

広島大学大学院国際協力研究科 学生会員 ○土井翔悟
 広島大学大学院工学研究科 フェロー会員 河原能久
 広島大学大学院工学研究科 正会員 椿 涼太

1. 研究の背景と目的

ダムは水供給、発電、洪水調節などの利水、治水機能を果たしてきた。しかし、近年、ダムの存在とそれらの機能を果たすためのダムの運用が、ダムの下流域において流量の平滑化や土砂供給量の減少、水温・水質の変化という現象を通して、生態系を含む河川環境に大きな影響を及ぼしていることが判明してきた。一例として、鮎の漁獲高の減少が挙げられる。1990年に全国で1.6万トン以上あった漁獲高は2008年時点で3.5千トン程度にまで減少している。

このような状況の中、人工的な小規模洪水であるフラッシュ放流に注目が集まっている。フラッシュ放流に期待される主たる効果の一つとして、河床礫上の古い付着性藻類を剥離させ、鮎が好む若い藻類へ更新することが挙げられる。すなわち、フラッシュ放流が鮎の餌場の環境改善を生み、稚魚の成長の促進および漁獲高の増加に繋がると考えられている。このことから国土交通省は管轄する全国約20箇所のダムで試験的にフラッシュ放流を行っている。しかし、フラッシュ放流とその効果の関係には不明な点が多い。そこで、本研究では、河床礫上の付着性藻類が剥離後どのような成長特性を示すか、藻類の生えていない礫に付着する藻類がどのような生長特性を示すかを調査・分析した。

2. 現地観測

本研究は2つの現地観測に基づいている。

1つ目の現地観測は、江の川の支流に建設された灰塚ダム下流部の上下川において、2010年9月下旬から2ヶ月間観測を行った。観測地点として水深や流速の水利条件の違う5ヵ所を選定した(図-1, 表-1)。計測内容は、①9月24日から10月22日まで行った河床礫上の付着性藻類の生長状況の調査と、②その調査に用いた礫よりも大きな巨礫を対象とした付着性藻類の調査の2つである。①の調査では、付着性藻類の剥離後の回復速度の測定と剥離後の付着性藻類の構成種の特定と推移の確認を行う。また、②の調査では、礫の大小による付着性藻類の差異



図-1 現地調査地点(上下川)

表-1 各地点での水理状況

観測地点	地点1	地点2	地点3	地点4	地点5
水深(cm)	25	42	53	43	24
流速(cm/s)	5.4	9.8	19.2	5.9	5.1



図-2 巨礫の付着藻類の計測器

を検討する。付着性藻類の生長状況調査では河床に存在する礫を使用し、礫径が10cm~20cmのものを選定した。以降、礫径が10cm~20cmの礫を中礫と呼ぶこととする。具体的には、人為的に付着性藻類を剥離させ、その後再び河床に設置し直す。設置した礫から表面に付着している藻類を5cm×5cmの範囲にわたりブラシで削ぎ落とし、得られた付着物を持ち帰り、室内分析を行った。この現地観測ではフラッシュ放流により河床礫上の古い付着性藻類が剥離された場合を想定している。

この観測では径が80cm以上の礫からも5cm×5cmの範囲の付着物を採取した。巨礫は水中から持ち出すのが困難である。そこで今回、井芹ら¹⁾の提案した河川付着藻類現存量(クロロフィルa量)の現地簡易計測法を参考

にして採取装置を自作し(図-3)、水中での付着物の採取を可能とした。装置の底部は巨礫に密着するようにゴム製の素材を使用し、採取のために5cm×5cmの穴があげられている。シャッター部分にはステンレス製のヘラを使用し採取にはガーゼを利用した。

地点を選定する際、上下川では環境条件の異なる5地点を観測の対象地点として選定したが、水深を計測する際にはメジャーを用い、流速を計測する際にはプライス式プロペラ流速計を用いた。本観測の5地点では、平常時には水深と流速があり、淀み域ではなく順流部に位置している。このため、5地点の水質には大きな差異はないと判断した。

2つ目の現地観測は、二級河川の黒瀬川で行ったものである。本研究では黒瀬川の東広島市西条下見地点において2010年11月中旬から約1ヶ月間現地観測を行った。観測地点として平水時において十分な流れと水深のある地点を選定した。計測内容は付着性藻類の生えていない礫に付着する藻類の生長状況である。具体的には、河川内に性質の違う2種類の礫を並べて設置し、各々の付着物を採取し調査・分析を行うことにより各礫の付着性藻類の特徴を比較する。2種類の礫とは、河床表面に存在し直接河川水に触れていた礫と、河床中に埋もれていた礫である。河床表面に存在する礫の付着物を人為的に剥離させ再び河床に設置したのは、フラッシュ放流で河床の礫が転がり付着物が剥離させられた状態を想定している。一方、地中から掘り起こした礫を使用したのは、フラッシュ放流の規模が大きく河床変動が起こり地中の礫が表層へ露出した場合を想定している。一度根付いた糸状藻類は出水後も根が残るため構成種の変化に繋がらないとも考えられ、餌場環境の抜本的な変化に繋がるとは一概には言い難い。ここにおける餌場の改善とは、皆川ら²⁾の研究をもとに、藍藻類の割合が増加することを指すこととする。

3. 室内分析

本研究の分析では、多成分同時定量法を使用しクロロフィルを求めている。クロロフィルは光合成の明反応で光エネルギーを吸収する役割を持つ化学物質である。本研究では、生きている藻類の量を表す目安として扱われるクロロフィルaを用いて付着性藻類の増減を議論する。採取した付着物から紫外吸光光度計を用いて波長750nm, 663nm, 645nm, 630nmの光に対する吸光度を測定し、以

下の式からクロロフィルa量を算出した。

$$\text{Chl-a (mg/m}^2\text{)}$$

$$=(11.6E_{663}-2.16E_{645}+0.10E_{630})\times 10a/(A\times L) \quad \cdots(1)$$

a: 採水試料の容量 (ml), A: 付着物の採取面積 (cm²), L: セルのサイズ (cm) である。またE₆₆₃, E₆₄₅, E₆₃₀とは663nm, 645nm, 630nmにおける吸光度から750nmの吸光度を差し引いた値である。

また、採取した付着物を用いてプレパラートを作成し、電子顕微鏡を用いて藻類の写真を撮影した。使用した顕微鏡はZeiss社製のAxioCam MRmおよびAigo社製のDigital microscopeである。なお、本実験で作成したプレパラートでは構成種の特定と推移の確認のみを行った。

4. 結果と考察

上下川の観測における各地点での礫表面のクロロフィルa密度を図-3に示す。クロロフィルaの密度はどの地点においても時間とともに概ね増加傾向にあることがわかる。地点ごとの比較を行うと、調査前のクロロフィルaの密度は地点3において最も大きいことがわかる。同時に更新後の生長速度が遅いこともわかる。表-1より、地点3は他地点に比べ流速が速く、水深が大きい。流れの速い場所では糸状緑藻が生育しやすいとされているが、実際に地点3では他の地点には無い糸状緑藻が多く繁茂していたためクロロフィルaは大きな値になった。同時に、地点3の更新速度が遅いことより、大きな水深や早い流速は藻類にとって更新後の生長の妨げとなる可能性を示唆している。

同程度の流速である地点1、地点4と地点5のクロロフィルaの密度を比較すると、地点1の密度より地点4と地点5の密度が小さいことがわかる。地点4では地点1よりも水深が1.7倍程度深いため、地点1よりも光の影響を受けにくく生長しにくい環境にあったと考えられる。なお、地点4では淡水性巻貝のカワニナの生息密度が大きく、そのカワニナが餌となる珪藻を食べていた可能性も考えられる。また、地点5の値が低くなった原因として、地点5の礫の上流には沈水植物のオオカナダモが繁茂していたことも考えられる。オオカナダモが水中の浮遊土砂を河床へ堆積させ、付着物を覆ったことが付着性藻類の生長を阻害したことも考えられる。また、地点3の2週目以降の記録がないのは出水により礫が流失したためである。

同地点で採取した自然状態の巨礫の付着物のクロロフィル a 密度を図-4 に記す。巨礫の付着物は自作した装置を用いて採取している。採取の方法が違うため、図-5 の中礫における調査前の値と直接的に比較することができない。そこで、中礫を用いて検定曲線を作成し比較を行うこととした。図-4 は検定後のクロロフィル a 量である。図を比較してわかるように直接の値は 2 倍程度異なるものの、どちらのグラフも地点 3 の値が最も大きく、地点 1, 地点 4, 地点 5 では地点 4 が最も小さく地点 1 が最も大きいという傾向は同じである。したがって、付着性藻類は礫の大小に関わらず同様に環境条件に影響を受けていることがわかる。巨礫のクロロフィル a が高くなった理由として、中礫は出水で流されやすいが、巨礫は出水前の地点にとどまる場合が多いため中礫よりも長期間にわたり同様の環境条件から影響を受けること、また出水で河床を転がることも少なく付着物が剥離しにくいことが挙げられる。実際に地点 3 では中礫よりも巨礫に付着する糸状藻類の方が長いことを確認した。

図-6 にクロロフィル a 量の前週からの伸びを記す。剥離から 1 週間後に伸びた量に比べ 3 週間後から 4 週間後に伸びた量は小さくなっていることがわかる。故に付着性藻類の伸びは時間経過とともに小さくなっていくと考えられる。また図-3 から各地点とも概ね 4 週経過後には自然状態と同等にまで回復していることがわかる。地点 4 と地点 5 の 3 週間後から 4 週間後の伸びを見ると、十分に小さいもしくは負の値を取っていることがわかる。このことから剥離後の礫上の付着性藻類はおおよそ自然状態と同等の状態にまで回復すると、それ以上に生長するのは難しいと考えられる。また、全体として流速の近い地区の回復速度はほぼ同レベルであることもわかる。なお、本研究の観測は 9 月下旬から 10 月下旬にかけて行われているため、鮎の遡上時期に同様の調査を行った場合には異なる挙動を示す可能性も考えられる。春から秋にかけての現地調査は今後の課題とする。

次に、顕微鏡を用いて撮影した付着物の写真から構成種の特異と推移の確認を行う。図-7 に各地点の自然状態の礫上の付着物の、図-8 に各地点の 3 週経過後の礫上の付着物の代表的な写真を記す。図-7 の地点 2 より藍藻カマエシフォン存在を確認した。地点 3 より緑藻ヒビミドロを確認した。この地点は他の地点に比べヒビミドロの割合が高く、流速が速い地点には緑藻が生えやすいという事実の裏付けとなった。また、地点 4 は他の地点に

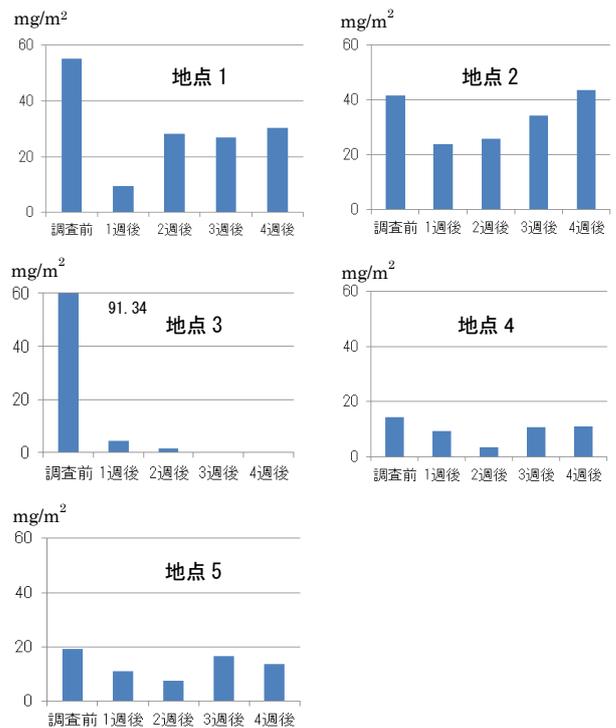


図-3 各地点におけるクロロフィル a 密度

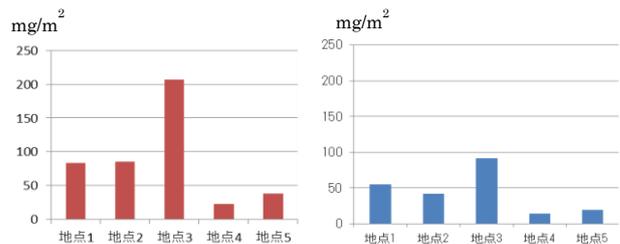


図-4 巨礫のクロロフィル a 密度

図-5 中礫のクロロフィル a 密度



図-6 クロロフィル a 密度の前週からの伸び

は無い藍藻ホモエオスリックスの割合が非常に高いという傾向にあった。地点 4 のカワナナが餌となる珪藻を食べたことにより糸状藍藻が大量に繁殖する結果になったと考えられる。図-8 より、図-7 の写真と比べ糸状藻類の割合が減少し珪藻類の割合が高まっていることがわかる。このことから、秋から冬にかけての時期に出水などが起こり礫上の藻類が剥離された場合、珪藻類の割合が増加し、藍藻類の増加には繋がらないと考えられる。

黒瀬川の観測における各種の礫表面のクロロフィル a 密度を図-9 に記す。以下では、地中に存在していた礫を地中礫、人為的に藻類を剥離させた礫を剥離礫とよぶ。地中礫と剥離礫を比較すると、2 週間経過時点では地中礫のクロロフィル a 密度の方が高いことがわかる。これは、礫表面に藻類の根が存在していなかったとしても珪藻などの根付かない藻類が生育し、クロロフィル a 密度の値を高めたと考えられる。実際に顕微鏡写真から、地中礫には珪藻類が多く、剥離礫には糸状藻類が多いということを確認した。このことより、冬期において、大きな出水後に河床変動が起こり地中に存在していた礫が表層まで露出してきた場合、河川内の礫上には珪藻類が増加し、藍藻類が増加することにならないと考えられる。

5. 結論および今後の課題

秋から冬にかけて実施した現地観測および室内分析から以下の知見を得た。

1. 同一河川においても流速、水深、日照などの環境条件が違えば地点によって付着性藻類の構成種は異なる。
2. 同一河川では水理条件が同様であれば、クロロフィル a 量の更新速度は似ている。流速の大きな地点では更新速度が小さくなる傾向がある。
3. 糸状藻類は冬季においても礫上に生息し越冬している。しかし剥離させた場合、回復後の礫上には珪藻類の占める割合が高まる。

今後の課題を以下に記す。

1. 鮎の活動時期にマッチした付着性藻類の生長特性を調査する。
2. フラッシュ放流が起こった際と同様の剥離を想定してサンプルの設置を行う。
3. 多変量解析を用いることにより河川の環境状況から任意の地点のクロロフィル a 密度や剥離後の増減を定量的に算出できるモデル式の構築を目指す。

参考文献

1) 井芹寧・藤田和夫・矢野真一郎：河川付着藻類現存量（クロロフィル a）の現地簡易計測法の提案，http://www.jsce.or.jp/committee/hydraulic/kankyousuiri/seminar20_papers/iseri21.pdf

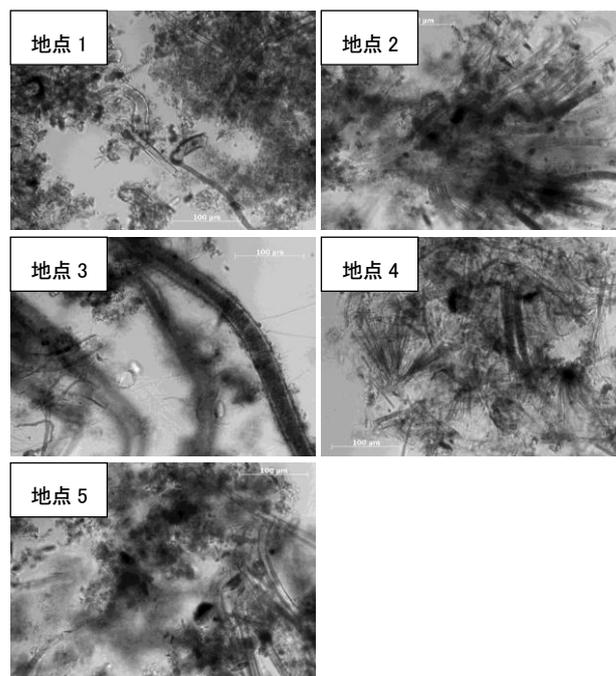


図-7 各地点の付着物の写真（自然状態）

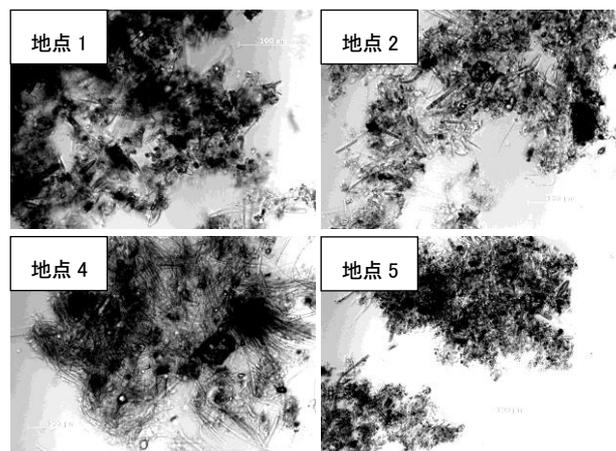


図-8 各地点の付着物の写真（3 週経過後）

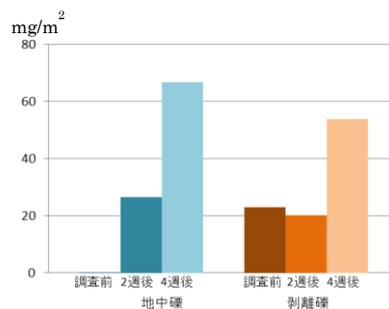


図-9 各種の礫表面のクロロフィル a 密度

2) 皆川朋子：特集アユの棲む川へー川の流れと付着藻類ー，http://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/research/m3_01_08.htm, 2010.