

# 石礫河床への大量の覆砂が 魚類生息密度に及ぼす影響について

EFFECT OF AN EXTENSIVE SAND COVER  
ON DENSITY OF FISHES IN STONY RIVERBED

小野田幸生<sup>1</sup>・萱場祐一<sup>2</sup>  
Yukio ONODA and Yuichi KAYABA

<sup>1</sup>博(理) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター  
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態チーム  
(〒300-2621 茨城県つくば市南原1-6)

We studied a response of fish density to an artificial sand cover on stony riverbed at downstream of the Yahagi-daini dam. Two study sites with stony substrate were set at ca. 0.7 km downstream of the dam. Riverbed at the lower study site was covered by a large amount of sand (ca. 20 m<sup>3</sup>) to prepare the sand-covered study area (25 m<sup>2</sup>), whereas riverbed at the upper was not covered as reference area. Density of fishes (mainly composed of benthic gobies, *Rhinogobius* spp.) and environmental factors (current velocity, depth, and cover degree of each particle size) were monitored at the two areas before and after the sand-cover. The density was decreased at the sand-covered area although it had not been different between the two areas. The sand-cover simultaneously changed the environmental factors (increase in current velocity and finer substrate and decrease in depth). These results suggest that a lot of sand coverage should bury stones on the riverbed originally and make flow higher on the sandy riverbed. As most fish had been found in interstices under/between stones, decrease in the interstices associated with sand cover may partially contribute the decrease in fish density. The further studies are necessary to detect the threshold of sand coverage causing decrease in density of fishes dramatically.

**Key Words:** *Substrate, interstices, habitat alteration, sediment supply, downstream of dams*

## 1. はじめに

ダム貯水池における堆砂問題は、ダムの機能を低下させたり、ダム下流における河床の粗粒化を引き起こしたりするため、治水・環境の両面から解決されるべき課題である<sup>1)</sup>。この対策として、ダム下流への土砂供給が試験的に実施されている。土砂供給方法の一つであるダム下流への置き土は、ダム下流河道に土砂を仮置きし洪水とともに流下させる方法で、特別な施設を新たに構築することなく土砂を供給できるため試験的な実施に適しており、効果や影響を予測するための知見収集にも利用されている<sup>1)</sup>。

置き土などの効果・影響に関する既往知見の一例として、異常繁茂した付着藻類が土砂を添加する事によって効果的に剥離され、付着藻類の更新が促されるという報告がある<sup>2)</sup>。また、投入土砂がウグイの産卵場として利

用されるなどの効果も報告されている<sup>3)</sup>。一方、土砂供給の事例ではないものの、砂量の増加による河床環境の変化が魚類の減少を招くという報告もあり<sup>4)</sup>、土砂供給の影響面についても評価・検討する必要がある。

これまで、置き土による土砂供給においても、魚類密度などに対する影響が評価されてきたが、土砂供給前後において顕著な変化はみられていない<sup>5)</sup>。この理由として、置き土は土砂を増水で流下させて供給する方法であるため、砂等の堆積量が少ないことが考えられる。ただし、清原・高柳<sup>6)</sup>が指摘するように「秋の最後の出水時の排砂」などを想定した場合、供給土砂が河床に残ることもあり得るため、堆砂量と魚類などの生物との関係について整理し、影響予測に還元する必要がある。

関係性の整理に当たっては、まず極端に堆砂量が多い状態における魚類などの生物の応答を調べ、影響があるかどうかを確認することが重要である。それによって、堆砂量による影響も外挿ではなく内挿による予測が可能

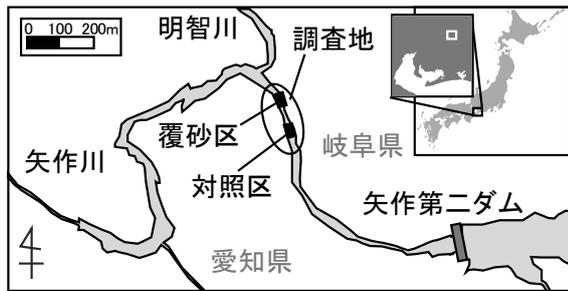


図-1 調査地の地図

となり、予測精度の向上に繋がると考えられるからである。本研究で対象とした矢作川では、人為的に砂を河床に堆積させる覆砂実験を実施しており、堆砂量と生物との関係把握に努めている<sup>5)</sup>。そこで、本研究では局所的に大量の覆砂を実施した場合を対象に、底質を含む物理環境と魚類密度のモニタリングを行うことで、局所的に大量の砂が堆積した場合の魚類密度の応答に関する一知見を提供する事を目的とした。

## 2. 方法

### (1) 調査地

調査は、矢作川にある矢作第二ダムから0.7km下流の地点で実施された(図-1)。ダムから調査地までに流入河川はなく、調査地の下流で明智川が流入する。ダムの影響を緩和する支川合流<sup>6)</sup>の上流に調査地点があるため、多くのダムで見られるように石や巨石が多くを占める粗粒化した河床環境を有する<sup>7)</sup>。そのため、覆砂による底質環境の変化が大きく、底質環境の変化に対する魚類の応答を検証するのに適した場所であると考えられる。

その調査地内の2つの平瀬に5×5mの調査区をそれぞれ設定した。下流側の調査区(覆砂区)では2011年10月26日に砂を添加・堆積させ、上流側の調査区(対照区)では砂を添加しなかった。添加された土砂は、矢作第一ダムの貯水池内から運搬され、その代表粒径サイズは約2mmの砂で、その容量は約20m<sup>3</sup>であった。

### (2) 調査方法

それぞれの調査区内に1×1mのコドラートを9個設置し、

表-1 調査日と調査時の水温。

調査日	覆砂日との関係	水温 (°C)
2011/10/25	1 日前	15.2
2011/11/4	約 1 週間後	データ無し
2011/11/11	約 2 週間後	14.8
2011/12/9	約 1.5 カ月後	9.0
2011/10/29	約 2 カ月後	5.9

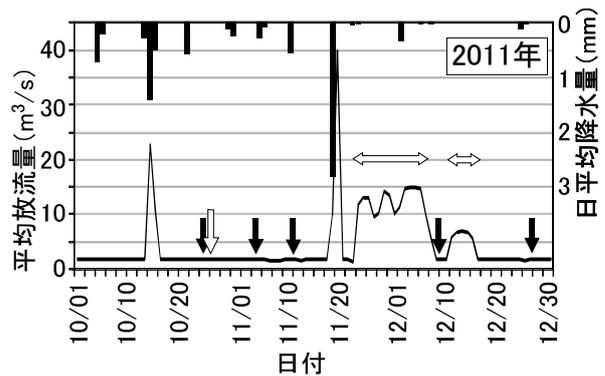


図-2 矢作第二ダムからの放流量(折線)と矢作第一ダムでの降水量(下向き棒グラフ)。

下向き黒矢印は調査日, 下向き白矢印は覆砂日, 横向き両矢印は矢作第二ダムからの放流期間を表す。

覆砂の前後(覆砂の1日前[10月25日], 約1週間後[11月4日], 2週間後[11月11日], 1.5カ月後[12月9日], 2カ月後[12月27日])で、魚類密度と物理環境要因のモニタリングを行った。

魚類密度の調査は潜水目視調査によって行い、水中において魚種も同定した。ただし、ヨシノボリ類については、2009年度の河川水辺の国勢調査(ダム湖版)でカワヨシノボリとトウヨシノボリ(型不明)の2種類が記録されている上、両者を水中で同定することは困難であるため、ヨシノボリ属にとどめた。

物理環境要因として、水深、流速、河床表面の粒径別比度割合を計測した。水深・流速はコドラートの四隅と中央の5点で計測した。水深は、スタッフを用いて1cm単位で計測した。流速は、電磁流速計(VET-200-10P, ケネック社, 東京, 精度=±0.5cm/s)を用いて、各点における6割水深で5回計測し、それらの平均値を算出した。河床表面の粒径別比度割合は、水深10cm程度の場合には水面上から目視で、それ以上の場合にはシュノーケリングや箱メガネを用いて各粒径成分(0.2<, 0.2-2, 2-5, 5-10, 10-20, 20-50, ≥50cm)の占める面積を観察し、コドラート面積(1m<sup>2</sup>)に対する百分率を10%単位で記録した。

調査期間中の矢作第二ダムからの平均放流量は、維持放流として約1.8 m<sup>3</sup>/s(規定量としては1.49 m<sup>3</sup>/s)常時放流されており、降水量が多かった10月15日と11月19日に放流量が増加した(図-2)。矢作第二ダムの発電所作業に伴う作業放流として、11月24日から12月8日までの期間に約15m<sup>3</sup>/s、12月12日から12月16日までの期間に約6m<sup>3</sup>/s放流された(図-2)。調査時の水温は、調査開始時には15°C前後だったが、12月に入ってから10°Cを下回った(表-1)。

### (3) 解析方法

解析するにあたって、魚類密度と物理環境要因について

てコドラートごとの平均値を算出した。魚類密度、水深、流速に対する覆砂の影響を調べるため、覆砂の有無と調査時期を要因とした、Two-way Repeated-Measures ANOVAで解析を行った。解析には統計ソフト (Stat View-J 5.0 for Windows, SAS Institute, North Carolina, USA) を利用した。

### 3. 結果

#### (1) 魚類密度

観察された魚類は、観察例が多い順にヨシノボリ属、オイカワ、アカザであり、ヨシノボリ属 (観察数91) が全観察数 (同102) の89%に及んだ。

魚類密度の変化と覆砂の有無との間に有意な交互作用が見られ ( $F_{1,4} = 6.29, P < 0.01$ )、覆砂の有無によって変化が異なった (図-3A)。覆砂前における魚類密度の平均値は、覆砂 (予定) 区および対照区でともに2.8 個体/m<sup>2</sup>であり同程度であった。ただし、覆砂区では覆砂後に急激に魚類密度が低下し、その後も低いままだったのに対して、対照区では覆砂1週間後ではほとんど密度が低下せず2週間後から緩やかに低下し、1.5ヶ月後に覆砂区と同程度となった。

#### (2) 物理環境要因

物理環境要因はどの要因も似た変化のパターンを示し、覆砂の有無によって変化のパターンが異なった (水深:  $F_{1,4} = 50.41, P < 0.01$ ; 流速:  $F_{1,4} = 16.29, P < 0.01$ )。すなわち、対照区では相対的に変化が少なかったのに対して、覆砂区では覆砂後に水深の減少、流速の増加、細粒成分の増加がみられ、ダムからの放流を経た1.5カ月後以降には覆砂前の状況に近くなった (図-3B, C, D)。

水深については、対照区では40-50cm程度で推移したのに対して、覆砂区では40cm弱から覆砂後に15cm程度まで減少し、1.5カ月後以降には覆砂前と同程度まで増加した (図-3B)。流速については、対照区では25-40cm/s程度で推移したのに対して、覆砂区では10cm/s強から覆砂後に40cm/s程度まで増加し、1.5カ月後以降には20cm/sとなった (図-3C)。河床表面の粒径別被度割合については、粒径20cm以上の粗い粒径成分による被度割合が対照区では50%程度で推移したのに対して、覆砂区では覆砂前後に70%から10%まで減少した。覆砂区では、20cm以上の粒径成分に代わりに2cm以下の粒径の割合が60%以上と増加したが、ダムからの放流があった1.5カ月以降には2cm以下の粒径割合が10%程度まで再度減少した (図-3D)。

### 4. 考察

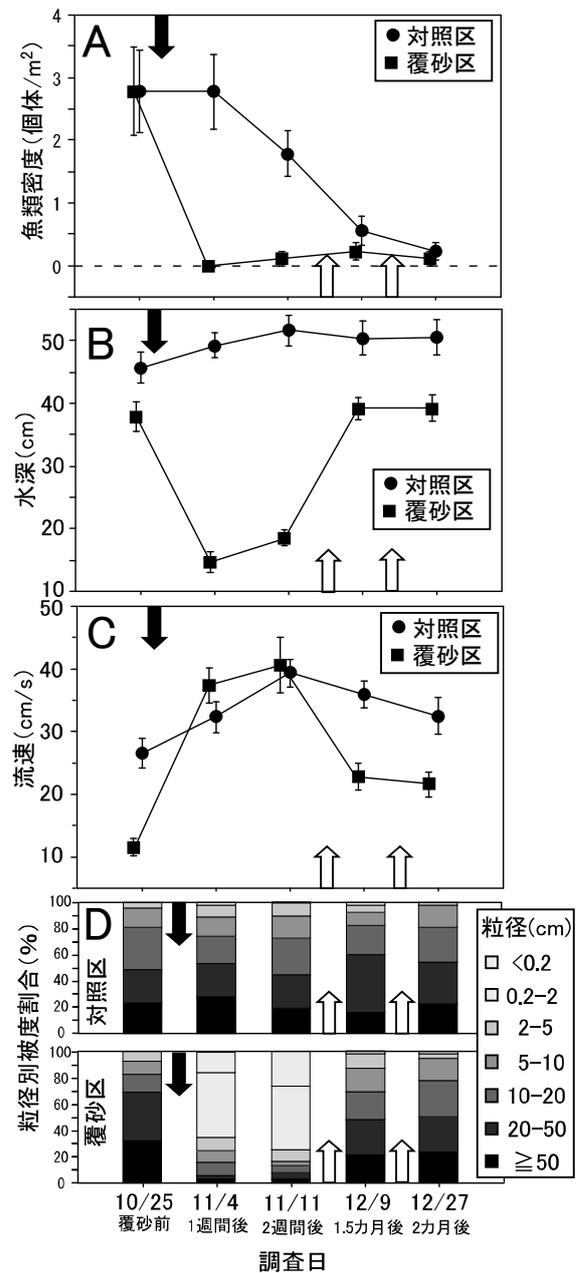


図-3 覆砂前後の魚類密度 (A) および物理環境要因 (B: 水深, C: 流速, D: 粒径別被度割合)。

図中の黒矢印と白矢印は、それぞれ覆砂およびダムからの放流のタイミングを表す。エラーバーは標準誤差を示す。

#### (1) 大量の覆砂による魚類密度変化と物理環境要因との関連

魚類密度が覆砂後に覆砂区でのみ減少した結果 (図-3A) は、大量の覆砂によって魚類の密度が低下する事を示しており、覆砂による物理環境要因の変化が寄与しているものと考えられる。覆砂後1.5カ月以降、対照区でも魚類密度の低下がみられた結果は、水温の低下<sup>8),9)</sup>の影響などを受けていると考えられるため、ここでは、覆砂の有無により魚類密度に差がみられた覆砂後2週間ま

でを対象に物理環境要因との関連を考察する。

覆砂後の物理環境要因に着目すると、覆砂区では水深の減少（図-3B）、流速の増加（図-3C）、および細粒土砂の被度の増加（図-3D）が見られた。これらの結果は覆砂区において、河床表面に存在した石を埋没させるほど多くの砂が堆積し、その表面を水が速く流れるようになったことを示唆している。

#### a) 流速の変化が魚類密度に及ぼす影響

これらの環境要因のうち、流速が魚類密度に及ぼした影響は比較的小さいと考えられる。流速は、覆砂後に覆砂区で増加したものの、対照区の流速と差が無かったため（図-3C）、魚類が流されたり忌避したりするほどの高流速とは考えにくい。事実、観察された魚類の多くを占めたヨシノボリ属は、水路実験において50cm/s未満では流されないことが観察されており<sup>10)</sup>、覆砂後の流速（約40cm/s）は耐性の範囲内であると考えられる。また、遊泳魚のオイカワ成魚の巡航速度（比較的長時間30分～数時間疲労することなく泳ぎ続けることなく泳ぎ続けられる速度で最大のもの<sup>11)</sup>）は65cm/sであるとの報告があり<sup>12)</sup>、オイカワについても流速耐性の範囲内である可能性が高い。一方、オイカワ成魚の体長（約10cm）から推定される巡航速度は約20-30cm/sとなり<sup>11),13)</sup>、この場合は流速耐性を超えている可能性もある。ただし、本研究で観察されたオイカワは石礫の間隙など底層近くの低流速域を利用していただけのため、流速が制限要因になった可能性は低いと考えられる。また、巡航速度は低水温によって低下することが知られているが<sup>11)</sup>、覆砂後約2週間までの水温は15°C前後であり（表-1）巡航速度の急激な低下をもたらす水温である9.0°C<sup>12)</sup>よりも高かった。そのため、覆砂直後に見られた流速増加の魚類生息密度への影響は小さいと考えられる。ただし、流速の変化量は大きかったため、それが魚類密度に及ぼす影響については今後検討が必要かもしれない。

#### b) 水深の変化が魚類密度に及ぼす影響

覆砂による水深の減少は、魚類の生息密度に影響を及ぼした可能性がある。水深の減少が魚類に及ぼす影響については、正常流量検討の枠組みで検討されており、それぞれの魚種で産卵および移動に必要な最低限の水深が提示されている<sup>14)</sup>。本調査時期は今回観察された3種の魚類の産卵期では無いため、移動に必要な最低水深を参照すると、ヨシノボリ類、オイカワ、アカザともに10cmである<sup>14)</sup>。覆砂後の水深は15cm程度まで減少したが（図-3B）、この最低水深を満たしている。ただし、この10cmという値は、どんな魚種に対しても確保されるべき最小限の水深としても提示されており<sup>14)</sup>、矢作川中流域において20cm以浅ではヨシノボリ属魚類が採集されなかったという報告もある<sup>15)</sup>。以上のことより、本研究で観察された覆砂後の水深は10cmよりはやや深いものの、覆砂に伴う水深の減少が魚類密度に及ぼす影響については、慎重な判断が必要であると考えられる。

#### c) 粒径別被度割合が魚類密度に及ぼす影響

覆砂による粒径別被度割合の変化は、魚類の生息密度に影響を及ぼした一因であると考えられる。

覆砂に用いた砂が2mm程度で、覆砂後に2mmを含む粒径区分の割合が増加した結果（図-3D）は、もともと存在した粗い粒径の石礫が河床内に埋まるほど砂が堆積したことを示唆している。本研究における給砂量（約25m<sup>2</sup>に対して20m<sup>3</sup>）は、単純計算で単位面積当たり高さ0.8mの土砂が供給されたことになり、局所的ではあるものの、堆砂量の多いケースとして考えられる。実際には調査区が陸域化しなかったが、これは、添加された砂の周辺への拡散や流下、石礫の間隙の充填によるものと考えられる。なお、直接的に堆砂厚を計測しなかったものの、流量は維持流量でほぼ一定であったことから、水深の減少分の20cm程度（図-3B）が堆砂厚と考えられる。

これらの河床表面の構造の変化は、河床環境に依存的である底生魚に特に影響を及ぼしたと考えられる。観察例数の多くを占めたヨシノボリ属は、浮き石を産卵場所や捕食者を回避するシェルターとして利用することが知られている<sup>17),18)</sup>。他にも、カワヨシノボリが石の下にもぐって越冬するという記述<sup>9)</sup>や、トウヨシノボリの密度を規定する一要因として、礫下の間隙が重要であるという報告もある<sup>16)</sup>。また、アカザについても石の下や側面にひそみ、産卵場所としても石の下を利用することが知られている<sup>8),9)</sup>。このように、河床表面の石礫やその間隙は多くの底生魚によって必要とされることから、大量の覆砂によって生息場所が減少したことが、魚類密度の低下を引き起こした一因であると考えられる。

河床構造の変化がオイカワのような遊泳魚に及ぼす影響は、底生魚よりも移動能力が高く他の場所に移ることが可能なため、相対的に小さいと考えられる。また、冬期には深みや淵に移動するため<sup>8),9)</sup>、平瀬における局所的な河床変化の影響は少なかったのかもしれない。ただし、遊泳魚が巨礫によって形成される大きな間隙空間を利用するという知見<sup>19)</sup>や、一時的な流速からのカバーとして礫下空間を利用するという観察例もある<sup>13)</sup>。したがって、覆砂による河床粗度の低下を通じた流れ場の変化や、一時的なカバーとしての礫下空間の減少などの潜在的な影響については、今後検討が必要であると考えられる。

#### (2) 流量増大による物理環境要因の再変化

覆砂による物理環境要因の変化は一時的で、矢作第二ダムからの放流量の増大（図-2）によって、覆砂前に戻る傾向がみられた（図-3B, C, D）。対照区における粒径別被度割合はこの流量増大の前後でもあまり変化せず、覆砂区でのみ変化したことから（図-3D）、この流量増大は河床をもともと構成していた粗い粒径成分を流下させる規模ではなく、その間隙を埋めた細粒成分を洗い出す規模であったと考えられる。河床を覆っていた砂が流されたと考えられると、粒径別被度割合で粗い成分が再び多

くなり(図-3D),水深が再び増加し(図-3B),流速が再び減少した結果(図-3C)も説明できる。

この物理環境要因の再変化に対する魚類生息密度の応答については,対照区および砂供給区の魚類密度がともに低くなっており(図-3A),検証できなかった。しかしながら,再変化した物理環境要因は,魚類密度が高かった覆砂前や対照区と同じ程度となっているため,潜在的には物理生息場所として機能することが期待される。覆砂後の物理環境の再変化に対する魚類の応答については,魚類の移動が活発な温暖な時期に再度検証する必要があると考えられる。

### (3) 土砂供給の順応的管理にむけて

本研究の結果から,堆砂量の増加に対して魚類密度が低下する急変点の存在が示唆される。本研究では,大量の堆砂により魚類の生息密度の一時的な低下が示された。一方,過去数回の置き土実験による少量の堆砂では魚類などの生物への影響は検出されておらず<sup>20)</sup>,一定量の堆砂までは魚類生息密度への影響は少ないと考えられる。これらを合わせて考慮すると,堆砂量の増加に対して魚類密度が線形的に低下するとは考えにくく,ある量を超えた場合に魚類密度が急激に低下することが示唆される。この急変点は土砂供給による魚類への影響評価に利用できる重要な情報である。今後,覆砂に用いる砂量を系統的に変化させ,それに対する魚類密度などの生物応答の知見を集積する事で,閾値の探索が可能となると考えられる。また,このような閾値は土砂供給の計画・検討段階における影響予測の精度向上にも寄与できると考えられる。

また,覆砂後の流量増大はフラッシュ放流として機能することが示唆され,堆砂量を事後調節する手段として有効であると考えられる。土砂供給による河床への土砂堆積を予測し,生物への影響を検討しても,実際に土砂供給では,予想外の堆砂が生じてしまう可能性もありうる。たとえば,局所的な堆砂量が予想よりも多くなった場合には,本研究でみられたような魚類密度の低下が懸念されるため,土砂供給後にフラッシュ放流を用いる方法も考えられる。土砂供給のように,不確定性を含む操作や管理を行う場合には,実施事業を実験として捉え柔軟に対応する順応的管理が適している<sup>20)</sup>。本研究で示された,堆砂後の増水が堆砂量を調節しようという知見は,土砂供給後の河床状態に対して柔軟に対応する一方策を提供するため,土砂供給の順応的管理に資するものであると考えられる。

### (4) 今後の課題

#### a) 覆砂範囲が広い場合の検討

本研究では,局所的な覆砂に対する魚類の影響について検討を行ったが,広範囲の覆砂についても影響を検討する必要がある。本研究で観察例が多かった底生魚は比較的移動能力が低いため,局所的な覆砂であっても密度の変化として応答を評価する事ができた。一方,遊泳魚

は移動能力が高く覆砂地点から容易に回避する事ができるため,局所的な覆砂では堆砂量に対する影響を過小評価する恐れがある。

実際の事業では,土砂供給による堆砂の影響が広範囲にわたる可能性もあり,堆砂箇所からの回避による影響軽減ができない場合もあり得る。したがって,広範囲に覆砂された場合についても検討を行い,堆砂量に対する遊泳魚の応答について知見を集積する必要がある。

ただし,実河川において広範囲の覆砂を試験的に実施することは,コストや合意形成の点から困難かもしれない。そのため,次善の策として,底質一面を操作する水路実験を代替的手法として活用し,堆砂量に対する遊泳魚への影響を検討することが現実的であるかもしれない。

#### b) 実施時期の考慮

本研究は冬季に実施されたため,対照区においても低水温によると考えられる魚類密度の低下がみられた(図-3A)。そのため,覆砂による影響の継続期間や増水による物理環境要因の再変化に対する魚類密度の応答については検証できなかった。今後は,低水温にならない時期の調査も含めた長期的な影響評価を行い,上記について検証することが必要であると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では,矢作ダムで実施された平瀬における覆砂実験を対象に,石礫河床への大量の堆砂が魚類生息密度に及ぼす影響について検討した。その結果,以下のことが示唆された。

- ① 覆砂区でのみ,魚類生息密度の一時的な低下がみられ,堆砂量が極端に多い場合には,魚類密度に一時的な影響を及ぼすことが示唆された。
- ② 覆砂によって,流速の増加,水深の減少,細粒成分の被度増加が生じた。これらの変化は,河床表面に存在した石を埋没させるほど多くの砂が堆積したことを示唆する。
- ③ 対照区との比較の結果,覆砂後の物理環境要因の変化のうち,魚類密度に対する流速の影響は少なく,水深や底質環境の影響が相対的に大きいと考えられた。
- ④ 本研究で覆砂による魚類密度の一時的な低下が検出された一方,従来のいくつかの少量の堆砂条件では魚類密度の変化が検出されなかったことを考慮すると,堆砂量の増加に対する,魚類密度の急変点の存在が示唆された。
- ⑤ 覆砂後に流量増大があり,環境要因が覆砂前に近い状態になった。これは,増水によって砂が流された結果と考えられ,潜在的な物理生息場所の回復と考えられる。
- ⑥ 覆砂後のフラッシュ放流は,堆砂が過剰だった場

合に砂量を減少させる調節手段として有効であることが示唆され、土砂供給の順応的管理に資するものであると考えられる。

**謝辞：**本研究を進めるにあたり、国土交通省中部地方整備局矢作ダム管理所には、野外調査における協力や覆砂実験の詳細な情報を頂きました。ここに謹んで感謝の意を表し、厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省河川局河川環境課：下流河川土砂還元マニュアル(案)第2版, 87pp, 2011.
- 2) 坂本博文, 谷崎保, 角哲也：河川土砂還元を組み合わせた真名川ダム弾力的管理試験「フラッシュ放流」, 河川技術論文集 11巻, pp. 273-278, 2005.
- 3) 梶野健, 浅見和弘：浦山ダム下流に投入した土砂がウグイの産卵にもたらす効果について—ダム下流河川における土砂投入の効果, 応用生態工学, Vol. 6, pp. 51-58, 2003.
- 4) 渡辺恵三, 中村太士, 加村邦茂, 山田浩之, 渡邊康玄, 土屋進：河川改修が底生魚類の分布と生息環境におよぼす影響, 応用生態工学, Vol. 4, pp. 133-146, 2001.
- 5) 清原正道, 高柳淳二：排砂の影響検討における置き土実験と覆砂実験の活用, ダム水源地技術研究所所報, pp. 12-20, 2010.
- 6) Petts G.E., Armitage P., Castella E.: Physical habitat changes and macroinvertebrate response to river regulation: the River Rede, UK, *Regul. River.*, Vol.8, pp.167-178, 1993.
- 7) 山原康嗣, 藤田光一, 小路剛志, 富田陽子, 大沼克弘, 福田晴耕, 井上優：ダム上下流で水理条件がほぼ同様な河道区間の河床材料比較, 河川技術論文集, 第13巻, pp. 147-152, 2007
- 8) 宮地傳三郎, 川那部浩哉, 水野信彦：原色日本淡水魚類図鑑, 保育社, 462pp., 1976
- 9) 川那部浩哉, 水野信彦：日本の淡水魚, 山と溪谷社, 719pp., 1989
- 10) Ito S., Koike H., Omori K., Inoue M.: Comparison of current-velocity tolerance among six stream gobies of the genus *Rhinogobius*, *Ichthyol. Res.*, Vol.53, pp.301-305, 2006
- 11) 塚本勝巳：遊泳生理. In 板沢靖男・羽生功(編) 魚類生理学, 恒星社厚生閣, pp. 539-584, 1991
- 12) 鈴木興道：魚道の設計に資する淡水魚類の耐久遊泳速度, 土木学会論文集, No. 622/VII-11, pp107-115, 1999
- 13) 小野田幸生, 佐川志朗, 上野公彦, 尾崎正樹, 久米学, 相川隆生, 森照貴, 萱場祐一：流速の増大がオイカワによる水際の緩流域利用頻度, 河川技術論文集, 第17巻, pp. 197-202, 2011
- 14) 河川における魚類生態検討会：正常流量検討における魚類からみた必要流量について. 1999
- 15) 田代喬, 辻本哲郎：河床状態の変化に着目した矢作川中流域における河道動態とそれに伴う生息場の変質—底生魚・底生動物の分布と大型糸状藻類の繁茂に関する分析—. 矢作川研究, 第7号, pp. 9-24, 2003
- 16) Onoda Y., Maruyama A., Kohmatsu Y., Yuma M.: The relative importance of substrate conditions as microhabitat determinants of a riverine benthic goby, *Rhinogobius* sp. OR (orange form) in runs, *Limnology*, Vol.10, pp.57-61, 2009
- 17) 竹門康弘, 石田裕子, 谷田一三：淀川水系下流域におけるカワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus* とトウヨシノボリ *Rhinogobius* sp. OR縞鱗型の生息場所選択と摂餌生態, 木津川の総合研究, pp. 517-527, 2003
- 18) 石田裕子, 竹門康弘, 池淵周一：河川の土砂堆積様式に基づく底生魚類の生息場評価, 京都大学防災研究所年報49B, pp. 661-675, 2006
- 19) 矢崎博芳, 萱場祐一, 佐川志朗, 秋野淳一：魚類の生息場としての石の隙間—石の大きさによる違い—. 多自然研究, 第144号, pp. 10-13, 2007
- 20) 鷺谷いづみ：生態系管理における順応的管理. 保全生態学研究, 第3巻, pp. 145-166, 1998

(2013. 4. 4受付)