

礫の転がしによる大型糸状緑藻カワシオグサの剥離実験

Experimental scraping of the large filamentous green alga *Cladophora glomerata* off cobbles by rolling along a riverbed

小川 弘子[†], 内田 臣一^{††}

Hiroko OGAWA, Shigekazu UCHIDA

Abstract: The large filamentous green alga *Cladophora glomerata* was experimentally scraped off cobbles by rolling the cobbles by hand along a natural riverbed. We estimated standing crop (loss on ignition) of the algae by following methods. The shape of a tuft of the alga was likened to a spindle, and the volume of the tuft was estimated by finding the volume of the spindle using the thickness and the length. In advance we found a regression equation predicting loss on ignition (LOI) of the tuft from the volume (V): $LOI (mg) = 0.023758V (mm^3)$. Therefore, by measuring the thickness and the length of every tuft of the algae on a cobble we estimated the standing crop (loss on ignition) of the algae on the cobble. In the experiment about a half of the standing crop was scraped by every 15 m rolling, regardless of initial amount of the standing crop before rolling. It suggests that large standing crop raised probability that algae hit the riverbed, and consequently larger standing crop might be scraped. Densely attached tufts of the algae were slightly less scraped both in the number of tufts and in the standing crop, whereas sparsely attached tufts were slightly more scraped. It suggests that dense tufts tend to be only shorted whereas sparse tufts are cut at the roots. Roundness of cobbles had little effect on scraping the algae. But, after rolling the cobbles long over 20 m, the algae tend to be slightly more scraped on the well rounded cobbles. We did not find any effect of the weight of cobbles on scraping.

1. はじめに

愛知県豊田市付近を流れる矢作川の中流域(図1)では、カワシオグサ *Cladophora glomerata* など大型糸状緑藻の大繁茂が1990年代から頻りに観察されるようになった。大繁茂の原因としては、流下土砂量の減少とダムの流量調整による出水流量の減少によって河床が長期安定することが有力と推定されている¹⁻⁵⁾。大型糸状緑藻はアユの良好な餌である微細な珪藻や藍藻を覆うように繁茂してしまう。さらに、カワシオグサについてはアユに摂食されるもののほとんど消化されないため、その大発生がアユの成長を阻害することが指摘されている⁶⁾。したがって、大型糸状緑藻の発生を抑制する対策を考えることは、矢作川中流域の本来の生態系を復元するための第一歩となると考えられる。

ところで、河床礫表面の付着藻類群落の遷移において、糸状緑藻は最終段階に付着するとされており⁷⁾、大型糸状緑藻の繁茂は日本の通常の河川では攪乱が起ること

によって抑制されている可能性がある¹⁾。糸状緑藻に対する攪乱としては、a. 付着藻類の基盤である河床の礫が移動してその礫表面が受ける大きな攪乱、b. 河床の礫は移動しないが、細粒の砂礫が河床の礫間あるいは礫上を移動することで礫表面が受ける攪乱などが想定できる⁸⁾。すでに、主にb.を想定して、1995年から3年にわたり矢作川中流域で砂利投入実験が行われた。この実験では、砂利による付着藻類群落の剥離が期待されたが、大型糸状緑藻に対してはその効果はほとんどみられなかった²⁻⁵⁾。しかし、その後の室内実験より、カワシオグサの生えた基質へ砂礫が衝突することによってカワシオグサが剥離することが観察され、砂利投入は十分に効果を有する可能性が示された⁹⁾。さらに、田代・辻本⁸⁾は、カワシオグサの繁茂動態をシミュレーションし、十分に砂が供給され、頻りに出水が起れば、繁茂は抑制できる可能性があることを示した。

本研究では、これに対して糸状緑藻の剥離に対する効果がより高いと考えられるa.の攪乱で、礫が転がることを想定し、人為的に礫を転がし、カワシオグサがどの程度剥離するか調べた。

[†] 愛知工業大学大学院 建設システム工学専攻

^{††} 愛知工業大学 工学部 都市環境学科

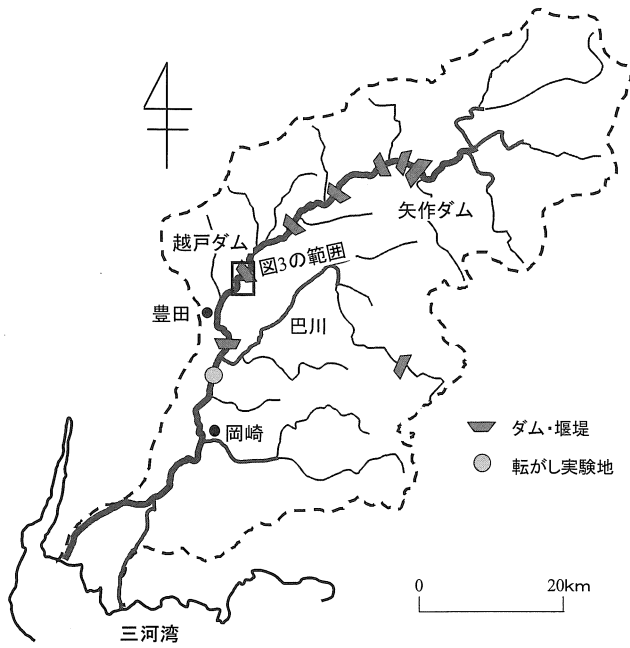


図 1. 矢作川流域図

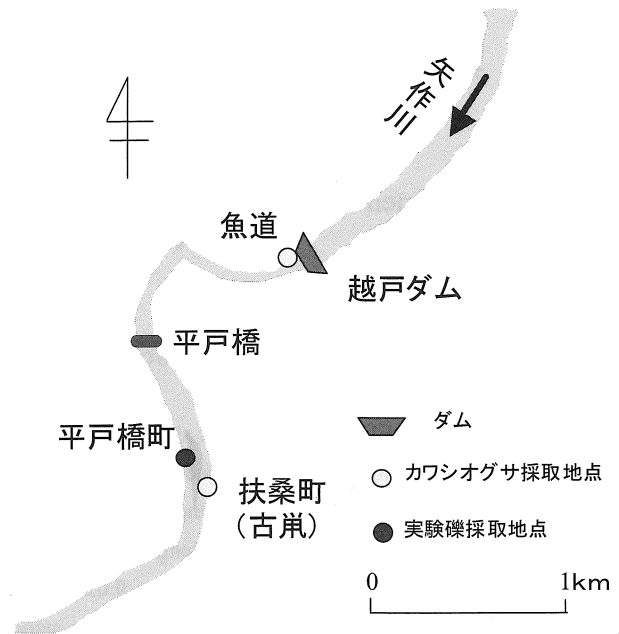


図 3. 採取地拡大図

2. 方法

2.1 現存量測定法の問題点

大型糸状緑藻の現存量は通常、クロロフィル a 量、強熱減量、細胞数等で測定される。これらの測定法では大型糸状緑藻を試料として採取してしまうため、特定の場所における緑藻の現存量を継続して測定することはできない。そのような場合には植被率による測定が採用される(例えば、白金¹⁰⁾)。しかし、植被率では、10% 刻み程度の大まかな測定しかできず、正確さに欠ける点がある。この実験では、植被率よりも正確に現存量を測定する必要があり、また転がしによる減少量を、礫ごとに繰り返し観察するため、試料を採取することなく現存量を測定しなければならない。そこで、次の方法を試みた。

2.2 現存量の測定法

1 株のカワシオグサを最大幅 A、長さ B の紡錘体とみなし(図 2)、 $y = A \sin(\pi x / B) / 2$ ($0 \leq x \leq B$) で描かれる曲線の回転体の体積 $\pi A^2 B / 8$ をカワシオグサ 1 株あたり

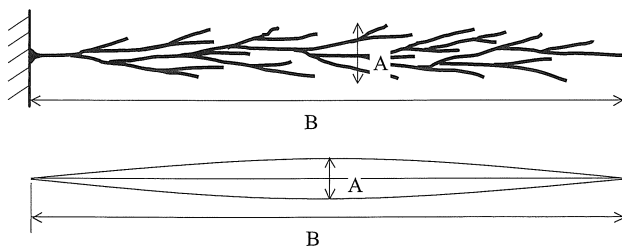


図 2. カワシオグサ (1 株) の模式図

の推定体積とした。カワシオグサ 1 株の最大太さ A と長さ B、および強熱減量を多数測定し、あらかじめ、推定体積と強熱減量の関係を調べ、関係式を得ておいた。転がし実験ではサンプルを採取せず、最大太さと長さのみを測定して、これから求められる推定体積から事前に得ていた関係式によって強熱減量を算出した。

強熱減量は、採取した試料を 70 °C で乾燥後、乾燥重量を測定し、さらに 550 °C で 3 時間燃焼した後の重量を測定し、乾燥重量との差によって求めた。長さおよび太さを測定する際、水分の含み具合によって多少太さが変わるため、水から出して約 10 秒後の水分を十分に含んだ状態で測定した。長さ、太さともにノギスで 0.05 mm 単位で測った。

体積と強熱減量の関係を求めるためのカワシオグサは、豊田市扶桑町(旧名: 古叺)の矢作川(河口から 44

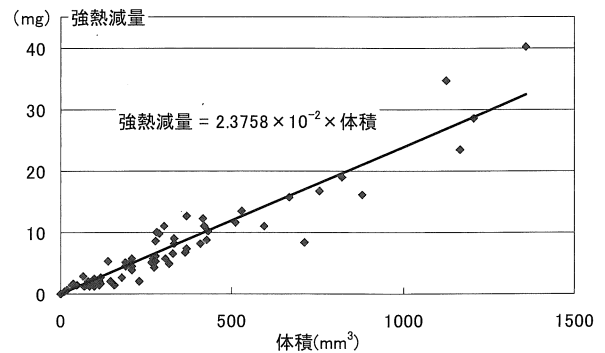


図 4. カワシオグサの体積と強熱減量の関係

km)と越戸ダム直下の魚道の2地点(図3)で採取した。古川ではカワシオグサの付着した礫を、そのまま水に浸して持ち帰り、1株ずつ根元からピンセットで取り、体積を測定した。魚道では、壁面に付着したカワシオグサを、できるだけ根元に近いところから手でちぎって採取し、水に浸した状態で持ち帰り、1株ごとに分けて体積を測定した。

図4に、63試料の体積と強熱減量の関係を示した。古川と魚道の2地点間で関係に違いは認められなかった。強熱減量(mg) = $2.3758 \times 10^2 \times$ 推定体積(mm³) という関係がみられた。実験においてはこの式を用い、推定体積から強熱減量を算出した。

2.3 礫の転がしによる剥離実験の方法

カワシオグサの生えた礫を豊田市平戸橋町の矢作川(図3)にて採取した。転がし実験は矢作川の葵大橋(図1、河口から32km)の瀬において行った。まず、カワシオグサがいろいろな程度に着生した長径11-17cmの6個の礫を採取し、転がす前に礫の写真を撮り、2.2の方法でカワシオグサの現存量を測定した。次に、礫を上流から下流に向かって10mずつ、手で転がした。転がす際は、回転軸が片寄ることのないように注意した。10mごとに水から出し、写真を撮り、カワシオグサの長さ

さを測定した。これを4回繰り返し、合計40m転がした(ただし、礫1については30m)。また、転がした礫は持ち帰り、長・中・短径、重さを測定し、Krumbeinの円磨度印象図¹¹⁾から円磨度を判別した。

3. 結果と考察

3.1 剥離の様子と生え方の疎密との関係

カワシオグサの剥離の様子を、6個の礫のうちの代表的な4個の礫について示した(図5)。剥離には礫2、礫3のような、同じ場所のカワシオグサが徐々に短くなって減っていく様子と、礫4、礫5のような、カワシオグサの生えている場所が少なくなっていく様子とがみられた。

転がす前の礫の写真を、同じ場所のカワシオグサが短くなっていく様子がみられた礫を上段に、生えている場所が少なくなっていく様子がみられた礫を下段に並べた(図6)。上段は付着したカワシオグサの生え方が密であり、下段は生え方が疎らであった。

そこで、転がしによる株数の減少を図7左上に、転がす前の株数をn₀、各距離転がした後の株数をnとし、n/n₀と転がした距離の関係を図7右上に示した。プロットが塗りつぶされているものはカワシオグサが密に生えてい

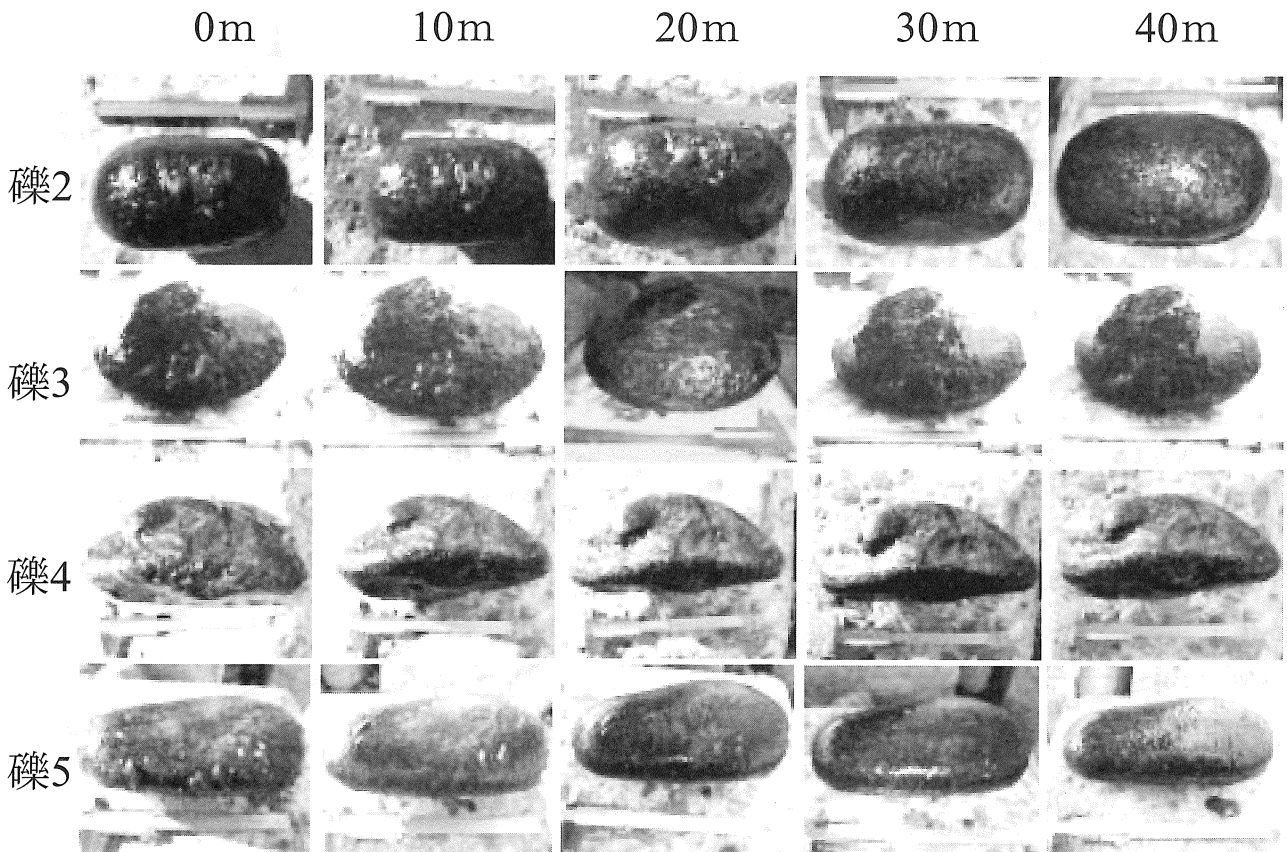


図5. 転がしによるカワシオグサの剥離の様子

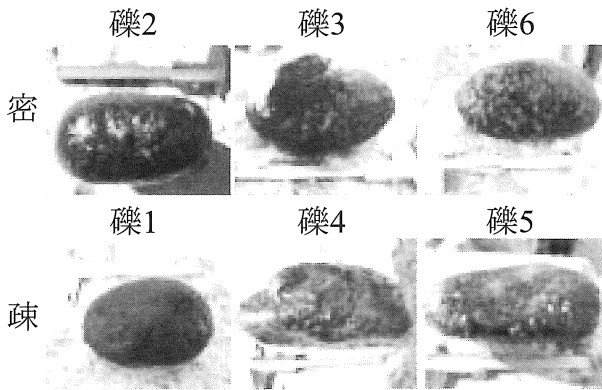


図 6. カワシオグサの疎密

たもの、白抜きになっているものは疎らに生えていたものを表す。株数の変化はさまざまであった。割合で見ると、密に生えていた礫は、40 m 転がした後の株数が転がす前の 55-65 % までしか減少しなかった。一方、疎らに生えていた礫について、礫 1, 5 は 30 % 程度まで減少し、礫 4 はその中間くらいの 43 % まで減少した。

転がしによるカワシオグサの剥離は、河床の礫と衝突した部分で擦り切れることが想定できる。カワシオグサが密に生えていた礫では、株の上に他の株が覆い重なる

状態で株の根元が守られており、河床と衝突した際、株の途中で切れたものが多かったと考えられる。そのため、株数の減少が小さく (図 7 右上, 黒印) 同じ場所のカワシオグサが徐々に短くなっていく様子がみられたのだと考えられる。一方、カワシオグサが疎らに生えていた礫では、株の根元が露出している状態のものも多く、根元から切れ 1 株まるごとなくなるものが多かったと考えられる。そのため、株数の減少が比較的大きく (図 7 右上, 白印) 生えている場所が少なくなっていく様子がみられたのだと考えられる。

以上のように、生え方の疎密が剥離の様子に影響を及ぼすのではないかとと思われる。

3.2 現存量の変化

現存量の変化を図 7 左下に示し、転がす前の現存量が多い礫を太い線で表した。転がす前のカワシオグサの現存量が大きいほど減少した量が多かった。礫 3 に関しては、0-20 m の減少に比べて 20-40 m の減少が急激に小さくなった。礫 2, 5, 6 および礫 1, 4 について、転がす前の現存量がほぼ同じであり、減少のしかたも似ていた。礫 5 は、礫 2, 6 に比べて 6-7 mg ほど多く減少した (図 7 右下)。

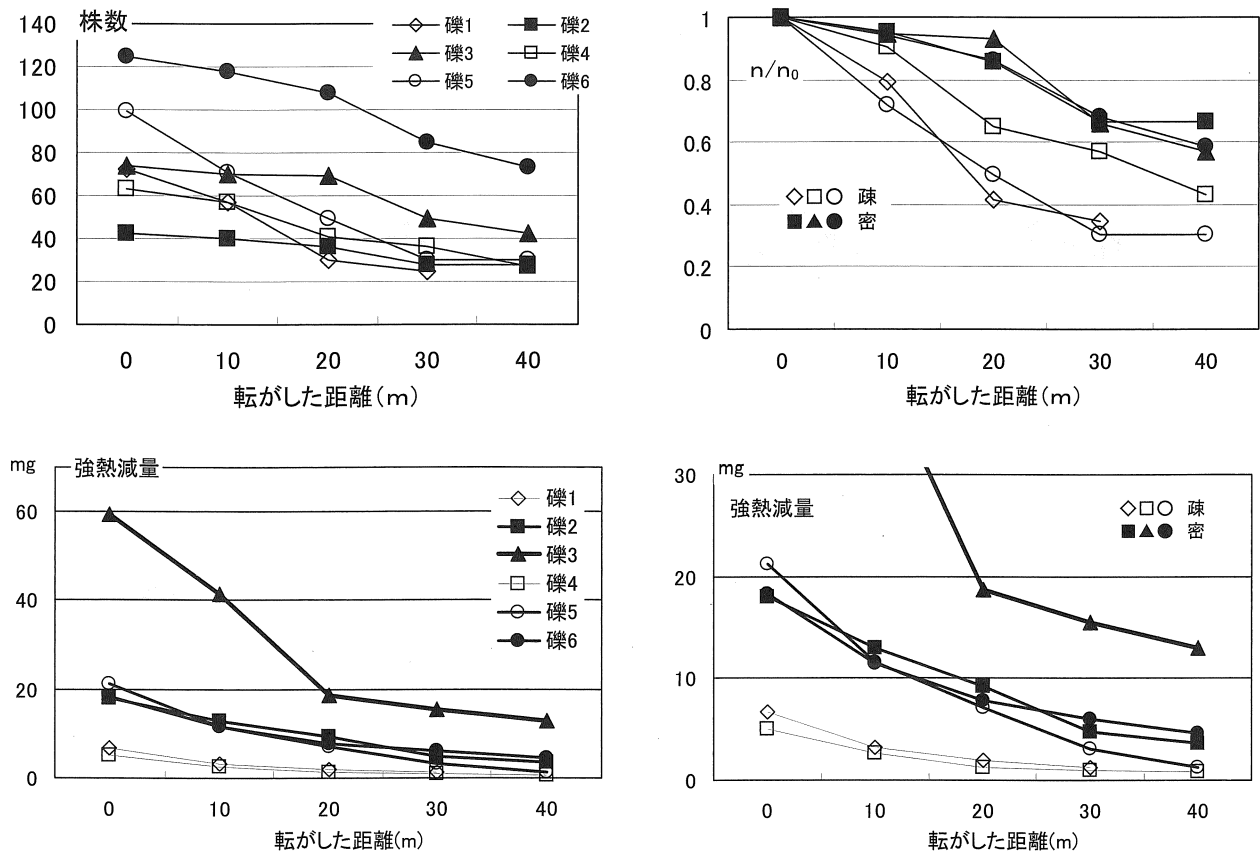


図 7. 転がしによる株数 (左上) とその割合 (右上)、および現存量の変化 (左下、右下は下部の拡大図)

現存量が大幅に減った礫3は、他の礫と比べて粒径の割に転がす前の現存量が多かった。つまり、礫面のカワシオグサが覆っていた面積が他と比べて大きかったと考える。そのため、カワシオグサの生えている場所が河床礫に衝突する確率が高くなり、現存量の大幅な減少につながったと考えられる。

礫を転がす前の現存量を V_0 とし、それに対する各距離を転がした後の現存量 V の割合 V/V_0 の変化を図8に示した。割合の変化には転がす前の現存量との明確な関係はみられなかった。一点鎖線は各距離を転がした後の割合を平均し、その変化を近似した曲線である。その関係は次の式で表される。

$$V / V_0 = e^{-0.0465L}$$

ただし、 L は転がした距離である。すなわち、転がす前の現存量 V_0 に関係なく約 15 m を転がすごとに現存量が半減するという関係が認められる。

どの礫も 40 m 転がした後は、転がす前の 30% 以下まで同様に減少した。ただし、密に生えていた礫はやや減少する割合が低く、疎らに生えていた礫はやや高い傾向にあった。

カワシオグサが河床礫に1回衝突したときの現存量の減少は、カワシオグサの切れた場所が根元に近いほど、現存量の減少は大きくなる。つまり、密に生え、根元の露出が少ない礫では、切れる場所が先端に近いため現存量が減少しにくく、疎らに生え、根元の露出が多い礫では、切れる場所が根元に近いため減少しやすいと考えられる。

3.3 礫の円磨度と現存量の減少割合との関係

礫の円磨度が高いほど河床礫と衝突しにくい場所（凹み）が少なく、衝突する確率が高くなることが予想される。転がした各 10 m の間の現存量の割合の差を減少量

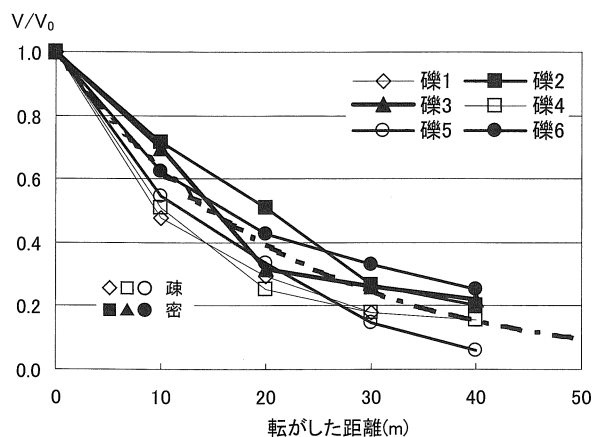


図8. 転がしによる現存量の割合の変化

とみなし、円磨度との関係を図9上・中に示した。0-10、10-20 m 間では、円磨度の影響がほとんど認められなかった。20-30、30-40 m 間では、カワシオグサの疎密に関係なく、円磨度が高いと減少量がやや多い傾向があった。したがって、円磨度による現存量の変化への影響はある程度の距離を転がしてから現れるのではないかとと思われる。

3.4 衝突する力の強さ

カワシオグサが密に生え、礫面を厚く覆っている場合、根元に衝突しにくくてもその力が強ければ、まとめて数本のカワシオグサを擦り切ることができ、現存量が減少しやすくなるのではないかと予想される。衝突する力の

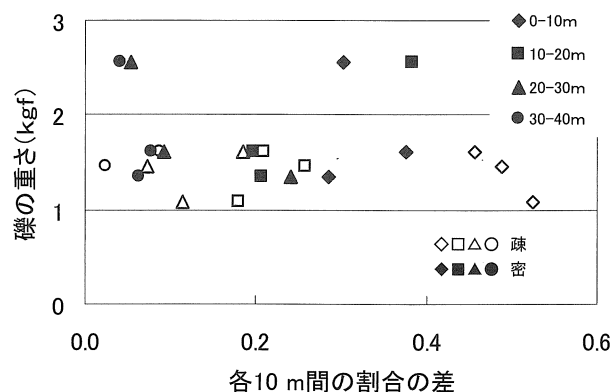
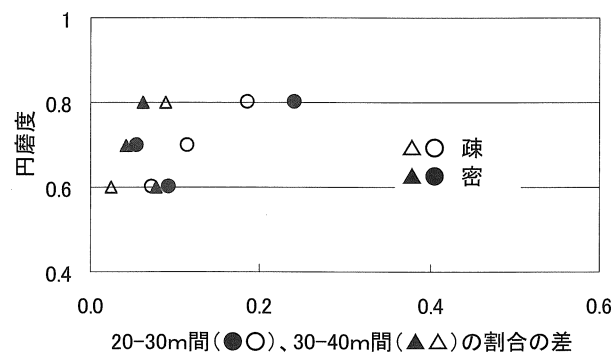
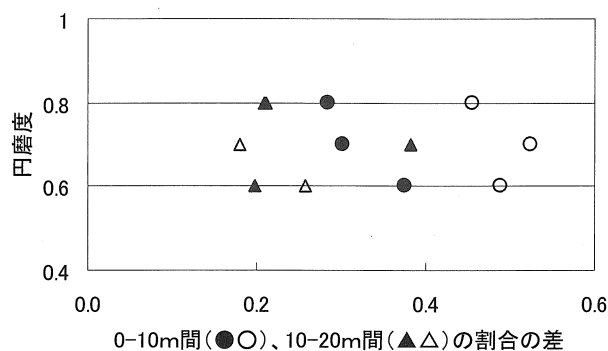


図9. 各 10 m 間の現存量の割合の差と円磨度（上、中）および礫の重さ（下）との関係

強さは礫の重さに関係があると推測し、図 9 上・中と同様、10 m の間の現存量の割合の差を減少量とみなし、礫の重さとの関係を図 9 下に示した。疎、密ともに、どの間においても、両者に高い相関はみられず、礫の重さによる影響は認められなかった。

4. 要約

カワシオグサが着生した礫を転がして剥離させる実験を行った。

この実験における現存量（強熱減量）は、試料を採取せず、次の方法で測定した。1 株のカワシオグサを紡錘体とみなし、その最大太さと長さから求められる紡錘体の体積をカワシオグサの推定体積とし、事前に推定体積と強熱減量の関係式：

$$\text{強熱減量 (mg)} = 2.3758 \times 10^{-2} \times \text{推定体積 (mm}^3\text{)}$$

を得ておいた。そして、カワシオグサの最大太さと長さを測定し、求められる推定体積から強熱減量を算出した。

実験から、下の結論を得た。

- ・転がす前のカワシオグサの現存量の多少に関係なく、約 15 m 転がすごとに現存量は半減した。これは、転がす前の現存量が多いと、河床礫との衝突確率が高くなり、減少しやすくなるためと思われる。
- ・カワシオグサが密に生えた礫は、株数・現存量がやや減少しにくく、疎らに生えた礫は、株数・現存量がやや減少しやすかった。これは、密に生えた礫ではカワシオグサが短く切れて剥離するものが多く、疎らに生えた礫では、根元から剥離するものが多いためと考えられる。
- ・円磨度による現存量の減少への影響は低く、ある程度の距離（20 m）を転がしてから円磨度が高い礫で現存量がやや減少しやすかった。
- ・礫の重さが剥離に及ぼす影響は認められなかった。

謝辞

この研究をまとめるにあたっては、愛知工業大学都市環境学科土木工学専攻河川・環境研究室の四俵正俊教授、

木村勝行教授から指導と助言を頂いた。内田朝子氏、白金晶子氏をはじめとする矢作川研究所の方々には、強熱減量の測定の際にご支援を賜り、また実験に関して多くの助言を頂いた。これらの方々に対して、ここに記して厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 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, 4, pp.159-168, 2000.
- 2) 田中蕃: 砂利投入による河床構造回復の試みとその効果, 矢作川研究, 1, pp.175-202, 1997.
- 3) 田中蕃: 砂利投入による河床構造回復の試みとその効果 II, 矢作川研究, 2, pp.191-223, 1998.
- 4) 田中蕃: 砂利投入による河床構造回復の試みとその効果 III, 矢作川研究, 3, pp.203-246, 1999.
- 5) 田中蕃: 砂利投入による河床構造回復の試みとその効果 IV, 矢作川研究, 4, pp.135-141, 2000.
- 6) 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, 6, pp.5-20, 2002.
- 7) C. G. Peterson and R. J. Stevenson: "Resistance and resilience of lotic algal communities: importance of disturbance timing and current", Ecology, Vol.73, pp.1445-1461, 1992.
- 8) 田代喬, 辻本哲郎: 河床状態の変化に着目した矢作川中流域における河道動態とそれに伴う生息場の変質—底生魚・底生動物の分布と大型糸状藻類の繁茂に関する分析—, 矢作川研究, 7, pp.9-24, 2003.
- 9) 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的研究, 河川技術に関する論文集, 6, pp.125-130, 2000.
- 10) 白金晶子: 矢作川中流域における糸状藻類 *Cladophora glomerata* のモニタリング調査, 河川環境復元総合調査研究事業 平成 12 年度調査報告書, 豊田市矢作川研究所, pp.53-60, 2001.
- 11) 小林学, 恩藤知典, 山極隆: 地学観察実験ハンドブック, p.73, 朝倉書店, 東京, 1994.

(受理 平成 17 年 3 月 17 日)