

三峰川河床における浮遊土砂堆積プロセスへの付着藻類の寄与

村越直美・片山晃夫

信州大学理学部物質循環学科

Biomat contribution on the washload deposition in Mibu River

Naomi Murakoshi & Akio Katayama

Department of Environmental Sciences, Faculty of Science,
Shinshu University, Matsumoto 390-8621, Japan

Key words: washload, periphyton, biomat, Mibu River
浮遊土砂, 付着藻類, バイオマット, 三峰川

はじめに

中部山岳地域は侵食速度が大きく、山から供給される土砂量が多いことが知られており(藤原ほか, 1999), ダムへの堆砂が問題となっている。三峰川では1989年から三峰川総合開発事業が進められ, 美和ダム再開発事業では恒久堆砂対策として洪水バイパス(延長約4.3km, 流過能力300m³/sec)を建設して, 2005年から, 流下してくる浮遊土砂を美和湖を迂回して下流に放流する予定である。このとき予想される高濃度(最高10000ppm)の濁水流下にもなると, 三峰川下流さらに三峰川が流入している天竜川の河床堆積環境および生態系が影響を受ける。

一般に常に流水の影響下にある河床には浮遊土砂は堆積しないとされるが, 河床礫表面に付着藻類のマットが形成されている三峰川河床ではしばしば浮遊土砂が堆積しているのを観察することができる。そこで河床礫表面での付着藻類の存在が浮遊土砂の堆積プロセスにどのような影響を与えるのかを現地観察・実験および水路実験によって調べた。

浮遊土砂堆積量への影響要因

三峰川河床に堆積する浮遊土砂量に影響する要因を明らかにするために, 2003年8月30日から10月8日までの約40日間, 河床礫の付着物の定期採取を行った。調査地点は高遠ダムから4km下流側の河床の瀬になっている場所で, 地点A(平均流速25.0cm/sec, 平均水深47.2cm)と地点B(平均流速6.41cm/sec, 平均水深54.1cm)の2地点である。両地点に付着物を取り除いた粒径約15cmの礫を8月30日に設置した後, 高遠ダムの放水があった10月2日をのぞいて, ほぼ一週間毎に礫を1個ずつ回収した。礫表面の10cm四方分の付着物を採取し, グラスファイバー濾紙で濾過した後, 乾燥重量, 灼熱減量, クロロフィルa量を測定し, 有機物量(灼熱減量)と無機物量(乾燥重量-有機物量)を算定した。浮遊土砂濃度は河川水を水面付近で500ml採取し, 濾過後乾燥重量を測定して求め, さらに浮遊土砂濃度に平均流速, サンプルング時間間隔, 水深, 採取した付着藻類面積(100m²)をかけて浮遊土砂供給量とした。

両地点の観察結果を図1に示す。地点Aの有機物量

の変動と無機物量の増減パターンはよく似ている。 てだいたい同じ増減パターンとなっている。
 地点Bの有機物量と無機物量の変動9月23日を除い

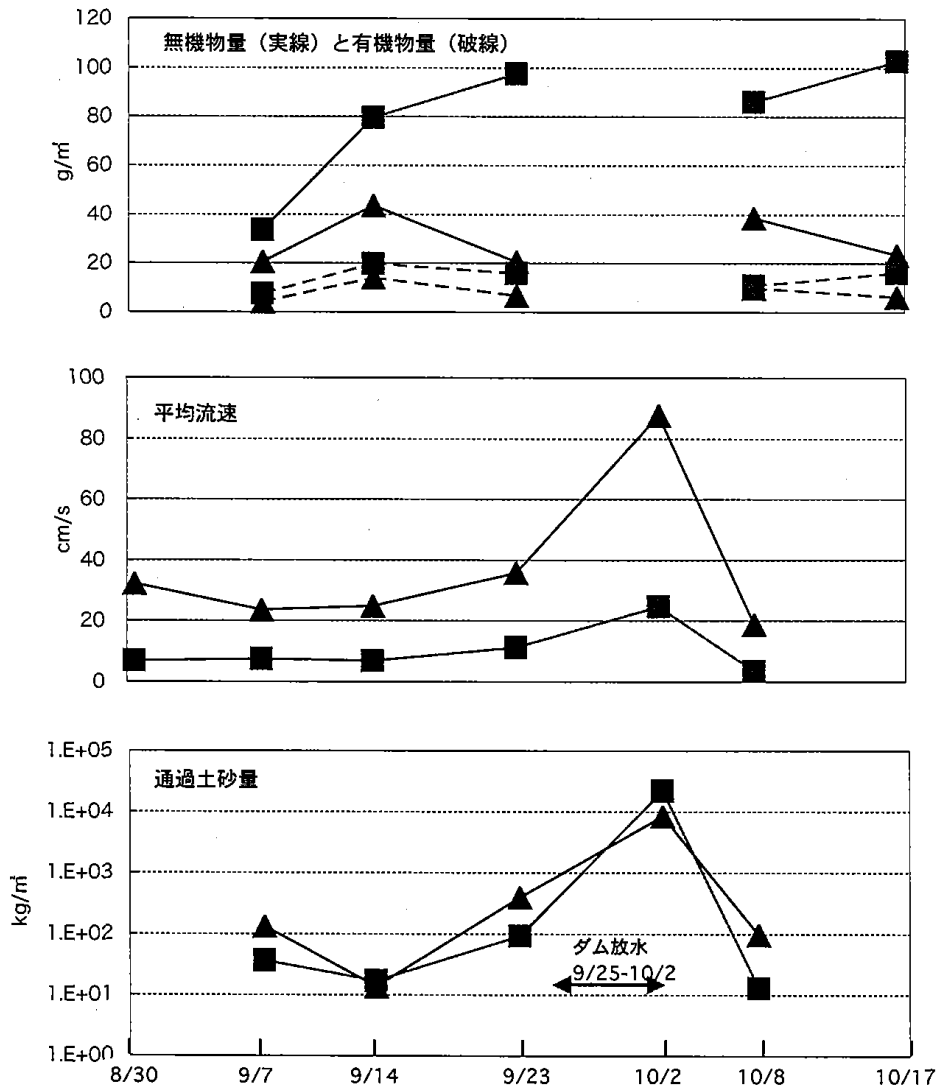


図1 無機物量，有機物量，平均流速，通過土砂量の変動。▲：地点A，■：地点B.

浮遊土砂堆積量に影響する要因を決定するため、無機物量と有機物量、流速、浮遊土砂濃度、通過土砂量およびそれぞれの変化率との相関係数を求めた(表1)。地点Aでは無機物量と有機物量の相関がもっとも高く、地点Bでは無機物量変化と平均流速との相関がもっとも高かった。このことは流速の速い地点Aでは付着藻類量と浮遊土砂堆積量が強く関連していることを示している。また流速が遅い地点Bでは流速すなわち物理条件のみが浮遊土砂堆積量を支配している可能性を示している。

表1 各地点での無機物量および無機物量変化と各変数との相関係数

	A	B
無機物量と有機物量	0.94	0.68
無機物量と平均流速	-0.57	0.15
無機物量と浮遊土砂濃度	-0.66	0.46
無機物量と通過土砂量	-0.75	0.30
無機物量変化と有機物量変化	0.97	0.92
無機物量変化と平均流速	-0.73	-0.994
無機物量変化と平均流速変化	-0.83	-0.86
無機物量変化と浮遊土砂濃度変化	-0.83	-0.94
無機物量変化と通過土砂量変化	-0.80	-0.95

付着藻類の有無による堆積量変化

現地で付着藻類の多少によって浮遊土砂の堆積量にどのような違いが生じるか三峰川河床で実験した。比較的流量が少なく水深が安定していた期間（2003年10月26日-11月2日）に現地実験を行った。流速の異なる2地点（A：平均流速20cm/sec, 平均水深42.5cm, B：平均流速5cm/sec, 48.5cm）を選定し、さらに各地点で付着藻類量に差を付けるために、河床に日陰をつくり明/暗条件を設定した。暗条件で90%以上の水中遮光率が達成された。浮遊土砂濃度は河水を水面付近で500ml採取し、濾過後乾燥重量を測定して求めた。

合計4ヶ所（A-明, A-暗, B-明, B-暗）に付着物を取り除いた粒径約15cmの礫を設置し、一週間後に回収した。回収した礫表面の10cm×10cm部分の付着物を採取し、グラスファイバー濾紙で濾過した後、乾燥重量、灼熱減量、クロロフィルa量を測定

し、有機物量と無機物量を算定した。さらに付着物を乾燥後、650℃で3時間強熱して有機物を取り除いた無機物を粒度分析した（COULTER LS230を使用）。

一週間の現地実験の結果、流速の大きいA地点で有機物量・無機物量ともに明/暗条件による顕著な差が現れた。有機物現存量の明/暗条件による比は2.4、無機物量の明/暗条件による比は2.5だった。B地点では有機物量、無機物量ともに付着藻類の有無による顕著な違いが現れなかった。

無機物の粒度分析結果を図2に示す。A地点の明条件（付着藻類多い）で増加した無機物は、粒度別にみると、5φ~2φの部分でとくに多く、粒径が大きくなるほど暗条件の無機物堆積量との比は大きくなった。明/暗条件による供給される浮遊土砂量には違いが無いことから、藻類バイオマットの存在は浮遊土砂の粗粒フラクションを有効にトラップする効果を持っていると考えられる。

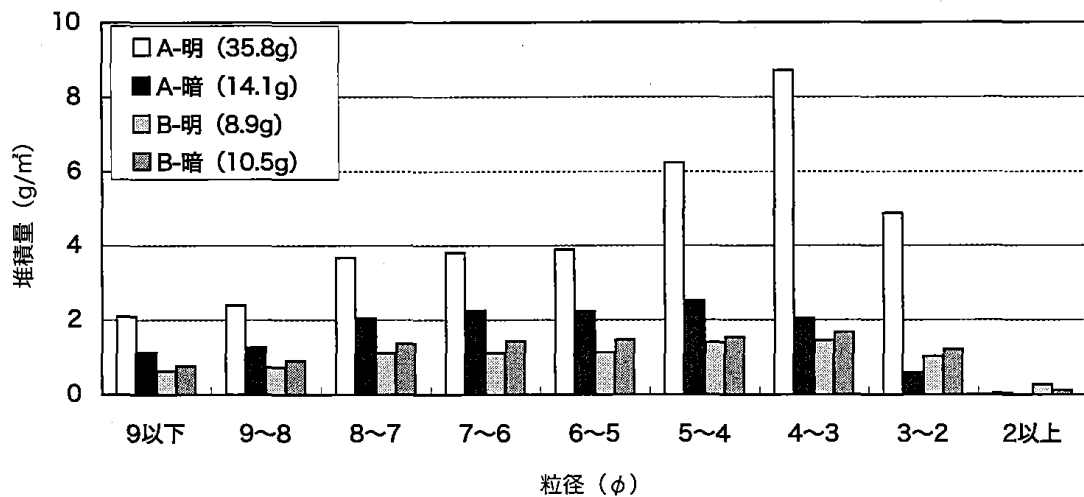


図2 地点Aと地点Bにおける明暗条件による浮遊土砂堆積量の粒度分布。

流速の違いによる浮遊土砂トラップ効果

現地実験によって、付着藻類の存在が流速が大きい方が浮遊土砂を堆積させる効果を発揮することが示されたので、水路実験によってこの効果を確かめた。深さ10cm、幅10cm、長さ200cmの透明アクリル製水路に三峰川河床付近の流れを再現した。水路底に付着藻類付きタイルと無いタイルとを敷き、陶土粉（平均粒径168 μ m）を懸濁させた濁水（濃度5000ppmに調整）を1時間流下させた。流速は水路

底から4cmの高さで5cm/sec、10cm/sec、15cm/secの3段階の設定でそれぞれ実験した。タイルは事前に源智の湧水（松本市）に11月20～12月27の期間設置し、表面に付着藻類を育てたものである。濁水濃度は15分ごとに濁度計（Partech 740）でモニターした。通水後、タイル上に堆積した浮遊土砂を回収して、付着物を濾過後、乾燥重量、灼熱減量を測定した。付着物を乾燥後、有機物を取り除いたものを粒度分析し（COULTER LS230を使用）、無機物の粒度組成とした。

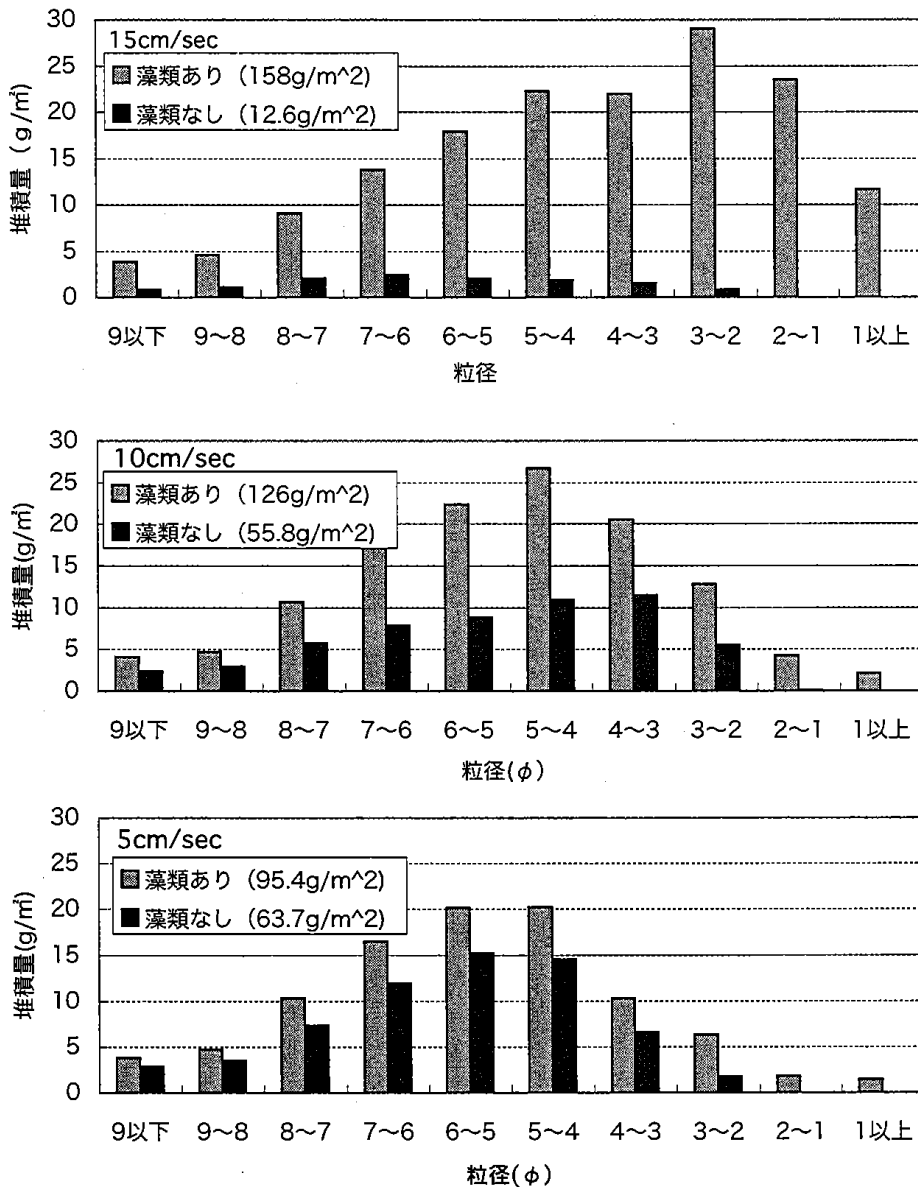


図3 付着藻類の有無による堆積実験結果。

水路実験結果を図3に示す。付着藻類が有る場合は流速が上がるほど堆積量が増大する（流速15cm/流速5cm比で2.5）のに対し、藻類無しの場合は流速が上がるほど浮遊土砂堆積量が減少した（流速15cm/流速5cm比で0.2）。付着藻類の有無による浮遊土砂堆積量は流速が10cmを越えると格段に多くなる（流速5cm/secで付着藻類有/無比が1.5、10cm/secで2.3倍、15cm/secで13倍だった。堆積した浮遊土砂の粒度組成をみると、流速10cm/sec以下では藻類の有無による粒度分布の違いはみられなかったが、流速15cm/secでは明らかに粒度分布に違いが現れた（藻類が有る場合、平均粒径：160 μ m、中央粒径：76.3 μ m、モード径：204 μ m、藻類が無い場合、平均粒径：37.6 μ m、中央粒径：16.8 μ m、モード径：13.6 μ m）。粒度ごとの堆積量では、5 ϕ より細粒フラクシオンで藻類が有る場合は無い場合の5倍程度だったのに対し、5 ϕ -4 ϕ では12倍、4 ϕ -3 ϕ では15倍、3 ϕ -2 ϕ では35倍の増加が認められた。

バイオマットの層構造と浮遊土砂トラップ効果

付着藻類の存在によって、5 ϕ より粗粒な浮遊土砂フラクシオンが卓越して堆積したことから、付着藻類が作るマットの表面構造を観察し、その理由を考察した。水路実験で用いたタイルについた付着藻類マットの断面を図4に示す。マットの表面には珪藻（特に*Synedra* sp.）が網状構造を作っており、表面のレリーフ構造を形成している。この網目構造の隙間の大きさは、球形近似で6 ϕ から3 ϕ のものが卓越する。この大きさはちょうど付着藻類によって増加した浮遊土砂堆積量フラクシオンの粒径範囲より一回り小さい。したがって藻類マットの網目に引っかかり易い大きさの浮遊土砂が選択的にトラップされたと解釈出来るだろう。また、藻類マットのレリーフはその凹凸によって河床表面の流速を低下させると考えられる。しかしこのような微小空間での流速低下をいまのところ計測することは出来ないため、測定手法を確立する必要がある。さらに流速低下によって粗粒な浮遊土砂が沈降堆積すると考えられるが、それだけでは今回の実験結果を説明することが出来ないため、藻類マットの土砂堆積プロセスへの関与が必要条件として示唆される。

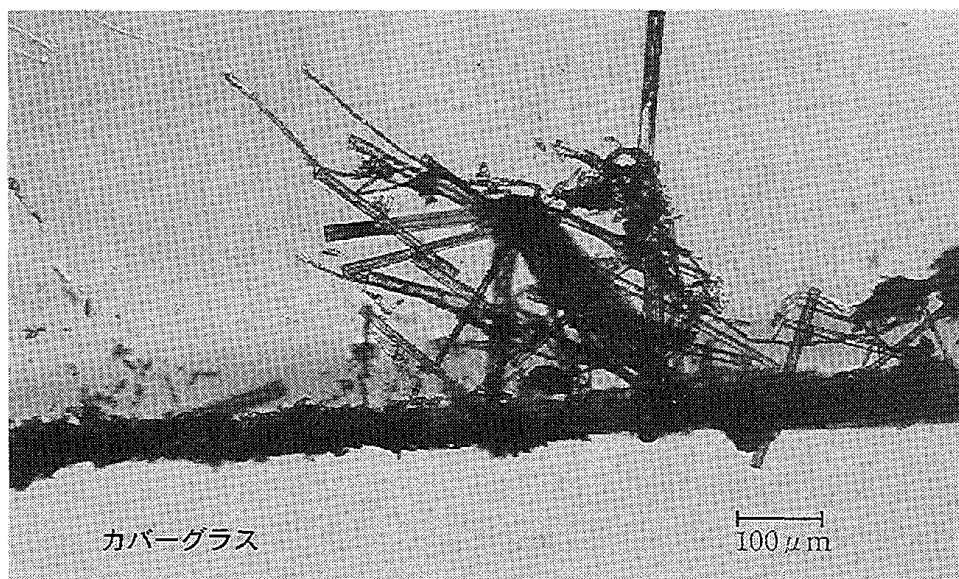


図4 付着藻類マットの断面。 *Synedra* sp. が表面に網目状の構造を形成している。

おわりに

河床礫に付着成長している藻類の存在が河床付近の微少地形や流速を変化させ、浮遊土砂の堆積プロセスに影響を与え、堆積量を増大させる。三峰川の現地調査では、浮遊土砂の堆積量に関して、深度平均流速が20cm/sec以下では平均流速その相関が高く、深度平均流速がそれより速いときには流速よりも有機物量すなわち付着藻類量との相関が高かった。

明・暗条件を設定した一定期間の現地実験では、深度平均流速20cm/sec以上の地点で、明条件すなわち付着藻類マットの存在下で、浮遊土砂堆積量の増加（約2倍）と堆積した土砂の平均粒径とモード径の粗粒化が起こった。

実験水路を使用して、異なる流速条件下で陶土粉を浮遊させた濁水を流し、浮遊土砂の堆積プロセスに与える付着藻類の影響を定量的に調べた。水路河床表面近傍の流速が5cm/secでは付着藻類の有無によって浮遊土砂からの堆積量に違いはほとんど無かったが、流速が上がるとともに付着藻類がある場合に堆積量が増大し、流速が15cm/secでは約13倍にも達した。また、このとき堆積した土砂の粒度組成は流速が速い条件下のものほど著しく粗粒化した。

この粗粒化の原因は付着藻類が河床につくるバイオマットの構造にあるだろう。付着藻類の断面構造の顕微鏡観察方法を開発し、マット内の空隙の空間分布を調べた。その結果、付着藻類がある場合の堆積物の粗粒化におもに寄与しているのは、マット内の隙間の大きさよりわずかに大きいサイズの粒子群だった。したがって藻類マットの網目を抜けられない粒子がマット内にトラップされ、浮遊土砂からの堆積量を増加させたと考えられる。

以上のことから河床表面の付着藻類の存在は、流速や浮遊土砂濃度などの物理条件と関連して河床への浮遊土砂堆積プロセスに影響を与える要因—バイオコントローラー—となっているといえる。その効果を定量的に理解するには河床付近の微少部分の流速を計測する必要があるが、技術的な課題として残さ

れている。

河床に浮遊土砂が堆積することによって付着藻類の生態にもフィードバックが有るだろう。Battin et al. (2003) は河床のバイオマットの複雑な形状が懸濁体有機物の堆積作用を促進させる効果があり、河床生態系プロセスに貢献していると述べている。しかし、流速の効果や無機物の堆積プロセスに関しては未知の部分が多い。この研究によって、これらに関してある程度の知見を得ることができた。今後、詳細な定量的理解と河川システムでの位置づけが課題である。

引用文献

- Battin, T.J., Kaplan, L.A., Newbold, J.D. & Hansen, C.M.E., 2003, Contributions of microbial biofilms to ecosystem processes in stream mesocosms. *Nature*, 426, 439-442.
- 藤原治・三箇智二・大森博雄, 1999, 日本列島における侵食速度の分布. サイクル機構技報, 5, 85-93.