

## ◆ 報 文 ◆

## 河床付着物の視覚的評価—河川流量管理にむけて—

皆川朋子\* 福嶋 悟\*\* 萱場祐一\*\*\*

## 1. はじめに

流況の人為的改変（流量の平滑化や河床攪乱頻度の減少等）が河床付着物へ与える影響として、微細な土砂や有機物の堆積<sup>1)</sup>、糸状藻類の繁茂<sup>2)</sup>、これに伴う底生動物や魚類の餌資源としての質の低下<sup>3), 4)</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。本報では、これらの課題のうち、景観的な課題をとりあげ、河床付着物と人間の視覚的評価との関係を定量的に明らかにすることを目的とする。これを明らかにし、水理量や流況と関連づけることは、景観に配慮した河川流量管理、あるいは、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の効果を評価する際の基礎情報になるものと期待される。なお、ここでは、河床付着物を、砂礫表面に生育した付着藻類、藻類以外の有機物、微細な土粒子等の無機物を含めた付着物の総称として用いることとする。

## 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、公募により募った10代から60代の被験者による評価実験を行った。実験河川においては、瀬、淵、平瀬を対象に、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、様々な河床の状態を対象とした。評価実験は、実験河川では、2003年4月24日、28日、新境川では、8月21日、9月26日に行い、被験者数はそれぞれ32名（男性16、女性16）、17名（男性5、女性12）、32名（男性23、女性9）、

10名（男性5、女性5）であった。

河床評価は、被験者に対して、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」、「川に手に入れてみたい」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、河床の投影面積において、粒径10～15cm程度の礫の占める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5cm×5cmの範囲の付着物をナイロンブラシと蒸留水を用いて擦り取り試料とした。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測定した<sup>5)</sup>。また、藻類現存量の指標となるクロロフィルa量（以下、chl.aとする）、及び死滅した藻類量を示すフェオフィチン量をLorenzen (1967)の方法（単波長吸光度法<sup>5)</sup>）で測定し、さらに、SCOR/UNESCO (1975)の方法（三波長吸光度法<sup>5)</sup>）でクロロフィルa、b、c量（以下、chl.a、chl.b、chl.cとする）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程度であり、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。

A Study on Visual Assessment of Periphyton for Flow Management

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) | chl.a   | フェオフィチン | 強熱減量(%) | 藻類比率   |
|--------------|---------|----------------|-------------------|---------|---------|---------|--------|
| 「石表面のきれいさ」   | -0.64** | -0.58**        | -0.66**           | -0.53** | -0.53** | 0.20    | -0.35* |
| 「川底のきれいさ」    | -0.63** | -0.61**        | -0.61**           | -0.54** | -0.50** | 0.11    | -0.30  |
| 「水のきれいさ」     | -0.61** | -0.62**        | -0.34*            | -0.62** | -0.49** | -0.26   | -0.34* |
| 「生物がすんでいそう」  | -0.67** | -0.64**        | -0.49**           | -0.63** | -0.53** | -0.06   | -0.39* |
| 「川に手をいれてみたい」 | -0.71** | -0.65**        | -0.60**           | -0.64** | -0.54** | 0.15    | -0.39* |

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

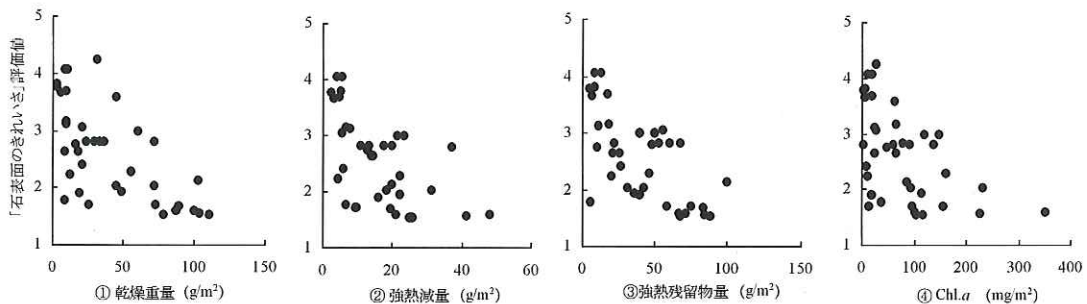


図-1 河床付着物量と「石表面のきれいさ」の関係

### 3. 結果

#### 3.1 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の割合を示すものであり、藻類比率は、有機物に占める藻類の比率を表すものとして、以下のように定義し用いた。なお、藻類比率は値が低いほど、藻類以外の有機物(デトリタス等)が多いことを示している。これらの項目は、付着物の質的な評価のための指標になるものと考えられる。

$$\text{藻類比率} = \text{chl.a} / \text{強熱減量} \times 100 (\%)$$

「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、chl.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」、

「川に手をいれてみたい」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、河床の視覚的な評価は、礫上の付着物の評価とほぼ一致するものであると判断された。よって、採取した河床付着物を直接評価している項目である「石表面のきれいさ」との関係についてみていくこととする。

図-1①～④に、相関係数が高かった乾燥重量、強熱減量、強熱残留物量、chl.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>、chl.aで約20mg/m<sup>2</sup>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。

#### 3.2 河床付着物量の色、藻類群との関係

##### 3.2.1 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

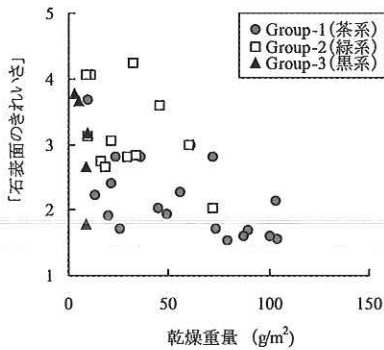


図-2 「石表面のきれいさ」に関与する色の影響

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た。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唆するものと考えられた。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。

### 3.2.2 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>6)</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している。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、細胞数の判断が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* (チャヅツケイソウ) 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

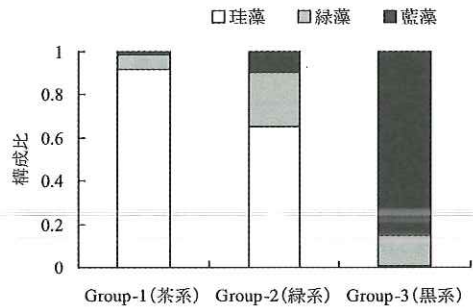


図-3 網別構成比

表-2 各グループの優占5種と構成比(%)

| 網  | 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

*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。

### 3.2.3 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、chl.a、b、c、dの4種類があり、chl.aは、すべての藻類に含まれ、chl.bは、緑藻や緑虫類、chl.cは、珪藻、黄色鞭毛藻、渦鞭毛藻類、chl.dは、紅藻類に含まれ、藍藻類はchl.a以外を含まない<sup>7)</sup>。したがって、緑藻に含まれる chl.b や珪藻に含まれる chl.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>8)</sup>、これにより緑色の度合いを定量化することができる。なお、本研究で用いた SCOR/UNESCO 法による chl.a、b、c の定量は、chl.a は精度の高いものであるが、chl.b、c は、大まかな存在量を示す参考

値<sup>7)</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>7)</sup>が、群集の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。

chl.b及びchl.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確認するため、図-4にすべての藻類の含まれるchl.a量に対するchl.b、chl.c量の割合を示した。Group-2におけるchl.b/chl.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、chl.c/chl.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に示した網別構成比と一致するものであり、色素比は、網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。

### 3.2.4 緑色の度合いの定量化と評価との関係

3.2.1では、河床付着物の色が評価に関与し、Group-2(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、3.2.3では、chl.b/chl.aは、緑藻の割合をある程度示し得る指標となることを示した。そこで、chl.b/chl.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chl.b/chl.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。chl.b/chl.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。

### 3.3 付着物量と色(藻類群)を加味した評価

3.1、3.2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chl.b/chl.aを説明変数とした重回帰分析を行ったところ、重回帰係数 $R = 0.68$ が得られた。さらに、乾燥重量の代わりに、強熱残留物量、すなわち、

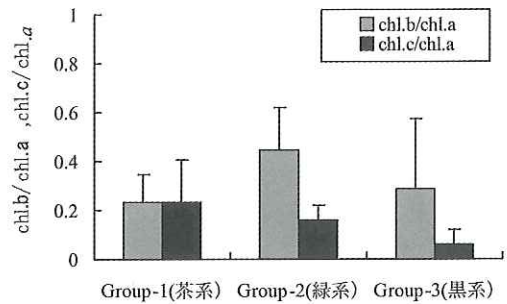


図-4 chl.a量に対するchl.b、chl.c量の割合  
(平均値±標準偏差)

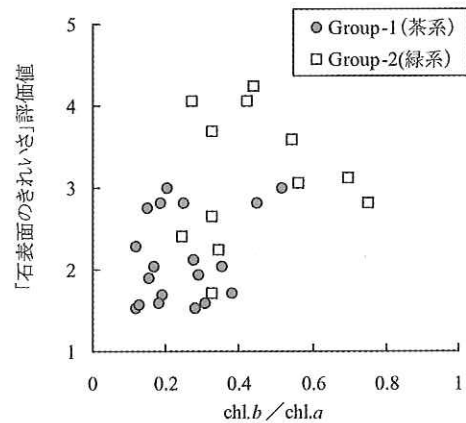


図-5 chl.b/chl.aと「石表面のきれいさ」の関係

細粒土砂量を説明変数とした場合には、重回帰係数はより説明力が高い $R = 0.74$ となり、以下の回帰式が得られた。

$$y = -0.02x_1 + 1.29x_2 + 2.95$$

y; 「石表面のきれいさ」評価値、 $x_1$ ; 強熱残留物量(細粒土砂量)( $g/m^2$ )、 $x_2$ ; chl.b/chl.a、

以上より、今回対象とした河床における「石表面のきれいさ」は、付着物量(特に細粒土砂量)、及びchl.b/chl.aでほぼ説明されることが示された。

## 4. 考察

表-3に、国内外の既往研究<sup>8)~13)</sup>から、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整理し示した。平山<sup>9)</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 $15g/m^2$ 、強熱減量で $5g/m^2$ 、chl.aで $30mg/m^2$ であるとし、Horner et al.<sup>12)</sup>は、chl.aで $100 \sim 150mg/m^2$ 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

ける結果は、ややばらつきが大きいものの、これらと概ね一致するものであった。なお、評価値が3以上（どちらでもない～きれい）の付着物は、視覚的には、石の模様が認識できるほど、付着物量はかなり少ない状態であるといえよう。

今回対象とした河床付着物では、「石表面のきれいさ」に最も寄与していた付着物量のパラメータは、細粒土砂量であった（表-1）。そこで、細粒土砂量に着目し、河川流量管理との関係について考察する。なお、河床付着物中の細粒土砂量は、上流からの流入量、沈降に係わる土砂の粒径、河床の粗度、水理諸量（摩擦速度、沈降速度、フルード数<sup>14)</sup>、流れの乱れの程度（レイノルズ数）等の他、藻類が分泌する粘性物質による捕捉<sup>15)</sup>等、様々な要因が関与するが、ここでは、沈降に係る摩擦速度について取りあげ、細粒土砂量との関係についてみる。

図-6に、実験河川で対象とした河床のうち、長期間（約4ヶ月間）流量一定を保った条件下における摩擦速度 $u_*$ と細粒土砂量との関係を示した。これらの間には、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）。これより、今回対象とした条件（水質、水温、日射量の環境条件、付着藻類群集等）では、視覚的に許容される上限値を細粒土砂量で $20\text{g/m}^2$ とした場合（破線）、摩擦速度約 $5 \sim 6\text{cm/s}$ 以上を確保することによって維持されることが読みとれる。この値は、生物相を保全するための摩擦速度として山田が示した値（ $u_* = 5\text{cm/s}$ 以上）<sup>16)</sup>とほぼ一致するものであることを勘案すると、河川流量管理を考える上で一つの目安になることが示唆される。

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>17)</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>18)</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推測される。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、不快さをもたらし<sup>19)</sup>、被覆率が20%を超えると、許容できないとされる<sup>10)</sup>。今回対象とした緑藻は、

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>10)</sup> | 糸状藻類（被覆率）  | $< 40\%$             |
|                                                      | chl.a      | $< 100\text{mg/m}^2$ |
|                                                      | AFDM（強熱減量） | $< 40\text{g/m}^2$   |
| 親水・リクリエーション利用の許容値 <sup>11)</sup>                     | chl.a      | $< 50\text{mg/m}^2$  |
| 水生生物の許容 <sup>11)</sup>                               | chl.a      | $< 100\text{mg/m}^2$ |
| 許容できない付着物量 <sup>12)</sup>                            | chl.a      | 100-150              |
|                                                      | 糸状藻類（被覆率）  | $> 20\%$             |
| 河床の広範囲を覆う量 <sup>13)</sup>                            | AFDM（強熱減量） | $> 50\text{g/m}^2$   |
| きれいと感じる河床付着物の目安 <sup>9)</sup>                        | 乾燥重量       | $15\text{g/m}^2$     |
|                                                      | AFDM（強熱減量） | $5\text{g/m}^2$      |
|                                                      | chl.a      | $30\text{mg/m}^2$    |

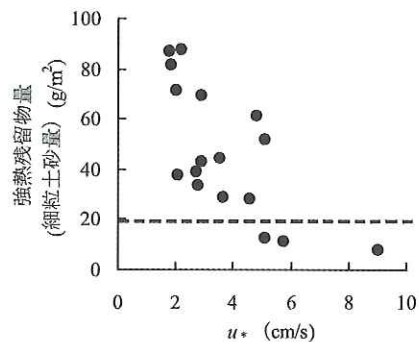


図-6 摩擦速度と細粒土砂量との関係（破線は視覚的に許容される上限値）

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、評価は低くなっていたものと考えられる。また、*Cladophora* sp.（カワシオグサ）等の糸状緑藻は、河床攪乱がない安定した環境条件の下で繁茂する種とされ<sup>1)</sup>、さらに、アユにとって、成長阻害となる可能性が指摘されている<sup>4)</sup>。したがって、毛髪状の糸状緑藻が、人為的な流量制御下で繁茂している場合、河川生態系の健全さの観点から評価すれば、むしろ健全な状態ではないと評価されるであろう。河川流量管理において、留意すべき点である。

## 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新境川の河床を対象とした評価実験を行った。結果は以下のとおりである。

①河床付着物の視覚的評価には、主に付着物量と

色が関与していた。

- ②付着物量は、付着物量が多いほど視覚的な評価は低くなり、乾燥重量では約  $10\text{g}/\text{m}^2$ 、強熱減量（有機物量）では約  $5\text{g}/\text{m}^2$ 、強熱残留物量（細粒土砂量）では約  $20\text{g}/\text{m}^2$ 、chl.a 量では約  $20\text{mg}/\text{m}^2$  以下であれば概ね視覚的に許容される傾向がみられた。
- ③色については、緑藻の割合をある程度示し得る指標 chl.b/chl.a を用いて、緑色の度合いを定量化し、この値が高いほど、石表面のきれいさの評価値は高くなる傾向がみられた。

以上の結果及び、生態系保全の観点から、河川流量管理における留意点を述べた。なお、現在、魚類の餌資源（主にアユ）としての観点からみた河床付着物の評価についても研究を実施している<sup>20)</sup>。次の機会に報告したい。

#### 参考文献

- 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.
- 渡辺仁治、上條裕規：九頭竜川水系の付着生物におよぼす濁りの影響、陸水学雑誌 35 (2), pp.73-81, 1974.
- 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.
- 内田朝子：矢作川中流域におけるアユの消化管内容物、矢作川研究 No.6, pp.5-20, 2002.
- 建設省河川局監修：河川水質試験法（案）[1997年版] 試験方法編、技報堂出版, 1997.
- 山岸高旺：淡水藻類入門、内田老鶴圃, pp.11-12, 1999.
- 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.
- Stevenson R. J, Bothwell, M. L, Lowe R.L.: Algal Ecology, ACADEMIC PRESS, USA, 1996.
- 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.
- 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.
- 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.
- P.R.Horner, 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.
- 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.
- Hirofumi 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.
- Hogland K.D, Roemer S.C. & Rosowski JR.: Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms (Bacillariophyceae). American Journal of Botany 69:188-213, 1982.
- 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.
- 品田 穰：ヒトと緑の空間、東海大学出版会, 1980.
- 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.
- 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.
- 皆川朋子、萱場祐一：設置期間が異なる基質を用いた河床付着物の状態の経時変化とアユの餌資源としての評価、第9回研究発表会講演集、応用生態工学会, pp.147-150, 2005.

皆川朋子\*



独立行政法人土木研究所水循環  
研究グループ自然共生研究セン  
ター研究員、工博  
Tomoko MINAGAWA

福嶋 悟\*\*



独立行政法人土木研究所水循環  
研究グループ自然共生研究セン  
ター部外招聘研究員（横浜市環  
境科学研究所）、理博  
Satoshi FUKUSHIMA

萱場祐一\*\*\*



独立行政法人土木研究所水循環  
研究グループ自然共生研究セン  
ターセンター長、工修  
Yuichi KAYABA