

濁水に含まれる無機物の堆積が 付着藻類の一次生産に及ぼす影響

宮川幸雄・森 照貴・小野田幸生・萱場祐一

1. はじめに

自然または人為的な影響により高濃度の浮遊物質を含む濁水が河川に流入することで、河川環境に様々な影響を及ぼすことが報告されている¹⁾。濁水の影響を受ける生物の中でも、河床に固着する付着藻類は忌避行動ができないため、濁りの影響を受けやすいと考えられる。付着藻類は、アユやヤマトビケラ等の植食性生物の主要な餌資源となる。そのため、付着藻類の生長に係わる一次生産に濁水がどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることは、水生生物の保全を考える上で重要な知見となる。

濁水が河川環境に与える影響として、河床に到達する光の量が、濁水に含まれる無機物により減少し、付着藻類の一次生産速度（光合成により無機物から有機物を合成する速度）が低下することが報告されている²⁾。一方、濁水に含まれる無機物は、付着藻類を含む膜（以下、付着膜）に堆積し、濁りが収まった後も付着膜に残存する（写真-1）。さらに、濁りが強いほど、多くの無機物が付着膜に堆積することが報告されている³⁾。付着膜に無機物が堆積すると、付着藻類まで到達する光の量が減少し、付着藻類の一次生産に影響が及ぶと考えられる。しかし、既存の研究は、濁水中に浮遊する無機物に注目したものが多く⁴⁾、濁水が収まった後も、堆積したままの無機物の影響に関する知見は少ない。

そこで、本研究では、濁水に含まれる無機物が堆積し、付着膜の無機物量が増加することで、付着藻類の一次生産速度がどのように変化するかを明らかにすることを目的とした。

2. 実験の方法

2.1 準備

一次生産速度の測定には、素焼きタイル（4.5cm×4.5cm）上に養生した付着藻類を用いた



写真-1 濁水により付着膜に堆積した無機物

（写真-2a）。岐阜県各務原市の自然共生研究センター内にある実験河川の河床に、タイルを2週間設置した。この実験河川では、木曾川水系の河川水が導水されており、実験期間中の平均水温は25℃であった。実験河川は流量を制御できることから、設置場所の流速が0.5m/sになるように流量を維持した。また、養生に用いる素焼きタイルは予め550℃で4時間加熱し、有機物を除去した。

2週間後、タイル上に付着膜が形成されたことを確認し（写真-2b）、タイルを濁水に曝すことで付着膜上に無機物を堆積させた。無機物量をコントロールするため、浮遊物質（Suspended Solids,SS）濃度及び流速を制御可能な大型の循環管路を用い⁵⁾、タイル上の付着膜に清水もしくは濁水を24時間曝露させた。このとき、平常時の河川を想定したSS濃度として10mg/Lに、洪水時の河川を想定したSS濃度として1,000mg/L及び10,000mg/Lの計3通りに設定した。1,000mg/Lと10,000mg/Lの濁水は、粒径5μmのカオリンを用いて作製した。また、流速については、平常時の河川を想定した0.5m/sと、洪水時の河川を想定した4.0m/sに設定した。

2.2 測定

はじめに、無機物を堆積させた付着膜（写真-2c）の無機物量、有機物量を以下の方法で測定した。まず、タイル表面の付着膜を擦りとり、その

一部をろ過した後、60℃で24時間以上乾燥させて乾燥重量を秤量した。その後、秤量したものを、550℃で4時間灼熱して有機物を除き、無機物量を秤量した。有機物量は乾燥重量と無機物量の差から算出した。一方、付着藻類の現存量の指標として、クロロフィル*a*（以下、chl.*a*）量を測定した。擦りとった付着膜をろ過した後、99.5%エタノールに浸し、4℃で24時間かけて色素を抽出した。その後、SCOR/UNESCO（1966）の方法に準じて⁶⁾、抽出液の吸光度からchl.*a*量を求めた。また、顕微鏡下で、淡水珪藻生態図鑑⁷⁾を参照に付着藻類の種同定を行い、種数を求めた。

次に、無機物量に応じて付着膜の一次生産速度がどのように変化するかを明らかにするため、chl.*a*量あたりの一次生産速度を求めた。まず、Dodds & Brock（1998）の方法⁸⁾に準じて、小型の閉鎖型循環管路（図-1）に無機物を堆積させた付着膜を入れ、管路内部の溶存酸素濃度（DO）の時間変化を測定した。測定間隔は15分毎とし、測定時間は24時間とした。測定している間は、管路内の水温の上昇を防ぐため、管路全体を水槽に浸した。夜間に測定したDOの変化量から付着藻類の呼吸量を求め、昼間に測定したDOの変化量から付着藻類の純一次生産量（付着藻類の一次生産により生成された有機物量から付着藻類自身の呼吸によって失われる有機物量を差し引いたもの）を求めた。そして、呼吸量と純一次生産量の和から総一次生産量を算出し、単位時間あたりの一次生産速度（mg-O₂/mg-chl.*a*/hr）を算出した。また、一次生産速度の測定と同時に、光量子束密度（1m²あたり1秒間に届く光の粒子の個数）を15分毎に24時間測定することで、光-光合成曲線を求めた（図-2）。

2.3 解析

光量子束密度が高くなるほど、一次生産速度は高くなるが、増加量は次第に減少し、一定値に近づく傾向を示す（図-2）。この一次生産速度の最大値はPmaxとよばれ、一次生産速度の大きさを比較する指標として用いられる⁹⁾。このため、本研究では、付着膜の無機物量、有機物量がPmaxに及ぼす影響を単回帰分析で解析した。このとき、無機物量、有機物量はデータの等分散性と正規性を得るため、常用対数に変換した。また、今回算出した各値の関係性を把握するため、無機物量、

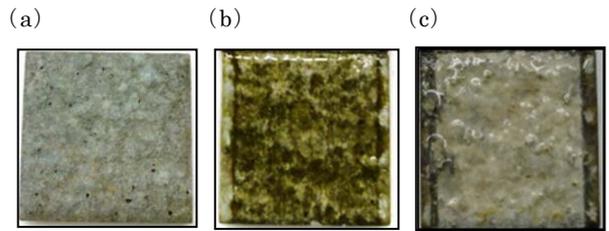


写真-2 実験に用いたタイル。(a)付着膜を養生する前のタイル、(b)付着膜を養生したタイル、(c)付着膜に無機物を堆積させたタイル

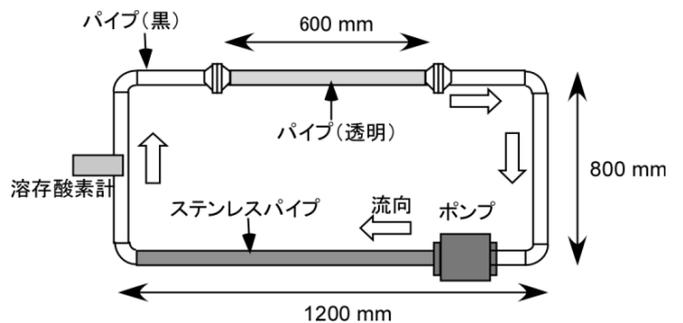


図-1 一次生産速度を測定するための小型の閉鎖型循環管路

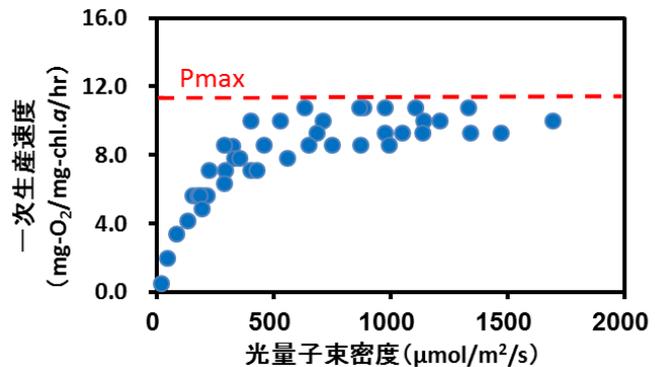


図-2 光量子束密度が一次生産速度に及ぼす影響

有機物量、chl.*a*量及び種数における相関関係を解析した。これらの解析には、StatView ver.5.0（SAS Institute Co.）を使用した。

3. 実験の結果

3.1 タイル上のサンプル量

本実験で測定された付着膜の無機物量は0.9～74.0 g/m²、有機物量は2.3～7.1 g/m²、chl.*a*量は11.5～54.1 mg/m²、そして種数は19～44だった（表-1）。これらは、実験河川で行われた調査において、自然礫上の付着膜から測定された量と同じ程度であった¹⁰⁾。

表-1 付着膜の無機物量、有機物量、chl.a量、種数

	最大値	最小値	平均	分散
無機物量(g/m ²)	74.0	0.9	10.0	17.0
有機物量(g/m ²)	7.1	2.3	4.2	1.4
chl.a量(mg/m ²)	54.1	11.5	23.5	11.2
種数	44	19	27.0	5.7

3.2 解析結果

付着膜の無機物量および有機物量がPmaxに及ぼす影響を単回帰分析で解析した結果、無機物量が多いほど、Pmaxは低くなった ($R = -0.542$, $P = 0.01$, 図-3)。一方、有機物量とPmaxの間に有意な関係は見られなかった ($R = -0.171$, $P = 0.46$, 図-4)。

無機物量、有機物量、chl.a量及び種数における、相関解析を行ったところ(表-2)、種数以外の変数間において、いずれも有意な正の相関関係 ($P < 0.05$) が見られた。この中で、無機物量及び有機物量との相関関係が最も強くなったのは、いずれもchl.a量であった。

4. 考察

濁りに含まれる無機物が堆積し、付着膜の無機物量が増大するほど、付着藻類の一次生産速度は低下した(図-3)。このため、濁水に含まれる懸濁態の無機物は付着藻類への光を遮り、付着藻類の一次生産を低下させるだけでなく²⁾、堆積した後も、付着藻類への光を遮る可能性が示唆された。

相関分析の結果(表-2)、無機物量との相関が最も強くなったのはchl.a量であり、付着藻類の現存量が多いほど、付着膜の無機物量が多いことが示唆された。本研究で使用した無機物は微細な粒子であり(5 μ m)、沈降しにくく、0.5m/sの流速下では、河床に堆積しにくいと考えられる。しかし、付着藻類の分泌する粘質物に捕捉されること¹⁾、沈降しない条件下でも微細粒子が付着膜上に堆積しうることが報告されている³⁾。そのため、付着藻類の現存量が多いほど、付着膜に捕捉される無機物量が多くなり、その結果として一次生産速度が低下したことが、本研究より示唆された。ただし、既存の研究において、chl.a量が多いほど、一次生産速度が減少することが報告されている¹²⁾。そのため、無機物量だけでなく、

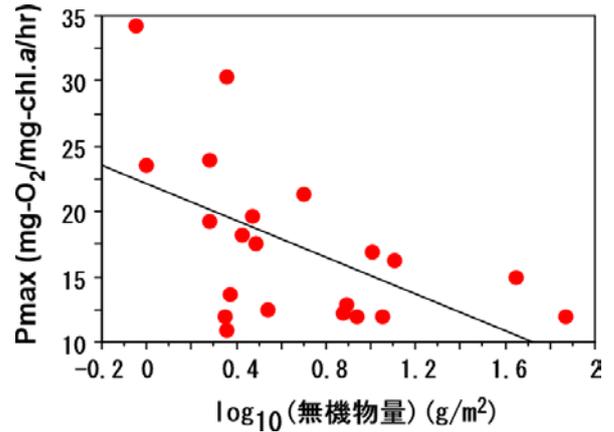


図-3 無機物量がPmaxに及ぼす影響

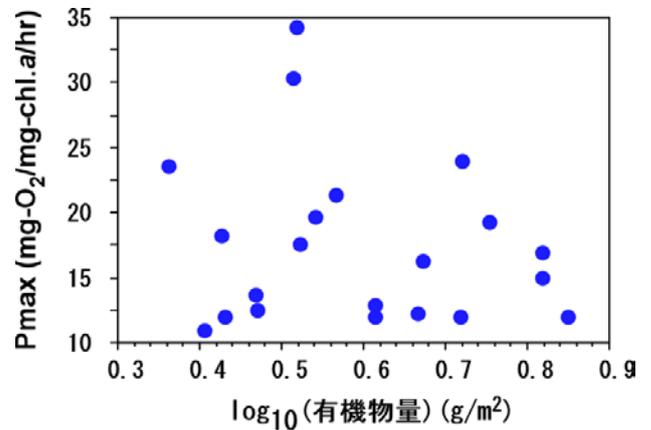


図-4 有機物量がPmaxに及ぼす影響

表-2 無機物量、有機物量、chl.a量、種数間の相関係数
なお、※は有意 ($P < 0.05$) であったものを示す

	無機物量	有機物量	chl.a量
有機物量	0.691※		
chl.a量	0.833※	0.752※	
種数	-0.190	-0.319	-0.154

chl.a量が多いことにより一次生産が低下した可能性も考えられる。

無機物量と一次生産速度との関係性において、同じ無機物量においても、Pmaxの値にはばらつきが見られた(図-3)。この理由として、同じ程度の無機物量が堆積したとしても、付着藻類の現存量に依存して、付着膜中の無機物の影響が変化するためと考えられる。つまり、わずかな無機物量の堆積であったとしても、付着藻類が少なければ、付着膜に占める無機物量の割合は高くなり、無機物の影響は大きくなることが推測される。

5. おわりに

本稿では、濁水に含まれる無機物の堆積により付着藻類への光が遮られ、一次生産速度が減少する可能性が示唆された。今後は、堆積した無機物が時間経過でどのように変化し、その影響がどのように緩和されるかを明らかにする予定である。また、無機物の堆積量は付着藻類の現存量に依存し、付着藻類の現存量が一次生産速度の減少に寄与している可能性も示唆された。今後は、付着藻類の一次生産速度に対する無機物量と現存量(chl. *a*量)の相互作用についても研究を進めていく予定である。これにより、どの程度の現存量を有する付着藻類が、無機物の堆積の影響を受けやすいのかを明らかにできる。そして、水生生物の保全を考える上で、どのような状況の付着藻類であれば、濁水の影響に注意を払うべきなのかについて、知見を提供できるものと考えられる。

参考文献

- 1) Bilotta G.S. & Brazier R.E. : Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota, *Water Research* 42 : 2849-2861, 2008
- 2) Parkhill K.L. & Gulliver J.S. : Effect of inorganic sediment on whole-stream productivity, *Hydrobiologia* 472 : 5-17, 2002
- 3) Graham A.A. : Siltation of stone-surface periphyton in rivers by clay-sized particles from low concentrations in suspension, *Hydrobiologia* 199 : 107-115, 1990
- 4) Julian J.P., Doyle M.W. & Stanley E.H. : Empirical modeling of light availability in rivers, *Journal of Geophysical Research* 113 : G03022, 2008
- 5) 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、第53巻、第12号、pp.38~41、2011
- 6) SCOR-UNESCO: Determination of photosynthetic pigments in seawater, *Monographs on Oceanographic Methodology* 1 : 11-18, 1966
- 7) 渡辺仁治 : 淡水珪藻生態図鑑、内田老鶴圃、2005
- 8) Dodds W.K. & Brock J. : A portable flow chamber for in situ determination of benthic metabolism, *Freshwater Biology* 39 : 49-59, 1998
- 9) Hill W.R. & Boston H.L. : Community development alters photosynthesis-irradiance relations in stream periphyton, *Limnology and Oceanography* 36 : 1375-1389, 1991
- 10) 皆川朋子、福嶋悟、萱場祐一、尾澤卓思 : 出水が河床石面付着物に及ぼす影響に関する実験的検討、河川技術論文集、9、pp.475~480、2003
- 11) Hoagland K.D., Roemer S.C. & Rosowski J.R. : Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms (Bacillariophyceae), *American Journal of Botany* 69 : 188-213, 1982
- 12) Sabater S., Guasch H., Romaní A. & Muñoz I. : The effect of biological factors on the efficiency of river biofilms in improving water quality, *Hydrobiologia* 469 : 149-156, 2002

宮川幸雄



(独)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 研究員
Yukio MIYAGAWA

森 照貴



(独)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、博(環境科学)
Dr. Terutaka MORI

小野田幸生



(独)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、博(理)
Dr. Yukio ONODA

萱場祐一



(独)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、博(工)
Dr. Yuichi KAYABA