

# 河川流量管理のための河床付着物の 視覚的評価に関する研究

## A STUDY ON VISUAL ESTIMATION OF PERIPHYTON FOR FLOW MANAGEMENT

皆川朋子<sup>1</sup>・福嶋 悟<sup>2</sup>・萱場祐一<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 博士(工学) (独) 土木研究所 水循環研究グループ 自然共生研究センター  
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地) E-mail:minagawa@pwri.go.jp

<sup>2</sup>非会員 理博 横浜市環境科学研究所 (〒235-0012 横浜市磯子区滝頭1-2-15)

<sup>3</sup>正会員 工修 (独) 土木研究所 水循環研究グループ 自然共生研究センター長

Decrease of flow and reduction of disturbance affect river bed materials, periphyton and aquatic life. Fine sediments pile on riverbed and filament green algae proliferate. They impair visual appearance of riverbed. River flow management for restoring river ecosystem and visual appearance of riverbed needs knowledge of relationship between flow regime, visual estimation and periphyton.

In this study, experiments were performed and the relationship between visual estimation, quantity of periphyton, color of periphytic algal assemblage was demonstrated. When the dry weight is little than 10 g/m<sup>2</sup>, AFDM is little than 5g/m<sup>2</sup>, fine sediment dry weight is little than 20g/m<sup>2</sup> and chlorophyll *a* is little than 30 mg/m<sup>2</sup> in periphyton, visual estimation is acceptable. It showed that human visual evaluation is affected by the color of periphytic algal assemblage. When relative abundance of green algae is higher (chlorophyll *b* /chlorophyll *a* is higher), periphytic algal assemblage seems greenish. When diatom is dominant, it seems light brownish. Human evaluate that greenish assemblage is more beautiful than light brownish assemblage.

**Key Words:** periphyton, periphytic algae, estimation, flow management, river environment

### 1. はじめに

河床砂礫表面上に形成される付着藻類を主体とした被膜(以下、河床付着物とする)は、河川生態系の生産者としての役割を担っている<sup>1)</sup>。しかし、近年、横断工作物の設置による流量の減少や河床攪乱頻度の減少<sup>2)</sup>に起因したシルト等の微細な土砂の堆積<sup>3)</sup>や大型糸状藻類の繁茂<sup>4)</sup>等が生じ、魚類や底生動物の餌資源の観点からみた河床付着物の質の低下<sup>5)</sup>、礫に産卵する魚類への影響<sup>7)</sup>等が指摘されている。また、景観の悪化も指摘され、地域住民がその改善を求めるケースも増加してきている。河床付着物は、流況、水理量、水質等を反映するとともに、人間が河川環境評価を行う際の判断要素であり<sup>8)</sup>、視覚的にも評価できるという利点を有することから、今後、河川流量管理において、河川環境の状態を評価する際の一指標になるものと考えられる。しかしこれまで、河床付着物については、水質評価指標として評価<sup>例えば</sup>

<sup>9)10)</sup>や、栄養塩類と増殖速度との関係<sup>例えば 11)12)</sup>に関しては多く研究が行われてきたが、水理量<sup>13)14)</sup>との関係や、生物の餌資源としての観点からの研究<sup>5)</sup>は比較的少ない。また、河床付着物に対する人間の視覚的な評価については、親水利用や景観の観点から、付着物量や糸状藻類の被覆面積等について示されているが<sup>15~19)</sup>、視覚に係わる色や、付着藻類群の組成等との関係等、質的な部分を含めた評価は行われていない。

そこで本研究では、河川流量管理において、河川環境の状態を評価する際の一指標としての河床付着物評価の確立を目指し、ここでは、河床付着物と人間の視覚的評価との関係について扱う。これを明らかにし、水理量や流況と関連づけることは、景観に配慮した維持流量の設定において基礎情報を提供するものと考えられる。また、近年、ダム下流部の環境改善を目的として実施されているダムの弾力的管理試験<sup>20)</sup>の効果を評価する際の基礎情報になるものと考えられる。

2. 方法

河床付着物に対する人間の視覚的評価を明らかにするため、自然共生研究センター実験河川（川幅約 2.5～3m）及びその取水河川である新境川（川幅約 15～20m）を対象に、一般被験者を用いた評価実験を行った。対象とした河床は、河床付着物の状態がばらつくよう配慮し、実験河川においては、瀬、淵、平瀬等を対象に、長期間一定流量を保った状態や、人工的に出水を与えた後の状態等 34ヶ所、新境川においては、瀬及び平瀬の 7ヶ所とした。評価実験は、実験河川を対象としたものは 2003 年 4 月 24 日、28 日、新境川を対象としたものは 8 月 21 日、9 月 26 日に行った。

河床評価は、被験者（10～60 代の男女、10～32 名）に対して、河床を視認できる場所（河床からの高さ約 1.2～2.5m）の河岸または橋梁上から河床を観察してもらい、「石表面のきれいさ」、「川底のきれいさ」、「水のきれいさ」「生物がすんでいそうか」、「川に手を入れてみたい」等の項目について 5 段階評価を求めた（例えば、「水のきれいさ」；1：きたない、2：ややきたない、3：どちらでもない、4：ややきれい、5：きれい）。

河床付着物については、河床に占める粒径 10～15cm の礫の割合が高かったことから、各地点からこれをランダムに 3 つ選定し、それぞれ石の上面に 5cm×5cm のコドラートを設置し、付着物をナイロンブラシと蒸留水を用いてこすり取り試料とした。分析は、総付着物量を示す乾燥重量、有機物量の指標となる強熱減量、シルト等の細粒土砂量の指標となる強熱残留物量を河川水質試験法（案）<sup>20)</sup>により測定した。また、藻類現存量の指標となるクロロフィル a 量、及び死滅した藻類量を示すフェオフィチン量は Lorenzen (1967) の方法（標準法 1（単波長吸光光度法）<sup>21)</sup>）で測定し、さらに SCOR/UNESCO (1975) の方法（標準法 2（三波長吸光光度法）<sup>21)</sup>）によりクロロフィル a, b, c 量を測定した。

河床付着物の色については、外観からその場を代表している色を大まかに記録した。そして、これらの色と付着藻類群の組成を関係づけるため、採取した検体のいくつかについて、藻類の種同定、計数を行った。

また、水理量把握のため、水深、流速（6 割水深），河床勾配を測定した。なお、実験河川の水深は淵を除き

10cm 程度と浅く、新境川についても 20cm 以下であり、透明度も高く、河床を十分視認することができた。流速は、実験河川では平均 20cm/s 程度、新境川では 40cm/s 程度であり、新境川の方が速かった。

3. 結果

(1) 河床付着物量との関係

以下、分析には、視覚的な評価値として、各地点の全被験者の平均値、付着物量として、各地点から得られた 3 サンプルの平均値を用いた。

表-1 に、評価値と付着物量や質を示す項目との相関係数を示した。表中の\*, \*\*は、ピアソンの相関係数の検定において、それぞれ有意水準  $P<0.05$ ,  $P<0.01$  で有意な相関が検出されたことを示している。なお、表中に示した強熱減量（%）は、付着物中に占める有機物量の割合、FSI<sup>22)</sup>は、単位面積あたりの有機物量に対する細粒土砂量（=強熱残留物量/強熱減量）<sup>22)</sup>を示すものである。また、藻類比率は、有機物に占める藻類量の比率を表すものとして、以下のように定義し用いた。これらは付着物の質的な評価の指標になるものと考えられる。

藻類比率=クロロフィル a/強熱減量×100（%）  
「川底のきれいさ」や「石表面のきれいさ」は、乾燥重量、強熱減量、強熱残留物量、クロロフィル a、フェオフィチン、藻類比率と負の相関があり、これらの値が高いほど、評価は低い。また、これらの項目は、「水のきれいさ」、「生物がすんでいそうか」、「川に手を入れてみたい」とも相関関係があり、河床付着物は、河床の視覚的な評価のみでなく、水質評価、生物の生息空間としての評価、親水利用に対する評価を行う際の判断要素になっていることがわかる。なお、「川底のきれいさ」と「石表面のきれいさ」の相関係数は 0.98 であり、今回対象とした河床においては、河床の視覚的評価は、礫上の付着物の評価とほぼ一致するものであった。このことから、以下、分析においては、「石表面のきれいさ」と河床付着物との関係についてみていく。

図-1①～④に、乾燥重量、強熱減量、強熱残留量、クロロフィル a と「石表面のきれいさ」との関係を示した。「石表面のきれいさ」の評価は、概ね乾燥重量で約 10g/m<sup>2</sup>、強熱減量で約 5g/m<sup>2</sup>、強熱残留物量で 20g/m<sup>2</sup>、ク

表-1 評価値と付着物量の相関係数

| 評価項目         | 乾燥重量    | 強熱減量<br>(有機物量) | 強熱残留物量<br>(細粒土砂量) | クロロフィル a | フェオフィチン | 強熱減量<br>(%) | FSI <sup>22)</sup> | 藻類比率   |
|--------------|---------|----------------|-------------------|----------|---------|-------------|--------------------|--------|
| 「石表面のきれいさ」   | -0.64** | -0.58**        | -0.66**           | -0.53**  | -0.53** | 0.20        | -0.11              | -0.35* |
| 「川底のきれいさ」    | -0.63** | -0.61**        | -0.61**           | -0.54**  | -0.50** | 0.11        | -0.01              | -0.30  |
| 「水のきれいさ」     | -0.61** | -0.62**        | -0.34*            | -0.62**  | -0.49** | -0.26       | 0.36*              | -0.34* |
| 「生物がすんでいそう」  | -0.67** | -0.64**        | -0.49**           | -0.63**  | -0.53** | -0.06       | 0.19               | -0.39* |
| 「川に手を入れてみたい」 | -0.71** | -0.65**        | -0.60**           | -0.64**  | -0.54** | 0.15        | -0.02              | -0.39* |

\*: <0.05, \*\*: P<0.01; Pearson's correlation coefficient test.

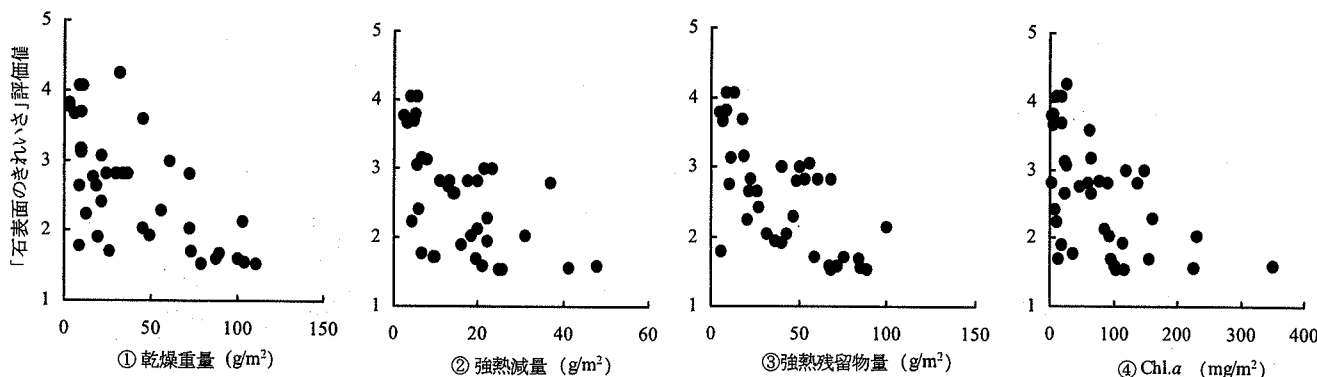


図-1 河床付着物量と「石表面のきれいさ」の関係

ロロフィル *a* で約  $20\text{mg/m}^2$  以下であれば評価値が 3 以上の割合が高くなり、視覚的に許容される傾向がみられた。

## (2) 河床付着物の色、藻類群との関係

### ①色との関係

河床の色は、Group-1 (茶系)、Group-2 (緑系)、Group-3 (黒系) に大きく区分された。Group-1, 2 は主に実験河川の河床であり、Group-3 は、新境川の河床である。図-2 に、「石表面のきれいさ」と乾燥重量の関係 (図-1①) に河床の色の情報を加え示した。同程度の乾燥重量であっても Group-2 (緑系) の方が Group-1 (茶系) 及び Group-3 (黒系) よりも評価が高い傾向がみられる。このことは、河床付着物の色が評価に関与していることを示すものと考えられる。また、Group-3 (黒系) は、評価値のばらつきが大きく、これには新境川の流速が速かったこと等、色以外の要因が関与していることが推察された。

### ②色と藻類群との関係

藻類の葉緑体には各種のクロロフィル (葉緑素) や、カロチン、キサントフィン等の色素が含まれ、その種類は、藻類群によって異なる<sup>23)</sup>。したがって、Group-1 (茶系)、Group-2 (緑系)、Group-3 (黒系) の色の違いは、主に付着藻類群の組成の違いに起因するものと考えられる。そこで、各グループの付着藻類群と色との関係を明らかにするため、各グループの試料から、ランダムに抽出した 3 地点の試料を対象に種を同定し、細胞数を計数した。なお、細胞数が判断できない糸状体性の藍藻 *Homoeothrix janthina* 等については、糸状体数を計数した。図-3 に、各グループの網別構成比を 3 試料の平均値で示した。また、表-2 に、各グループの優占 5 種で、かつ全細胞数の 1% 以上を占めた種を示した。Group-1 は、珪藻の割合が高く約 90% を占め、*Melosira varians* (チャツツケイソウ) が 73% を占めた。Group-2 も、珪藻の割合が高く、*Melosira varians* が 41% を占めたが、緑藻も約 30% を占め、*Scenedesmus* spp. (セネデスムス) が 15% を占めた他、糸状緑藻の *Cloniophora* sp. (トゲナシツル

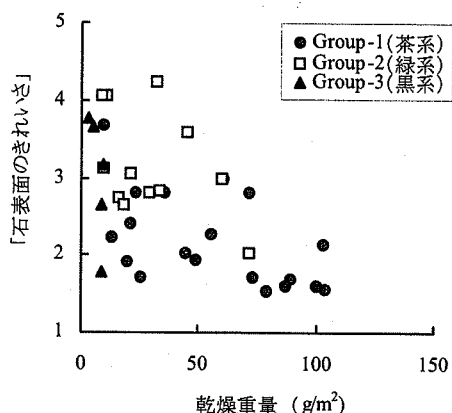


図-2 「石表面のきれいさ」に関与する色の影響

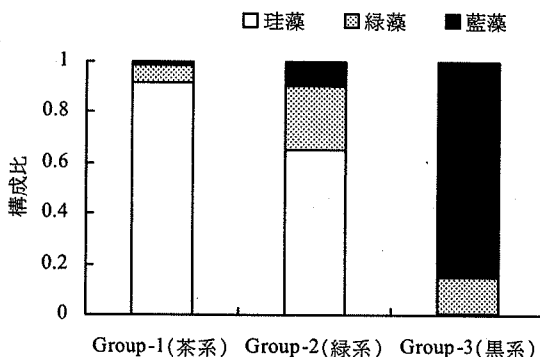


図-3 網別構成比

ギ)、*Cladophora* sp. (カワシオグサ) も優占していた。Group-3 は、藍藻の割合が高く、その多くが *Homoeothrix janthina* (ホモエオスリックス) で 82% を占め、次いで緑藻の *Cloniophora* sp. が 14% で、ほぼこの 2 種で構成されていた。

以上のように、各グループで付着藻類群の組成の特徴は異なり、茶系の Group-1 の藻類群は、*Melosira varians* が多く珪藻が優占する群落、緑系の Group-2 は、これと、*Cloniophora* sp., *Cladophora* sp. 等の緑藻の割合が高い群落、黒系の Group-3 は、藍藻の *Homoeothrix janthina* が優占する群落であった。

表2 各グループの優占5種と構成比(%)

| 綱  | 種                             | Group-1 | Group-2 | Group-3 |
|----|-------------------------------|---------|---------|---------|
| 藍藻 | <i>Homoeothrix janthina</i>   | 9.7     | 82.4    |         |
|    | <i>Pleurocapsa</i> sp.        |         |         | 2.7     |
| 珪藻 | <i>Fragilaria construens</i>  |         | 8.4     |         |
|    | <i>Gomphonema parvulum</i>    |         |         |         |
|    | <i>Melosira varians</i>       | 73.0    | 41.2    |         |
|    | <i>Navicula cryptocephala</i> | 1.6     |         |         |
|    | <i>Nitzschia palea</i>        | 1.5     |         |         |
|    | <i>Synedra rumpens</i>        | 7.3     |         |         |
| 緑藻 | <i>Cladophora</i> sp.         |         | 2.9     |         |
|    | <i>Cloniophora</i> sp.        |         | 7.3     | 14.3    |
|    | <i>Scenedesmus</i> spp.       | 6.5     | 14.8    |         |

注) Group-3 は、構成比が1%以上の優占3種までを記載した。

③クロロフィルを用いた色、藻類群の区分

クロロフィルには、クロロフィル a, b, c, d の4種類があり、クロロフィル a は、すべての藻類に含まれ、クロロフィル b は、緑藻や緑虫類、クロロフィル c は、珪藻、黄色鞭毛藻、渦鞭毛藻類、クロロフィル d は、紅藻類に含まれ、藍藻類はクロロフィル a 以外を含まない<sup>24)</sup>。したがって、緑藻に含まれるクロロフィル b や珪藻に含まれるクロロフィル c 等、含まれる色素の違いを利用することにより、藻類群を構成する緑藻や珪藻の割合をある程度示すことができ<sup>29)</sup>、これにより緑色の度合いを定量化することができるものと考えられる。なお、本研究で用いた SCOR/UNESCO 法によるクロロフィル a, b, c の定量は、クロロフィル a は精度の高いものであるが、クロロフィル b, c は、大まかな存在量を示す参考値<sup>24)</sup>とされている。また、クロロフィル含量は、藻類の種類や年齢により変化するため、藻類量への換算には注意が必要とされる<sup>29)</sup>が、組成の違いやこれに起因した色の違いを定量的に示すことは可能であると考え用いた。

クロロフィル b 及びクロロフィル c 量を用いて、珪藻の割合が高い Group-1 (茶系)、緑藻の割合が高い Group-2 (緑系)、緑藻の割合がやや高く、珪藻の割合が低い Group-3 (黒系) の違いを示し得るかを検討するため、図-4 にすべての藻類の含まれるクロロフィル a 量に対するクロロフィル b, c 量の割合を示した。Group-2 におけるクロロフィル b/クロロフィル a は、Group-1, 3 と比べ 1.6~2 倍程度高い値を示し、緑藻の割合が高いことを示している。また、クロロフィル c/クロロフィル a は、Group-1 が最も高い値を示し、珪藻の割合が高いことを示している。これらの結果は、図-3 に示した綱別構成比と一致するものであり、色素比は、綱別にみた付着藻類群の組成の違いを概ね反映するものであることが確認された。

④緑色の度合いの定量化と評価との関係

①では、河床付着物の色が評価に関与し、Group-2

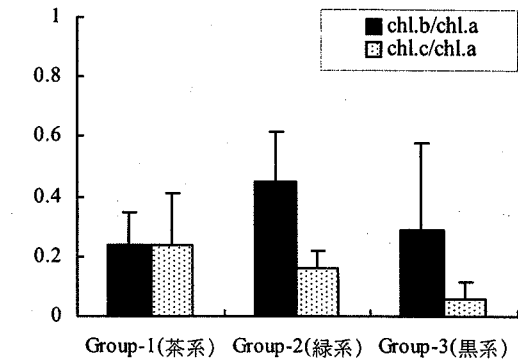


図-4 chl.a 量に対する chl.b, chl.c 量の割合 (平均値±標準偏差)

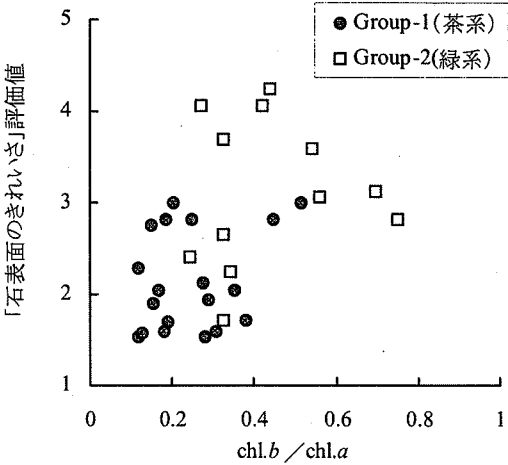


図-5 chl.b/chl.a と「石表面のきれいさ」の関係

(緑系)の方が Group-1 (茶系)よりも評価が高くなる傾向を示唆した。また、③では、クロロフィル b/クロロフィル a は、緑藻の割合をある程度示し得る指標となることが示唆された。そこで、クロロフィル b/クロロフィル a を緑色の度合いを定量化する指標として用い、これと「石表面のきれいさ」との関係についてみる。

図-5 に、Group-1, 2 におけるクロロフィル b/クロロフィル a と「石表面のきれいさ」の関係を示した。これらの間には有意な正の相関関係が認められ (P<0.01, ピアソンの相関係数の検定)、相関係数は r=0.45 であった。クロロフィル b/クロロフィル a が高い、すなわち、緑藻の割合が高く、緑色の度合いが高いほど、評価は高くなる傾向がみられた。

(3) 付着物量と色 (藻類群) を加味した評価

(1) (2) から、「石表面のきれいさ」には、付着物量と色が関与していることが明らかになった。そこで、これらの関係を定量的に示すため、「石表面のきれいさ」を目的変数、付着物量を示す変数の代表として乾燥重量、緑藻の割合を示すクロロフィル b/クロロフィル a を説明変数とした重回帰分析を行ったところ、重相関係数 R=0.67 が得られた。また、説明変数に、付着物の質を示

す指標として、FSI、藻類比率を加え、再度重回帰分析を行ったところ、FSI が説明に寄与しており、これを説明変数に加えた以下の回帰式が得られた。重相関係数は  $R=0.70$  となり、「石表面のきれいさ」は、クロロフィル  $b$ /クロロフィル  $a$ 、乾燥重量、FSI で概ね説明することができた。

$$y = 1.09x_1 - 0.01x_2 - 0.06x_3 + 3.04$$

$y$  ; 「石表面のきれいさ」評価値,  $x_1$  ; chl  $b$ /chl  $a$ ,  
 $x_2$  ; 乾燥重量,  $x_3$  ; FSI

4. 考察

表-3 に、河床付着物量に対する親水利用や視覚的な観点からの基準や許容値を、既往文献<sup>25)</sup>及び研究<sup>19)</sup>から整理し示した。平山<sup>19)</sup>はきれいと感じる河床の付着物量の目安は、乾燥重量で  $15\text{g/m}^2$ 、強熱減量で  $5\text{g/m}^2$ 、クロロフィル  $a$  で  $30\text{mg/m}^2$  であるとし、Homer *et al.*<sup>16)</sup> は、クロロフィル  $a$  で  $100\sim150\text{mg/m}^2$  以上、あるいは、糸状藻類が  $20\%$  以上覆われると許容できないとしている。本研究においても、乾燥重量で約  $10\text{g/m}^2$ 、強熱減量で約  $5\text{g/m}^2$ 、強熱残留物量で  $20\text{g/m}^2$ 、クロロフィル  $a$  で約  $20\text{mg/m}^2$  以下であれば、概ね視覚的に許容されることが示され、これらは既往研究とほぼ一致するものであった。

付着物量に影響を及ぼす要素（生物による摂食を除く）として、有機物量や細粒土砂量については、上流からの流入量、沈降に係わるそれらの粒径、粗度、水理量（摩擦速度、沈降速度、フルード数<sup>22)</sup>、流れの乱れの程度（レイノルズ数））及び継続時間があげられる。また、沈降のみでなく、藻類が分泌する粘性物質によって、流下する土粒子は補足され<sup>23)</sup>、取り込まれる<sup>22)</sup>。藻類については、その生育に、日射量、栄養塩濃度、水温、水理条件（流速<sup>13)</sup>、流れの乱れの程度（レイノルズ数）<sup>14)</sup>）、等などが関与する<sup>20)</sup>。ここでは、河川流量管理に係わる水理量を取りあげ、以下に付着物量との関係を示す。

図-6 に、実験河川で対象とした河床のうち、長期

表-3 既往研究における付着物量の評価

| 項目                                                   | 項目         | 値                     |
|------------------------------------------------------|------------|-----------------------|
| 親水・リクリエーション利用の基準値（ニュージーランド環境省が河川局に推奨） <sup>17)</sup> | 糸状藻類（被覆率）  | <40%                  |
|                                                      | chl $a$    | <100mg/m <sup>2</sup> |
|                                                      | AFDM(強熱減量) | <40g/m <sup>2</sup>   |
| 親水・リクリエーション利用の許容値 <sup>18)</sup>                     | chl $a$    | <50mg/m <sup>2</sup>  |
| 水生生物の許容 <sup>18)</sup>                               | chl $a$    | <100mg/m <sup>2</sup> |
| 許容できない付着物量 <sup>18)</sup>                            | chl $a$    | 100-150               |
|                                                      | 糸状藻類（被覆率）  | >20%                  |
| 河床の広範囲を覆う量 <sup>19)</sup>                            | AFDM(強熱減量) | >50g/m <sup>2</sup>   |
| きれいと感じる河床付着物の目安 <sup>19)</sup>                       | 乾燥重量       | 15g/m <sup>2</sup>    |
|                                                      | AFDM(強熱減量) | 5g/m <sup>2</sup>     |
|                                                      | chl $a$    | 30mg/m <sup>2</sup>   |

（約4ヶ月間）流量一定を保った条件下における付着物量と摩擦速度  $u_*$  との関係を示した。摩擦速度と乾燥重量、強熱残留物量、クロロフィル  $a$  との間には、有意な負の相関関係が認められた（ $P<0.01$ ,ピアソンの相関係数の検定）。図中の点線は、本研究で得たれた視覚的評価の境界を示している。今回対象とした条件（水質、水温、日射量、継続時間等）の下では、視覚的に許容される付着物量の状態は、摩擦速度約  $6\text{cm/s}$  以上を確保することが必要であることがよみとれる。

色の違いとして現れる付着藻類群と評価との関係については、緑藻の割合が高いほど、評価は高い傾向があった。品田らは、人間は緑の自然に安らぎを感じていることを示し<sup>27)</sup>、河合は、緑の自然を求めるのは、人間が樹上生活、すなわち緑の中で暮らしていたサルから進化したことに起因すると推察している<sup>28)</sup>。本研究で示された緑色の藻類の方が評価が高いという結果も、これらに起因したものと考えられる。しかし、Group-2 で優占していた *Cladophora* sp.（カワシオグサ）等の糸状緑藻は、しばしば、毛髪状に長く成長し、不快さをもたらす<sup>29,30,31)</sup>、被覆率が  $20\%$  を超えると、許容できないとされる<sup>19)</sup>。今回対象とした緑藻は、毛髪状に繁茂した状態ではなかったため、評価が高い傾向が示されたが、長く毛髪状に繁茂した場合は、評価は異なるものと考えられる。また、*Cladophora* sp.（カワシオグサ）等の大型糸状藻類は、河

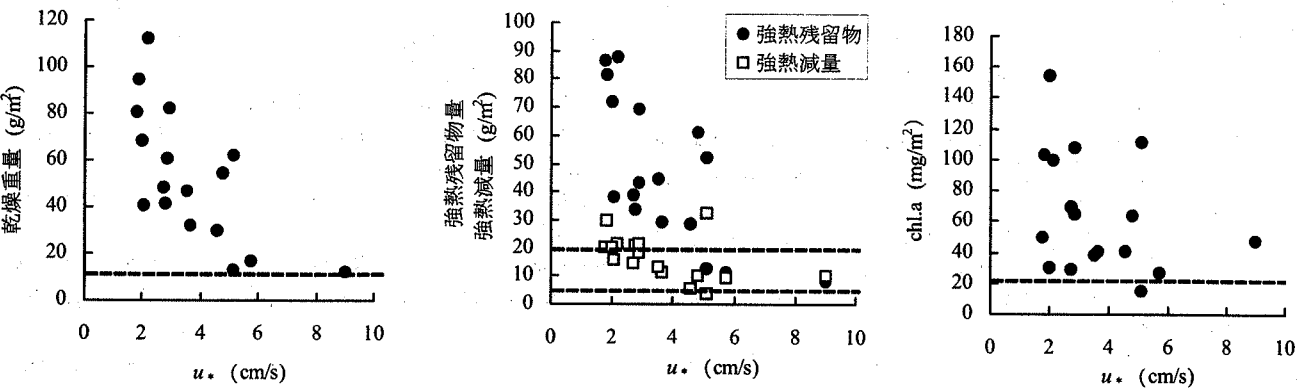


図-6 摩擦速度と付着物量の関係（点線は、河床付着物の視覚的評価の境界を示す）

床攪乱がない安定した環境条件の下で繁茂し、ダム下流など人為的な流量制御による河床攪乱の低下に伴う環境の変化を示す種とされ、さらに、これらの繁茂は、アユの餌資源としての質の悪化を招く<sup>3)</sup>。このことは、今回、評価が高かった緑藻の場合、人間の視覚的な評価と生態系の健全さからみた評価は、一致しない場合があることを示すものであり、河川流量管理において留意すべき点であると考えられる。

## 5. まとめ

本研究は、河床付着物と人間の視覚的評価の関係を明らかにするため、自然共生研究センター実験河川及びその取水河川である新境川河床を対象とした評価実験を行い、以下を得た。

河床付着物の視覚的評価には、主に付着物量とその色が関与し、付着物量は、乾燥重量では約  $10\text{g/m}^2$ 、強熱減量では約  $5\text{g/m}^2$ 、クロロフィル *a* では約  $20\text{mg/m}^2$  以下あれば視覚的に許容されること、色については、藻類群の組成を明らかにした上で、緑藻の割合をクロロフィル *b* /クロロフィル *a* によって定量化し、これが高いほど、評価は高くなることを示した。そして、クロロフィル *b* /クロロフィル *a*、乾燥重量、FSI を説明変数とする河床付着物の視覚的評価の回帰式を示した。

今後は、河川流量と一次生産者としての河床付着物評価の関係等を明らかにし、これを河川環境評価のための指標として確立していきたいと考えている。

**謝辞：**本研究を進めるにあたり、評価実験の被験者としてご参加頂きました多くの方々に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) Home, A. J. and Goldman, C. R.: Limnology, Second edition, McGraw-Hill Book Company, USA, 1994.
- 2) 北村忠紀, 田代喬, 辻本哲郎: 生息場指標としての河床攪乱頻度について, 河川技術論文集, Vol.7, pp.297-302, 2001.
- 3) 墨田勉影, 渡辺仁治: 石川県手取川におけるダム建設に伴う着生珪藻群集の変化, 藻類, 34, pp.194-202, 1986.
- 4) 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, pp.159-168, 2000.
- 5) 全国内水面漁業協同組合連合会: 魚を育む豊かな流れ〜河川生物資源保全流量調査報告書〜, pp.204-205, 1988.
- 6) Ryan, P.A.: Environmental effects of sediment on New Zealand streams: a review. New Zealand journal of marine and freshwater research, Vol.25, pp.207-221, 1991.
- 7) 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.
- 8) 島谷幸宏, 皆川朋子: 景観からみた河川水質に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.26, pp.67-75, 1998.
- 9) 渡辺仁治: 有機物評価のための水質指標, 水質汚濁研究, Vol.10, No.2, pp.81-85, 1987.
- 10) 渡辺仁治, 浅井一視: 高優占珪藻による有機汚濁度の判定 (1). *Achnanthes*, *Anomoeoneis*, *Aulacoseira*, *Melosira* を第一位種

- とする群集, Diatom Vol.7(1), pp.13-19, 1992.
- 11) Bothwell, M. L.: Growth rate response of lotic periphytic diatoms to experimental phosphorus enrichment: The influence of temperature and light. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46, pp.261-270, 1988.
  - 12) Grimm, N. B., and Fisher, S. G.: Nitrogen limitation in a Sonoran Desert stream. J. North Am. Benthol. Soc. 5, pp.2-15, 1986.
  - 13) Biggs, B.J.F., Goring, D. G. and Nikora, V. I.: Susidy and stress responses of stream periphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form, J. Phycol. 34, pp.598-607, 1998.
  - 14) 戸田祐嗣, 赤松良久, 池田俊介: 水理特性が付着藻類の一次生産特性に与える影響, 土木学会論文集, No.705, pp.161-174, 2002.
  - 15) 平山公明, 今岡正美他: 水質のきれいさの視覚的な判断要因に関する検討, 土木学会第52回年次学術講演会, VII-44 pp.88-89, 1994.
  - 16) P.R.Homer, E.B.Welch and R.B. Veenster: Development of nuisance periphytic algae in laboratory streams in relation to enrichment and velocity, Periphyton of Freshwater Ecosystems, pp.121-134, 1983.
  - 17) Zuur, B., ed.: Water Quality Guidelines No.1, "Guidelines for the control of Undesirable Biological Growths in Water.", New Zealand Ministry for the Environment, Wellington, 1992.
  - 18) Nordin, R.N.: "Water Quality Criteria for Nutrient and Algae (Technical Appendix)" Water Quality Unit, Resource Quality Section, Water Management Branch, British Columbia Ministry for the Environment, Victoria, 1985.
  - 19) Biggs, J.F., and Price, G.M.: A survey of filamentous algal proliferations in New Zealand rivers. N. Z. J. Mar. Freshwater Res. 21, pp.175-191, 1987.
  - 20) 尾澤卓思, 大杉奉功, 原田譲二: ダム放流による下流河川の環境復元, 大ダム, No.177, pp.87-97, 2001.
  - 21) 建設省河川局監修: 河川水質試験法 (案) [1997年版] 試験方法編, 技法堂出版, 1997.
  - 22) Hiroyuki Yamada and Futoshi Nakamura: Effect of fine sediment deposition and channel works on periphyton biomass in the MAKOMANAI RIVER, North Japan, River Res. Applic., No.18, pp.481-493, 2002.
  - 23) 山岸高旺: 淡水藻類入門, 内田老鶴圃, pp.11-12, 1999.
  - 24) 日本分析化学学会北海道支部編: 水の分析 (第3版), 化学同人, 1988.
  - 25) Stevenson R. J., Bothwell, M. L., Lowe R.L.: Algal Ecology, ACADEMIC PRESS, USA, 1996.
  - 26) Hogland, K. D., S.C.: Roemer and J.R. Rosowski: Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on diatoms (Bacillariophyceae). American Journal of Botany, 69, pp.188-213, 1982.
  - 27) 品田穰: ヒトと緑の空間, 東海大学出版会, 1980.
  - 28) 河合雅雄: なぜ緑を求めるのかー人の本性への回帰, 人はなぜ自然を求めるのか, 三田出版会, pp.41-74, 1995.
  - 28) Wharfe, J. R., Taylor, K. S., and Montgomery, H. A. C. The growth of *Cladophora glomerata* in a river receiving sewage effluent. Water Res. 18, pp.971-979, 1984.
  - 29) Biggs, B. J. F.: Algae: A blooming nuisance in rivers, Soil Water 21, pp.27-31, 1985.
  - 30) Welch, E. B., Homer, R. R. and Patemont, C. D.: Prediction of nuisance periphytic biomass: A management approach. Water Res. 23, pp.401-405, 1989.

(2005. 4. 7 受付)