

# 高流速および高濃度濁水が付着藻類におよぼす影響 — 流速及びSS濃度の変化と付着藻類の変化に着目して —

森 照貴\* 萱場祐一\*\*

## 1. はじめに

ダム治水・利水機能を維持し、持続可能な流砂系を実現することでダム下流域における生態系を健全に維持するためには、ダム貯水池における適切な土砂管理が不可欠である。近年、ダム貯水池における堆砂対策とダム下流～海岸までの生態系保全のために、フラッシング排砂（洪水時に貯水位を低下させて、貯水池内の堆積土砂を排出する方法）や排砂バイパス（ダム湖に流入する洪水時の濁水を、バイパスを通し、ダム湖を迂回させることで、ダム下流域へ排出する方法）の計画・運用が始まっている。これらの手法は排砂に伴い、高濃度の濁水が発生することから、ダム下流域における河川生態系への影響が懸念されている（写真-1）。排砂時の高濃度濁水は自然状態で発生する洪水と比較すると、濁度のレベルやタイミングに差異が見られる場合が多く、ダム下流域の河川生態系に対する影響が懸念されている<sup>1)</sup>。

濁水が河川生態系に及ぼす影響については、魚類や底生動物、底生性付着藻類など様々な分類群を対象に研究が進められ、これまでに、多くの生物に対して濁水の影響が報告されている<sup>2),3)</sup>。この中で底生性付着藻類（以下、付着藻類）は、アユやヤマトビケラ等の植食性生物の餌資源であり、河川生態系の重要なエネルギー基盤である。そのため、無機物を多く含む濁水が、付着藻類中の無機物量の割合を変化させ、餌資源としての質に影響を及ぼすことで、付着藻類を餌とする植食者への直接的な影響だけでなく、上位の捕食者への間接的な影響も生じる可能性がある<sup>4)</sup>。

洪水時や堆砂対策に伴って発生する濁水の影響を評価するためには、BACI デザインと呼ばれるような事前・事後そして対照となる実験区を設置し、流速、濁度のレベルを各実験区で同一とし、かつ、時間的にも一定とすることが求められる。しかし、実河川において、このような精緻な調査



写真-1 土砂バイパスからの放流される濁水  
三峰川総合開発事務所パンフレットより抜粋

を行うことは困難であり、現象の解明には人為的にこれらの要因を制御できる実験的手法を用いる必要がある。濁水が付着藻類に及ぼす影響について検証を行った既存実験は、低流速で実施されていることが多く、排砂時の高流速時に引き起こされる現象を再現していない。このため、洪水時に見られる高流速下での濁水の影響に関する知見は非常に限られており、排砂時の濁水の影響評価は不十分な状況にある。

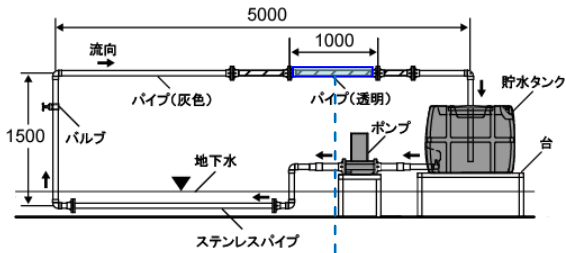
本研究では、以上を背景として、洪水時に見られる流速を再現可能な循環型管路を製作し、次に、この管路を用い、流速と濁度のレベルを個別に操作することにより、流速と濁りが付着藻類に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## 2. 研究の方法

### 2.1 実験装置

本研究では、ダム下流域で想定される高流速下（4.0 m/s）において濁水の供給が可能な循環型管路を製作した。実験装置は、半径 50mm のパイプおよび貯水量 200L のタンク、吐出量 5.9 L/s 以上の能力を持つラインポンプから構成されている（図-1a）。ポンプの稼働及び大気温による管路内の水温上昇を抑制するため、管路の一部をステンレス管とし、地下水をくみ上げたプールに、この部分を水没させた。また、付着藻類への影響を検証するために、管路の一部に取り外し可能な透明なパイプを使用し、その中に、付着藻類を定着させたタイルを挿入できるようにした（図-1b）。

(a) 全体図



(b) 透明部分の拡大図

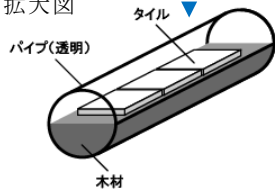


図-1 循環型管路

超音波流量計を用いて、製作した循環型管路内の流速を測定したところ、0.4m/s から 4.1 m/s までの流速を安定して再現することが可能だった。つまり、河川の早瀬や平瀬における平水時の流速条件と洪水時の流速条件を再現可能であることが明らかとなった。また、ポンプを数日間稼働させ、管路内の水温を測定したところ、地下水の冷却機能により、自然河川と類似の水温変動を示すことが明らかとなった。

## 2.2 実験方法

ダムの堆砂対策に伴い発生する濁水が付着藻類に及ぼす影響を明らかにするために、6 基の循環型管路を用いて実験を行った（写真-2）。本研究では、流速および濁水濃度を変化させることで、付着藻類に対する濁水濃度の影響が流速に依存してどのように変化するかを検証した。具体的方法は以下のとおりである。

あらかじめ自然共生研究センター内の実験河川にタイルを沈水させ、定着した付着藻類を実験に用いた（写真-3）。沈水期間は 3, 6, 12 日間とし、これらのタイルを各処理の循環型管路の透明パイプ内に設置した（図-1b）。実験処理条件は、平水時の流速を想定した 0.5 m/s と洪水時の流速を想定した 4.0 m/s の二段階に設定し、濁水濃度として浮遊砂濃度（SS 濃度）を粒径 5 $\mu$ m のシルト（カオリン）を用いて調整し、平水時を想定した 10 mg/L と洪水時や堆砂対策に伴い発生する濁水を想定した 1000 と 10000 mg/L の三段階に設定した（写真-4）。各条件で付着藻類を濁水に 24 時間曝露させた後、含有無機物量、含有有機物量、

含有有機物比およびクロロフィル *a* 量を測定した。無機物量及び有機物量は、強熱減量により以下の方法で求めた。特殊アクリル繊維（マイクロクロス）を用いてタイル表面の付着藻類を擦りとり、60°C で 24 時間以上乾燥させて絶乾重量を秤量後、550°C で 4 時間灼熱し、無機物量を算出した。また、有機物量は絶乾重量と無機物量の差から算出し、さらに、絶乾重量に対する有機物量の比（含有有機物比）を算出した。付着藻類の現存量の指標となるクロロフィル *a* 量は、吸光光度法により以下の方法で求めた。付着藻類を擦り取った特殊アクリル繊維を 99.5 %エタノールに浸し（4°C, 24 時間）、色素を抽出後、抽出液の吸光度を計測し、SCOR/UNESCO (1966)の方法に準じて、クロロフィル *a* 量を算出した。

本研究では、各処理にタイルを 8 枚用い、平均值を用いて、統計解析を行った（各処理の繰り



写真-2 実験に用いた循環型管路



写真-3 タイルに定着させた付着藻類

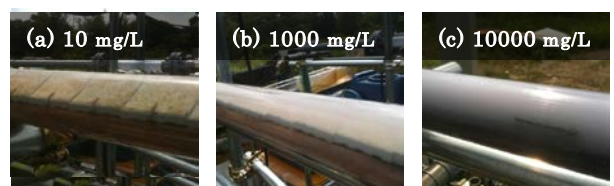


写真-4 実験に用いた河川水

返しは 4)。流速および SS 濃度が付着藻類の特性に及ぼす影響を明らかにするため、二元配置分散分析 (2 つのグループ (水準) 間で平均値が異なるかどうかを検定する統計手法) より解析を行った。SS 濃度と流速の交互作用が有意な場合、チューキーの HSD 検定 (3 つ以上のグループにおいて、総当たりで平均値が異なるかどうかを検定する統計手法で、多重比較のひとつ) により各流速における SS 濃度の主効果を解析した。

### 3. 実験結果

本研究では、3, 6, 12 日間沈水させることで、タイルに定着した付着藻類を対象に実験を行ったが、沈水させた期間によって、実験結果の傾向に違いは見られなかった。そのため、本論文では 12 日間沈水させたタイルを用いた結果について報告する。

二元配置分散分析の結果、含有無機物量は流速および SS 濃度の違いによって有意な差が見られた ( $P < 0.001$ , これは検定するグループ間の平均値の差が偶然により生じる確率が 0.1%以下であることを意味する。通常、5%以下であれば、グループ間に差があるとみなされることが多い)。また、有意な交互作用が見られたことから ( $P < 0.001$ )、各流速において SS 濃度の影響を解析したところ、低流速下では SS 濃度の上昇に伴い無機物量が増加していた (図-2a)。一方、高流速下では 10000 mg/L の濁水において最も無機物量が多くなっていたが、10 mg/L と 1000 mg/L とでは有意な差がなかった (図-2a)。含有有機物量は、流速の違いによって有意な差が見られたが ( $P < 0.001$ )、SS 濃度の影響は受けていなかった ( $P = 0.26$ , 図-2b)。一方、含有有機物比についても、流速および SS 濃度の違いによって有意な差が見られ ( $P < 0.001$ )、交互作用が有意であった。そのために、2 つの流速下において SS 濃度の影響を解析したところ、どちらの流速においても、SS 濃度が 10 mg/l の処理区でもっとも有機物比が高くなっていた (図-2c)。クロロフィル a については、流速および SS 濃度の違いによって有意な差が見られ ( $P < 0.02$ )、交互作用も検出された ( $P = 0.04$ )。2 つの流速において SS 濃度の影響を解析した結果、クロロフィル a 量に対する SS 濃度の影響は、流速によって異

なっていた。低流速下においては、SS 濃度の違いによってクロロフィル a 量に差は見られなかった。しかしながら、高流速下においては、SS 濃度によってクロロフィル a 量に違いが検出され、10000 mg/L の条件下においてクロロフィル a 量が最も多くなっていた。一方、10 mg/L と 1000 mg/L の間に、統計上の有意な違いは見られなかった。

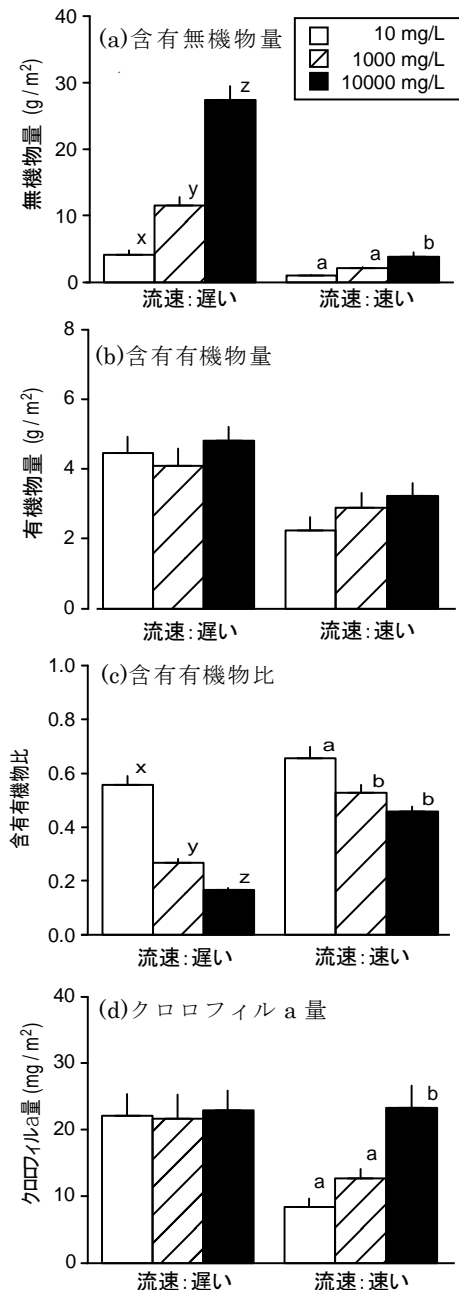


図-2 流速及び SS 濃度が付着藻類に及ぼす影響 (x,y,z,a,b,c は各水準の有意差を示す。異なる文字が添付されている水準間には統計的に有意差があることを示す)



#### 4. 考察

本研究より、濁水の SS 濃度が付着藻類に及ぼす影響は、流速に依存して変化することが示された(図-2)。付着藻類に堆積する無機物量は、流速によって異なっており、高流速の方が少なくなっていた。どちらの流速でも SS 濃度が高いほど堆積量は多くなっていたが、高流速の方が、無機物の沈降が生じにくいことが示された。一方、有機物量は流速のみの影響を受けており、高流速下で少なかった。これは、高流速によって付着藻類が剥離されたためと考えられる。含有有機物比は、無機物の堆積量と有機物の減少量のバランスで決まるが、本実験結果は、低流速下で含有有機物比が低くなっていた。これは、低流速下で有機物の減少量に対して、無機物の堆積量が相対的に大きかったためであり、アユなどの植食者にとって、餌資源としての質の低下が示唆される。クロロフィル *a* 量に対する SS 濃度の影響は、流速によって異なっていた。低流速下では、SS 濃度はクロロフィル *a* 量に対して影響を及ぼさなかったが、高流速下では SS 濃度が高いほどクロロフィル *a* 量は多くなっていた。この理由として、付着藻類の表面を無機物が覆う、もしくは、付着藻類内に無機物を取り込まれることにより付着藻類と無機物が一体となり、流水に対して強固な構造を形成し、剥離を防いだ可能性が考えられた(以下、コーティング効果)。

本研究より、洪水時や排砂時の現象を模した高流速下では、無機物の堆積が抑制され、含有有機物比は低流速下と比較して大きく、アユ等の付着藻類を摂食する生物の餌としての質は相対的に高くなっていた。また、高流速、高 SS 濃度下ではクロロフィル *a* 量の減少の程度も小さく、餌資源の量も維持された。従って、洪水時に見られるような非常に速い流速条件下では、高濃度濁水は洪水終了後の付着藻類量・質に対し、あまり影響を与えない可能性が示唆された。ただし、コーティング効果は付着藻類内に透過する光量の減少を引き起こし、その後の生長速度を低下させる可能性がある。このため、平常時に戻ってからの付着藻類の量・質の変化を明らかにする必要がある。また、実際の洪水ではシルト以外の粒径集団も流下するため砂や小礫等が掃流する状態でも付着藻

類への影響を確認することが必要となる。

#### 5. おわりに

本研究では、高流速下における高濃度濁水の付着藻類に対する影響について実験的に検討した結果を報告した。今後、現地において実験結果の再現性について検討を行い、本実験結果から得られた仮説の検証を進めるとともに、洪水後の付着藻類の回復過程に関する検討及びシルト以外の粒径集団(特に砂)が流下した際の検討を行い、ダムからの土砂供給を実施した際の影響手法の確立を図ることが求められる。

#### 参考文献

- 1) Morris L.G.& Fan J., : Reservoir Sedimentation Handbook, McGraw-Hill Professional,1998.
- 2) Shaw E. A. & Richardson S. J., : Direct and indirect effects of sediment pulse duration on stream invertebrate assemblages and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth and survival. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58(11):2213-2221, 2001
- 3) Bilotta G. S. & Brazier R. E., : Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. Water Research, 42:2849-2861, 2008
- 4) Allan J. D. & Castillo M. M., : Stream Ecology, 2nd ed, Springer, 2007
- 5) 北村忠紀、加藤万貴、田代喬、辻本哲郎：砂利投入による付着藻類カワシオグサの剥離除去に関する実験的研究、河川技術に関する論文集、6、pp. 125~130.

森 照貴\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所水環境  
研究グループ自然共生研  
究センター 専門研究  
員、工博  
Dr.Terutaka Mori

萱場祐一\*\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所水環境  
研究グループ自然共生研  
究センター 上席研究  
員、工博  
Dr.Yuichi Kayaba