

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

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE TO PERIPHYTON BY FLOOD

皆川朋子¹・福嶋 悟²・萱場祐一³・尾澤卓思⁴

Tomoko MINAGAWA, Satoshi FUKUSHIMA, Yuich KAYABA and Takashi OZAWA

^{1, 3} 正会員 工修 (独) 土木研究所 水循環研究グループ 河川生態チーム 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県羽島郡川島町笠田町官有地無番地)

² 理博 横浜市環境科学研究所 基礎研究部門 (〒235-0012 横浜市磯子区滝頭 1-2-15)

³ 正会員 工修 (独) 土木研究所 水循環研究グループ 河川生態チーム 上席研究員 (〒305-8516 つくば市南原 1 番地 6)

In this study, the following things are studied in order to obtain basic informations to realize river flow management considering flood for the habitat and riverlife. Aqua Restoration Research Center has responded to this problem by using experimental streams with controllable discharge to make the relationship between discharge fluctuation and living organisms clear. This research considered influence of the periphyton which a flood does using the experiment river, and obtained the following results.

- 1) The changes period compared the influence of the flood to the periphyton for 13-15 days and for 43-47 days. As the result, former one was easy to dislodge. It is considered that the ease of flushing them out varied between species.
- 2) The periphyton which gave three small-scale floods in 47 days, and the river which does not give a flood was compared. As the result, the ash-free dry mass which gave the flood was higher.

Key Words : flow regime, flow management, periphyton, flood, Aqua Restoration Research Center

1. はじめに

河川生態系は、自然のもつ流量の変動によって支えられている¹⁾。例えば、流量によって河川形態や生物生息空間は規定され、また、河川生物は流量の変動に適応・進化した生活史を持っている²⁾。しかし現在、人為的な関与による流量の平滑化、攪乱の減少等によって、様々な河川環境の変化¹⁾が生じ、出水や流量の変動が河川生態系に果たす役割の重要性が認識されている。今後、健全な河川生態系を取り戻していくためには、生態系として自律的に「機能する」ための流況(出水規模・継続時間、頻度、出水の時期(季節的な出水)等)等を解明し、河川流量管理に反映させていくことが必要である。

流量の平滑化や攪乱の減少が一次生産者としての役割を担う付着藻類への影響についてみると、糸状緑藻の繁茂³⁾、細粒土砂の堆積とこれに伴う藻類の光合成活性の低下⁴⁾、さらには藻類を餌資源とするアユ等の魚類や底生動物への影響⁵⁾等があげられる。これらは、特にダム下流部のように人為的な流量制御の影響が顕著である区間において課題になるケースが多く、この対策として、1997年より、ダムから平常時より大きい規模の流量を一次的に放流する試み(ダムの弾力的管理試験)が実施さ

れている。また、近年においては、カワシオグサ *Cladophora glomerata* などの糸状緑藻等の剥離除去に関する研究等^{6,7)}が試みられ、掃流力や土砂による摩擦等、付着物の剥離・掃流を目的とした検討が水理的・物理的側面から実施されている。しかし、生物的側面からの検討、例えば、付着物の掃流を考える際、藻類の種類により生活様式や付着形態が異なることによる出水の影響の相違^{8,9)}などが考慮すべき項目であると考えられる。しかし、このような視点ではあまり検討されてこなかった。また、出水等によって付着物が掃流することの生物的な役割や意味、例えば、その後の付着藻類の増殖や餌資源としての付着物の質、藻類群集にどのような影響を与えるのか等を解明していくことも必要であると考えられる。

以上を踏まえ、本研究では、以下の2つの課題について検討を行い、今後の河川流量管理に資することを目的とする。

①藻類の生育種等、付着物の違いによる出水の影響の違い(ただし、種ごとの検討や群集構造への影響についてはここでは扱わないこととする)。

②出水が付着物(付着藻類の増殖や剥離、藻類現存量や質等)に与える影響

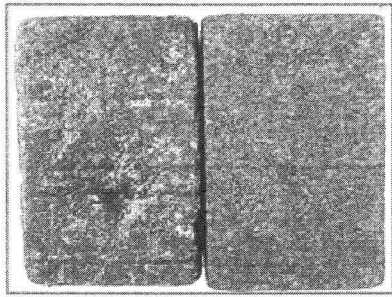


写真-1 左：設置日数 14 日 右：設置日数 43 日

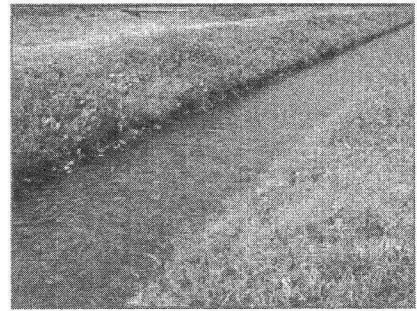


写真-2 実験河川の様子

表-1 実験条件

	増加前	流量増加時		
流量 (m ³ /s)	0.1	①0.25	②0.5	③1.0
水深 (m)	0.12	0.16	0.43	0.57
流速 (6 割水深), (m/s)	0.39	0.51	0.62	0.68
摩擦速度 (m/s)	0.06	0.07	0.11	0.13

表-2 実験条件

	平常時	出水①	出水②	出水③
実施日	—	2002/7/31	2002/8/21	2002/9/11
流量 (m ³ /s)	0.1	2	1	2
継続時間 (時間)	—	1	2	0.5
水深 (m)	0.11	0.64	0.50	0.67
流速 (6 割水深), (m/s)	0.35	1.48	1.04	1.44
摩擦速度 (m/s)	0.04	0.01	0.09	0.01

2. 実験方法

実験は、流量制御が可能な実験河川（独）土木研究所自然共生研究センター内）を用いて行った。実験河川は、木曽川河口 44km 付近に合流している新境川から取水し、自然流下で実験河川（延長約 800m）へと流入し、再び新境川へと合流している。川幅は、底幅で約 2.5m である。河床勾配は約 1/300 又 1/800 の区間がある。流下可能流量は最大 4m³/s であるが、実際に流下可能な流量は取水河川である新境川の流量に大きく規定されている。なお、藻類等を付着させる基物（以下、付着基物とする）は、個々の基物の形状や成分が現存量や生育種に影響を及ぼさないよう、加工された自然石（10cm×20cm×厚さ 4.5cm）の花崗岩）を用いることとした。

（1）付着物の違いによる出水の影響の違い

実験河川の平瀬河床（河床勾配：約 1/312）に、河床に設置してからの経過日数が異なる、すなわち、藻類の群集構造等が異なるタイプの付着基物を対象に、出水による影響、特にここでは掃流しやすさについて検討する。用いた基物は、一定流量 0.1m³/s の下で 13～15 日間及び 43～47 日間河床に設置し、付着藻類やその他の付着物（細菌類、沈降した有機物やシルトなどの無機物）を付着させた 2 タイプである（写真-1）。目視でも両者の付着物の状況は異なっていることが認められ、設置期間が 43～47 日間においては、糸状体の緑藻が観察された。これらの基物を 5 つずつ実験開始前に、実験区間（流量は 0.1m³/s）の河床に設置し（写真-2）、約 30 分経過後、付着物を採取し、これを増加前の値とした。流量は、①0.25 m³/s、②0.5 m³/s、③1.0m³/s の 3 ケースを設定し、それぞれ 24 時間継続させた。表-1 に各流量時の水理量を示す。付着物の採取は、流量増加開始から 3 時間後、6 時間後、

24 時間後に行い、5 つの基物の上面から、それぞれ 5cm×5cm の範囲を対象にナイロンブラシを用いてこすり取り、計 5 検体を採取し、乾燥重量、クロロフィル a（アセトン抽出、吸光法）、強熱減量を測定した。また、検体の一部は、藻類の同定、細胞数の計数に用いた。

（2）出水が付着物に与える影響

同じ形状をもつ 2 つの実験河川を用い、一方の実験河川には出水を与え（以下、Disturbance stream とする）、もう一方は一定流量とし（以下、Control stream とする）、両河川の上流部の平瀬河床に基物（（1）と同様）を設置し、基物表面（上面）の付着物を定期的に採取し、現存量等の動向を比較する。

両河川の平常時流量は 0.1m³/s、河床勾配は約 1/560、水深、流速、摩擦速度は平均で 0.11m、0.35m/s、0.04m/s であった。実験期間は付着基物を設置した 2002.7.18 から 2002.9.30 までの 74 日間であり、この間、出水は Disturbance stream に計 3 回与えられ、出水①は 2002.7.31、出水②は 2002.8.21、出水③は 2002.9.11 に実施された。各出水時の継続時間、水深、流速（6 割水深）、摩擦速度は、表-2 に示したとおりである。実験期間中の水温及び水質を図-1、2 に示す。水質は、NH₄-N、NH₃-N、PO₄-P について調査日の午前 10 時に採水し分析した。各項目の平均値は、NH₄-N は 0.13mg/L、NH₃-N は 1.16mg/L、PO₄-P は 0.07mg/L であり、期間終盤で NO₃-N が上昇した以外は大きな変動はみられなかった。水温は、日平均値で、20.7～30.0℃の範囲を推移し、1 年で最も水温が高い期間であった。付着物の採取は 1～7 日間隔で行い、それぞれ異なる 3 つの基物からそれぞれ 5×5cm² の範囲をブラシでこすり取り、計 3 検体を採取し、乾燥重量、クロロフィル a（アセトン抽出、吸光法）、強熱減量、フェオフィチン a（アセトン抽出、吸光法）を測定した。

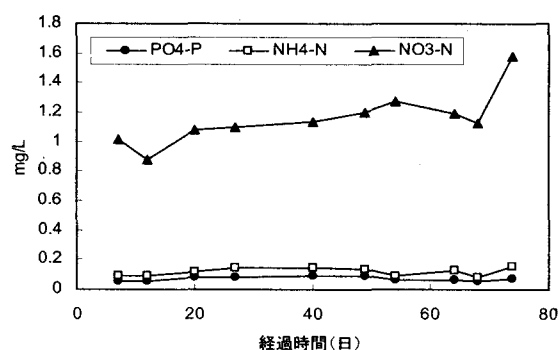


図-1 実験期間中の水質

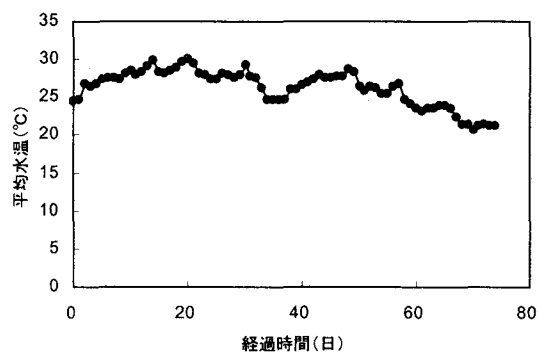


図-2 実験期間中の水温

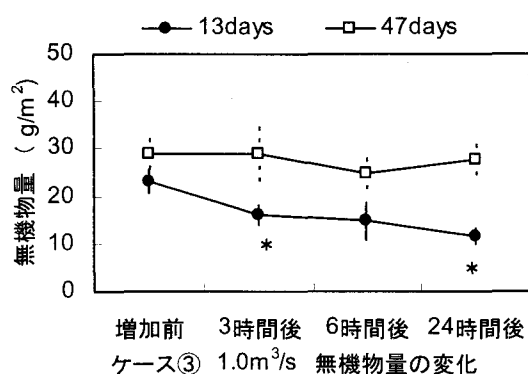
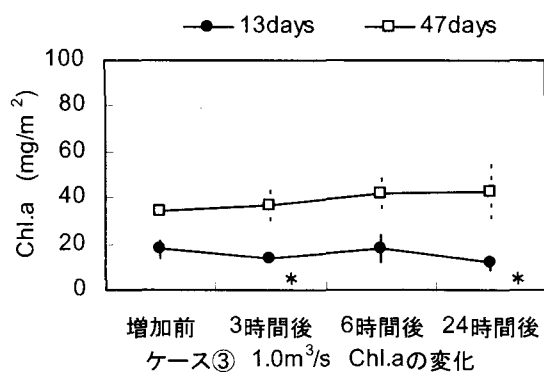
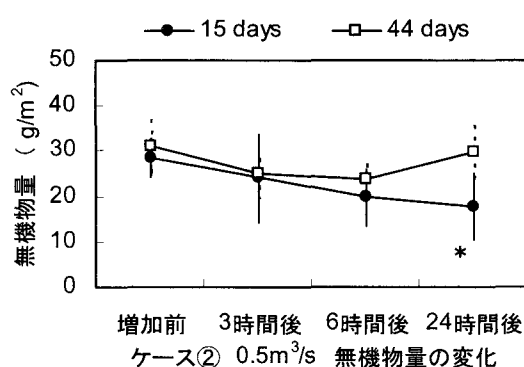
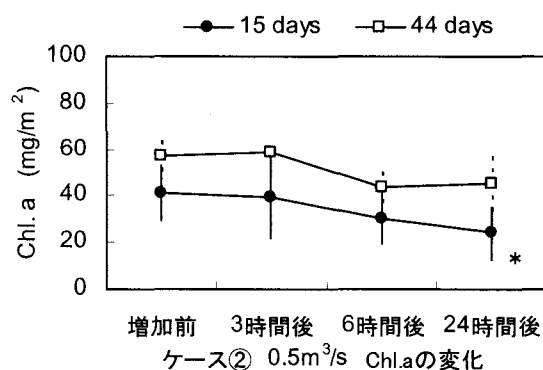
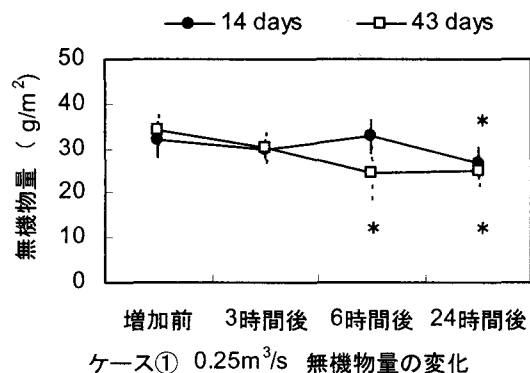
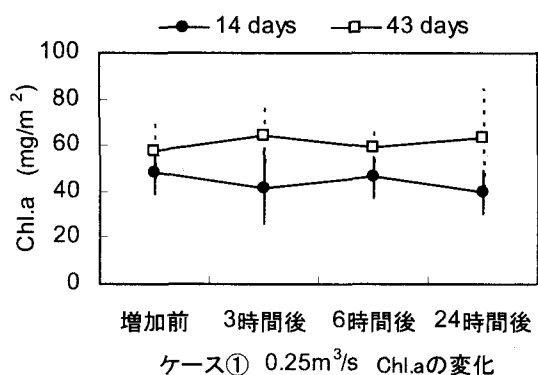


図-3 各流量ケースにおける付着物中のクロロフィル a 及び無機物量の変化

3. 結果

(1) 付着物の違いによる出水の影響の違い

図-3 に各流量ケースにおける付着物中のクロロフィル a 及び無機物量（乾燥重量と強熱減量から算出した）の時間変化を平均値と標準偏差で示した。なお、図中の*

は、検定（One-factor ANOVA, Fisher'sPLSD）の結果、増加前の値との間に $P < 0.05$ で有意な差が検出されたことを示している。

ケース①0.25m³/s では、藻類量を示すクロロフィル a は、遷移期間が 14 日及び 43 日（以下、14days, 43days とする）のいずれにおいても有意差を伴う減少は認めら

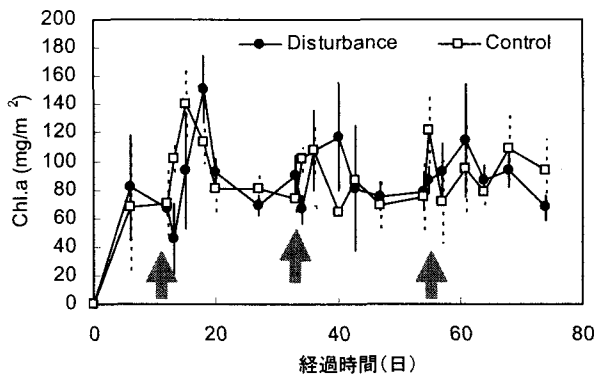


図-4 クロロフィル a の動向

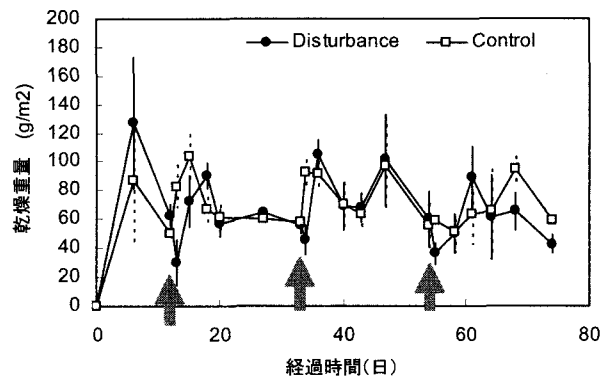


図-5 乾燥重量の動向

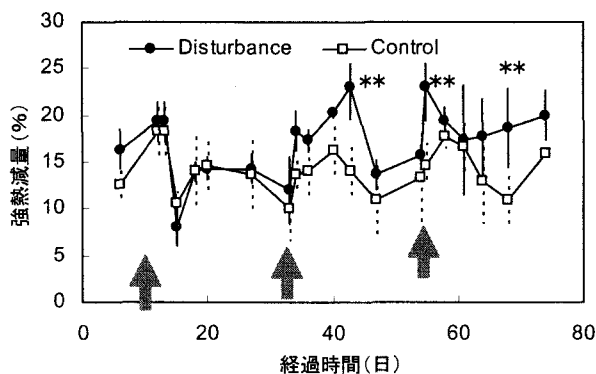


図-6 強熱減量の動向

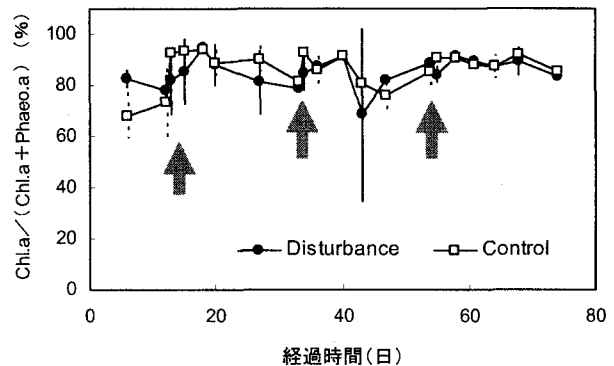


図-7 クロロフィル a / (クロロフィル a + フェオフィチン a) の動向

れなかった。一方、シルト等の無機物は、14daysでは24時間後に有意な減少を示し、43daysでは、6時間、24時間後にそれぞれ有意に減少していた。ケース②0.5m³/sでは、クロロフィル a は、15daysについては、24時間後に有意に減少した。44daysについては、有意な減少はみられなかった。また、無機物量もクロロフィル a と同様に、15daysのもののみ24時間後に有意に減少し、44daysにおいては認められなかった。ケース③1.0m³/sでは、クロロフィル a は13daysにおいて、3時間後、24時間後に有意に減少したが、47daysにおいては、減少は認められなかった。無機物量については、13daysは、3、6、24時間後に有意な減少を示したが、47daysにおいては、減少は認められなかった。以上のように、設置期間が短い13～15daysの付着物中の藻類については、0.5m³/s以上、摩擦速度では0.11m/sに増加させることにより掃流し減少するが、設置期間が長い43～47daysについては、今回与えた流量1.0m³/s、摩擦速度0.13m/sでは減少せず、設置期間の違いにより藻類の掃流しやすさは異なっていた。また、無機物についても、13～15daysの付着物は0.25m³/s以上、摩擦速度では、0.07m/sに増加させ、これを継続することにより減少するが、43～47dayでは一部(ケース③0.25m³/s)を除き減少せず、藻類と同様の傾向が見られた。

13～15 days 及び 43～47days における付着物中の藻類を顕微鏡観察したところ、13～15daysにおいて優占していた種は、*Scenedesmus* spp., *Planktosphaeria gelationa*, でそれぞれ約40%, 20%を占めていた。その他、*Nitzschia palea*, *Navicula viridula* var. *rostrata*, *Gomphonema parvulum*,

Synedra sp., *Melosira varians* が約5%程度を占めていた。一方、43～47daysにおいては、*Navicula viridula* var. *rostrata*, *Melosira varians*, *Homoeothrix janthina*, *Nitzschia palea*, *Synedra* sp. がそれぞれ約5～10%を占めていた。また、13～15daysでは出現が少なかった *Spirogyra* sp. *Clonophora* sp. *Oedogonium* sp. 等の糸状体の緑藻が多く出現する等、両者の藻類群集に違いがみられた。

以上より設置期間によって掃流しやすさは異なることが示され、藻類の群集構造の違いが掃流しやすさに関与していることが推測された。

(2) 出水が付着物に与える影響

図4～7に付着物のクロロフィル a、乾燥重量、強熱減量及び藻類の活性の目安となるクロロフィル a / (クロロフィル a + フェオフィチン)¹⁰⁾を平均値と標準偏差で示した。また、図中の矢印は、出水①～③の実施を示している。

藻類の現存量を示すクロロフィル a 量は、Controlにおいては、基物の設置から15日後にピーク値に達し、その後、約20日間隔で増殖と剥離のサイクルを繰り返したが、60日以降は、それ以前にみられたサイクルは見られず、増減した。一方、Disturbanceでは、出水①及び出水②前後で、クロロフィル a は平均値でそれぞれ出水前の31.7%, 26.8%が減少していたが、いずれも有意な差は認められなかった(One-factor ANOVA, Fisher's PLSD)。出水後は速やかに増殖し、Controlよりも約3日遅れてピークに達した。また、出水③については、出水前後でクロ

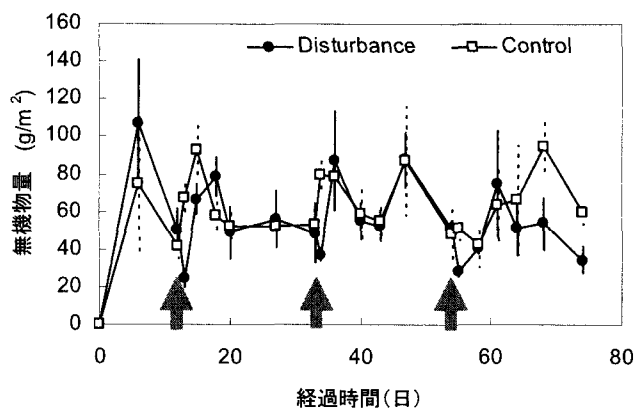


図-8 無機物量の動向

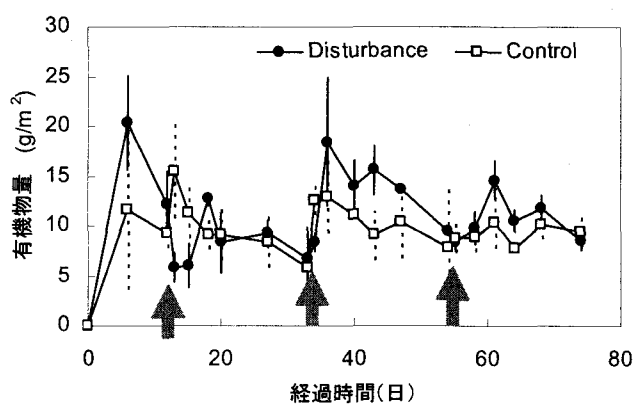


図-9 有機物量の動向

ロフィルaの減少はほとんどみられなかった。藻類の増殖・剥離のサイクルについては、Disturbanceでは期間中3回繰り返し替えられ、ピークから次のピークまでの日数は21日、22日でControlとほぼ同様であった。また、ピーク時の値もControlとの間に有意な差は検出されず(One-factor ANOVA, Fisher'sPLSD), ControlとDisturbanceの河川間においても差は認められない傾向が把握された(河川間と調査日を要因としたTwo-factor factorial ANOVA)。同様に、ControlとDisturbanceの河川間の乾燥重量、藻類活性(クロロフィルa/(クロロフィルa+フェオフィチン)¹⁰⁾についても差は認められない傾向が把握された。これに対し、強熱減量については、 $P < 0.01$ で河川間に有意な差が検出された(河川間と調査日を要因としたTwo-factor factorial ANOVA)。各調査日における強熱減量の差をみると、出水②と③の後に $P < 0.01$ で有意な差が認められる日があり(One-factor ANOVA, Fisher'sPLSD, 図中では**で表示), いずれもDisturbanceがControlを上回っていた。

図-8, 9に、無機物と有機物の動向を示した。有機物量においてはDisturbanceとControlの間に差がある傾向が把握され(河川間と調査日を要因としたTwo-factor factorial ANOVA), このことから強熱減量に違いをもたらしたのは、有機物量の違いによるものであったことがわかる。さらに図4より、藻類の現存量(Chl.a)には違いは見られないことから、藻類以外の有機物量が関与していることが読みとれる。ただし、細菌類や底生動物等の生物の増加によるものか、生物以外の有機物であるかは不明であり、今後明らかにしていく必要がある。

4. 考察

(1) 付着物の違いによる出水の影響の違い

Power ら⁹⁾は、糸状体で基部細胞をもつ種と側面で付着する種では出水前後の減少量が異なることを示している。これは、例えば、浮遊性の藻類等は出水によって流されやすいが、基部細胞をもつ種は、そこから伸びる仮根状突起でしっかりと石面に着生しているため、流されにくい等、生活様式や付着形態によって掃流しやすさに

違いがあることを示すものである。近年、石面上に長い糸状体をつくり問題となっている*Cladophora glomerata*(カワシオグサ)や43~47dayにおいて出現していた*Cloniphora sp*等は、基部細胞をもち、出水によって切れても石に着生している部分は残存するため速やかに増殖し、なかなか問題は解決されないのはこの理由によるものであるとされる。また、Munoz¹¹⁾は、*Stigeoclonium vulerata*は貝による被食圧を受けても基部細胞は減少しないことを示している。したがって、浮遊性あるいは付着性のような生活様式や、基部細胞の有無などのような付着形態からも出水の影響について検討していくことが今後必要になるものと思われる。

また、無機物の掃流については、13~15daysについては藻類の掃流と同様な傾向で掃流していたことから、粘性物質による細粒土砂の結合¹²⁾や捕捉⁴⁾によって取り込まれたものが、藻類と連動し掃流していることが想像される。これは、43~47daysの検体において、藻類が掃流されなかったのと同様に無機物が掃流されていないことから裏付けられる。なお、13~15days及び43~47daysにおける付着物中の無機物の粒度分析を行ったが、両者に違いは認められなかったため、粒径の大きさの影響はないものと考えられる。

(2) 出水が付着物に与える影響

今回与えた出水は、藻類の現存量(Chl.a)の変動やピーク時の値、乾燥重量や藻類活性の程度に差異をもたらすものではなかった。これは出水の約5~6日後にはクロロフィルaが最大値に達するなど、出水後、速やかに藻類が増殖したこと、出水の規模が小さく十分に藻類が減少していないこと、出水の頻度が低いことなどが影響しているものと考えられる。また、Controlにおけるクロロフィルaの動向から読みとれるように、今回の実験条件下での藻類の増殖と剥離のサイクルは、出水の間隔(21日)とほぼ一致しており、これが出水の影響を見えにくくしている要因の一つとなっていることも考えられる。しかし、強熱減量、有機物においてはControlとDisturbanceに差が認められ、今回のようなごく小規模で頻度も低い出水であっても、付着物中の有機物量に差異

をもたらす可能性があることが示された。今後は、出水の規模や頻度のパターンを変えた検討を行い、どのような現象が生じるかを解明していく必要がある。

(3) 河床付着物を掃流させる放流と今後の課題

本研究の結果を踏まえ、減水区間等の環境改善、主に河床付着物の掃流を目的とした放流が行われる際の配慮事項や今後の課題を整理する。

石面上に付着している藻類によって掃流しやすさは異なることから、対象とする河床の状況を事前に把握し、特に、河床材料にしっかりと着生する種（基部細胞をもっている種など）が多く生育している場合と生育していない場合に分けて考えることが必要になると考えられる。着生する種が多く生育している場合は、北村ら⁹⁾が指摘しているように掃流力のみで剥離・掃流させることは困難であることから、砂利などの掃流効果による剥離が必要になるものと考えられる。しかし土砂供給は、河床微地形や底生動物や魚類など他の生物へも影響を及ぼすため、十分に検討することが必要になる。その他、河床材料が移動する規模の出水を与えることにより、河床材料が移動し、藻類が付着していた面が下面になることにより、付着物を除去することができる。このような河床材料の攪乱は、河床間隙水や浮き石の維持等、底生動物や魚類のハビタットの改善にも寄与するものと考えられる¹⁴⁾。一方、着生する種がほとんど生育していない場合は、河床に堆積した有機物や細粒土砂の掃流、石表面における付着物中の細粒土砂の除去など、魚類の餌資源としての質を高めるための放流等が考えられ、これらを掃流するための最適な放流方法（限られた容量で最大限に作用する放流のあり方）の検討が必要である。

次に出水の頻度については、有機物や細粒土砂の河床への沈降速度や堆積量（SS 濃度、懸濁物質の沈降速度や摩擦速度が関与）、藻類の増殖速度（栄養塩濃度や光条件が関与）、糸状緑藻が出現するまでの遷移期間等を考慮することが必要である。しかし、どのような状態に達すると、生物や生態系にどのような影響が生じるかは定量的に明らかではない。これを明らかにし、生態系の維持にとって望ましい基準等を設定していくことが今後の課題になるものと考えられる。

5. 結論

本研究は、出水が及ぼす石面の付着物の影響について実験河川を用いて検討を行い、以下の結果を得た。

①設置期間が13～15日間と43～45日間の付着物に対する出水の影響を比較した。その結果、前者は出水によって減少したが、後者は減少せず、掃流しやすさが異なっていた。これらは、種による生活様式や付着形態の違い

が関与しているものと推察された。

②74 日間に小規模な出水を3度与えた実験河川と与えない実験河川の河床石面上の付着物を比較した。その結果、強熱減量が出水を与えた河川の方が高く、今回のようなごく小規模で頻度も低い出水であっても、付着物の質に差異をもたらす可能性があることが示唆された。

謝辞

本論文を作成するにあたり、付着物の採取にご協力いただきました加藤巳圭さん、堀江奏子さんに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) N. LeRoy Poff, J. David Allan, Mark B. Bain, James R. Karr, Karen L. Prestegard, Brian D. Richter, Richard E. Sparks, and Julie C. Stromberg: The natural flow regime, *BioScience* Vol.47 No.11, pp769-783, 1997.
- 2) 片野修: 新動物生態学入門; 中央公論社, 1995.
- 3) 野崎健太郎・内田朝子: 河川における糸状緑藻の大発生, 矢作川研究所 No.4, pp159-168, 2000.
- 4) 山田浩之: 細粒土砂堆積による河床構造及び河川生物相の変化機構に関する研究, 学位論文, 2002.
- 5) 村上恭祥: 広島県とアユ③, 広報ないすいめん No.8, 全国内水面漁業連合会, 1997.
- 6) 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研究,
- 7) 山本亮介・松梨史郎・下垣 久: 移動粒子を伴う流れの付着藻類剥離効果, *水工学論文集* Vol.47, pp1069-1074, 2003.
- 8) 福嶋 悟・皆川朋子・萱場祐一: 人工出水が付着藻類の遷移及ぼす影響, *日本珪藻学会第22回研究集会要旨集*, 2002.
- 9) Power, M. E., and A. J. Stewart: Disturbance and recovery of an algal assemblage following flooding in an Oklahoma stream, *American Midland Natural Naturalist* 117, pp333-345, 1987.
- 10) 渡辺泰徳: 光合成研究法, 共立出版株式会社, p137, 1981.
- 11) Monoz I., Real M., Guasch H., Navarro E. and Sabater S.: Resource limitation by freshwater snail (*Stagnicola vulerata*) grazing pressure: an experimental study, *Arch Hydrobiol.* 148, 4, pp.517-532, 2000.
- 12) Graham, A. A.: Siltation of stone-surface periphyton in rivers by lay-sized particles from low concentration in suspension, *Hydrobiologia*, 199, pp.107-115, 1990.
- 13) Alan D. Steinman, C. David McIntire: Recover of Lotic Periphyton Communities after Disturbance, *Environmental Management*, Vol.14, No.5, pp.589-604, 1990.
- 14) 皆川朋子・河口洋一・萱場祐一・尾澤卓思: 流量変動が河川環境に果たす役割と実験的検討, *土木研究所資料* Vol.44, pp32-37, 2002.

(2003. 4. 11受付)