

早瀬における礫の分級構造の解明

CLASSIFICATION OF SORTING STRUCTURE IN RIFFLES

三宅基文¹・知花武佳²・辻本哲郎³

Motofumi MIYAKE, Takeyoshi CHIBANA and Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 工修 四国旅客鉄道株式会社 (〒760-8580 高松市浜ノ町 8-33)

²正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻助手 (〒113-8656 文京区本郷 7-3-1)

³正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻客員教授 (〒113-8656 文京区本郷 7-3-1)

The development of the model for habitat evaluation notices the importance of the effect of riverbed sediment, however the quantitative surveying method for riverbed sediment is not still established. In this research, new practical surveying method for such riverbed as habitat in riffles is suggested and analyzed sorting structure of several riffles in the same basin. Suggested method includes geodetic survey, measuring the diameters and weights of gravels and taking photos in quadrates on the surface layer. On the analysis, existence of volcanic rocks in spots does not affect the sorting structure on the surface of riverbed. The distribution of short/long diameters to same medium diameter reflects the difference in form of sedimentary rocks between riffles. Ratio of weights between cobbles and pebbles varies on the position in same riffle. The sorting structure in riffles can be detected from these viewpoints.

Key Words: sorting structure, sampling method, riverbed sediment, riffle, gravel

1. はじめに

近年, 河川物理環境から生息場を評価する PHABSIM 等のモデルの発達に伴い, 河川物理環境を示す変数としての底質の重要性が指摘されるようになってきた。とりわけ早瀬においては, 底質により構成される礫の場が多様な生物の棲み場や餌場となっている。しかしながら, そうした生息場評価の目的に対応した底質の定量的評価手法は未だ確立されていない。

そこで本研究では, まず実用的な早瀬表層の礫調査手法を提案する。そして, 沿川地質が異なる河川間で, 礫の分級構造がどの様に異なっているのかを, 提案した手法を用いて解明し, 礫構造からみた川の個性を把握することを目的とした。

2. 礫構造調査地点および調査手法

(1) 礫構造調査地点

本研究では, 多摩川水系の最大の支川である秋川上流部の早瀬を調査対象とした。流域の地質は砂岩を中心とした白亜紀中生代の堆積岩で構成されているが, 北秋川

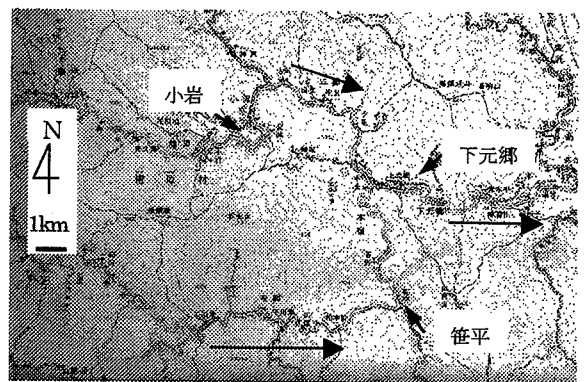


図-1 調査地地図および調査地点

に合流する神戸 (かのと) 川沿いを中心にチャート・凝灰岩・石灰岩などが特異的に分布している¹⁾。

調査地点として, 地質の違いから北秋川・南秋川のそれぞれ1地点 (小岩・笹平), 合流後の秋川における1地点 (下元郷) の合計3地点を対象とし, 蛇行内岸に河原を持ち, それぞれ同等の河床勾配を有すると思われる早瀬を選定した。なお, 川幅は6m~10m, 早瀬瀬頭~瀬尻までの距離は10m程度, 水深は数10cmで3地点とも類似している。3地点の位置を図-1に示す。

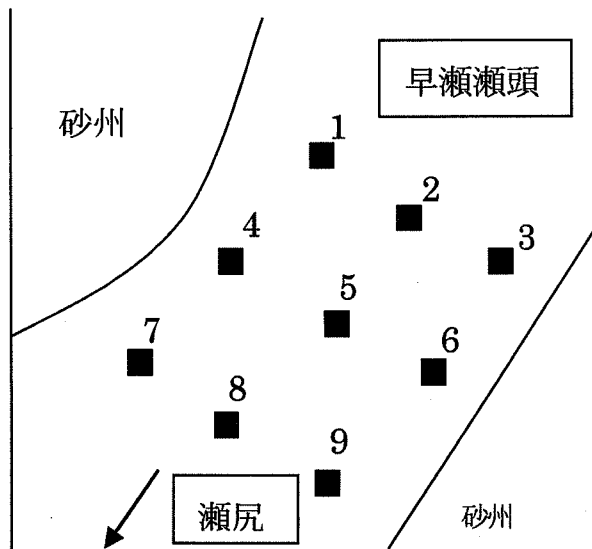


図-2 早瀬内測定点の分布

(2) 調査手法

図-1 で示した小岩・笹平・下元郷の3地点で2003年に2度ずつ現地観測を行った。実施した調査は地形測量・流速測定・礫構造調査・表層礫層厚測定・写真撮影である。

まず、調査地点周りの地形を測量により把握した。ここで、調査地点の三次元地形データを得るために、平板測量による百分の一平面図の作成及びオートレベルによる比高測定を行った。

また流速は、後述する礫構造調査地点で、6割水深における10秒平均の値を3～5回電磁流速計により測定し、その値を平均することで求めた。

礫構造調査では、図-2 で示されるように、早瀬全体になるべく等間隔となるよう9つの測定点を設定し、各点において60cm×60cmの方形枠に30cm間隔でワイヤーを張った「田」の字型の枠(図-3)を用いて、次節で述べる手順に従って行った。なお、この調査では河床を掘り起こさずに片手で容易に採取できる河床表面の浮き石・載り石のみを対象とし、礫間が細粒分で埋められていない深さまでの礫構造を評価することとした。今後はこれを表層の礫と定義する。また、オートレベルを用いて、礫採取前後で河床高がどれだけ変化したかも計測し、この高さの差を表層礫層厚として記録した。また、水中撮影用デジタルカメラを用い、礫採取地点の水中の様子、およびその周辺地形の記録を行った。

(3) 礫構造調査の詳細

表層の礫構造調査は、以下の手順に従って行った。

1. 方形枠内から、中間径10cm以上と思われる石(以下、大礫と呼ぶ)を拾い、その中間径をノギスにより測定すると共に、その重量を測り、地質、藻類・底生動物の巣の付着を定性的に観察・記録した。中間径10cm以上の浮

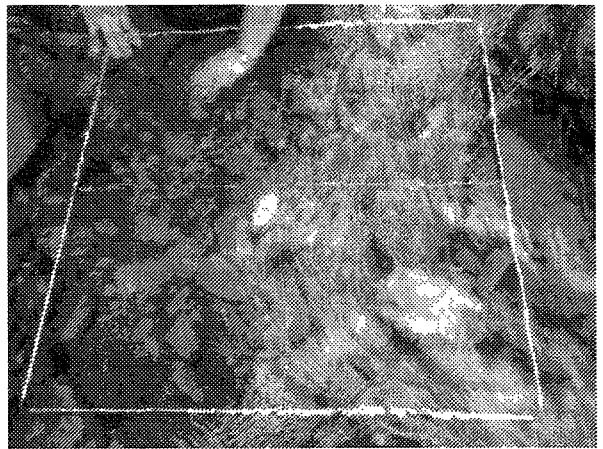


図-3 方形枠を用いた礫構造調査

き石、載り石が方形枠内からなくなるまでこの作業を繰り返す。

2. 1の後、方形枠の左上1/4区画(30cm×30cm)から中間径3cm程度以上の石(以下、中礫と呼ぶ)を全て採集し、その全体重量を測定した。また、その礫全部が写りこむように、標尺とともに写真撮影し、後に礫径を判読可能なように配慮した。なお、ここでの結果は後に4倍することで、方形枠全体(60cm四方)に占める割合とする。

3. 2の後、方形枠の左上1/4区画(30cm×30cm)の表面に残っている砂分を一部採取し、タッパーに保存した。これは持ち帰り、後日ふるいわけ試験を行うためのものである。

この手順による一連の調査により、河床表層の礫をそのサイズにより3段階に分けて評価することとした。この方法により、大礫については丁寧に観察することができ、多量に存在する礫については、調査範囲を狭くするとともに、写真からの礫径判読などを組み合わせることで現地での作業量を大幅に軽減することが可能となり、現地から持ち帰る試料もごく少量となる。これらはとりもなおさず現地に持参する装備の簡易化にもつながる。

また、底生動物を中心とした生息場の観点に立てば、大礫の状態は巣の安定性や居住空間の広さを左右し、中礫は造網型昆虫の巣材の一部となり、砂分は大礫のはまり具合に影響すると共に、巣の状態にも影響を与える。このように、礫サイズによって生物に与える影響も異なると考えられるため、本研究のようなサイズ分けによる礫の評価が新しい知見をもたらすことが期待される。

なお、第一回目の調査では、礫径のデータとして中間径のみを測定していた。これはふるいわけ試験を行った場合に、中間径がふるいを通るかどうかを決定することになるので、礫の代表粒径として十分な性質を持っていると判断したためであった。しかし、後にその形状を評価しない限り礫構造の特徴が現れない事が明らかになっ

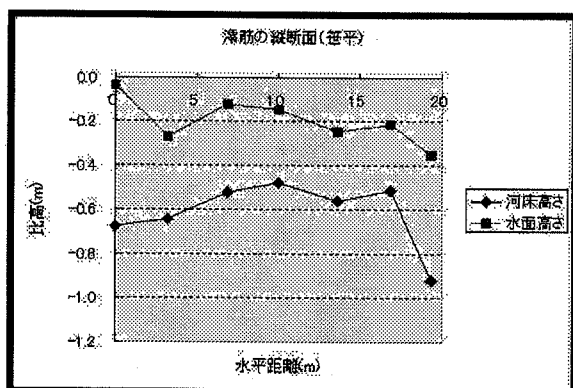


図-4 南秋川笹平地区 滞筋の縦断面 (左が上流)

表-1 秋川早瀬の河床勾配及び水面勾配

	南秋川笹平	北秋川小岩	秋川下元郷
河床勾配	0.0129	0.0132	-0.0043
水面勾配	0.0165	0.0251	0.0204

※最も上流側の測定点と最も下流側の測定点のデータより算出

ため、第二回目の調査では、中間径に加えて短径および長径も測定するよう変更した。

3. 各早瀬の地形および水理環境

(1) 各早瀬の地形

地形測量の結果、3地点いずれの早瀬においても、瀬頭付近では下流に向かいゆるやかに河床が上昇した後、淵に近づけば急勾配で落ち込むという典型的な早瀬の構造をとっていた。一例として南秋川笹平地区の滞筋に沿った縦断面図を図-4に示すが、3地点で、細部の形状は異なるものの、同様のパターンであった。また、各早瀬の河床勾配および水面勾配は、表-1の通りである。秋川下元郷地区のみ、瀬尻に立ち入れず、瀬頭より標高の高い点までしか測量できなかったため、河床勾配の値が負値になっているが、各早瀬滞筋の縦断面の形状が似ていることは観察により確認しており、いずれも河床勾配が1/75前後、水面勾配が1/50前後である。

各地点の特徴としては、南秋川笹平地区と北秋川小岩地区の早瀬は早瀬長に比して早瀬幅の狭い「縦長型」の早瀬であるのに対し、下元郷地区の早瀬は早瀬長に比して早瀬の広い「横長型」の早瀬であることが分かる。

横長型の早瀬では、河床礫に網状の巣を張って生活する生活型の底生動物が、縦長型の早瀬に比べて多いという観測結果が存在することから(加賀谷私信)、この早瀬の平面形状が生息場を評価するファクターとなり得るものの、今回は考察の対象から外す。

(2) 各早瀬の水理環境

各地点のFr数分布について表-2に示す。Fr数は各地点とも0.3~1.0の広い範囲で変動していたが、「滞筋と両

表-2 秋川早瀬のFr数分布

(左上が測点1, 右下が測点9 (図-2))

<上流側>

0.40	0.55	0.57
0.38	0.62	0.36
0.60	0.66	0.43

南秋川笹平地区

<上流側>

0.67	0.35	0.40
0.50	0.49	0.47
0.72	0.60	1.05

北秋川小岩地区

<上流側>

0.42	0.54	0.39
0.52	0.68	0.55
0.90	0.73	0.31

秋川下元郷地区

岸側」ないし「瀬頭と瀬尻」という比較においては、明瞭な差は見受けられなかった。これは、対象区間が上流域に存在し、水深の割に礫が大きいために、局所的な落ち込みや堰上げが生じているためである。

水深、流速分布そのものに着目した場合、南秋川笹平地区では他2地点に比べて流速が遅めの観測地点が多く見られたが、これは水際部が他2地点に比べて浅くなっているという断面形状の違いによるものであった。このように、多少の違いはあるものの3地点とも多様な流れを有しており、水理環境の差は早瀬間でも早瀬内でもあまり無いと考えられる。

4. 礫調査結果およびその分析

(1) 個々の大礫に着目した場合の流域間での比較

本研究によって採取された大礫はほとんどが砂岩であり、火成岩やチャートが特徴的に分布している北秋川でも、それらは1早瀬につき10個程度しか拾い上げることができず、これは全大礫の10%程度にしかない数であった。

合流後の下元郷地区でも1早瀬につき火成岩やチャートの大礫を4個程度拾い上げることができたが、これは北秋川の礫が南秋川の礫と混ざること、個数割合が低下するという状況を反映している。このように火成岩やチャートが占める割合は低く、その存在が礫構造に与える影響はないと判断した。また、その分布に着目しても、同一の早瀬内、すなわち瀬頭と瀬尻、または滞筋と両岸側という観点で、礫種の違いを見出すことはできなかった。

そこで、地質に関係なく個々の礫の形状と流域の地質との関連を見出すべく、各早瀬で大礫について形状係数($d_1 d_3 / d_2^2$: d_1 は長径、 d_2 は中間径、 d_3 は短径)を計算し、中間径との関連を見た。おおむね、形状係数が1.0だと礫

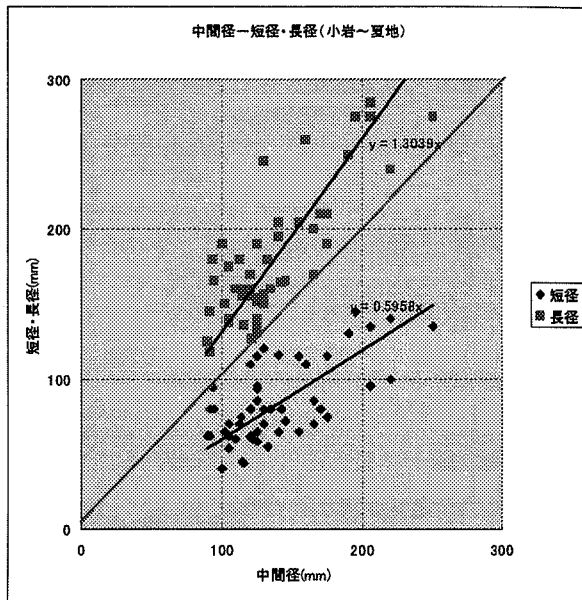
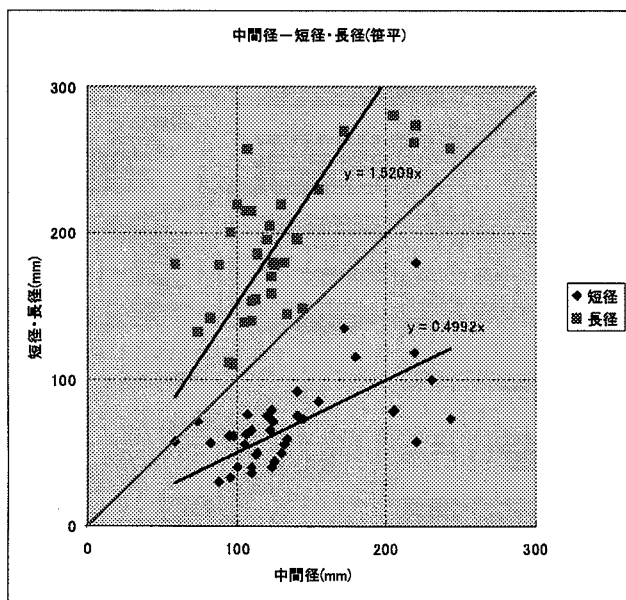


図-5 中間径に対応する短径と長径 (左：南秋川笹平地区 右：北秋川小岩地区)

は球体といえ、1.0 を超えると柱状、1.0 未満だと円盤状であるという目安になる。しかしながら、結果はどの地点においても中間径が 100～150mm、形状係数が 0.5～1.0 となり、どちらかという円盤に近いという程度で、流域間での礫の形状の差を表現する事はできなかった。しかしながら現地の河原の様子は、明らかに南秋川では礫が扁平な形状に近く、河原が平らで歩きやすいのに対し、北秋川では大礫がゴツゴツととび出ており歩きにくいものとなっている。ここからは、この二地点の違いに着目して解析を進める。

形状係数を用いたのでは、異なった形のものを同じ値で評価している可能性があるために、横軸に中間径を、縦軸にその礫に対応する短径と長径をプロットしていく方法を提案する。これにより、同一の中間径を持つ礫同士の短径や長径のばらつきを捉えることができる。この試みを南秋川笹平地区と北秋川小岩地区において採取された礫に対して行ったものを上の図-5 に示す。

まず、短径の中間径に対する比に着目すると、南秋川では 0.5、北秋川では 0.6 となり南秋川の方が扁平な断面を有する礫である事がわかる。次に長径の中間径に対する比に着目すると、南秋川では 1.5、北秋川では 1.3 となっており平面形状は南秋川の方が長細いものが多いことがわかる。この違いは、同じ砂岩でも南秋川では地層の節理(割れ目)の間隔が北秋川に比べて狭いということが考えられるが、地質の観点からの考察がさらに必要である。このように、礫形状の違いを定量的に示す事が可能となった。

(2) 大礫・中礫の早瀬内および流域間での比較

まず、図-6 に示したのは南秋川と北秋川のそれぞれに於いて採取した大礫・中礫の粒径加積曲線である。この

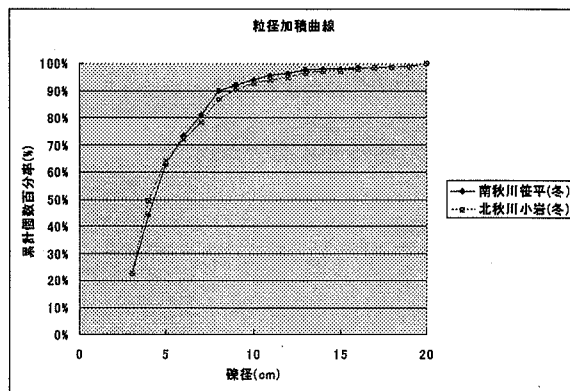


図-6 南秋川笹平地区と北秋川小岩地区における大礫・中礫の粒径加積曲線

ように中間径を用いた粒径加積曲線は、2つの早瀬ではほぼ重なっており、大礫と中礫は、その粒度分布においては、この2つの早瀬の間で差が見られない。

そこで、大礫と中礫が早瀬内でどのように分布しているのかに着目する。ここでは、礫採取ポイント毎の礫の総重量およびそれに占める大礫(礫径 10cm 以上)と中礫(礫径 3cm～10cm)の構成割合の分布を比較する。南秋川笹平地区・北秋川小岩地区・秋川下元郷地区の3地点での大礫と中礫の構成割合のデータを図-7 に示す。

ここでも、沿川地質が異なる南秋川と北秋川の間でも、明瞭な傾向というものを見出すことができず、三地区とも同様の傾向を示している。これは「沿川地質が礫構造に影響する」といった当初の予想とは異なる結果である。

一方、同一の早瀬内での大礫と中礫の礫構成の空間変化に着目してみると、やや例外は見受けられるものの、全ての早瀬に共通と思われる特徴を3つ挙げる事ができる。

- ・ 滞筋では、瀬頭から瀬尻に移動するにつれて中礫の割

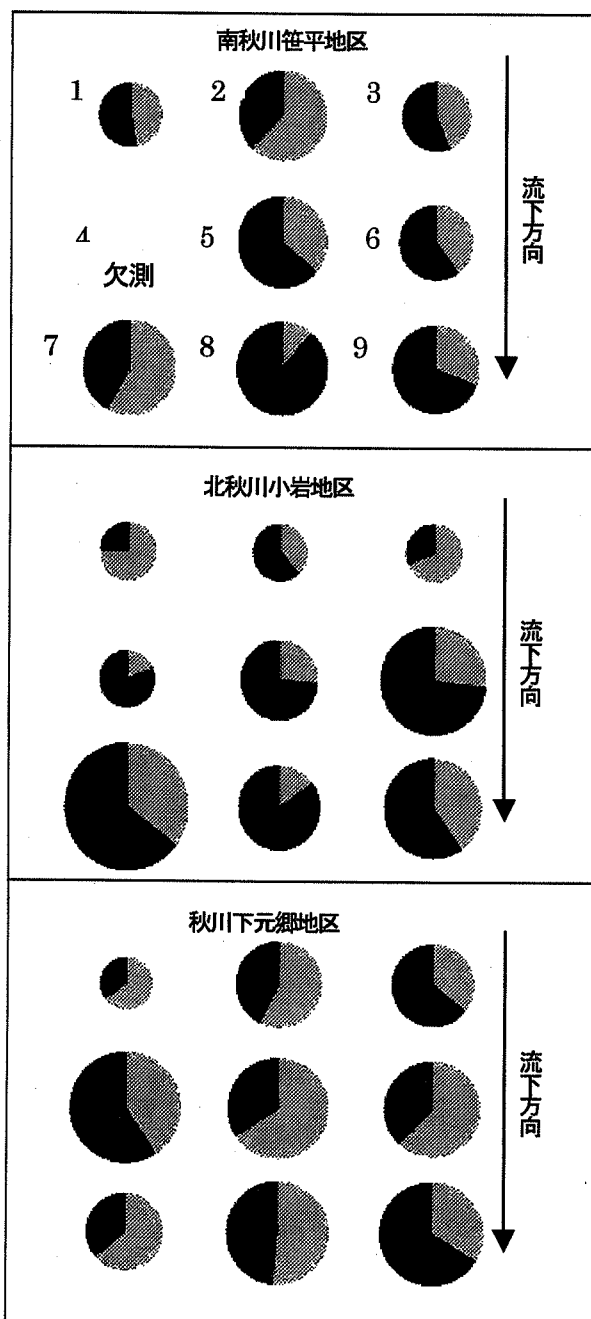


図-7 第1回調査における大礫と中礫の構成割合
(濃：大礫 淡：中礫 円の面積：その地点の礫の全体量)
(上：南秋川笹平 中：北秋川小岩 下：秋川下元郷)

合が減少し、滞筋瀬尻では中礫の存在量が大変少ない。すなわち、比較的大きな礫が空隙の多い状態で堆積している。

- ・ 上項にもかかわらず、滞筋の両岸側では瀬尻であっても豊富な中礫の存在が認められる。
- ・ 表層に存在する大礫と中礫の両方を合計した重量は、瀬頭よりも瀬尻のほうが大きくなる。

このように、早瀬の基本特性と思われる礫の分級構造を捉える事ができた。そして、早瀬全体の粒度組成や、早瀬内での礫径分布は、流域地質の粒度組成の影響をあまり受けておらず、河床形状と出水規模によって規定さ

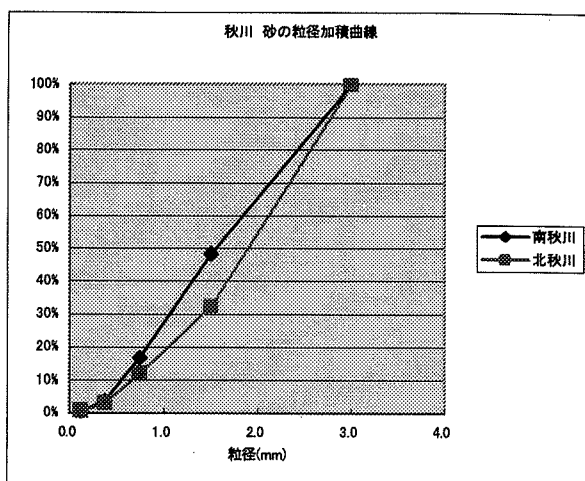


図-8 南秋川笹平地区と北秋川小岩地区における砂分の粒径加積曲線

れる掃流力分布のみと対応している可能性が示唆された。

次に、河床表層礫の層厚の結果にうつる。礫調査前後の河床高変化を比較した所、早瀬内での違いはあまり顕著に見られなかったものの、早瀬内の9点で平均した値は南秋川では3.5cmなのに対し、北秋川では7.5cmにも達し、顕著に異なっている事がわかった。しかし、図-7で円グラフの大きさとして表した表層礫の総重量を比較してもわかるとおり、表層礫の総量は北秋川と南秋川では大きな差が見られない。上述したとおり、北秋川では南秋川に比べて礫が丸みを帯びたものが多いという事実は挙げられるものの、中間径に対する比で見れば1割程度であるため、中間径が15cmであったとしても1.5cm程度の差にしかならないはずである。にもかかわらず、このような差が見られた原因は、北秋川の方が礫と礫との結びつきが弱く、表層礫層に空隙が多い事を表している。つまり、北秋川の方が南秋川よりも表層の礫がルーズであり、空隙が大きいということが言える。

(3) 砂分に着目した場合の流域間での比較

中礫よりも細かい砂分については、1つ1つの粒子に着目しても違いはなく、その総量も把握できないために、その粒度組成に着目する。その結果得られた粒径加積曲線を図-8に示す。このように、砂分について両流域を比較すると、南秋川の方が北秋川よりも細粒分の占める割合が大きい様子が見て取れる。

5. これらの結果から把握される礫の立体構造

以上の結果より、明らかになった事をまとめると次のようになる。

- ・ 横軸に中間径、縦軸に短径・長径を取ったグラフ上に礫径をプロットする事で、各流域に特徴的な礫の形状をわかりやすく表現することができる。これによ

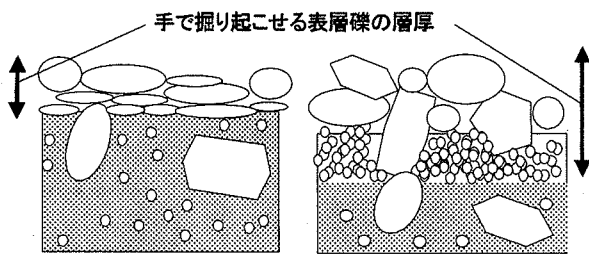


図-9 南秋川（左）と北秋川（右）の河床礫立体構造モデル

り、南秋川の方が扁平で長細い礫が卓越する様子が表現できた。

- ・ 地質により礫の形状が異なっても、中礫以上のサイズに関しては、その粒度組成及び早瀬内の分級が地形や出水規模に規定されており、地質による粒度組成の影響を受けにくいと考えられる。
- ・ 表層を構成する礫の総重量が同じでも、その層厚は地点間で大きく異なっていた。これは表層礫間の空隙の量と対応している。
- ・ 中礫以上の粒度組成が同じであっても、その下層に存在する砂分の粒度は異なっていた。

これらを踏まえ、南秋川と北秋川の礫の立体構造をモデル的に図示すると図-9 のようになると考えられる。左側の南秋川の早瀬では、扁平な形状の大礫・中礫が河床表面を覆っているが、空隙は少なく比較的密につまっている。その下層では細かい砂分が卓越しており、半分以上埋没した礫を素手で掘り出すことはできない。

一方、右側に示した北秋川の早瀬では、表層礫の上部には浮き石となった大礫・中礫が多く、その下部にやや粗い砂分の層が存在する。この下層に大礫が半分埋没した状態で存在したとしても、粗い砂分故に片手で簡単に掘り出されることもある。

ここで、南秋川では扁平な礫が Filter Layer[®] としての役割を果たしているため細粒分が下層に留まりやすいが、北秋川では礫間に空隙が多いため、細粒分が抜けて比較的粗い砂が大礫下部に残留していたと考えられる。

すなわち、地質の差がもたらす礫形状の違いが表層礫のアーマ化構造にも差をもたらす、特に鉛直方向における粒度分布に特徴が現れたものと考えられる。

このように、本研究で提案した礫調査法の結果を用いて、鉛直方向に異なる礫の立体構造を示すことが可能である。

6. 考察とまとめ

本研究では、大礫の形状、大礫と中礫の構成割合、表層礫の総重量と層厚、表層下部に存在する砂の粒度に着目することで、地質の異なる流域間で礫構造の比較を行った。そして、これらの項目を測定することで、中間径に着目した粒径加積曲線だけでは全く違いの現れなかった二地点でも、その礫構造は大きく異なっていた事を示した。

一方、大礫と中礫の構成割合は流域地質と関係なく、早瀬内ではほぼ一定の分布形態を持つことがわかった。浅くて急勾配な上流域の早瀬においては、Fr 数に見られる水理環境は面的に違いが見られなかったため、このような礫の分級は早瀬の生息場多様性を考える上で極めて重要である。実際、滞筋沿いの瀬尻においては底生昆虫の巣はあまり顕著に見られず、瀬脇の下流端には極めて多くの巣が見受けられたが、この違いは、滞筋下流端では巨礫が多く巢材となる中礫が少ないにもかかわらず、瀬脇の下流端では巨礫の間に適度な中礫が存在しているということも関係している可能性がある。

このように、仮に地質により生産される土砂の粒度組成が異なっても、早瀬のように平水時でも強い掃流力を受ける領域では、その力に従った分級が生じるため、類似する水理環境の早瀬は類似する粒度組成を有していると考えられた。しかしながら、地質の違いにより大礫の形状が異なることで、その下部での粗粒化の程度は異なる可能性があることを示した。

今回の研究を通して、その傾向は捉えられているものの、今後さらにデータを重ねていく必要がある。

参考文献

- 1) 東京都地盤地質図（三多摩地区）、東京都総務局災害対策部、1976.
- 2) 知花武佳、岡田久子、鈴木一平、岡滋晃、辻本哲郎、玉井信行：形状に基づく早瀬の分類と Fr 数分布に関する基礎的研究、応用生態工学研究会第6回研究発表会講演集、pp51-54、2002.
- 3) 河村三郎：多自然型河川工法はいつかあるべきか、多自然型川づくりシンポジウム講演論文集、pp1-31、1991.
- 4) 三宅基文、知花武佳、辻本哲郎：早瀬における礫構造から見た生息場評価、応用生態工学研究会第7回研究発表会講演集、pp75-78、2003.

(2004. 4. 7受付)