

恒久的堆砂対策に伴う微細土砂が底生性生物におよぼす影響に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：水環境研究グループ

（自然共生研究センター）

研究担当者：萱場祐一、宮川幸雄、森照貴

【要旨】

ダム湖における恒久的堆砂対策により、シルトを多く含む濁水がダム下流部を流れる場合がある。これまでに、この濁水に含まれる無機物が付着藻類に絡みつくななどにより、バイオフィーム中の無機物含有量が増加することが示されていることから、本研究では、付着藻類の群集構造や代表的な機能である一次生産速度に対して、どのような影響を及ぼすかについて検証を行った。その結果、バイオフィーム中の無機物量が増加したとしても、短期的な時間スケールでは種数や優占種については変化していなかった。一方、藻類活性（クロロフィル *a* 量あたりの最大光合成速度）については、無機物量が増加することで減少する傾向にあることが明らかとなった。

キーワード：一次生産速度、濁水、付着藻類、種数、シルト

1. はじめに

ダムは水を貯めることで利水・治水での機能を発揮するが、同時に上流部から流入してくる多くの土砂をダム湖内に留める。その結果、ダム湖内には土砂が堆積し、貯水機能の低下に伴う様々な問題が生じる恐れがある (Morris & Fan 1998)。また、本来は流下するはずの土砂がダムにより扞止されてしまうため、ダム下流部の河床では、流下しやすい微細土砂が欠乏しやすいことが報告されており、河床の変化に伴う河川生態系への影響が問題視されている (池淵 2009)。そのため、近年では、ダム湖における土砂の堆積対策や、ダム湖下流部の環境の改善・維持のために、堆積土砂を下流河川へ排出する対策 (フラッシングなど) や、ダム湖への土砂の流入を防ぐため、土砂を迂回させる対策 (バイパスの建設) など、様々な方策が検討されている (写真 1)。



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

これらの手法は恒久的堆砂対策と呼ばれ、土砂を大量に含む濁水をダム下流へ流下させるものであるが、自然界で生じる濁水よりも、シルトを高濃度に含む濁水であることが多く、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 (Morris & Fan 1998)。これまでに、粒径が数 μm 程度の浮遊シルトは、付着藻類に絡みつき (写真 2)、付着藻類や微生物から成るバイオフィーム内の無機物量を高めることが示されている (Graham 1990, 森・萱場 2011)。そして、この現象は例え流速が速い条件下であっても生じており、濁水の流下に伴うバイオフィームの構造が変化することが示されている (森・萱場 2011)。



写真 2. 高濃度濁度水が流れる河川において、
河床礫表面で観察されるシルトの堆積

バイオフィームに含まれる付着藻類は、アユやヤマトビケラなどの動物の餌資源として利用されるが、その種組成や生産速度はこれら消費者の選好性と大きく関連する

(Schofield et al. 2004)。しかし、バイオフィーム中に無機物が取り込まれることにより、付着藻類の種組成や生産性にどのような変化が生じるのかについての知見は限られているのが現状である。そこで、本研究では無機物が付着藻類に絡みつくとともに、バイオフィーム中の無機物含有量が増加することで、付着藻類の群集構造や代表的な機能である一次生産速度に、どのような変化が生じるのかについて検証を行った。

2. 濁水が付着藻類の群集と機能に及ぼす影響

2.1. 実験の概要

本実験では、フラッシングやバイパスなどの恒久的堆砂対策の実施に伴って発生する濁水により、付着藻類群集の種組成と一次生産速度がどのように変化するかについて検証を行った。実験河川にタイルを沈めることで定着させた付着藻類を、様々な SS 濃度および流速条件の濁水に曝すことでバイオフィーム中の無機物含有量を操作した。24 時間、濁水に曝露させたタイルを用い、溶存酸素量の変化から一次生産速度を算出した。また、曝露直後のタイルから付着藻類を採取し、種組成を明らかにし、バイオフィーム中に含まれる無機物含有量が付着藻類の種組成と一次生産速度に及ぼす影響について明らかにした。

2.2 材料と方法

本研究では、あらかじめ自然共生研究センター内を流れる実験河川（新境川より導水）にタイルを沈水させておき、定着した付着藻類を実験に用いた。沈水期間は 12 日間とし、付着藻類が定着したタイルを、各実験処理条件を設定した循環型管路の透明パイプ内に設置した。本研究での実験処理条件は、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土砂濃度（粒径 5 μm のシルト（カオリン）を用いて SS 濃度を調整）を 10, 1000, 10000 mg/L の三段階に設定した。各条件で付着藻類を濁水に 24 時間曝露させた後、バイオフィーム中に含まれる無機物量とクロロフィル *a* 量を測定した。また、各タイルに定着していた付着藻類の種組成を光学顕微鏡下で同定した。さらに、溶存酸素濃度の変化を測定することで、クロロフィル *a* 量あたりの光合成速度（藻類活性）を測定した。

バイオフィーム中の無機物量は、ナイロンブラシを用いてタイル表面のバイオフィームを擦りとり、純水と一緒にあらかじめ重量を測定したろ紙上に濾過した。各

ろ紙を 60°C で 24 時間以上乾燥させ、絶乾重量を秤量後、550°C で 4 時間灼熱し、再び秤量した。これらの差（強熱減量）から無機物量を算出した。付着藻類の現存量の指標となるクロロフィル *a* 量は、吸光度法により求めた。付着藻類を濾過したろ紙を 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、SCORUNESCO (1966) の方法に準じて、クロロフィル *a* 量を算出した。藻類活性として、クロロフィル *a* 量あたりの光合成速度 ($\text{mg-O}_2 \mu\text{g} / \text{chl. } a \cdot \text{hr}$) を次のように求めた。各処理条件の濁水に曝露したタイルを、河川水（清水）で充てんした密閉型管路に入れ（図 1）、24 時間以上に渡り野外に設置した。そして、管路内の溶存酸素量の経時変化を測定した。測定日における光量子量の変化も同時に測定し、光量子量の変化にともなう光合成速度の変化から、最大光合成速度 (P_{max} , $\text{mg-O}_2 \text{ mg-chl. } a^{-1} \text{ hr}^{-1}$) を算出した。

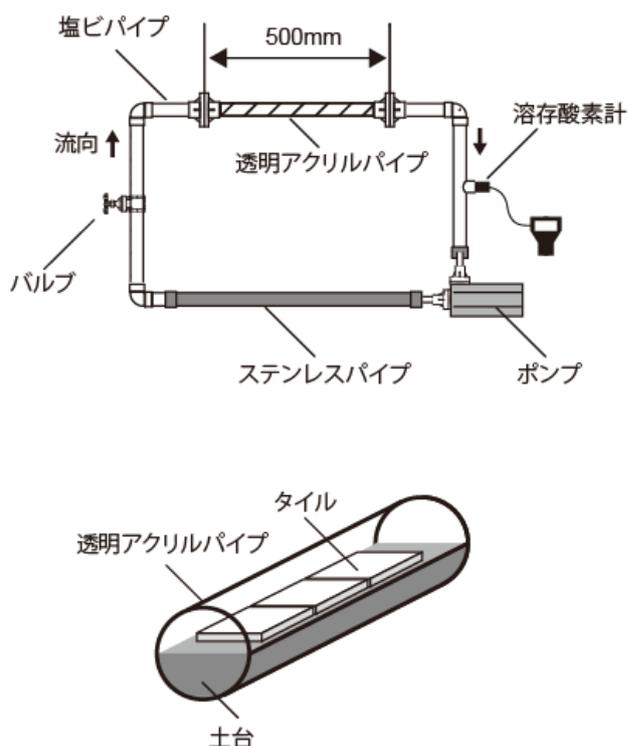


図 1. 付着藻類の光合成と呼吸による溶存酸素の濃度変化を測定可能な密閉型管路

2.3 結果

付着藻類の定着したタイルを濁水に曝すことで、バイオフィーム中に無機物が含まれることが明らかとなり、その量は SS 濃度や流速によって様々であった。バイオ

フィルム中の無機物含有量と付着藻類の種数との間には明確な傾向がなく、濁水に曝された24時間で種数が変化しないことが明らかとなった(図2)。採取された付着藻類には、全体で100種以上が観察されたが、各タイルで観察される藻類種数は20から35種程度であった。また、いずれのタイルでも藍藻である*Homoeothrix janthina*が最も優占的であり(写真3)、その次に珪藻の1種である*Navicula minima*と藍藻の1種である*Chamaesiphon* sp.が優占していた。ただし、無機物含有量の多寡に応じて、優占種の変化はあまり見られなかった。

各条件の濁水に曝したタイルを、清水を入れた密閉型管路に入れ、24時間にわたって溶存酸素量の時間変化を測定したところ、明確な溶存酸素量の時間変化が観察された。得られた時間変化から、クロロフィルaあたりの光合成速度(藻類活性)を算出したところ、明確な光—光合成曲線が得られた。光—光合成曲線は様々なパターンを示したが(図3)、暗条件(夜間)から光量子量が徐々に高くなることで、急激に活性が高まり、その後、漸増する傾向にあった。また、クロロフィルa量あたりの最大光合成速度(Pmax)は、バイオフィルム中の無機物量とクロロフィルa量が多くなるほど低下する傾向にあった(図4)。

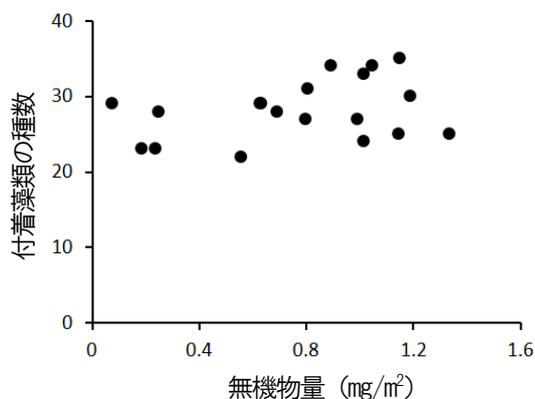


図2. バイオフィルムに含まれる無機物量と付着藻類の種数との関係



写真3. 藍藻の1種である*Homoeothrix janthina*

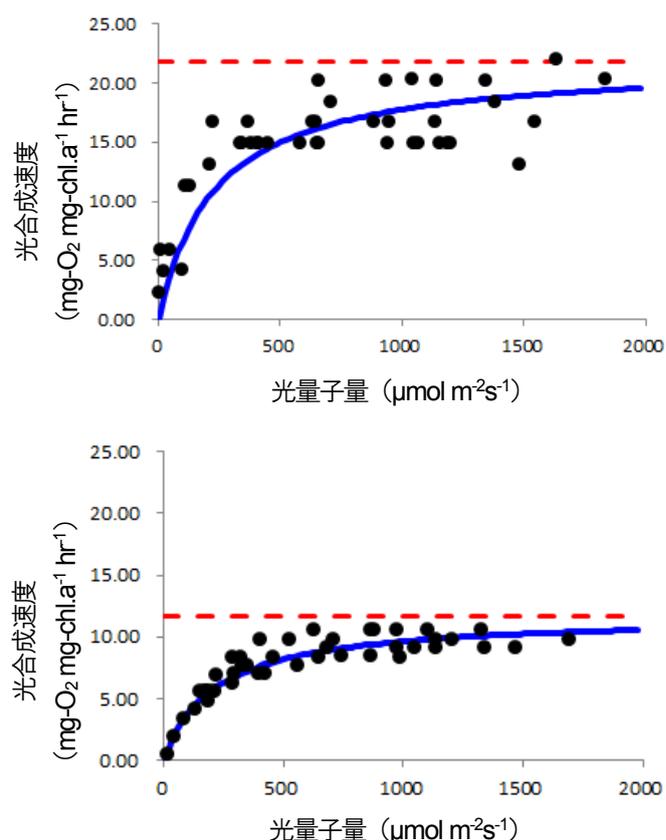


図3. 密閉型管路内の溶存酸素量から求められた、濁水に曝していない付着藻類(a)と高濃度の濁水に曝した付着藻類(b)における光—光合成曲線。青線が光—光合成曲線を示し、赤線は最大光合成速度(Pmax)を示す。

3. 考察

本研究より、バイオフィルム中の無機物量の増加は短期的な群集構造の変化をもたらさないが、その機能(一次生産速度)には影響を及ぼすことが示された。付着藻類は種多様性が高まるほど、生態系機能が高まることが報告されているが(Cardinale 2011)、本研究では種数の多寡に関わらず藻類活性が高まっていた。このことから、バイオフィルム中の無機物の増加は、群集の変化を介さず藻類活性を変化させるものと考えられる。その原因として無機物が付着藻類が利用する光資源を減少させている可能性があり、バイオフィルム中に大量の無機物が含まれることで、河床に多くの光が届いていたとしても、付着藻類には到達していない可能性を示唆するものである。

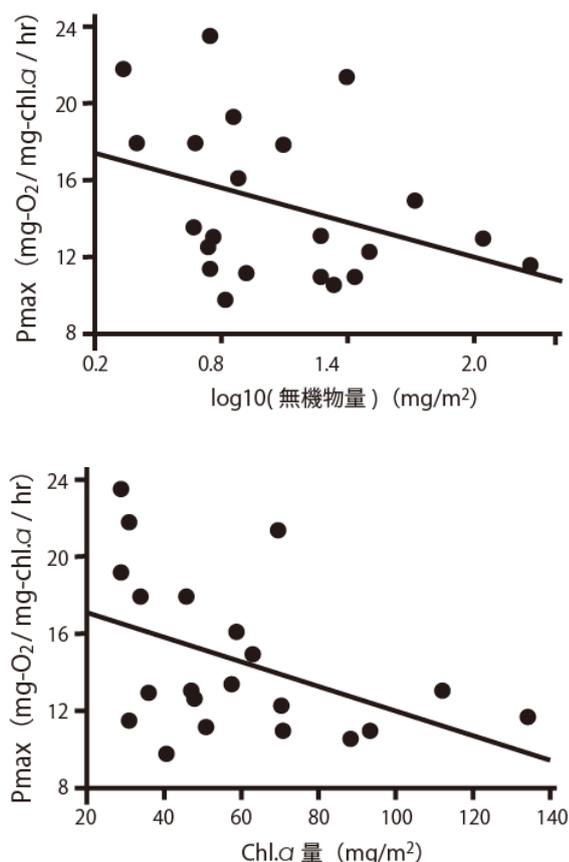


図4. バイオフィーム中の無機物量およびクロロフィルa量と最大光合成速度との関係

付着藻類は河川の一次生産者として位置づけられ、アユやヤマトビケラなどの藻類食者に餌資源を提供する。しかし、付着藻類の状態によって、餌資源の質は大きく変化し、質が低下することで多くの藻類食者は付着藻類を食べなくなってしまふ。例えば、アユと付着藻類の関係に注目した研究によると（皆川ほか 未発表）、バイオフィーム中の無機物量が多すぎる場合、アユが付着藻類を食べなくなることが示唆されている。さらに、バイオフィーム中の無機物が増加するほど、光合成速度が減少する傾向が本研究により示された。このことは、餌資源量の単位時間当たりの供給量が減少するだけでなく、付着藻類の剥離・更新する機会も少なくなっているものと考えられる。そのため、バイオフィーム中の無機物量が低いほど餌資源としての質が高く、さらに供給量も高くなると考えられ、藻類食者にとっては良好な餌資源の状態だと考えられる。ただし、アユは付着藻類を食べるこ

とで、付着藻類をアユ自身にとって食べるのに適した状態に保つことが知られている（阿部 2012）。そのため、バイオフィーム中にどの程度の無機物が含まれることで、餌資源としての価値が低下するののかについては、摂食の影響も含めてさらに検証を進める必要がある。

過年度の研究により、高濃度濁水の流下は、付着藻類に影響を及ぼすことが示されており、これは速い流水環境を作り出すことで、ある程度は緩和されることが示されている。さらに、濁水に流砂が含まれることで、バイオフィームが削られることから、餌資源としての付着藻類の状態がさらに条件が良くなる可能性が示唆されている（森・萱場 2011）。これらは付着藻類の状態に関する評価であり、今年度の研究結果から機能を含めた評価を可能である。今後は付着藻類を餌資源として利用するアユなどの魚類やヤマトビケラなどの底生動物が、付着藻類の質や量に応じて、どのように摂食量を変化させるのか、そして、摂食圧が付着藻類にどのような影響があるのかについて研究を進めていくことで、濁水の影響に関してさらに知見を深化させていくことが可能と考えられる。

参考文献

- 1) Morris L. G. & Fan J., Reservoir Sedimentation Handbook, McGraw-Hill Professional, 1998
- 2) 池淵周一, ダム下流生態系, 京都大学学術出版会, 2009
- 3) Graham A.A., Siltation of stone-surface periphyton in rivers by clay-sized particles from low concentrations in suspension. *Hydrobiologia*, 109:107-115, 1990
- 4) 森照貴, 萱場祐一, 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 -, 土木技術資料, 53(12), 38-41, 2011
- 5) Schofield A.K., Pringle M.C. & Meyer L.J., Effects of increased bedload on algal- and detrital-based stream food webs: Experimental manipulation of sediment and macroconsumers. *Limnology and Oceanography*, 49(4), 900-909, 2004
- 6) SCOR/UNESCO, Determination of photosynthetic pigments in seawater, Report of SCOR/UNESCO Working Group 17, In: Monograph on Oceanographic Methodology, pp. 69. UNESCO, Paris, 1990.
- 7) Cardinale B.J., Biodiversity improves water quality through niche partitioning. *Nature*, 472, 86-91, 2011
- 8) 阿部信一郎, 河川付着珪藻とアユの生態学的相互関係, 海洋と生物, 166(28): 495-500, 2012

A STUDY ON ALTERNATION IN SUSPENDED SOLIDS BY SUSTAINABLE SEDIMENT MANAGEMENT OF DAM RESERVOIRS ON STREAM BENTHIC ORGANISMS BELOW DAMS

Budget: Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2010-2013

Research Team : Water Environment Research Group
(Aqua Restoration Research Center)

Author : YUICHI Kayaba, YUKIO Miyagawa,
TERUTAKA Mori

Abstract : Methods which discharge sediments depositing in dam reservoirs have recently been discussed and implemented. Because operations of methods run off highly turbid water, which contain more silts, to downstream, we examined effects of suspended solids on benthic algae assemblages and primary productivity. Algae species richness did not vary with suspended solids, but primary productivity decreased with increase in those. These findings indicated that turbid water from dam reservoirs may influence supply to algivores through abrasion and renewal of algae.

Key words : primary productivity, turbid water, algae, species richness, silt