチレン製無結節網、網目25mm、長さ2m×幅1m×高さ0.5m、全面二重)を用いた(図-8)。1体は1m³で1.5tの礫が入る。網の破損による礫の流出を防ぐため、1体につきユニットを2枚重ねて使用した。計12体のふとん箆を、砂礫滞留への効果と箆の移動の回避を狙い、流心で且つ岩盤上のかけ上がり(逆勾配)の部分に設置した。ふとん箆の岩床への固定は行わず、岩盤地形にうまくはまるように、連結して(箆6体または3体)設置した。ふとん箆に詰めた礫は5-15cmの大きさで近くの河原から収集した。

2010年と2011年において、100-200m³/s規模の出水が数回あった。これらの出水では、ふとん箆の周辺に砂礫が堆積し対象区間における砂礫の被覆率が増加した(図-9)。ふとん箆の一部は下流8-10m先に移動したが、移動先で砂礫の被覆率が増加した(図-8, 図-9)。堆積した砂礫は<5cmが主であったが、出水中に10-20cm程度の礫も通過していたことは明らかであった。ふとん箆の損傷は全くなかったため、この規模の出水に対しては、砂礫の堆積に効果を発揮しうることが示された。



図-8 礫を詰めたふとん箆(左)、ふとん箆の設置箇所の概要(右)



図-9 出水前(左)から出水後(右)への河床変化

しかし、その後の500m³/sの出水で、ふとん箆の一部は先に移動したふとん箆の場所まで移動して重なり合い、上流側に設置していたふとん箆は消失し(対象区間下流の砂州に埋没したとみられる)、対象区間はほぼ全面が再び岩床となった。移動したふとん箆の網においては、特に上流・上面側が大きく破損し、中に詰めた礫がこぼれ出した状態にあった。近辺で50-100cm級の礫の移動が確認されており、こうした礫の繰り返しの衝突が破損につながったとみられる。その後1000m³/sの出水があったが、ふとん箆の更なる移動はなく、ふとん箆の下流側の砂礫堆積は保たれていた。

6. まとめ

鬼怒川黒部ダム下流では、ダム直上における>10cm礫の停滞のほか、過去の砂利採取、支流・本流における土砂移動の減少など、様々な要因が重なった結果、河床の岩盤露出に至ったと思われる。こうした砂礫の減少と岩盤化により、底生動物群集は特に量的に大きく減少したと考えられ、生態系の観点からは砂礫の量とともに質(特に早瀬の発達に重要な10-40cm礫)の回復が望

まれる。岩盤区間で人力のみでふとん箆を設置し砂礫滞留を促す試みを行った。流量<200m³/sではふとん箆は砂礫滞留に対して効果を発揮したが、流量>500m³/sでは箆の破損や移動の損失が大きかった。巨礫が残存する場にふとん箆をはめるなど流出を抑える等のさらなる工夫を検討する必要がある。

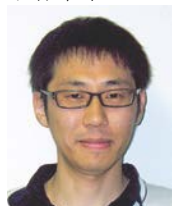
謝 辞

調査上の便宜やデータ提供等でご協力いただいた栃木県日光土木事務所、国土交通省日光砂防事務所、同省鬼怒川ダム統管理事務所、東京電力株式会社、前田工繊株式会社の方々、中村智幸博士にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小林草平、中西 哲、藤原正季、矢島良紀、赤松史一、天野邦彦: 山地河道のダム下流における河床露盤化と河床材料特性、河川技術論文集、Vol.15、pp.453~458、2009.
- 2) 中村智幸: 鬼怒川黒部ダム下流における河床の露盤化、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.67、No.2、54~59、2011.
- 3) 小林草平、矢島良紀、中西哲、赤松史一、三輪準二、天野邦彦: 山地河川における小規模ダムの上下流区間の特性による礫移動の違い、河川技術論文集、Vol.16、pp.83~88、2010.
- 4) 小林草平、中西哲、天野邦彦: 山地河川の小規模ダム下流における砂礫の減少と底生動物群集、陸水学雑誌、Vol.72、pp.1~18、2011.
- 5) 福島雅紀、櫻井寿之、箱石憲昭: 大きな石による河床再生技術に関する実験的検討、水工学論文集、Vol.54、pp.763~768、2010.
- 6) 森 僚多、石川武彦、長田健吾、福岡捷二: 多摩川水系浅川における河床高回復現地実験と河道管理手法、河川技術論文集、Vol.16、pp.113~118、2010.
- 7) 矢島良紀、小林草平、中西哲、赤松史一、三輪準二: 山地河川の露岩化した河床における砂礫堆回復に関する実験的研究、河川技術論文集、Vol.17、pp.191~196、2011.

小林草平*



京都大学防災研究所 研究員
(前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ河川生態チーム専門研究員)
Sohei KOBAYASHI

増本みどり**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ河川生態チーム 研究員
Midori MASUMOTO

三輪準二***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員
Junji MIWA