

砂利投入による河床構造回復の試みとその効果 III

The results of an attempted experiment to restorate the Yahagigawa River by addition of gravel [PART III]

田中 蕃

Ban TANAKA

1. はじめに

おそらくは砂利不足が原因であろうと考えられる矢作川の病んだ状態は、多くの場面で目に見える形で姿を露にしてきた。

本来であれば大地を刻んで、削刻した物質を下流に運び、新しく大地をつくる作用を持つ河川が、上流で起こるはずの浸蝕作用を、自ら築いてきた大地に流れる河川内で営むという、自壊のためにエネルギーを消化しているのである。

豊田市内の矢作川の河床の低下は、数メートルに及んでいる。水利用が激しいため、流量の低下はすさまじいが、過去数十年の水面は河川遺構の位置を見れば一目瞭然で、現河床と過去の通常水位との高度差は10メートル弱に達する場所もあるであろう。

河川水が河床を抉り取る時には流れやすいものを優先する。この傾向は、流量、流速に表現されるエネルギーが小さくなるほど、砂利のような軽い物質に対し選別的に大きくなるはずである。さらに粒度は小さいが付着性の高いシルト質の大量の供給があると、微細な間隙にはまり込んでしまう。そしてこれらの粒子を洗い出す力はもはや河川エネルギーの中にはなく、シルトを沈積、固着させ、アーマーコートの状態を生み出す。河床が本来と違う形で安定化するわけで、これが私たちには、病んでいる河川の第一印象としてとらえられる。

次いで生じたのは根で他物に固着して繁茂する植物の増殖である。当初目についたのは大型糸状藻類、とりわけ本研究の発端となったカワシオグサの発生と経年的な増加である。糸状藻類には多々あり、その存在も認められるが、異常と思われる発生量に達するのはこの種だけである。さらに最近では平戸橋の下流部で、オオカナダモなどの高等水生植物が大増殖中である。これは河床安定に加え、流速の低下と水質の富栄養化を発生原因として除外できない段階にきたことを感じさせる。第二次的印象として、病んでいる河川の、見るに見兼ねる壮絶な姿がここにある。

こうした一連の現象に対し、河床の砂利不足を根本的な一因ととらえ、人為的な砂利供給によって事態が復元の方向へ進行させることが可能かどうかを、当研究所は1995年から実験してきた。その結果は、すでに2回にわたって報告してきたが(田中, 1997&1998)、本報はその3回目である。通常では行い難い大規模での現地実験だが、それでも大自然の中ではあまりにも小さすぎる規模で、覚悟の上のことであったが計画通りに事が運ばぬのもどかしさがある。有用な結果を得ることへの期待は確かに大きい。この種の実験ではどういうことが起こり得るのかの情報をまず蓄積しておく必要もある。本報もそういう視点に立って研究した、人によっては重いとも軽いとも取れる成果である。

前2報までは阿摺ダム下流の左岸側での砂利投入結果であったが、左岸投入の砂利は、流れに平行に左岸側のみを流れる事実を確認した。流れに対し垂直な砂利の拡散ははじめから考えていないが、ある程度の拡散効果すら否定する現実には、隘路とはいえ右岸側に砂利不足状態を放置してきたわけで、一つの河川の限定区域で縦割りに別の河床環境を持つ実験となったわけである。これでは砂利投入地点より下流で何が起こったかという重要な観察は、あまり意味を持たないことになる。本報では、上に述べた以前の研究の欠陥部分を補う意味で、対岸側（右岸：豊田市藤沢町）から砂利を投入してみた結果について述べる。3年間にわたって、やっと横断的に砂利が投入された状況をつくりだしたわけであるが、こうした長期にわたる砂利投入実験は、多くの河川利用者の利害を無視して実行し難く、1回当たりの投入砂利量を極力制限しかつ投入時期を調整してみても理想的には進まない。実験の有効性は、細切れ的な結果のつなぎ合わせをいかに納得いく形に仕上げるかに掛かっているといえよう。

阿摺ダム直下の従来の砂利投入地点で、本来の目的である駆除すべき対象のカワシオグサの発生が実験開始以来まったく見られず、その駆除効果を確認できぬ状況が続くと予想された。そのため本報では常時カワシオグサの見られる場所に実験区を設ける必要性から、これまでの阿摺ダム下流とは別に、平戸橋下流左岸、豊田市扶桑町の古鼠水辺公園に投入定点を設けた。この場所における実験結果についても、併せ報告する。

なお1997年度には2地点で各2回の砂利供給があった。2回目についてはいずれも年度末ぎりぎりまで、砂利堆積厚および粒度分布の追跡結果をデータにできなかったため、本報では2回目投入に関しては、短期間の生物学的追跡結果のみを記した。

2. 実験

2-1 投入砂利の産出地、産出状況

矢作川水系で採取された砂利のみを使用した。次の二つの産出地がある。

- a. 本川上流、東加茂郡旭町時瀬で、支流明智川との合流地点付近で河原に堆積したもの。以下時瀬産と記す。
- b. 支流巴川、東加茂郡足助町田振付近の河床浚渫した砂利。本川起源ではないので、事前に投入予定地の扶桑町の水生生物相を調査し、使用を決定した（決定にいたる調査結果は本稿では省略する）。以下巴川産と記す。

2-2 粒度分布測定

粒度は表1に示した篩6種類を用い、水中で分別して7種のグレードで分布比率を求めた。分別後、シャーレにグレードごとに採取し、これを散逸しないようにして定量になるまで室内乾燥した。分布比率は重量百分率とした。

表1 砂利粒度分布測定用篩の性能とグレード

篩のmesh	採取可能粒径	採取堆積岩の種類	粒度グレード
3.5	5.6 mm<	礫層	a
5.5	3.35 mm<	礫層	b
8.6	2.0 mm<	礫層	c
16	1.0 mm<	砂層	d
36	0.425mm<	砂層	e
100	0.125mm<	砂層	f
(透過粒子沈殿物)	0.124mm>	砂層+泥層	g

2-3 投入地点および投入方法

投入地点：A…豊田市藤沢町日向 595 番地 1 地先(通称, そうじ場)。本報では藤沢町として統一して記す。前年度までの投入地点, 東加茂郡足助町大字大河原字辻畑 118, 119 地先の対岸。

B…豊田市扶桑町 2 丁目 2 番地先(古鼠水辺公園)。本報では扶桑町として統一して記す

投入方法：産地から投入地点までダンプカーで搬送し, 下に記す方法で投入された。

藤沢町においては, 搬入は 2-4 に記した期間にわたるので, 前年までのように土木工事用車両による川の中への全量押し込みは行わず, 初期に約 1/3 程度川の中に入れた後は, 搬送の度にダンプカーで岸辺に下ろして, 増水時に自然に浸蝕されて川に取り込まれそのような位置に常に置くことに止めた。量的に 1500 m³ とかなり多いため, 岸辺へ寄せた部分の幅は約 50 m に達した。さらに年度末になって同量の追加があったが, これも同じ手法で処理された。

扶桑町では 1997 年 1 月下旬から 2 月下旬にかけて約 1500 m³ を搬送して投入地点の岸に積み置き, その後川の中に広く薄く押し入れたが, 最高地点が旧来の岸辺で, これから緩傾斜で川に入る形となる手法をとった。したがって, 工事後の汀は, 元の位置からかなり前方(沖の方)に移ったことになる。当然のことながら, 増水時には緩傾斜放置部分は冠水浸蝕される。さらに年度末に追加搬入があったが, これは先に広げられた場所に降ろされた後, 同じ手法で川に投入された。

2-4 投入時期および投入量

藤沢町：平成 9 (1997) 年 4 月 28 日～6 月 15 日, 1500 m³ (時瀬産)

平成 10 (1998) 年 3 月 24～25 日, 1500 m³ (時瀬産)

扶桑町：平成 9 (1997) 年 1 月 27 日～2 月 25 日, 1500 m³ (時瀬産)

平成 10 (1998) 年 3 月 21～23 日, 1500 m³ (巴川産)

2-5 投入砂利追跡調査定点および生物調査定点

藤沢町：対岸側での投入経験から、投入砂利は投入側の岸に沿って流れることが判明している。今回は右岸に投入したことから、右岸沿いに No. 1 (投入地点に約 50 m 幅があるがその下流側末端から 10 m 下流)、No. 2 (同じく 50 m 下流)、No. 3 (同じく 200 m 下流) および No. 4 (同じく 450 m 下流) の 4 地点、さらに砂利投入の影響を被らない地点として砂利投入地点の上流側末端から約 10 m 遡った No. 0 地点、左岸側の比較対照区として No. 3 の対岸に No. 3' (同じく 180 m 下流、前年度投入点の 200 m 下流) の計 6 地点を砂利堆積厚測定および粒度測定サンプル採取地点と定めた。

生物調査地点は前年までの調査地点 St. 4 を中心として、左右両岸に St. 4 a, 4 b (以上左岸側)、4 c, 4 d (以上右岸側) の 4 地点と、さらに砂利投入の影響のない地点として過去定点としてきた St. 5 の計 5 地点を定めた。これらの位置は、図 1 に示した通りである。

扶桑町：この実験場には矢作川本川で初めて近自然工法によって造られた巨石水制が 9 基ある。理論的には水制の裏には砂が溜まるはずであるが、供給されるべき砂が不足しているためか、現実には目立った砂の蓄積がない。砂利投入の結果として水制の効果を知ること、単なる堆積厚推移の付属事項にとどまらない重要事項ととらえた。藤沢町と異なって、水制による流れの攪乱攪乱があることから、投入側の岸に沿った砂利の流れにはならないと考えるのは当然であるが、川舟による砂利流下状態の追跡調査でも、流速が大であることもあって流下の道筋の判断がきわめて困難であった。

したがって砂利追跡調査は試行的に No. 0 (投入地点の沖)、No. 1' (No. 0 から 65 m 下流)、No. 1 (同じく 100 m 下流)、No. 2 (同じく 220 m 下流)、No. 3 (同じく 360 m 下流)、No. 4 (同じく 650 m 下流) の計 6 地点を定めた。なお No. 1' は砂利の堆積が著しいことが後に見出だされ、3 回目の調査から追加設定したものであるが、No. 1' と 1 は 2 番目の水制の裏と 3 番目の水制の表 (上流側) の位置関係にある。

生物調査には計 4 地点を設けた。うち 1 地点 (St. B) は対岸の中洲側であるが、水制による流れの押しだし効果が当然あることとして特に選定した。なお扶桑町では、投入地点の上流は広くよどみになっており、調査に適した地点がないため、砂利投入の影響のない対照地点の設定は見合わせた。これらの位置は、図 2 に示した。

2-6 サンプルング

1) 砂利

投入砂利原体…同一産地の砂利であっても、常に均質であるとは限らない。そのため投入砂利のサンプルングは、積み置き部分の中から毎回投入が確実である部分 5 点をランダムに約 1 l 採取し、それを均一に混合したもので標準サンプルとした。

河床堆積砂利…測量に用いる 10 cm 間隔の赤白目盛りの表示されたポールを、針金で作成した垂直に柄の付いた輪に通し、まずポールを河床の砂利堆積場所に強く挿入し、次いで輪を河床まで軽く押し下げたのち、ポールと針金を固定して同時に引上げ、ポール先端と輪の位置の差を砂利堆積厚として記録した。これを 1 か所につき 5 回行い、その平均値をその地点における砂利堆積厚として採用した。



図1 砂利投入地点と調査地点(藤沢町)

- ☆砂利投入地点
- 砂利堆積厚測定・砂利サンプリング地点
- *生物調査地点

砂利堆積厚測定後、その地点において500 cmのプラスチック製広口瓶を水中に掴み入れ、これに手で砂利を一杯に押し込み、引き上げて粒度分布測定用サンプルとした。

2) 水生生物

付着藻類…各調査地点の瀬において、概略掌大以上の石4個を取り、その表面から1個につき50×50 mmの範囲に付着している藻類をブラシでそぎ落とし、4個で合計10 cm²の藻類を採取した。現存量は乾燥重量で全付着物量を、強熱減量で全有機物量(実質的な全藻類量とする)を測定、また藻類活性の目安としてクロロフィルa量とその活性を失ったフェオフィチン量を測定した。また種の同定はホルマリン液による固定後に顕微鏡下に行った。また目視的に大型糸状藻類を採取し、カワシオグサの確認に努めた。

底生動物…瀬の部分で50×50 cmのコドラートを川底におき、その下流側にサーバーネツ



図2 砂利投入地点と調査地点 (扶桑町)

☆砂利投入地点

●砂利堆積厚測定・砂利サンプリング地点

*生物調査地点

トを受けて、コドラート内の石を静かにネットの中に移してこれに付いている底生生物を流し落とし、またコドラート内の砂底も掻き回して浮き出た底生生物は流れの力でネットに入り込むようにした。こうして得られた粗採取物の中から、肉眼可視の底生動物を選別採取し、ホルマリンで固定して定量採集サンプルとした。このサンプルは全個体の総湿重量を測定後、種ごとの個体数を計数した。

なお、定性的な調査も実施したが、本報の基礎データとして用いなかった。

3. 結果

3-1 砂利堆積厚の分布

A. 藤沢町…砂利は搬送のつど汀に近く置き、適宜河川中に取り込まれるよう投入方法を管理していたことにより、6・7月の高水期に大部分は流下した。図3に各調査時期における調査地点の砂利堆積厚を示した。なお、No. 3'は対岸の砂利の挙動を確認する意味で設けたので、その堆積厚はNo. 3とNo. 4と対比させ図4に示した

砂利投入の影響しないNo. 0の堆積厚は大きく変動するが、高水期に概して多く、減水期を経て低水期に入ると減少する傾向が見られる。

No. 1の堆積厚は投入後の6月にいったん増加するが、その後は安定化に向かい、No. 0に比べて変動の幅はわずかに小さく、中位で安定している結果となった。

No. 2では砂利投入前の堆積厚は異常に少なく、それに比べれば投入後は程度の差はあれ、おしなべて良く堆積していることが明らかとなった。

No. 3は堆積の厚さはNo. 1と同程度の中位であるが、すべての時期において堆積量が安定している傾向が顕著である。投入砂利に限らず砂利の流下過程でかなり緩衝する機構のある河床の状態が存在するのであろう。サンプリング欠測が2回あり、わずかな増水で相当な深みになる場所がそれを示すのかもしれない。

No. 4においてもNo. 3と同じく安定した堆積厚となる傾向は変わらないが、前年までの左岸側の研究結果と同じで対岸側からの支流の影響と見られる。

唯一左岸側の対照地点No. 3'に現れる堆積厚は、6・7月の増水期はきわめて大であるが、減水期は少ないという変動幅の大きさが目立った。

B. 扶桑町…図5に各地点における堆積厚の経時変化を示す。No. 1'における初期の欠測はあるが、藤沢町に比べ著しく安定した結果となった。詳細に見れば、上流ほど堆積厚の纏まりが良く、下流側でバラツキ傾向が現れる。

No. 0の投入直後の堆積厚は25 cmを越えるが、経日的に6~10 cm程度で安定した。その安定した状況を詳細に見れば、日数が立つほど徐々に堆積厚が減っている。

No. 1'は投入前および投入直後のデータを欠くので実態ははっきり掴めない。しかし、4月30日の測定結果は26 cm強と図抜けて多く、それ以前はさらに多かったことがうかがえる。5月以降の堆積厚は、19~20 cmの範囲に良く纏まりを持つ。しかしNo. 0と異なり、経日的に僅かずつ堆積量が増えている傾向は否定できない。

No. 1地点では堆積厚の経日的変化が拡大するが、まだ7~12 cmの範囲に納まる程度である。かつ、ここにおいても概ね堆積厚は経日的増加傾向にある。

この下流No. 2も纏まりの幅は前地点と変わらないが、全体的に堆積厚減少の傾向が見られる。そして経日的変化に一定の傾向はなく、バラツキが見られるようになった。

さらに下流のNo. 3では、堆積厚の纏まりが崩れ、投入砂利の挙動を追うという観点が意味を持たなくなる寸前の状況である。

最下流の調査地点No. 4では、No. 3の傾向が明確になり、投入前の堆積厚が最大という



写真1 藤沢町の砂利投入点（左手前）と前年度までの投入点（左上対岸）。投入跡と砂利流下の痕跡が下流へ続いている。左右両岸に沿う平行な2本の帯になっている。（1997.6.5，藤沢町）



写真2 投入後約9か月の投入点の岸边。平水時より流量は多いが、砂がない。（1998.3.24，藤沢町）



写真3 台風後の増水で、砂利が堆積したNo.2付近の河床の色。（1997.7.4，藤沢町）



写真4 投入直前の河床。No.3地点付近に砂は見られない。（1997.4.26，藤沢町）



写真5 砂利投入で、河床に砂利のみられるようになったNo.3地点付近。（1998.1.28，藤沢町）



写真6 砂利の滞留が多いNo.4地点の岸边。対岸（右側）支流からの押しだしの影響が見られる。（1997.10.1，藤沢町）



写真7 No.1地点より投入点を見る。岸边は砂利が流れ、残った岩礫で覆われてきた。（1998.1.28，藤沢町）



写真 8 扶桑町の砂利投入現場 No. 0 地点。左側沖へ、広く浅く押し出した様子。(1997.4.30, 扶桑町)



写真 9 砂利搬入開始と荷下ろし現場。まだツルヨシの生えている岸と、小さな洲がある。(1997.1.27, 扶桑町)



写真 10 砂利を緩傾斜で押しだし始めた頃の No. 0 地点。(1997.3.11, 扶桑町)



写真 11 No. 0 地点の流れと石礫の裏に溜まる砂利。礫に輝きがあり、大型藻類の付着もまだ見られない。(1997.10.8, 扶桑町)



写真 12 左と同地点の河床の礫。砂がなくなり、礫は藍藻類でおおわれ、汚れた感じになる。(1998.1.28, 扶桑町)



写真 13 No. 3 付近の健全な色をした河床と水。藍藻類の付着は少なく、石礫は輝きを保っている。(1997.5.30, 扶桑町)



写真 14 汚れを感じさせる No. 2 地点付近の、付着藻類を被覆した石礫。(1998.3.18, 扶桑町)

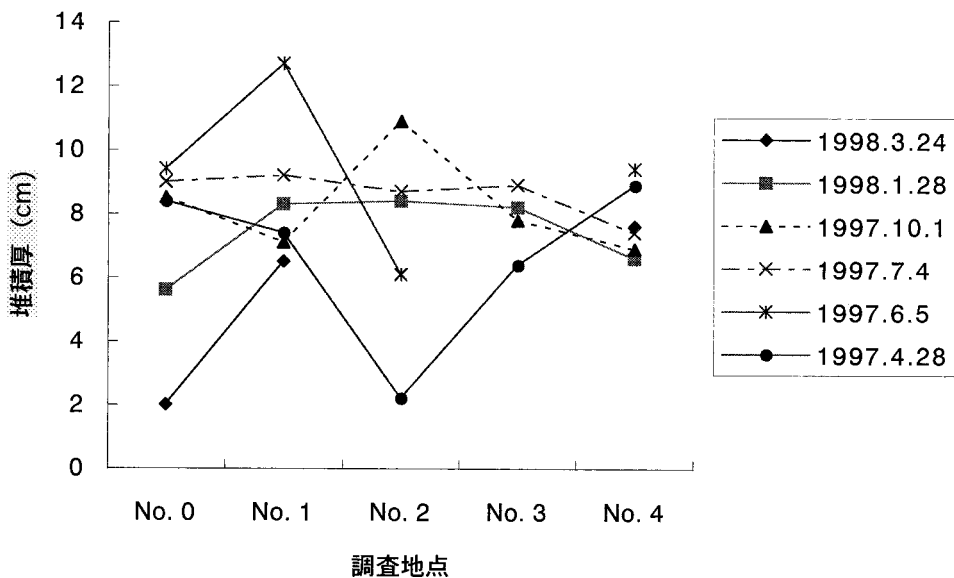


図3 砂利堆積厚の分布 (藤沢町-1)
 1997.6.5のNo. 3, 1998.3.24のNo. 2&3は増水により欠測

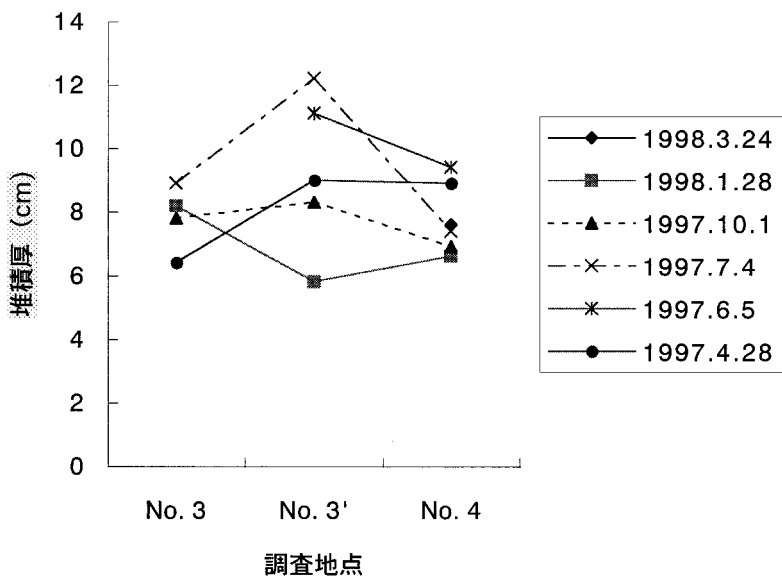


図4 砂利堆積厚の分布 (藤沢町-2)
 対岸, 宮ノ川流入点前後の比較
 1997.6.5のNo. 3, 1998.3.24のNo. 3&3'は増水により欠測

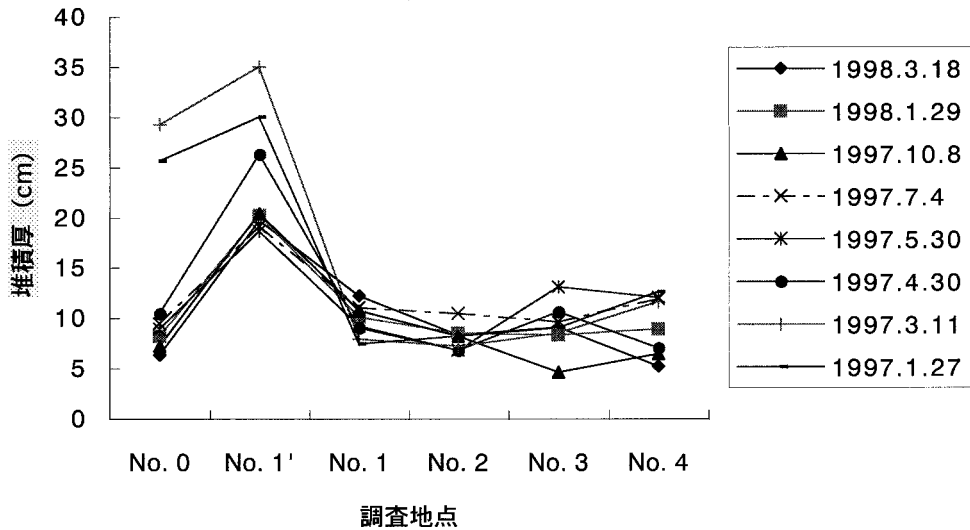


図5 砂利堆積厚の分布 (扶桑町)
調査地点 No. 1', 1997.1.27&3.11 は欠測により推定値記入

結果になった。

3-2 粒度分布

A. 藤沢町…投入砂利原体は図 6-1 の左端に示したように、粒度 d が約 3/4 を占める中粒度主体のもので、流下した砂利の粒度分布もこの主成分の挙動に関心が持たれる。

河床から採取した砂利の粒度分布については、図 6-1~6 のようになった。投入直後の堆積砂利の粒度分布は図 6-1 のようになっている。投入以前から上流側に大粒度のものが多く、下流側で中粒度が大半を占める。この傾向は砂利投入後にますます顕著になり (図 6-2&3)、No. 2 と 3 の間に一つの境界が存在するかのように見える。投入完了後 1 か月の 7 月の時点ではこの傾向がピークに達し、その後 10 月においては上に述べた境界が消滅した粒度分布を示した。その後もさして明確に境界が復活した兆しは見られない (図 6-5)。

砂利投入の影響を受けない No. 0 の経日の粒度分布は、投入前後において若干のぶれがある程度でほとんど変わらない。これが日常的河床の砂利組成であると思われる。したがって、大粒度の成分に富み、それが 70%以上を占めるのがこの地点の特徴と捕らえることができる。

唯一左岸に設定された No. 3' は No. 3&4 との比較において結果を論じられるのが妥当である (図 7-1~5)。図 7-1 において No. 3 とも No. 4 ともことなるグレード c 以下の中小粒度が 90%を占めている。砂利投入に影響されない時点でのこの粒度分布は、特別な流向と河床の存在を示している。

B. 扶桑町…砂利の粒度分布を図 8-1~8 に示す。図 8-1 は、投入前の河床の砂利についての分析結果である。この図の左端に投入砂利原体の粒度分布を示したが、これに比べ投入地点 No. 0 の砂利は中小粒度の比率が高く、原体は No. 2 に近い。

投入は搬入したものを逐次押し広げ、緩傾斜に平坦化するまで 20 日間を要した。その間に

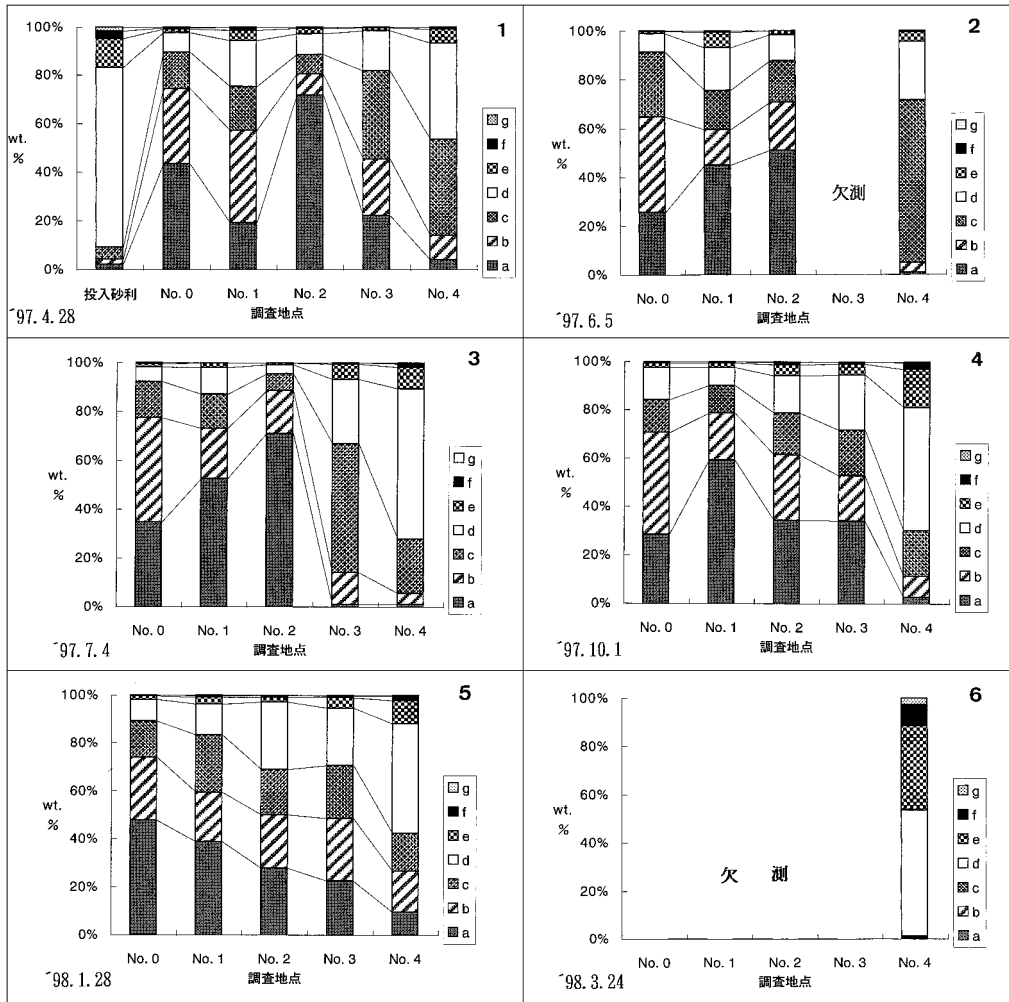


図6 砂利粒度分布 (藤沢町-1)

右肩の数字は枝番号，調査日は左下に表示。

も砂利の流下は進行したであろうが，投入完了後23日目の粒度分布が図8-2に示されている。投入前に比べ大粒度と中小粒度との比が少し変わっているが，この間ほとんどパターンの変化が見られない。No. 2地点に大粒度が50%強の堆積がある点まで同じである。

4月末になると粒度分布の姿は投入点のNo. 0とNo. 3で大粒度の比率が大きくなる変化が見られた。全体的に大粒度の比率が高まる明らかな傾向の中で，この時点で砂利採取地点としてNo. 1'が加わったが，その粒度分布はNo. 1によく似ており，しかも2地点とも中粒度が圧倒的に多いことが目立つ。最下流のNo. 4では，小粒度の蓄積があるのが目立つ。

さらに1か月後の5月末には投入地点での大粒度が減少し中粒度の復活が見られた。そしてNo. 1'と1では相変わらず中粒度が多い。しかし下流ほど大粒度が増加し，中粒度が減少するという一つの傾向が見られる。ここでもNo. 4はそれより上流とは異なった分布パターンで特異さが目立つ。またNo. 1'の中粒度の堆積はほとんど不動で，この傾向は程度の差はあれその後もずっと続いている。

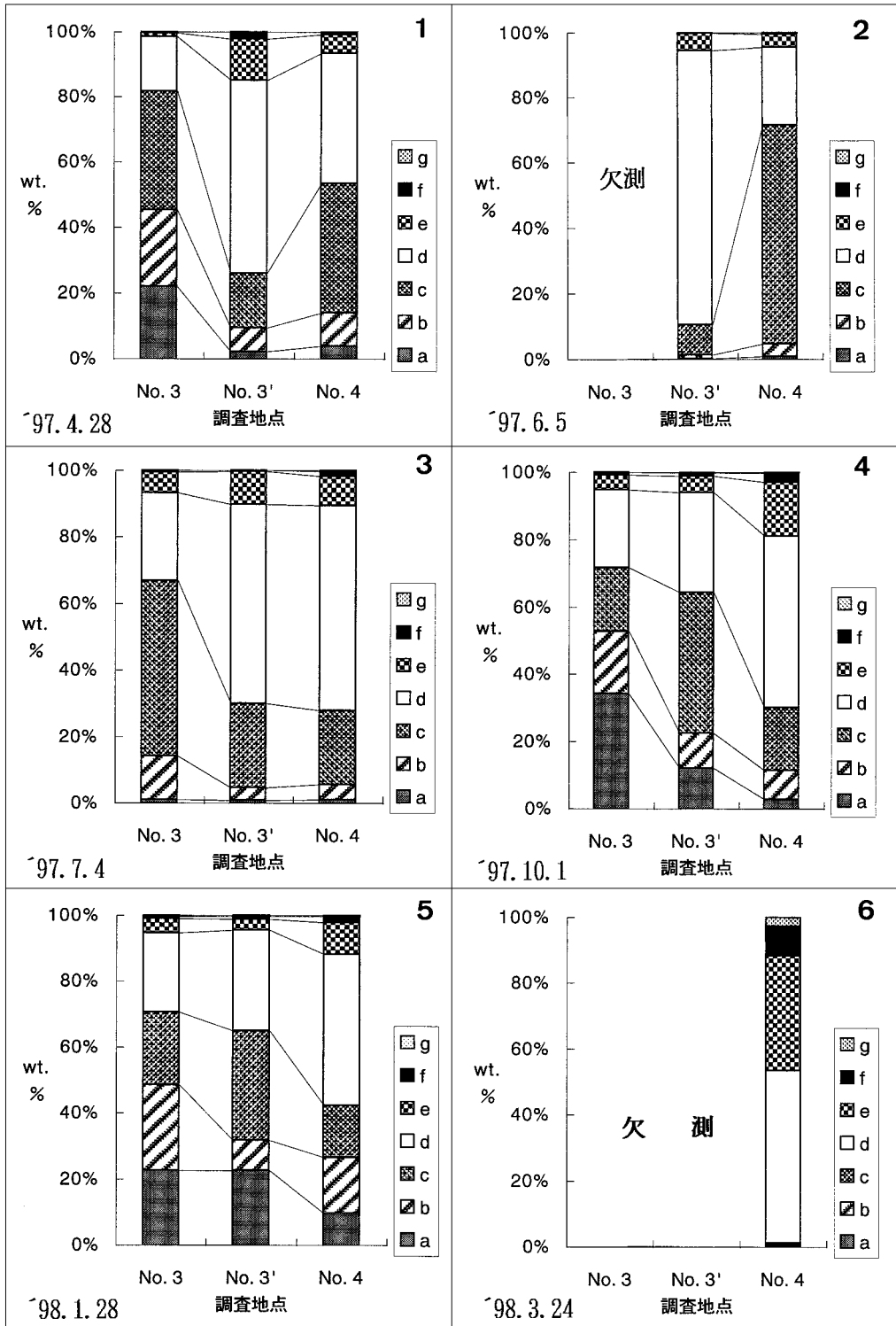


図7 砂利粒度分布 (藤沢町-2)
 対岸, 宮ノ川流入点前後の比較
 右肩の数字は枝番号, 調査日は左下に表示.

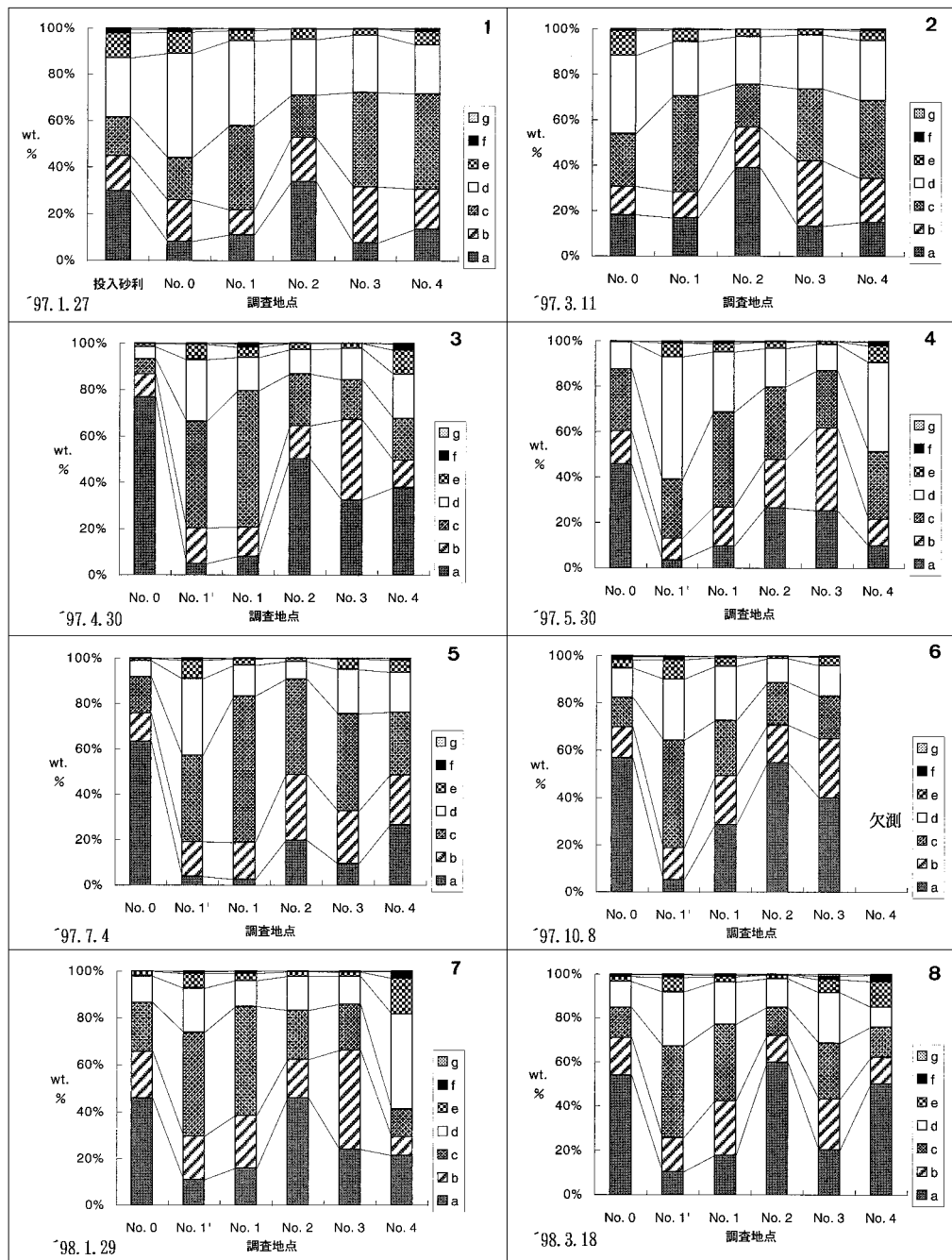


図8 砂利粒度分布 (扶桑町)
右肩の数字は枝番号, 調査日は左下に表示.

7月に入ると投入地点(No.0)では80%弱まで大粒度が復活し、砂質の存在が急速に減少した。No.1'と1では中粒度以下の堆積が大量にあり、No.0とは距離的に近いが、相対的な関係にある場所の存在をうかがわせた。この時点におけるNo.4の特異性は消失しているように思われる。No.2と3は1から4への砂利流下過程を示す通常のパターンになっている。

さらに3か月後の10月には、No.0の粒度分布パターンはほとんど変わらず、またNo.1'もその対極にあるパターンとして安定している。しかしNo.1から下流では大粒度が増加するという共通現象が見られる。注目されるNo.4は不手際で欠測となり、表示できなかった。

減水期の1月にも、No.0~1'の粒度分布パターンはもちろん、No.1~3も基本的には10月と同じである。10月に欠測で様子の分からなかったNo.4は、それより上流とはまったく異なって、中小粒度とりわけ小粒度に偏った堆積が多くなった。投入砂利の追跡範囲としては、他地点との関連の掴みにくい場所である。

減水期が続いた後の3月にはNo.0~2の粒度分布パターンは1月とほとんど変わらなかった。ただNo.3と4の間で変化が見られ、No.3で多かった大粒度が、下流のNo.4に移った観がある。その分だけ相対的に中小粒度の比率が下がったが、依然としてe~gの小粒度は15%強の高率で残存していることが注目される。

3-3 付着藻類に見られる変化

本項に関する確認種リスト、現存量、植物活性度等のデータは、豊田市矢作川研究所と環境科学(株)の共同研究報告書(1997&1998)に記されているので、これから必要部分を抽出使用した。

1) 現存量

A. 藤沢町

表2に結果を示す。乾燥重量は第1回目砂利投入前の1997年4月の時点で、各調査地点ともきわめて多いが、投入後には桁違いに減少した。第2回目投入された1998年3月中旬と、その直後の3月下旬でも、投入前に多い。数値としては、投入点下流側のSt.4a~dと上流側のSt.5の間に差が認められないが、第2回目では上流側と対岸部のSt.4aを除き有意に減少した。

強熱減量は第1回目投入後が投入前よりも全地点で確実に多く、第2回目投入後は減量率にバラツキが現れている。右岸の投入点下流に関していえば、確かに減量率が高くなっている。

有機物量は投入前St.4dで異常な量になっているが、乾燥重量もまた大きかったことからすれば、この地点が生産量の大きかったことがわかる。ただし投入後には各地点で非常に纏まりが良くなっており、突出した値は見られない。第2回目投入に関しては、左岸側のSt.4aと上流側のSt.5で投入前後に対等と思われる数値になっているが、他は減少した。

B. 扶桑町

表3にこの調査地の現存量を示した。乾燥重量は、第1回目投入後はSt.C以外はすべて減少した。ただし藤沢町のように、桁外れの大幅減少ではない。その後放置していたに拘らず1年近くを経過した第2回目の投入時には、すべて纏まって一桁下がった数値になっており、上流の藤沢町における実験とよく似た数値を示した。扶桑町には砂利投入の影響をまったく

表 2 付着藻類現存量 (藤沢町)

分析項目 (単位)	調査地点	調査時期			
		1997-4-24 砂利投入前	1997-6-12 砂利投入後	1998-3-9 砂利投入前	1998-3-31 砂利投入後
乾燥重量 (mg/cm ²)	4a	11.54	0.66	2.04	2.88
	4b	61.40	1.13	4.36	1.84
	4c	13.37	0.97	5.13	0.99
	4d	92.51	0.73	6.87	2.23
	5	68.53	0.25	4.76	4.26
強熱減量 (%)	4a	39.7	79.4	27.6	21.3
	4b	15.1	48.3	36.1	23.1
	4c	46.1	77.2	40.6	47.3
	4d	25.8	55.6	22.1	50.2
	5	20.9	81.3	31.6	35.5
有機物量 (mg/cm ²)	4a	4.58	0.52	0.56	0.61
	4b	9.27	0.54	1.57	0.46
	4c	6.16	0.75	2.08	0.47
	4d	23.87	0.41	1.52	1.12
	5	14.32	0.20	1.72	1.51

表 3 付着藻類現存量 (扶桑町)

分析項目 (単位)	調査地点	調査時期			
		1997-1-24 砂利投入前	1997-3-24 砂利投入後	1998-3-10&20 砂利投入前	1998-3-30 砂利投入後
乾燥重量 (mg/cm ²)	A	20.51	17.09	2.63	1.99
	B	46.49	15.64	2.49	1.72
	C	21.74	27.37	3.01	2.06
	D	39.68	24.07	5.05	1.84
強熱減量 (%)	A	46.1	25.8	39.2	59.5
	B	24.3	45.4	50.0	40.8
	C	48.6	31.2	46.9	53.2
	D	49.5	37.4	35.6	48.3
有機物量 (mg/cm ²)	A	9.46	4.41	1.04	1.18
	B	11.30	7.10	1.25	0.70
	C	10.57	8.54	1.41	1.10
	D	19.64	9.00	1.80	0.89

受けない調査地点は設定されていないが、1回目、2回目双方とも投入後、全地点で乾燥重量は減少した。

強熱減量、第1回目投入前後では、St. Bを除く全地点で減少した。逆に第2回目投入後は、St. Bのみが減少した。この相反する事実は奇妙だが、St. Bだけが右岸(中洲側)に設定されていることに関連があるのかもしれない。

有機物量は第1回目投入前は多く、投入後は減少するが、数値的にはまだ考えられる正常値よりかなり高いレベルにある。第2回目投入前の1年近くの間有機物量は激減安定化した。しかしこの安定的なレベルに達してしまえば、以後個別に通常値と考えられる誤差範囲

の中で投入の影響が現実を反映した数値となって表現されるものと思われる。

2) 生物活性

活性を判定する項目(クロロフィル a 量, フェオフィチン量, フェオフィチン率)に関し, 表 4 と表 5 に示した。

A. 藤沢町

表 4 によれば, クロロフィル a 量は, 第 1 回目砂利投入以前はかなり多い。これは乾燥重量に見られる現存量の多さの反映である。第 1 回目投入後は激減するが, 投入の影響のないはずの St. 5 でも同程度以上の減少傾向があつて, 単純に砂利投入結果とは言い切れない。2

表 4 付着藻類活性度 (藤沢町)

分析項目 (単位)	調査地点	調査時期			
		1997-4-24 砂利投入前	1997-6-12 砂利投入後	1998-3-9 砂利投入前	1998-3-31 砂利投入後
クロロフィル a 量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	4a	3.29	1.91	1.31	1.97
	4b	6.04	0.77	2.14	1.00
	4c	3.97	0.85	1.85	1.58
	4d	4.11	2.49	2.32	2.29
	5	5.64	0.25	2.44	2.08
フェオフィチン量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	4a	1.84	0.37	0.62	1.27
	4b	2.81	0.15	0.83	0.19
	4c	2.06	0.11	1.53	0.26
	4d	1.38	0.57	1.68	0.08
	5	0.32	0.14	0.97	0.31
フェオフィチン率 (%)	4a	35.9	16.2	32.1	39.2
	4b	31.8	16.3	27.9	16.0
	4c	33.5	11.5	45.3	14.1
	4d	25.1	18.6	42.0	3.4
	5	5.4	35.9	28.4	13.0

表 5 付着藻類活性度 (扶桑町)

分析項目 (単位)	調査地点	調査時期			
		1997-1-24 砂利投入前	1997-3-24 砂利投入後	1998-3-10&20 砂利投入前	1998-3-30 砂利投入後
クロロフィル a 量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	A	7.66	3.94	4.18	1.74
	B	12.82	7.58	3.13	1.59
	C	9.82	8.36	4.26	2.68
	D	32.00	9.19	4.34	1.44
フェオフィチン量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	A	2.10	2.18	2.17	0.71
	B	1.45	2.31	0.16	0.77
	C	1.56	4.35	2.55	0.20
	D	15.83	3.56	0.23	0.54
フェオフィチン率 (%)	A	21.5	35.6	34.2	29.0
	B	10.2	23.4	4.9	32.6
	C	13.7	34.2	37.4	6.9
	D	33.1	27.9	5.0	27.3

回目投入の前には地点差のない同程度の数値になっているが、St. 5 も同じである。砂利投入以外の例えば季節消長などが要因が働いているとの推理が無視できない結果になっている。

フェオフィチン量も同様に第 1 回目投入前は大きな数値であったが、投入後は全地点で一挙に下がった。第 2 回目投入前までには漸増の傾向があるが、St. 4 d を除き第 1 回目の前ほどには回復していない。第 2 回目投入によって再び減少したが St. 4 a だけは増加に転じている。

フェオフィチン率は低いほど藻類の活性が高い。砂利投入の影響のない St. 5 の数値は、第 1 回目投入前にきわめて低く活性が高い。しかし 49 日後には程度の差はあれ投入の影響を受けた他の地点に比べ著しく大きな数値になって活性は低下した。これが自然のままの藻類活性増減の実態とすれば、投入後の他の地点における数値はすべて活性が増加したことになる。第 2 回目投入前後の状況においては、St. 5 は投入前各地点と並ぶ通常値であり、特別な数値を示さない。砂利投入に関係しないのにわずか 20 日余で半減している。ただし他の地点では対岸で砂利投入にあまり関わりがなからうと考えられる St. 4 a で最高の数値を示した。その他の地点は投入後減少し、とくに右岸砂利投入点下流の St. 4 c&4 d で低い値になったのは、砂利投入の効果であるかもしれぬが、バラツキ幅は大きい。

B. 扶桑町

表 5 に結果を示した。クロロフィル a 量は第 1 回目砂利投入前の値は St. C が B より若干小である。傾向としては、上流から下流に向かって大となる。これは乾燥重量の差に対応したものと理解できる。投入後の値は藤沢町のように激減しないが着実に減少し、量的にも上→下流へと多くなる。1 年後の第 2 回目投入前には、第 1 回目投入後の値よりさらに減少しており、地点差も解消している。投入後はさらに減少し、クロロフィル a 生産に関わる藻類の減少に砂利投入が効いたような結果となった。

フェオフィチン量は、St. D のように第 1 回目投入前にきわめて高い値に達している場所では通常値にまで減少するが、他はむしろ増加して地点差を解消した。ただしこの値はまだ藤沢町の第 1 回目投入前の数値より大きく、不活性物の新たな蓄積がかなり深刻な状況を表す。これも第 2 回目の投入までにかかなり改善されており、投入後はさらに減った。

投入前のフェオフィチン率は高い数値を示した St. D を除き第 1 回目投入の効果は見られず、全地点で大きな数値になった。その原因は十分考察に値することであろう。第 2 回目投入前の時点でフェオフィチン率は地点別にバラツキを見せ始めた。これは投入後もバラツキとなって表現され、一定の方向性は見られなかった。地点による藻類の消長を如実に示す結果であり、一部分の結果をもって河川全体をひっくりめたる結果とするのは難しいものと思われる。

3) 確認種と藻類群集構造

藤沢町における付着藻類確認種数を表 6 に、扶桑町におけるそれを表 7 に示す。

A. 藤沢町

砂利投入地点を右岸に移したために、比較対照ができる過去のデータがないが、表 6 によれば、St. 4 b の 92 種が最も多く、St 4 c&5 の 80 種が最も少なくなっている。確認種数合計 118 種は調査時期の偏りからすればかなり多い数である。珪藻綱が最も多く 79.7% を占め、ついで緑藻、藍藻、紅藻綱の順になり、前年出現した渦鞭毛藻綱は現れなかった。

表6 付着藻類確認種数の推移 (藤沢町)

分類群	調査時期 1997年		調査時期 1998年	
	1997-4-24 砂利投入前	1997-6-12 砂利投入後	1998-3-9 砂利投入前	1998-3-31 砂利投入後
藍藻綱	6	5	9	6
紅藻綱	1	1	1	1
珪藻綱	69	66	65	72
緑藻綱	11	5	8	5
合計	87	77	83	84

分類群	調査地点					確認種数 合計(%)
	St. 4a	St. 4b	St. 4c	St. 4d	St. 5	
藍藻綱	7	6	5	7	7	9(6.7)
紅藻綱	1	1	1	1	1	1(0.8)
珪藻綱	71	77	66	64	67	94(79.7)
緑藻綱	9	8	8	12	5	14(11.9)
合計	88	92	80	84	80	118

表7 付着藻類確認種数の推移 (扶桑町)

分類群	調査時期 1997年		調査地点				確認種数 合計(%)
	1997-1-24 砂利投入前	1997-3-27 砂利投入後	St. A	St. B	St. C	St. D.	
藍藻綱	7	5	5	4	5	4	8(7.7)
紅藻綱	1	1	0	0	1	1	1(1.0)
珪藻綱	75	62	60	52	58	58	83(79.8)
緑藻綱	10	8	6	7	10	10	12(11.5)
合計	93	76	71	63	74	73	104

分類群	調査時期 1998年		調査地点				確認種数 合計(%)
	1998-3-10&20 砂利投入前	1998-3-30 砂利投入後	St. A	St. B	St. C	St. D.	
藍藻綱	5	5	4	4	5	4	6(6.4)
紅藻綱	1	1	0	0	1	1	1(1.1)
珪藻綱	62	73	57	60	56	60	79(84.0)
緑藻綱	8	7	6	8	5	6	8(8.5)
合計	76	86	67	72	67	71	94

調査1回ごとの種数は、表6上段の1回当たりの集計に現れる値で、最高87、最低77におよび、そのいずれもが前報までに報告した別地点の1回当たりの種数(田中, 1997&1998)より多い。

各時期、各地点の優占上位3種は表8に示した通りである。St. 4a&4bは左岸域にあり、本来右岸の砂利投入の影響は考えにくい地点であるが、第1回目の砂利投入後に優占種が減

表8 付着藻類優占上位種の変遷(藤沢町)

地点	調査日	1987-4-24 (砂利投入前)	1987-6-12 (砂利投入後)	1988-3-9 (砂利投入前)	1988-3-31 (砂利投入後)
4a	早瀬	<i>Phormidium</i> sp. <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> <i>Cymbella minuta</i>	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Achnanthes japonica</i>	<i>Achnanthes japonica</i>	* <i>Batrachosperum</i> sp. * <i>Melosira varians</i> * <i>Achnanthes minutissima</i>
	平瀬	<i>Melosira varians</i> <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> <i>Achnanthes japonica</i> <i>Cymbella minuta</i>	<i>Homocoithrix janthina</i>	<i>Achnanthes japonica</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>
4b	早瀬	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> <i>Achnanthes japonica</i> <i>Cymbella minuta</i>	* <i>Achnanthes japonica</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	
	平瀬	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Achnanthes japonica</i> <i>Cymbella minuta</i>	* <i>Achnanthes japonica</i>	* <i>Batrachosperum</i> sp. * <i>Melosira varians</i> * <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> * <i>Asterionella formosa</i> * <i>Synedra inaequaris</i> * <i>Achnanthes minutissima</i>	* <i>Achnanthes minutissima</i> * <i>Cocconeis placentula</i> v. <i>lineata</i> * <i>Nautica radiosa</i> v. <i>tenella</i>
4c	早瀬	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Achnanthes japonica</i>	* <i>Achnanthes japonica</i>	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Synedra inaequalis</i> <i>Achnanthes minutissima</i>	* <i>Batrachosperum</i> sp. * <i>Achnanthes minutissima</i>
	平瀬	<i>Melosira varians</i> <i>Achnanthes japonica</i> <i>Cymbella minuta</i>	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Achnanthes japonica</i>	<i>Phormidium</i> sp. <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Phormidium</i> sp.
4d	早瀬	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Melosira varians</i> <i>Achnanthes japonica</i>	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Achnanthes japonica</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Homocoithrix janthina</i>
	平瀬	<i>Achnanthes japonica</i> <i>Cymbella minuta</i>	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Achnanthes japonica</i>	* <i>Batrachosperum</i> sp. * <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> * <i>Asterionella formosa</i> * <i>Synedra inaequaris</i> * <i>Achnanthes minutissima</i> * <i>Frustulia rhomboides</i> v. <i>amphipleuroides</i>	* <i>Achnanthes minutissima</i>
5	早瀬	<i>Phormidium</i> sp. <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i>		* <i>Batrachosperum</i> sp. * <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> * <i>Asterionella formosa</i> * <i>Synedra inaequaris</i> * <i>Cocconeis placentula</i> v. <i>lineata</i> * <i>Epithemia</i> sp. * <i>Frustulia rhomboides</i> v. <i>amphipleuroides</i> * <i>Cymbella aspera</i>	* <i>Phormidium</i> sp. * <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i>
	平瀬		<i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> <i>Achnanthes japonica</i>	<i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> <i>Achnanthes japonica</i>	* <i>Batrachosperum</i> sp. * <i>Achnanthes japonica</i> * <i>Achnanthes minutissima</i> * <i>Gomphonema clevei</i>

*は優占というほどではないがごく普通に見られる種 斜線は全種*の個体数以下を示す

少する。とくに St. 4 b では投入後、普通種は存在するものの、優占するほどの個体数を示す種がなくなった。St. 4 c & 4 d では、投入前に藍藻 1 種と珪藻 3 種の計 4 種の優占であったのが、2 種（藍藻の *Homoeothrix janthina* と珪藻の *Achnanthes japonica*）しか優占できない状態が起こっている。とくに一番投入点に近い St. 4 c の早瀬では優占種はなく、普通種 1 種が目立つだけになっている。

砂利投入にまったく関係しない St. 5 は投入前の早瀬でわずか 2 種の優占種が見られたが、平瀬では普通と見られる量的な存在の種も見当たらない状態である。ということは、自然状態で優占種なしの状況はごく通常的にあり得るものと認めねばならぬ意識が要求される。この St. 5 でも関係のないはずの砂利投入後に優占種は消滅した。

第 2 回目投入前後の変化は、期間が短いたけに季節変動に左右されない直接的な姿が見られる期待がある。投入前すでに St. 4 b 平瀬, St. 4 d 平瀬, St. 5 早瀬では、普通に個体数の見られる多種の藻類が存在するが、いずれも優占種ほどの個体数ではない。このような地点では、投入後も優占種の出現はもとよりなく、普通種すら減ってしまう場合が多い。投入前には 7 地点（早瀬, 平瀬を別地点にして）で優占種を認めたが、投入後も優占種として残ったのはわずか 3 地点に過ぎない。注目されるのは、そのうち 2 地点が右岸の砂利投入の影響を受けた場所で、それぞれ 1 種ずつの異なった種の藍藻である。このことから、砂利投入に対しては藍藻が強い抵抗力を持つことが推測できる。

藤沢町の調査地点では、藍藻よりも種数の多い緑藻が優占種に名を連ねることは一度もなかった。

B. 扶桑町

この調査地点で砂利投入効果を求めて研究に着手したのは初めてである。具体的な比較資料は上記藤沢町地区（対岸の足助町大河原地区を含む）しかない。表 7 は調査結果に基づく確認種数の内容である。1997 年に 104 種、1998 年に 94 種を確認した。いずれもが 1 月または 3 月の水温の低い時期の調査結果であるので、決して少ない種数ではない。最も多いのは珪藻で、前者においては 79.8%、後者では 84.0%であった。両年とも第 2 位が緑藻、ついで藍藻、紅藻の順で、順位は上流の藤沢町と変わらない。しかし、総種数はもとよりすべての綱で、藤沢町より種数が貧弱になっている。砂利投入の影響は 1997 年は珪藻が大幅に減少し、緑藻、藍藻もともに減少した。これに対し 1998 年には投入前後で緑藻で 1 種減少したものの珪藻が大幅に増え、砂利投入の結果は単に種数の増減のみに反映されるものではない。

1997 年

表 9 で優占種の変遷を見ると、つぎのような点に注目が集まる。

- ・投入前にはほとんどの地点で藍藻が上位を占めるが、投入後藍藻が優占種の地位を下りる場合がかなり見られ、また残っている場所もある。これらが自然状態で起こる現象なのか砂利投入の効果なのかはわからない。
- ・緑藻が投入前に優占種とされるケースが St. A 早瀬と St. D 早瀬の 2 地点にあったが、そのいずれもが *Cladophora glomerata* (カワシオグサ) ではなかった。見た目での緑藻がかならずしもカワシオグサとは限らない。この 2 種の緑藻は、砂利投入後に優占しなくなっている。
- ・珪藻の優占種には *Diatoma vulgare* および *Melosira varians* が出現するケースが多い。こ

表9 付着藻類優占上位種の変遷 (扶桑町)

地点	調査日	1997-1-24 (砂利投入前)	1997-3-27 (砂利投入後)	1998-3-10&20 (砂利投入前)	1998-3-30 (砂利投入後)
A	早瀬	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Diatoma vulgare</i> <i>Urothrix zonata</i>	<i>Synedra inaequalis</i> <i>Synedra rampens</i> v. <i>familiaris</i>	* <i>Homocoithrix janthina</i> * <i>Melosira varians</i> * <i>Diatoma vulgare</i> * <i>Asterionella formosa</i> * <i>Synedra inaequalis</i> * <i>Achnanthes minutissima</i> * <i>Cymbella lamida</i>	<i>Cladophora glomerata</i>
	平瀬	<i>Homocoithrix janthina</i>	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Synedra inaequalis</i>	* <i>Melosira varians</i> * <i>Synedra inaequalis</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>
B	早瀬	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Diatoma hyemalis</i> v. <i>mesodon</i> <i>Synedra rampens</i> v. <i>familiaris</i>	<i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> <i>Synedra inaequalis</i>	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Phormidium</i> sp. <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Achnanthes minutissima</i> <i>Cladophora glomerata</i>
	平瀬	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Melosira varians</i>	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Phormidium</i> sp. <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> * <i>Achnanthes japonica</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Achnanthes minutissima</i> <i>Cladophora glomerata</i>
C	早瀬	<i>Homocoithrix janthina</i>	* <i>Achnanthes japonica</i>	<i>Cladophora glomerata</i>	<i>Phormidium</i> sp. <i>Achnanthes minutissima</i>
D	平瀬	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Diatoma vulgare</i> <i>Synedra rampens</i> v. <i>familiaris</i>	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> <i>Synedra inaequalis</i>	<i>Homocoithrix janthina</i> <i>Achnanthes minutissima</i> <i>Cladophora glomerata</i>	<i>Synedra inaequalis</i> <i>Achnanthes minutissima</i>
	早瀬	<i>Diatoma vulgare</i> <i>Achnanthes japonica</i> <i>Stigeoclonium</i> sp.	<i>Synedra inaequalis</i> <i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i>	<i>Synedra inaequalis</i>	<i>Achnanthes minutissima</i> <i>Cladophora glomerata</i>
	平瀬	<i>Diatoma vulgare</i> <i>Homocoithrix janthina</i> <i>Melosira varians</i> <i>Synedra rampens</i> v. <i>familiaris</i>	<i>Fragilaria capucina</i> v. <i>vaucheriae</i> <i>Achnanthes japonica</i> <i>Synedra inaequalis</i> <i>Synedra rampens</i> v. <i>familiaris</i>	<i>Phormidium</i> sp. <i>Synedra inaequalis</i> <i>Achnanthes minutissima</i>	<i>Cladophora glomerata</i>

* は優占というほどではないがごく普通に見られる種

れらは、砂利投入後すべて優占の位置に存在しない。しかし *Synedra inaequalis* と *S. rumpens* v. *familiaris* は投入後もその地位にとどまる。

- ・砂利投入による藻類の駆除と更新効果を否定するに足る材料はない。投入後の優占種は藤沢町のように単純にはならず、多種で構成される。これは現存量の推移で第1回目砂利投入が大きな効果を示さなかったことと関連があるのかもしれない。

1998年

次のような変わった側面が現れてくる。

- ・ St. C の早瀬、平瀬において砂利投入以前に初めてカワシオグサが優占種にあがった。とくに早瀬では単一優占種である。定量調査における優占種として、本種がこれまで取り上げられなかったのが不思議と思えるほどで、それだけ普遍的な発生状況になったのであろう。
- ・ St. A では、早瀬、平瀬ともに投入前の優占種がなく、それに準ずる普通種が7種に達した。3月中旬でこの St. A のみに生じた現象だが合点がいかず、その事実を認めるだけである。ただし投入後は優占種が生じている。
- ・ 藍藻の優占種として常連に属する *Homoeothrix janthina* は、1997年の例で見るとように砂利投入によって除去されにくいと思われるが1998年では、早瀬では見事に消滅している。藍藻の早瀬でのその代置種は *Phormidium* sp. である。
- ・ わずか20日間のことであるが、砂利投入により当初優占種のみられなかった地点で、優占種が発生する。その場合、普通種にも上がらなかった種が台頭する。緑藻のカワシオグサはその好例である。
- ・ 珪藻の主体となる *Achnanthes japonica* は、1988年になってその地位を同属の *Achnanthes minutissima* に譲った。同属間の優占種交替は、種間の競争関係として注目される。
- ・ 投入後の優占種は、*Cladophora glomerata*, *Achnanthes minutissima* に加え、わずかに *Phormidium* sp., *Synedra inaequalis* が加わる単調なものになった。この現象も1997年とは異なる。

3-4 底生動物に見られる変化

この項目に関する基礎データも、付着藻類と同じく、豊田市矢作川研究所と環境科学(株)の共同研究報告書(1997&1998)から採用した。

1) 現存量

A. 藤沢町

1997年

表10に砂利投入前後の底生動物現存量を示した。投入の影響を受けない St. 5 での第1回目投入前後の現存量は同程度である。これと比べ、右岸側投入点直下の St. 4c&4d では明らかに現存量が増加した。左岸の St. 4a では St. 5 と同じく横這いであるが、その下流側の St. 4b では St. 4d と同程度の増加が見られた。これは対岸側支流から流入する砂利の効果とも考えられる。砂利投入の効果はあっても、これを否定するデータはない。

1998年

投入前後でわずか20日余の経過にすぎないが、投入効果が及ばないはずの St. 5 では減少している。この程度の差は誤差を若干はずれた程度であるが、減少しているのは間違いはない。

左岸側の2地点も、このSt. 5に追隨した現象ととらえられる。注目すべきは右岸投入点直下の現存量で、投入前からすでに他地点より現存量が多い。にも拘らずこの2地点とも投入後の現存量は低下しており、砂利投入が、短期的には現存量の低下をもたらすことが明かとなった。しかし減少の事実はあっても、現存量そのものが他地点を大きく下回る数値ではない。

B. 扶桑町

表11に示すように1997年は1998年に比し、全般的に現存量が少ない。これは藤沢町では見られなかった現象だが明らかに年次変動であろうと考えられる。1997年の投入前後ではSt. Bをのぞき、投入後62日で現存量が増加している。1998年には投入後上流側のSt. A& Bで減少、St. C&Dで増加が見られる。

2) 群集構造の変化

A. 藤沢町

表12に優占上位種の各時期各地点の変遷を示す。全体として目立つのは、前年度までと違ってヒゲナガカワトビケラの優占地点が、砂利投入に影響されないSt. 5とSt. 4aの2地点になったことである。これを埋め合わせるようにオオシマトビケラを主体とするシマトビケラ科と、アカマダラカゲロウ(とくに1998年が顕著)が全地点全シーズン優占種となった。1997年と1998年では底生動物の優占種構成に違いがあるので、それを以下に列記する。

1997年

- ・砂利投入前にオオシマトビケラの優占していた地点では、投入後も必ずこの種の優占残存があり、砂利投入に対して強い抵抗力を持つ。
- ・投入点直下のSt. 4cは3目3科の分類群が優占していたが、投入後は1目1科(3種)に置き換えられた。これはシマトビケラ科の生活は、砂利投入程度では何等影響されないこ

表10 底生動物の現存量 (藤沢町)

分析項目	調査地点	調査時期			
		1997-4-24 砂利投入前	1997-6-12 砂利投入後	1998-3-9 砂利投入前	1998-3-31 砂利投入後
湿重量 (g/cm ²)	St. 4a	26.3	24.8	8.7	6.1
	St. 4b	4.1	22.6	14.0	15.3
	St. 4c	11.7	24.1	24.9	10.0
	St. 4d	6.4	27.6	20.3	9.5
	St. 5	14.4	14.8	18.1	10.9

表11 底生動物の現存量 (扶桑町)

分析項目	調査地点	調査時期			
		1997-1-24 砂利投入前	1997-3-27 砂利投入後	1998-3-10&20 砂利投入前	1998-3-30 砂利投入後
湿重量 (g/cm ²)	St. A	2.6	11.3	39.1	32.4
	St. B	7.6	2.8	22.5	16.7
	St. C	3.0	9.9	25.1	31.6
	St. D	7.1	9.3	25.5	27.5

表12 底生動物優占上位種の変遷 (藤沢町)

数字は優占度 (%) を示す。

地点	調査日	1997-4-24 (砂利投入前)		1997-6-12 (砂利投入後)		1998-3-9 (砂利投入前)		1998-3-31 (砂利投入後)	
4a	オオシマトビケラ	20.5	フタバコカゲロウ属の1種	20.3	エリユスリカ亜科類	25.1	アカマダラカゲロウ	17.3	
	ユスリカ亜科類	15.4	ウルマーシマトビケラ	17.6	アカマダラカゲロウ	22.3	セトビケラ属の1種	13.0	
	アカマダラカゲロウ	10.2	オオシマトビケラ	17.5	ヒゲナガカワトビケラ	7.0	フタツメカワゲラ属の1種	11.1	
					オオシマトビケラ	7.0			
4b	セトビケラ属類の1種	16.6	フタバコカゲロウ属の1種	18.1	エリユスリカ亜科類	24.7	セトビケラ属の1種	36.4	
	コカゲロウ属類	13.1	セトビケラ属の1種	14.5	ナカハラシマトビケラ	15.7	アカマダラカゲロウ	13.7	
	ムナグロナガレトビケラ	10.1	ウルマーシマトビケラ	13.6	オオシマトビケラ	11.1	オオシマトビケラ	8.5	
4c	オオシマトビケラ	19.9	オオシマトビケラ	26.3	ナカハラシマトビケラ	35.3	アカマダラカゲロウ	29.6	
	フタバコカゲロウ属の1種	15.3	ナカハラシマトビケラ	19.5	アカマダラカゲロウ	14.8	ナカハラシマトビケラ	15.1	
	エリユスリカ亜科類	11.5	ウルマーシマトビケラ	12.5	ウルマーシマトビケラ	10.8	ウスバヒメガガンボの1種	11.4	
4d	オオシマトビケラ	15.0	コカゲロウ属類	19.7	エリユスリカ亜科類	19.4	セトビケラ属の1種	38.4	
	エリユスリカ亜科類	14.6	オオシマトビケラ	16.9	ナカハラシマトビケラ	18.1	オオシマトビケラ	23.1	
	フタバコカゲロウ属の1種	13.7	フタバコカゲロウ属の1種	14.1	フタバコカゲロウ属の1種	12.3	アカマダラカゲロウ	7.5	
5	アカマダラカゲロウ	15.7	オオシマトビケラ	26.8	エリユスリカ亜科類	54.6	オオシマトビケラ	56.7	
	コカゲロウ属類	13.2	ヒゲナガカワトビケラ	19.8	ナカハラシマトビケラ	8.3	アカマダラカゲロウ	6.2	
	フタバコカゲロウ属の1種	12.5	ウルマーシマトビケラ	15.5	アカマダラカゲロウ	7.4	コカゲロウ属類	4.4	
	オオシマトビケラ	12.5					ナカハラシマトビケラ	4.4	

とを物語る。

- St. 4 d も投入前は上記 St. 4 c と同じ優占種であったが、投入後はエリユスリカ亜科類が消え、新たにコカゲロウ属が入れ代わった。
- St. 5 は投入点の上流で影響がないはずであるが、投入後 49 日間にオオシマトビケラ以外は優占種がすっかり入れ代わっている。このことは、季節に応じた世代の更新が相当進行していることをうかがわせる。同じことは対岸側の St 4 a&4 b でも見られるので、砂利投入点直下の変化にもそれと同じダイナミズムが加わっていると考えるのが普通であろう。
- 6月の時点でアカマダラカゲロウが消えるが、この優占種の消滅は砂利投入によるものではなく、羽化などによる季節的消長の一端であろう。

1998年

- この時に4地点で最優占であったエリユスリカ亜科類の発生量は、正常ではなく、むしろ異常である。この亜科の幼虫は寒冷期に高い発生を見るが、投入後のわずか22日の間に完全に消滅したことが特筆される。
- 投入後に代わって出現したのは、セトビケラ属の1種である。この種は携巢性で、造巢性のエリユスリカ亜科類とは異なった生活型をとる。前回までの対岸における調査の St. 4(本報の St. 4 a~d に相当する区域)で3回優占種として出現しているが、最優占種となったことは一度もなかった。短期間でこの出現率の高さは際立った現象である。
- St. 5 の最優占種は、投入前がエリユスリカ亜科類、投入後はオオシマトビケラで、優占率はいずれも55%前後に達する。これ程の高率は2・3位の優占率をみても明らかなように、1種独占に近い群集構造をつくりだしているわけで、多様性が失なわれていることは確かである。1997年には優占率の均衡性が維持されていたので、1998年の状況は異常といえるものである。
- 砂利投入地点に最も近い St. 4 c では、投入前にエリユスリカ亜科類も、投入後にセトトビ

ケラ属の1種も、優占種とはなっていない。砂利の豊富な供給源のある地点では、優占種の構成を変えてしまっていることがわかる。

B. 扶桑町

表13に示した通りであるが、1997、1998両年とも寒冷期の調査であるためか、エリュスリカ亜科類が優占種として全地点で出現している。これにアカマダラカゲロウとシマトビケラ科がからんだ単純な優占種構成であるのが、この調査地域の特徴である。

1997年

- ・4地点で投入前後の8サンプル中、アカマダラカゲロウは7サンプルに、またオオシマトビケラは6サンプルに優占種として出現している。これらが安定的な優占種構成メンバーである。
- ・投入前のSt. Aではコヤマトビケラの1種とヒラタドROMシが、低率ではあるが優占順位1・2位を占めた。これはただ1回限りで、同じ日の下流部の結果からは原因を判断しかねる現象である。
- ・エリュスリカ亜科の1種は、投入前に2地点で優占種として出現したが、投入後は全地点で最上位で高率に現れている。ただしSt. Bではやや優占率を下げ、他の地点に比し2・3位との差が接近しているが、この地点だけが投入点の対岸、中洲側に位置するのが気になるところである。

1998年

- ・砂利投入前後の計8サンプルのすべてに、エリュスリカ亜科類が優占出現した。同じ3月、上流の藤沢町では、優占していたエリュスリカ亜科類は砂利投入後に完全に優占の地位を下りたが、ここ扶桑町では首位の座は下りても2・3位を確保している。
- ・まったく逆にアカマダラカゲロウは全地点で優占種であるが、投入前は1地点で第1位、3地点で2・3位である。しかし投入後は全地点で最上位を占める。
- ・1997年St. Bで投入後のエリュスリカ亜科の優占率が他地点より低いことを上に述べたが1998年の砂利投入前は50%に達する高率で、これに唯一ウスバヒメガガンボ科が加わった地点となった。水制が設置されているので、流れが岸に平行でなくかなり対岸に押しつけ

表13 底生動物優占上位種の変遷(扶桑町)

数字は優占度(%)を示す。

調査日 地点	1997-1-24 (砂利投入前)		1997-3-27 (砂利投入後)		1998-3-10&20 (砂利投入前)		1998-3-30 (砂利投入後)	
	A	コヤマトビケラの1種	19.9	エリュスリカ亜科の1種	41.6	エリュスリカ亜科類	46.1	アカマダラカゲロウ
	ヒラタドROMシ	12.2	オオシマトビケラ	11.0	アカマダラカゲロウ	11.6	エリュスリカ亜科類	9.1
	オオシマトビケラ	8.8	アカマダラカゲロウ	10.1	ウルマーシマトビケラ	6.6	コカゲロウ属類	8.7
B	アカマダラカゲロウ	31.6	エリュスリカ亜科の1種	24.7	エリュスリカ亜科類	50.0	アカマダラカゲロウ	37.4
	エリュスリカ亜科の1種	14.0	オオシマトビケラ	23.0	アカマダラカゲロウ	15.6	オオシマトビケラ	21.0
	オオシマトビケラ	10.4	アカマダラカゲロウ	18.5	ウスバヒメガガンボの1種	6.6	エリュスリカ亜科類	15.4
C	エリュスリカ亜科の1種	21.8	エリュスリカ亜科の1種	42.9	エリュスリカ亜科類	37.9	アカマダラカゲロウ	34.2
	オオシマトビケラ	13.6	フタバコカゲロウ属の1種	7.6	アカマダラカゲロウ	25.7	エリュスリカ亜科類	11.7
	アカマダラカゲロウ	11.9	アカマダラカゲロウ	7.5	ウルマーシマトビケラ	8.1	オオシマトビケラ	11.5
D	オオシマトビケラ	24.8	エリュスリカ亜科の1種	46.0	アカマダラカゲロウ	27.4	アカマダラカゲロウ	34.7
	アカマダラカゲロウ	18.9	アカマダラカゲロウ	11.5	エリュスリカ亜科類	25.9	エリュスリカ亜科類	15.9
	ウルマーシマトビケラ	12.8	ウルマーシマトビケラ	8.4	ウルマーシマトビケラ	10.2	オオシマトビケラ	8.5

- られるようになっているが、St. B はやはり少し他地点と異質な面がある。
- ・シマトビケラ科としては投入前ウルマーシマトビケラが優占していたが、投入後はオオシマトビケラと入れ代わった。

4. 考 察

以上の実験結果に基づき、砂利の投入が及ぼした河川内の環境項目（砂利堆積厚の変化、堆積した砂利の粒度分布の変化、効果検証の証人としての付着藻類、底生動物の消長 etc.）について生じた問題点の幾つかを考察してみる。

また今回は阿摺ダム下流の藤沢町と越戸ダム下流の扶桑町の2地区が砂利投入実験の対象になっているが、両地点の異同等についても言及してみたい。

4-1 砂利堆積厚

A. 藤沢町

投入方法は従来対岸の足助町大河原において行ってきた、短期間に川に島状に積む方法を改めた。これは砂利供給量が、これまで1回500 m³であったのが、3倍の1500 m³になったため搬入と同時に汀に投入する方法が「場所を取らない」という現実的な制約への対応と、川の勢いによるごく自然な浸蝕流出にまかせて、長期間にわたり僅かずつの供給がある環境を造り出すことにあった。

全量搬送完了までの期間が49日間の長期にわたっている。1997年の4~6月は降水も平常並みで、河川流量は旬間200 m³/Sを越えている(図9)。したがって、徐々に流亡した砂利

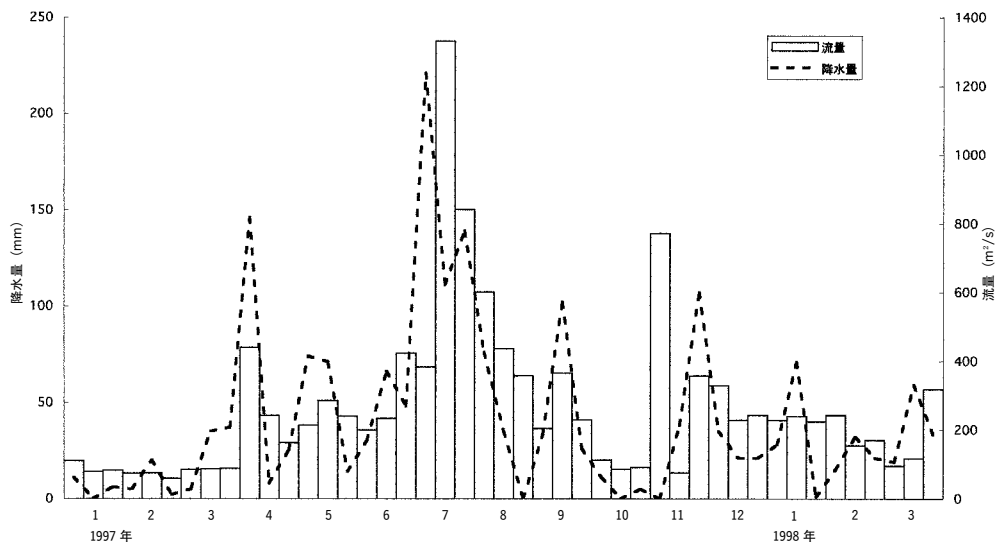


図9 河川流量と降水量 [旬間] (藤沢町)
河川流量は阿摺ダム、降水量は岩倉管理所測定値

量はかなり多いものと思われるが、その日常的追跡は不可能なので、搬入完了日をもって投入完了の形で調査に踏み切った。

図9によれば、投入後の河川流量は7月中旬の旬間 $1330 \text{ m}^3/\text{S}$ をピークに8月上旬まで旬間 $600 \text{ m}^3/\text{S}$ 以上がつづき、その後も比較的多い流量を保ちながら10月の減水期を迎えた。その間砂利の堆積厚は最大地点が投入地点に近い No. 1 から No. 2 に移行している。その有様は図3に見られる通りである。以下、順を追って図3の様子に考察を加えてみる。

No. 0 は投入点より上流にあり、堆積厚変化は予測できなかったが、1998年に入って減少が目立ち、No. 1 での減少に引き摺られている面も否定できないので、砂利投入が盛んな時期に、その塞き止め効果によって流速が落ち、幾らかの砂利堆積があったが、投入部分が流亡して塞き止め効果の消失と共に減少し始めたと思われるのが妥当である。

No. 1 と No. 2 は堆積厚の変動幅が大きな2地点である。これは砂利が最も大きく動いたことにほかならない。No. 1 では、投入直後の6月に最大の堆積厚に達し、以後経日的に減少しはじめ、下流への流下が少しずつ進行しているのがよく分かる。そしてこの時期 No. 2 では堆積厚は投入前の状態に比例的に上積みされた程度でしかない。7月になると堆積厚はまだ No. 1 にわずかなピークを残しているが、どの地点においても同じ程度になる。こうした過程を経て、10月には No. 2 にピークが移行した姿になる。これが翌年1月にはピークを失い、次第に1998年3月のように投入前にごく近い堆積状態になるものと考えられる。

重要なことは、No. 1 と No. 2 は堆積厚変動幅が大きいという点で似ていると述べたが、No. 1 が定常的な堆積厚 $6\sim 8 \text{ cm}$ への上積み幅であるのに対し、No. 2 には定常的と思える厚みが見られないことである。恐らく砂利の供給があれば溜まり場となり、供給不足のときは逆に供給源となる河床の構造になっているものと思われる。具体的構造をうまく描けないが、若干緩めの流れで、適当な深さがあるのではないかと考えられる。

No. 3, No. 4 は、堆積厚に大きな差がなく、安定した河床になっているものであろう。1997年4月の投入前の堆積厚が定常的な状態と仮定すれば、その上 2 cm 程度の堆積が砂利投入によってももたらされたことになる。投入直後の6月が増水のため欠測になったので正確に判断できないが測定できたとしたら多分同程度であったと推定する。その場合、7月のグラフから類推すると、この堆積厚安定した中では僅かの差で最大に位置したのではなかろうか。

No. 4 については纏まりを持つ堆積厚の中でも投入前とは逆転していて、No. 3 とは同じとは見られない。それは図4のグラフが一つの根拠である。図4は No. 3' が左岸に位置するために、右岸との関係を横断的に見るため描いたものである。これを見ると No. 3' の堆積厚は相当な幅を持ち、また堆積の厚みのレベルも大きい。その中でも投入直後はそれ以前に比べて多く堆積しており、砂利がこの地点まで流れてきた可能性は否定できないが、そのいずれもが増水期のもので、かなりの量の起源が宮ノ川からの流入によるものとする考えが成立するのである。したがって、No. 4 の堆積厚はその現象の右岸への延長とする考えが妥当である。

以上藤沢町における砂利投入実験の堆積厚の追跡では、次のような点が判明した。

- a. 投入砂利による塞き止め効果は投入点の上流に及んで、上流側に堆積の進行を促す。
- b. 堆積厚が纏まりを持つ場所と、バラツキの広い場所がある。現象的に同じでも、それらの背景はそれぞれに異なっていて、投入点下流でも No. 1 では安定した場所に投入砂利が初期に一時的に増加した幅があり、No. 2 は時期をずらして投入砂利が一時的に大量に蓄

積した場所であるが、長期にわたって少量ずつ流れ去る、河川内の砂利供給源のような形ではないかと思われる。またの No. 3 は本質的に砂利のたまりやすい場所で常にこの程度に砂利が堆積すると見られる。

- c. 右岸側でも投入点からの距離があると、対岸の支流からの押しだし流勢が右岸に届き、その影響は免れない。No. 3'の堆積厚は大きく動き、本来の投入砂利の効果判断を乱してしまう。おそらく投入砂利と支流からの流入砂利は混在するのであろうが、No. 4の堆積厚の状況はかなりの部分が No. 3'の影響を受けた結果である。
- d. したがって No. 3の砂利堆積は支流からの流入砂利の塞き止め効果によって安定化している可能性が高い。

B. 扶桑町

この地点では初めての砂利投入である。上流阿摺ダム下流側の調査地点で、駆除実験対象とすべきカワシオグサの発生を見なかったので効果が不明なこと、支流の流入砂利の多い地点では投入砂利の追跡結果がぼやけ、正確な判断ができかねることからそういう支障のないことを条件として選んだ地点である。

またこの地点で留意すべきは、近自然工法による自然石水制が9基設けられていることで、水制裏表での堆積状態の変化が注目される。

調査は6地点での堆積厚の追跡で行われた。投入は実験の項に記したように行われ、藤沢町の場合とは状況が少し異なる。No. 0の投入前は、当時の岸辺の堆積厚で、投入後の測定点とは岸辺の移動した分だけ場所がずれている。また No. 1'は投入前および直後の測定値がなく、その後堆積がかなり多いことが分かり追加的に定めた地点である。

図5-1に堆積厚の測定結果を示した。藤沢町に比べれば驚くべき安定度が、一目にして分かる。投入前と直後の No. 1'の結果が不明なので、とりあえずは4月のデータがそれ以前の状況判断の基準となる。それにより1・3月の欠測部分を推定でプロットして描いたのが図

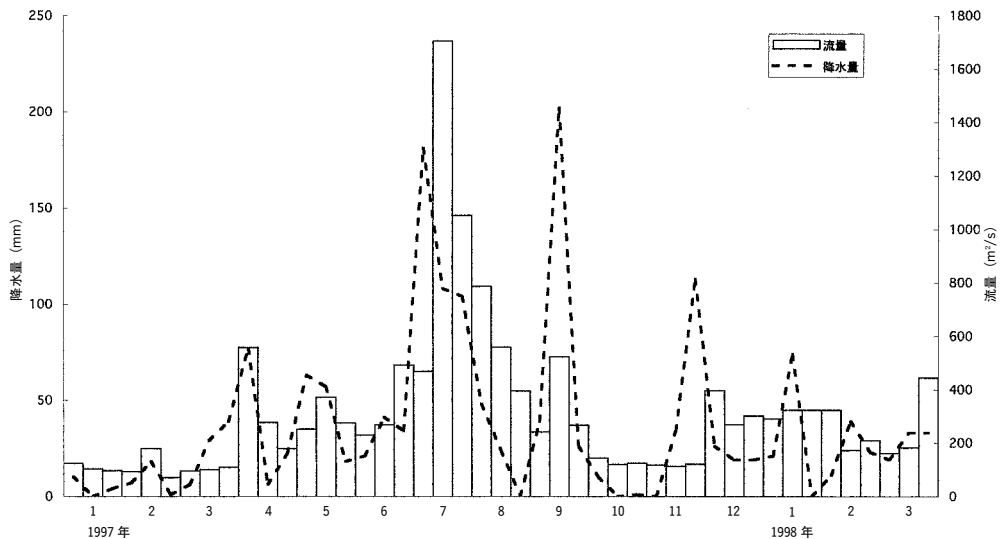


図10 河川流量と降水量 [旬間] (扶桑町)
河川流量は越戸ダム、降水量は気象庁豊田定点観測所測定値

5-2 である。

No. 0 は投入直後に 29 cm の堆積をしめすが、4 月には 11 cm 程度に減少し、以後翌年 3 月までわずか 5 cm 弱の減少があるだけとなった。このことは、投入後 50 日で投入地点では砂利は流亡したことになる。

No. 1' は 4 月にいまだ 26 cm 強の堆積がありながら 1 か月後には 20 cm になり、その後は常に安定して同程度の堆積厚を保っている。詳細に見れば誤差範囲内とも受け取れるが、5 月以降は経日的にきわめて僅かずつ増加しているのが、この地点が水制裏側であることの効果として気になるところである。

No. 1 は投入前と直後に最も低い堆積厚になっているのが経日的に増加していく傾向を示している。この地点は水製の表（上流側）で、理論的には水衝部の攪乱で堆積が起きないと見られたが、予想に反する結果になった。この原因については判断できない。ただ印象としては、No. 1' の堆積部の増長の一端になっている感がある。投入前後での乱れはほとんどない。投入直後にもここでは堆積していないので、その前の水製の効果がすでに現れてしまっているのかもしれない。No. 1' の 5 月以降ほどの堆積安定度は見られないで、バラツキが大きくなる傾向がある。それも経日的に漸増と見られ、僅かでも供給される砂利があれば、堆積は着実に進行する可能性を示した。

No. 2 も水制裏であるが、堆積厚は若干少なくなる。7 月の増水期にわずかに大きな値になるがそれ以外の安定度は優れている。投入砂利にとっては関連のうすい地点と思える。No. 3 は上流側で纏まりを持っていた堆積厚が、無方向にバラツキ始めるのが特徴で、変化は激しいが供給量の限定範囲内での規模に止まっている。No. 4 についてもその延長として把握するのが妥当であろう。

全体として最下流の調査地点が投入点から 650 m であるが、砂利の投入効果を見るには遠すぎるようである。水製の効果として、裏側に堆積する砂利量は把握できるが、水制本来の目的である水勢の緩衝と流向の変更に関してのきめ細かな配慮をした計画でなかったのが残念である。

4-2 砂利の粒度分布

A. 藤沢町

今回の投入砂利の粒度は、図 6-1 の左端に見られるように、d グレードが大部分で、大粒度がきわめて少ない特徴がある。このようなケースでは、d グレード以下の粒度はただちに流れ去り、どこかに溜まるか一挙に分散してしまう可能性が高い。それを念頭に置いて諸現象に対する考察を進めてみたい。

図 6 は堆積厚の項であえて処理したように、対岸の調査地点 No. 3' を別扱いにしてにある（図 7）。また No. 0 は投入点の上流 20 m の地点で、本来投入に関係なくブランクとして扱うのが本筋であるが、堆積厚の変動で確認したように投入砂利の塞き止め効果で影響が皆無とはいえない面があり、調査 1 回ごとに粒度分布を図示した。

No. 0 の粒度分布は若干の変化はあるが、a, b グレードが 60% 以上になるパターンは変わらない。4 月の投入日の河床に堆積している投入点下流の調査地点では、実験の部で記した投入方法であることからすでに砂利が相当量入っているはずであるが、c グレード以下の細

粒は、下流の No. 3 と 4 に大部分移っている。6月の投入完了直後は No. 3 が欠測になっていて正確な分析にはならないが、おおむね4月の時点に類似している。ただ7月時点のグラフによると、No. 3 はそれより上流の地点と著しく異なった粒度分布パターンで、やはり6月の No. 3 地点の実態を正確に把握したいところである。

No. 3 の特異さについてはすでに堆積厚の考察において指摘したが、7月の粒度分布できわめて明確にそれが現れた。増水の影響からと思われるが、ここでcグレード以下の粒度が85%以上を占める結果となった。砂利の粒度分布は各グレードの相対比率によるものであるが、一挙に中小粒度が流れて滞留し、サンプリングに際してもそれらを優先的に採取したためであろう。

No. 4 についても同じである。ただしより下流の地点であり、さらに細かいdグレード以下の粒度が多い。この辺の状況判断は対岸の支流からの影響を排除しては成り立たないので、改めて後述する。

減水期に入った10月には、堆積厚分布でいえば、ピークが No. 2 にあるが、反面 No. 3 では投入前に最も近い位置に戻っている。呼応したように粒度分布も、投入前に近付いて7月に No. 2 と 3 との間にあったギャップは消え掛かっている。ギャップは No. 3 と 4 の間に移った。

さらに1998年1月になると No. 3 と 4 のギャップも取れて、a, bグレードのような大粒度の分布傾斜が上流から下流へのすっきりした分布状態におさまった。しかし投入以前の姿には決して戻っていない。これは顕著な砂利投入の成果であろう。

なお、改めて言及しなければならぬのは、砂利堆積厚でふれた対岸支流の影響である。No. 3' を挟んで、No. 3 と 4 の粒度分布を見たのが図7-1~6である。7月までの粒度分布で見れば、実に奇妙な状態である。4・6月の2回は、No. 3' は明らかに No. 3 と 4 とともに異なった分布で、cグレード以下の中小粒度が大部分を占める。No. 3' は左岸にあり投入砂利の影響は受けにくい。もろに支流からの流入砂利の影響としても、決して否定はできない。しかし増水があった7月(図9参照)には No. 3' にも大粒度が増加しその勢いは No. 4 にも及び始めた。そして減水期の10月には No. 3' は、No. 3 と 4 の中間に位置している。丁度 No. 3 から 4 への大幅な変化に割り込んだような形である。この形は投入砂利が多分存在したであろう1998年1月まで維持された。しかし供給源(投入地点の砂利)の消滅とともに再び支流の影響が復活し、1998年3月(図9によれば、この冬は前年より河川流量が多かった)の No. 4 の粒度分布では実に97%がdグレード以下の細粒という、想像もできぬ状況になった。堆積厚の考察時にバラツキの多い状態になっていることを述べたが、それは粒度分布においても現実である。投入砂利の効果が約1年間以上も続くことは考えにくい。

B. 扶桑町

投入砂利の粒度分布は、偏りの少ないバランスの取れたものであった。投入前には図8-1に見られるように、a, bグレードのピークが No. 2 にあり、必然的にcグレード以下の中小粒が少なくなる。砂利投入後の3月には、全体的に大粒度が増加したが、dグレードの分布量は均一になったようである。この間減水期であったことから、1月と3月には粒度分布に基本的な差はない。

4月になると河川流量が増し(図10)、分布の様相が変化した。まず No. 0 の85%強が a,

b グレードの大粒度で占められ、投入砂利の中小粒度のほとんどは投入点から流れ去ったと見られる。しかし No. 1' と 1 には c グレード以下の中小粒度が 80% を占め、それより下流側では a, b グレードが 60% に達する。これは相対的に中小粒度の流下が激しい中で、まず水制裏の No. 1' とその増長部分の No. 1 に中小粒度が集積したものであろう。それより下流ではまだ蓄積すべき中小粒度の砂利の供給が届かず相対的に大粒度の増加を招く結果になったと思われる。

投入地点における粒度分布は、5 月に入ると e~g の小グレードを残さず大中粒度のみとなる。4 月との相違についてはその原因に考え至らない。No. 1' は c, d グレードの割合が変動しているがこの地点を基点にして No. 3 まで a~c グレードの増加が続く傾向がはっきりと見られる。小粒度の流れた後の残存成分のゆっくりした下流への移動と見られる。この傾向は、まだ No. 4 まで及んでいない。

No. 1' は堆積がきわめて安定しているが、堆積した砂利の粒度についても常に大~小の粒度を抱えて組成比を少しずつ変えているにすぎない点でも、水制裏の標準的の地点とすることができそうである。このことは 7 月の増水期にもまったく揺らいでいないことから保証される。増水期にはかなりの攪乱があったようで、堆積厚はそれ程の変化がなかったが、粒度分布は大粒度の下流への移動をもたらしているらしい。

その結果は、10 月になって 7 月との 3 か月間に 8・9 月の増水期を過ぎた姿として表現されている。投入点から最も遠い地点の No. 4 が欠測であるので、影響がどの程度下流の及んだのかが掴めず残念であるが、減水期をへて 1 月の粒度分布が 10 月と非常に良く似たパターンであることから、対照しながら類推すれば、No. 4 は大粒度が少なく 5 月のパターンに戻ってしまったようである。堆積厚のところでも、投入砂利の影響は No. 4 までその影響を見ることが不可能としたが、それは現実に証明されたといえるだろう。

さらに 1998 年 3 月のグラフを見ると、No. 3 と 4 の間には変化が見られ、堆積厚変化からこの 2 地点は投入砂利追跡からは離れた見方が必要としたことを、補強した形になった。こうして見てきた堆積砂利の粒度分布は、すべて左岸側で、9 基にわたる水制による流れの勢いと方向が制御された部分における結果である。この結果から、水制の効果を知るきっかけができるかもしれないが、砂利の攪乱による堆積分布の広がりという視点は見失われがちとなる。それはあまりにも多いカワシオグサの発生をいかに制御するか、砂利投入が直接的に効果を現すのではないかと期待の大きさの影になり、計画段階から水制の存在を重視する視点が抜け落ちていた。

4-3 付着藻類の現存量と活性度

A. 藤沢町

砂利投入前の乾燥重量はどの地点も高い数値を示した。投入後は激減したが調査間隔が開いているため、この減少が砂利投入の効果なのか、あるいは自然更新の結果なのかの判断はつかない。それは第 2 回目の投入に際し、投入後の調査までに 22 日しかないが、第 1 回目ほどの劇的減少にならず、第 2 回目投入後の数値のほうが第 1 回目投入後の数値よりも高いことによって起こる当然の疑問である。

有機物量が乾燥重量に比例して大きく出るとはやむをえないが、第 1 回目投入前の付着

物には有機物以外の物質が多かったことが表2の結果からはっきりと分かる。翌年3月に実施した調査では、乾燥重量そのものは高くないが、実質有機物量を算出するための強熱減量率は第1回目投入前と大差がない。ということは、有機物以外の蓄積も常時着実に進んでいることを示す。

砂利投入の効果を見るための投入に無関係対象地点（上流の St. 5）それに多分関係の薄いと思われる対岸側の2地点（St. 4 a&4 b）は、少なくとも第1回目投入前後には他地点と対等と見て違和感のない結果を提供した。しかし第2回目投入前後においては若干相違した結果が見られる。これらの事実から判断されるのは、何をもって砂利投入結果と判断できるかというきわめて基本的なことが、藻類の再生産能力を加味させて的確な考察を行わないと曖昧になることである。

第2回目投入後は、砂利投入点下流の St. 4 c&4 d での強熱減量が他地点より明らかに大きい。これは砂利投入後の藻類再生産が順調に進んだ結果であるとすることは可能であるが、有機物量の数値（絶対量）としては反映していない。

付着藻類活性度をクロロフィルとフェオフィチンの比率で調べたが、この項目も投入点に関係のない St. 5 で第1回目投入前に桁外れに低く、活性の高いことが分かる。ただ投入後は逆にずぬけて高い数値になり、活性が落ちた。こうした足並みの揃わぬ分析値は随所に現れるが、分析の不安定性によるよりも、一定の区域内でもより細分した地点各所で、付着藻の異なった消長があることを示すものと思われる。

第2回目投入前の St. 4 c&4 d のフェオフィチン率は他より高い。しかし投入22日後はこの2地点で低い値となった。砂利投入点に近い地点のこの変化は、投入後間もない時期は藻類活性を高める効果があることを示す。

B. 扶桑町

この調査区域の付着藻類現存量は、表3に示した通りである。藤沢町と同様に、第1回目投入前は非常に乾燥重量が多かったし、有機物量もまた多かった。しかし砂利投入は効果がなかったのか投入後の乾燥重量の低下は僅かで藤沢町のように桁外れの減少はなかった。有機物量もそれに対応した減少であった。砂利投入後の長期間にわたる漸進的改善なのか、あるいは単なる季節的消長なのか不明であるが、第2回目投入前の乾燥重量は一桁下がっていた。原因が前者であることを期待したいが、河床の礫面を目視する限り、その実感はない。乾燥重量は上流から下流へ増加傾向にある。有機物量も同様で下流ほど多い。第2回目投入後の乾燥重量低下は僅かである。また有機物量の低下が少ない。

第1回目投入前後の乾燥重量と有機物量の数値の高さと、第2回目投入前後の低い数値レベルの変化量は、1年間を挟んで同時節での比較なので、その間に河床環境に変化があったように思われる。それは砂利投入効果の事実上の成果が現れてきたとも取れるし、1997年の1~3月に比べ、1998年の同時期の河川流量がはるかに多い（図10）ことと関係するとも考えられる。

活性度の方を見れば（表4）、第1回目投入で St. d の1点でフェオフィチン率が少し下がったほかは、かなり上がったことは明らかで、砂利投入は逆効果になっている。第2回目においても、フェオフィチン率は地点により増減両方があり、効果のほどははっきりしない。なお第2回目投入前後は、最近長期にわたって確認されてきたカワシオグサが定量調査の過

程で優占種として採用された。大型糸状藻類で藻体も大きく重量があるので、分析項目に異なった結果の出ることが懸念されたが、どの項目を取っても、表9に優占種として取り上げられた地点での、特別な数値は出ていない。

大局的に見れば、砂利投入は藻類の活性に寄与する面があるものと思われる。しかしその間に季節消長などの要因が加わり、ある種の状態が長続きすることは望めそうにない。

4-4 付着藻類の確認種数と優占種の構造変化

A. 藤沢町

最も気にかかるのは確認種数である。前報に述べた確認種数に比べ、調査場所と時期がかならずしもすべて同じではないので比較が正確ではない面を考慮しても、この区域内の河川という点からすれば著しい種数増加である。この傾向の現れは、調査開始の1995年からの継続的なもので、主に珪藻類の増加が目立つ特徴がある。

こうした藻類相の多様化は、水質の浄化と河床構造の多様化によって実現すると考えられる。またその年の河川流況や日照も影響するであろう。しかし傾向を持って増えているのは、突発的な現象ではない。それを毎年少しずつでも砂利を投入してきた目立たぬ成果と考えたいところである。

次いで優占種に関して考察する。表8の中で、*印を付けたものは、優占種の認められない地点で、個体数は多くないが、割合普通に見られる種として参考に記入したものである。また左下がり斜線は、優占種はもちろん*に該当する種も欠く地点である。このような地点があるとは考えなかったが、砂利投入点よりかなり上流のSt.5の平瀬部分では、砂利投入に関係なく無優占種であった。早瀬部分に2種の優占種が存在したが、これも6月の調査では消えている。砂利投入に関係なく、単に生活史の現実面としてこのように極端な消滅の時期があることを認識しておく必要がある。こういう現象は多地点で同時に生じるのではなく、4月の他の調査地点には優占種が存在している。

砂利投入が優占種をその地位から駆逐するケースは、表8から幾つもの例が見出させる。しかし逆に優占種を生み出す例は見られない。このことは、投入砂利の礫面摩擦が優占種の繁殖を抑制する効果を持つことになる。

4月第1回目の投入前に藍藻と珪藻の計6種が優占種であったが、砂利投入後の6月には、藍藻の *Homoeothrix janthina* と珪藻の *Achnanthes japonica* の2種だけが構成種となった。後者は投入前も優占種として存在していたが、前者は忽然と優占の地位を獲得したもので、種によっては繁殖の経緯が相当異なっていて、それらがその時々に応じ優占種の社会を形づくるのであろう。また砂利投入に強い種があるのは確かだが、それが優占の地位から下りるのは砂利の影響のない地点でも起こっているため、結局何が減少の原因なのかは分からない。

1998年3月の砂利投入に際しても、投入前6種の優占種が投入後には3種になった。そのうち藍藻は2種、珪藻が1種である。投入点下流の残存2種は、いずれも藍藻で、砂利投入で駆除困難なのは、藍藻であるかもしれない。

興味深いのは、*Achnanthes japonica* から *Achnanthes minutissima* への同属間優占種の交替である。同属であれば、かなり生態的に類似性を持つはずであるが、*A. minutissima* が1997年には一度も現れていないので、河川環境が二つの調査時期で微妙に変わってしまった可能

性がある。

B. 扶桑町

確認種数は藤沢町に劣るが、決して少なくはない。

この地区において優占種を欠くのは1998年2回目砂利投入前のSt. A早瀬、平瀬で、計7種の普通種が個体数を控え目にして生活していた例だけで、普通種すら見られない地点は皆無である。この普通種地点から砂利投入後に2種の優占種が出現したが、2種ともに普通種の中に取り上げられていない。

投入後に優占種のなくなったのは第1回目投入後のSt. C早瀬部分で、優占種の残存ではない。

このように種の消長には規則性がなく、何が起こってもおかしくない。第1回目砂利投入の前後でも、残存優占種は *Homoeothrix jantina* 程度で、ほとんどが激しい消滅と出現によって優占種社会を動かしている。この第1回目砂利投入によって、多様性が変化した様子は見られないが、藍藻のしぶとさが藤沢町と同じく印象的で、駆除は困難と思われる。ところが、1997年に優占種の常連だった *Homoeothrix jantina*, *Diatoma vulgaris*, さらに *Fragilaria capucina* v. *vaucheriae* などは、1998年になると出現頻度が著しく落ちた。この年にカワシオグサが砂利投入前に2か所で優占した。投入後には優占地点が4地点に増えたが投入前の優占地点ではすでに別種に置き代わっており、世代交代の速さは驚くほどである。扶桑町地区にカワシオグサが発生して久しいが、砂利投入に遭遇させたのは初めてである。しかしこの方法で物理的に擦り取るという駆除方法は効果がないような結果であった。駆除にはまったく別の観点での取組が必要なように思われる。

第2回目投入前の優占種は6種、投入後は4種になった。生態学的に考えれば、優占度が小さくなるほど反面として多様性が上がることになる。現地を観察していると、カワシオグサのみの優占状態の藻類群集が、多様性を持っているとはとても思えない。その点でカワシオグサを含む複数種共存の優占種群があることと、優占場所が小範囲といえども固定せずに移動している様子が把握できたのは、藻類群集の多様化への可能性が否定されていないように思われる。

このテーマの性格上砂利投入の効果を早く、広く、浅く評価する方法をとらざるを得なかった。そういう制約のもとで、藤沢町、扶桑町の2地区の藻類群集を調査した結果、どのような注目すべき点があるのかを以下に纏めてみる。

- a. 1回ごとの結果で効果有無を見てきたが、藤沢町（対岸の足助町大河原地区を含む）での3年間に及ぶ長期間の投入継続は、いつしか藻類相を種数増加という形で豊かにしているらしいことが分った。
- b. 藻類の消長はその機構がはっきり掴めないが、自然状態で優占種のない状況が起きる。優占種の消長を判断材料として調べた砂利投入効果は、その点を割り引いても、短期的には有効であると判断される。
- c. 砂利投入に耐えられる藻類は、2・3種の藍藻と1・2種の珪藻であるとみられる。
- d. 一見河床の全面を覆っているように見えるカワシオグサも、藻体は大きいですが、群集の一員として生活している。部分的には消長が激しく、砂利投入が高い駆除効果を発揮している証拠は見出せない。

- e. 砂利投入による優占種の単純化は起こりうることである。しかし果たしてそれが藻類多様性に結びついているのかの判断は容易ではない。
- f. 優占種のある状態とない状態が、現存量や活性度の分析項目に明確に表現されてはいない。しかし砂利投入によって乾燥重量を高める余分な物質は除去され、河床はすっきりした状態になる。
- g. 調査分析されたデータは、単に停止断面としてとらえただけで、永続して変化し続ける藻類群集の理解にはほど遠いし、まして優占種に限った論議は、上辺をなぞっただけで深い理解には至らない。調査方法と、データ解析の質を高める方策が必要である。

4-5 底生動物の現存量について

A. 藤沢町 (表 10 参照)

第 1 回目の砂利投入で現存量は増加したが、その効果は約 10 か月余後の第 2 回目投入前まで、投入点下流のみで持続した。対岸側や上流部との対照でも有意に増加が認められるので、砂利投入効果はあったと考えられる。しかし第 2 回目投入後 22 日目には減少したが、対岸部で前後に差がないことから、投入による一時的減少であると考えられる。

B. 扶桑町 (表 11 参照)

2 回の砂利投入によって総体的に現存量は増加した。ただし対岸の 1 地点だけは投入前に比べ減少しているが、投入による河床の構造に若干生息不適な変化があったのか、あるいは他の地点のほうが優れた環境になったのか、いずれとも判断はつかない。

4-6 底生動物の優占種の変遷について

A. 藤沢町

シマトビケラ科とアカマダラカゲロウの優先する底生動物相であるが、これにエリユスリカ亜科、セトビケラ属、フタバコカゲロウ属、コカゲロウ属が状況に応じて混じってくる。この調査で判明した重要な現象は、ヒゲナガカワトビケラの減少で、河床の状態は礫間の空隙が縮小して、大型のこの種の幼虫が隠れて生活する巣造りの場所が消滅してきたため、代って小さな空隙でも造巣できる中・小型幼虫のシマトビケラ科が繁殖したものであろう。こうした傾向は、対岸側の砂利投入に際しても確認されており、新たな出来事ではなく、さらに今一度確認したにすぎない。エリユスリカ亜科は低温期に増えるもので季節消長の一端であるが、アカマダラカゲロウはシマトビケラ科と共存する形でいつも現れてきたが、優先順位が逆転するほどの増え方のようなのである。匍匐性で発達した脚を持つので、掴まる対象が必要であり、おそらく造網性のシマトビケラ科によって形成された粗い河床を生活の場としているものと思われる。セトビケラ属は携巢性で、過去対岸での調査でも出現頻度は高くなかった。今回の右岸側ではやや流れが緩まっていると思われる St. 4 d 地点でしか現れていない。しかし対岸側では 4 回出現しており、流速のやや落ちた場所で安定した河床に繁殖したものであろう。優占種構成メンバーは扶桑町に比べ豊富であるが、河床が浮き石の少ない安定状況は砂利投入前後も変わらない。

B. 扶桑町

藤沢町と同じく、全体的に優占種群としてシマトビケラ科とアカマダラカゲロウで代表さ

れる底生動物相である。これにかなり大量のエリユスリカ亜科が関与するが、前述の通り低温期の現象である。前二者は砂利投入に関係なく安定して存在し、礫間に強力な巣をつくっているシマトビケラ科に依存した共生関係にあるのであろう。ただし藤沢町においてはシマトビケラ科のほうがアカマダラカゲロウより上位にあることが多かったが、ここでは、とくに1998年に入ってから立場が逆転している。河床に攪まりやすいものの存在を考えると、この年藻類定量調査で優占種の地位を獲得したカワシオグサの存在が浮かび上がってくる。こうした状況は、滑面を利用する生物にとって、不適な環境以外の何者でもない。また藤沢町ではエリユスリカ亜科は砂利投入後に完全に姿を消したが、ここでは常に残っている。この原因は考え至るところがなく、まったく不明である。

エリユスリカ亜科は植物質を食べるが、カワシオグサを食べるかどうかは分からない。しかしエリユスリカ亜科の大発生がカワシオグサとの関連で考慮、研究されても良いであろう。逆に食べられる立場では、動物食の魚類にとって重要な食料源である。魚類の減少の事実があれば、捕食者の増殖を計らねばならぬ。

5. まとめと今後の方針

1995年から始まった河床改良のための砂利投入実験は、当初から試行錯誤であったといえ多くのデータを取り、それをまとめて分析しながら、本報で丸3年の成果を発表することになった。

こうした実験を行っている間にも、矢作川の環境悪化は進行していくように思えてならない。早く成果を出さねばと気は焦るばかりだが、道程は知れば知るほど遠く深い。問題点の整理とそこからの再出発が、その道程をいかに短縮できるかに掛かる。

前報にもこの章にまとめをかねて問題点とその対応方針を述べた。それと重複する部分もあるが、以下に列記しておきたい。なお1997年度は藤沢町地区のほか、下流の扶桑町地区でも投入した。1)~4)は前者に関し、5)~7)は後者に関係するが、それ以下は全体的な問題に関する点である。

1) 前報までの投入は、左岸の足助町大河原地区であったが、砂利の流下投入地点側に偏り、対岸側への広がりが明確に認められなかった。すなわち横断面で見れば、砂利に富んだ部分と砂利不足の部分が2分割されて存在していたわけである。水生生物にまんべんなく投入砂利を直面させないと、隘路を提供することになり、供給砂利の効果を計り兼ねる点がある。しかし砂利供給量の制約からこれまで実現しなかった。そこで、前報に記した方針により1997年度に右岸の藤沢町から砂利の投入を実施した。滞すじは右岸側にあり、砂利の流下をこれに乗せた形であるが、流速があり危険を伴いかつ2)に述べる理由もあって、重機により積極的に川の中へ押し込む従来の方法が採れなかった。

2) 1997年度は1回当たり1500 m³の砂利が2回調達できたが、小刻みに運び溜め置く場所が右岸側に無く、搬送の都度汀に寄せて、自然に浸蝕され、流れさることを消極的に認める投入方法で、最終的に残りを川に押し入れる方法を採用した。搬送の日数が49日かかったので、最終日を投入日としたが、実験方法としては過去のデータとの統一性を欠く。現場の

状況で計画が変更されざるを得ない規模は、あらかじめ予想された計画であってもその場での迅速な対応を余儀無くされる場面があまりにも多い。

- 3) 前例からはるかに多くの量的に確保された砂利であったが、1997年度は前年よりも降水に恵まれ河川流量が維持された。そのために、流下しないことによるデータ信頼性への不安はなかった。反面水位が高くてサンプリングが思うに任せず、欠測あるいは時期待ちによる予定外の時間経過など、多くの問題点を含むデータとなった。
- 4) 藤沢町地区からの支流はないが、対岸には大河原川があり、そこからの供給砂利の及ぼす影響が下流の調査地点における実態把握のポイントだった。支流から横断的に流れ込む水流は、本流と交差して塞き止め効果があり、データとしては必然的に乱れが生じるので、それより上流のものしか扱えなく、検討範囲が限定される。実験場所の選定は、河川規模とその構造、支流の有無、投入可能な砂利供給量、砂利蓄積基地の規模、投入時期の自由度等を綿密に調査して決定すべきである。
- 5) 大型糸状緑藻カワシオグサの発生の原因が砂利不足にあり、またその駆除の決め手として河床に豊富な砂利があることを想定して、この一連の実験が行われたが、実験の現場では開始以降カワシオグサの発生がなく、所期の目的に沿った実験結果は得られなかった。それを実現するために、もう1地区扶桑町を常時カワシオグサの発生する場所として選定し、砂利投入を行った。効果は否であったが、底生動物の動向にも影響を及ぼさない結果を合わせ考えると、この場所は下流だけに藤沢町付近より河川規模が大きく、同規模の砂利量では結果が現れないように思われた。また水制による流向の変更などは砂利による直接的なカワシオグサへの衝撃を柔らげる可能性がある。
- 6) 扶桑町地区でも投入砂利の流下を追跡したが、この地区には近自然工法による自然石水制9基が設置されていて、水制裏に回る砂利の追跡に終わった。水制よって流れはかなり乱されていることが判明した。
- 7) 扶桑町地区の砂利投入は、単純にカワシオグサの発生を抑制できたか否かの結果判断以外に、当面検討すべきことは水制の機能検証を、砂利の流れで追跡してやることであろう。
- 8) 前報にも記したが、生物学的に投入効果を追跡するに当たり、付着藻類と底生生物以外に魚類を追加することがデータ補強にどうしても欠かせない。3者の食物連鎖関係を生産と消費のデータより分析し、それが砂利投入で短期にせよ新しく造られた環境ではどう変わるのか。もっとダイナミックな手法が今後は必ず求められよう。
- 9) 実験はいきなり現地にて実施された。そのための段階的な実験規模拡大の過程を経ていない。現地の切迫した事情はそれ程深刻であったわけで、この順序が間違いだったとは一概にいけない。しかしこれも前報に記したが、投入による水生生物の遷移の過程を、調査間隔を詰めて最低1サイクルできれば1シーズン調査する必要性は変わらない。現地河川規模では気候条件、河川流量の小刻みな変化にうまく対応できる計画は成り立たず、現地に近い条件で制御可能な規模での実験場設置を考える必要がある。
- 10) 深刻の度を増すアーマーコートへの不安と同時に、浮き石状態の河床実現への希求は強い。基本的にはダムによる流れの滞留がある限り解消は難しいが、少なくとも砂利投入実験当事者として、生物学的追跡という間接的方法によらずに、河床の変化の様子を肉眼で確認しなければならないと考える。いくつかの浮き石モデルは全国にまだ多く残されている

るはずだが、それらと矢作川の比較検討が当面急がれることである。

- 11) 上にあげた諸々の事項は、所詮砂利投入が所期の目的に対し効果を上げ得なかったことに端を発する。端的にいえば砂利投入は、長年掛かってつくられた自然河床の上で起こった表面的かつ短期的な擦り傷のようと思われるのである。しかし、この砂利投入を半永久的に続ければどうなるかの見通しは、まったく立っていない。これまでの成果では、砂利投入が一時的あるいは短期的ではあるが、生物生態学的評価で、河床構造を改善していると思われる場面はあっても、悪化した場面は認められない。こうした砂利投入実験の成果の積み重ねが、今後ダム運用によって、堆積砂利の下流への定期的な放流供給へつなげるきっかけを生むことになるものと信じる。

6. 要 約

- 1) シルトが堆積し河床を固くしている異常な河床形態の改善を計るため、人為的な砂利投入実験を1995年度から行っているが、本報はその3回目で、1997年度の結果を報告した。
- 2) 従来と実験場所が移動し、さらに1か所の追加が下流部であった。前者は前年度までの対岸、豊田市藤沢町で、後者は豊田市扶桑町である。
- 3) 砂利の投入量が増え、1か所につき $1500 \text{ m}^3 \times 2 \text{ 回} = 3000 \text{ m}^3$ 合計 6000 m^3 が投入された。これらの砂利は、すべて矢作川本流の上流と支流で産出したものである。
- 4) 調査は、投入砂利の分布（堆積厚）とその地点の粒度分布の2項目で、流下動態を確認した。さらに河床の状態改善の成否は、付着藻類および底生動物の現存量、生活活性度、確認種数、優占種構成の変遷などの項目を調査分析し、間接的に砂利投入の効果を判定した。この手法はこれまでと変わらない。
- 5) 1997年は河川流量が多く、藤沢町では比較的早く砂利が流下し、減水期の10月には堆積厚、粒度分布も安定の傾向にあった。 1500 m^3 の投入量はかなり多そうに見えたが、その効果が1年間続くことはない。
- 6) 藤沢町では投入点から比較的近い調査地点で、堆積しやすい場所と、流れやすい場所が河床にあることが推定された。堆積しやすい場所でも、長期で見れば一時貯溜で、その後徐々に減少に向かう、いわば河川内の砂利供給源として作用する傾向が若干ある。
- 7) いろいろな形での塞き止め効果があることが藤沢町の調査で分かった。まず砂利投入点の上流20mでは、投入された砂利による塞き止めで流れが緩み、堆積厚の増加が起こった。また対岸支流の押し出し（横断流）によっても塞き止めが認められ、堆積厚ばかりでなく粒度分布にも変化があることが分かった。
- 8) 扶桑町で投入された砂利は、水制の影響で追跡困難であり、結果的に水制裏に溜まる砂利の堆積厚と粒度分布の変化を調べるに止まった。堆積厚の変化は初期のみで、投入後80日程度で安定しその後変化はほとんどない。下流ほど安定性は弱く、一定範囲でバラツキを見せる。
- 9) 小粒度はいちはやく流亡し、水制裏以外は実態把握が困難である。大粒度のものは減水期の秋までに徐々に下流へ移行し、次の増水があるまでは止まるらしい（扶桑町）。

- 10) 水制裏に堆積した砂利はその後も一定量で安定した状態に置かれる。堆積厚では安定していてもそれは水制の能力に支配された結果で、粒度分布はかなり変化する。投入砂利の影響が粒度分布の上で消滅するのは増水期を過ぎてからである(扶桑町)。
- 11) 砂利投入が付着藻類に与える影響は、藤沢町では乾燥重量が顕著に減少したことで効果が認められる。とくに投入点の下流では乾燥重量が継続的に抑えられる。礫の表面を被覆している物質の除去がかなり良く進行するのであろう。付随して強熱減量も投入点の下流では大きく、バランスの取れた有機物生産が復活した。活性を示すフェオフィチン率は1回目の投入後に低く(活性が高く)なったように見えないが、2回目の投入を経て投入点下流で活性が向上した。
- 12) 従来の大河原地区を含む藤沢町地区では、これまで3年間の砂利投入があった。その蓄積の遅まきながらの効果らしいと考えられるが、この地区では藻類の種数増加があり、群集の多様化が徐々に進行してきたようである。とくに珪藻類の増加が著しい。
- 13) 藻類優占種の存在しない時期が、砂利投入に関係なく起こっている。砂利投入は優占種の減少に寄与する。その逆の効果は認められなかった。しかし投入後に優占種となる種は、投入前もその地位にあった種とは限らない(藤沢町)。
- 14) 扶桑町でも砂利投入は付着藻類調査で、まず乾燥重量を減少させた。ただしこの地域の河川は1回の砂利投入で十分な効果は得られず、2回目の投入を経てやっと考慮できるレベルに達した。それ程除去困難な付着物質が多かった。有機物もこれに対応して2回目の投入で、通常値に近い安定した量になった。
- 15) フェオフィチン率に対し砂利投入は効果が曖昧となった。これには大量発生したカワシオグサの激しい消長が関連しているようである(扶桑町)。
- 16) 優占種が砂利投入で除去できないケースでは、藍藻が残ることが多い。たとえ投入前の優占種がなくなってもその代置種が現れる。これは藻類群集の種間競争関係で、空位を埋め合わせるメカニズムが成立しているからである。珪藻でも砂利投入に対して強い種があるが、それは限定される(藤沢町・扶桑町)。
- 17) 扶桑町におけるカワシオグサ発生状況は顕著であるが、砂利投入によって消滅した地点もあれば新たに発生した地点もあった。局所的に消長の差が激しいように見受けられ、焦点の定まらぬ間に、結果的に砂利投入は効果なしの判定となった。
- 18) 藤沢町における底生動物は、シマトビケラ科とアカマダラカゲロウが優占する。これに季節的にエリユスリカ亜科とセトビケラ属が加わる。前2種は過去にも優占種であったので基本的に変わりない。しかしヒゲナガカワトビケラが優占種から消え掛り、河床には大型種のすめる礫間の空隙がなくなってきているものと思われる。エリユスリカ亜科は砂利投入により除去されるが、シマトビケラ科とアカマダラカゲロウは除去できなかった。
- 19) 扶桑町でも底生動物の優占種構成は藤沢町と似ている。ヒゲナガカワトビケラは優占種からまったく除外され、アカマダラカゲロウがシマトビケラ科と逆転して最優占の地位にあること、セトビケラ属が優占しないことなどが藤沢町と相違している。エリユスリカ亜科は、ここでも大発生し優占したが、藤沢町の場合のように砂利投入で除去できなかった。水制により流れが分散して、砂利の衝撃を緩めるためであろうと推察された。
- 20) 以上のような研究結果に関し総合的にまとめられ、これからの研究の進め方が検討提議

された。

7. 謝 辞

過去2回の報告でも華々しい成果は上げられなかったが、今回もその域から出ない結果となった。しかしこの研究の意義を深くご理解いただき、これを承認され、現場作業にまた砂利の調達に幾度となく便宜を計ってくださった愛知県河川課、愛知県豊田土木事務所、同足助支所の各位に対し、深甚の謝意を表したい。日常的に河川の動向に心を砕いて事業を進行していただいた豊田市河川課、矢作川漁業協同組合、枝下用土地改良区、また河川流量や降水量データをご提供くださった中部電力株式会社、日本気象協会東海支部各位にも厚くお礼申し上げる。

砂利の追跡調査、サンプル採取、粒度分布分析は、前年と同じく宮田昌和、田口美恵子、白金晶子の皆さんの労により完遂できた。生物学的調査については、名城大学農学部動物学研究室の有田豊教授に随時ご指導とご助言をいただいた。本報の成果は今回も本誌に一文をおよせいただいている内田朝子氏のご教示と環境科学株式会社から提供された多くの生物調査基礎データの解析によりもたらされたものである。以上の各位に対して、ここに改めて感謝申し上げる。

Summary

- 1) In order to improve an abnormal riverbed condition where silts were deposited to make the riverbed hard, an artificial experiment by throwing gravels into the river has been performed since fiscal year 1995. This is the third report and concerns the result of the fiscal year 1997.
- 2) The experimental spots were transferred from the previous spots and an additional spot was set at the lower stream.
The former is Fujisawa-cho, Toyota city, the spot just opposite to the spot used up to the previous year, while the latter is Fusou-cho, Toyota city.
- 3) The amount of thrown gravels was increased, and $1500\text{ m}^3 \times 2\text{ times} = 3000\text{ m}^3$ at each site, a total of 6000 m^3 was thrown into the river. These gravels were all supplied from the upper reaches of the main stream and the tributary streams, of the Yahagigawa River.
- 4) The examination was conducted about the two subjects : the dispersion of the thrown gravels (gravel's pile) and the particle size distribution of the piling gravel. The behavior of the throwing gravels in the river flowing was confirmed by these results. Whether or not the riverbed condition was improved was checked by an analysis of the subjects of attached algae, biomass of benthos, life activity, number of

- species, the transition of the dominant structure, etc., and by the effects of throwing gravel were judged the analysis indirectly. This method is the same as the previous one.
- 5) There was a large amount of water flow in Fujisawa-cho in 1997, and gravels were relatively swiftly transported, leading to a tendency that the gravel's pile and the particle size distribution of the piling gravel were stabilized until the season of the low water. The amount of thrown gravels seemed considerably large, but its effect didn't last for one year.
 - 6) It is suggested that in Fujisawa-cho there were a site that made depositing easy and a site that made it difficult on the riverbed, which were relatively near the spot of throwing gravels. Even the site readily deposited is just the one for temporary retention ; it decreases gradually afterwards, as it were, a kind of a supply source of gravels in the river.
 - 7) The examination conducted in Fujisawa-cho showed a variety of the weir effects : the flow became slow with the weir made of thrown gravel at the spot 20 m up the spot of throwing gravels, resulting in an increase of the natural gravel's pile ; the pushing of the tributary on the opposite side of the river (traversing flow) caused a weir ; the particle size distribution of the piling gravel as well as the gravel's pile were changed.
 - 8) In Fusou-cho, the gravels that were thrown into the river could not be followed by the effect of the channel, so that we just examined the gravel's pile deposited behind the channel and the change in the particle size distribution of the piling gravel. The gravel's pile changed only in an early period and became stable about 80 days after throwing gravels, and no obvious changes were found afterwards. The stability becomes weaker as going down the river, showing a scatter within a certain range.
 - 9) Small size gravels disappeared first, and it was difficult to grasp the fact except the site behind the channel. Large size gravels were gradually transported to the lower reaches of the stream till fall up to which its water level was low, and stayed there till the next rise of the river began in Fusou-cho.
 - 10) The gravels deposited behind the channel were left stable with its amount maintained at a certain level afterwards. The gravels were stable in the gravel's pile but this was because the channel controlled them, the particle size distribution of the piling gravels were considerably changed. It was after the rise of the river that the influence of throwing gravels disappeared in the particle size distribution of the piling gravels in Fusou-cho.
 - 11) Throwing gravels in Fujisawa-cho exerted an influence on the attached algae, because their dry weight was decreased remarkably, and successively suppressed in particular, at the lower reaches from the throwing spot. Those covering the surface of the gravels could have considerably been removed. The ignition loss was large in those obtained from the lower reaches down the throwing spot. The well-balanced

reproduction of organic substances was recovered. The rate of pheophytin didn't seem to decrease after the first throwing gravels (an increase in activity), however, it was improved in the lower reaches down the throwing spot after the second throwing gravels.

- 12) Graveles have been thrown into the river at the spot in Fujisawa-cho including Ohgawara area for three years. The number of the species of the attached algae was increased at that area, which seemed a belated effect of deposition by throwings. It seemed that diversity of attached algae have gradually been progressed, and species of Diatomaceae was remarkably increased in particular.
- 13) In Fujisawa-cho, the periods often came, regardless of throwing gravels, when the dominant species of attached algae were not found. The throwing gravels contributed to a decrease in dominant species, while the adverse effect was not found. The species that became dominant after throwing gravels were not always those as had been dominant before throwing gravels.
- 14) The effect of throwing gravels in Fusou-cho, first of all, brought about a decrease in dry weight, which was found in the examination of attached algae. However, only single throwing of gravels didn't exert enough effect on the river in this area ; the considerable level was at last reached after the second throwing, for there was so much attached algae that could not readily be removed. After the second throwing, the amount of organic substances became stable similarly, showing such a value as close to a normal value.
- 15) The effect of throwing gravels to the rate of pheophytin was obscure in Fusou-cho. It would possibly be connected with a severe prosperity and decay of *Cladophora glomerata*.
- 16) Not only in Fujisawa-cho but also in Fusou-cho if dominant species are not removed by throwing gravels, Cyanophyceae attached algae may often survive. Even if the dominant species before throwing gravels disappeared, an alternative species appears, this was due to a mechanism that ecological blank is covered as a result of competition among communities of attached algae. In case of Diatomaceae, there are species resistant to throwing gravels, but they are limited in numbers.
- 17) The occurrence of *Cladophora glomerata* was distinguished in Fusou-cho, but some sites disappeared while others newly appeared by throwing gravels. The difference between prosperity and decay seemed very large and depended on the sites. What point we should concentrate on was not determined, and throwing gravels was eventually judged to be ineffective.
- 18) As for benthos, Hydropsychidae and *Ephemerella rufa* were dominant species in Fujisawa-cho, and Orthocladiinae and *Setodes* sp. joined them seasonally. The former two species used to be dominant species, and accordingly the situation was basically not changed. However, *Stenopsyche japonica* disappeared from a group of dominant

species, and in the riverbed blank spaces for a large size species among the gravels seemed to be filled up. Orthocladiinae was removed by throwing gravels, but Hydropsychidae and *Ephemerella rufa* could not be removed.

- 19) The dominant structure of benthos in Fusou-cho was similar to that in Fujisawa-cho. However it seems different in that *Stenopsyche japonica* was completely removed from a group of dominant species, and that *Ephemerella rufa* took the place of Hydropsychidae and became the most dominant species, and that *Setodes* sp. was not dominant. An out break of Orthocladiinae occurred there, but they were not cleared off by throwing gravels. It is suggested that the flow was diversified by the channel and hence decreased the impact given by gravels.
- 20) The results of the study as stated above were synthetically arranged, and we discussed and proposed how to forward the research activities.

文 献

- 愛知県岡崎農地開発事務所 (1998) 矢作川利水総合管理年報・平成9年 (1997年), 174 pp.
- 田中 蕃 (1997) 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 No. 1 : 175-202.
- 田中 蕃 (1998) 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 No. 2 : 191-223.
- 豊田市矢作川研究所・環境科学株式会社 (1996) 豊田市矢作川自然環境報告書・平成8年度, 64 pp.
- 豊田市矢作川研究所・環境科学株式会社 (1997) 豊田市矢作川自然環境報告書・平成9年度, 101 pp.
- 豊田市矢作川研究所・環境科学株式会社 (1998) 豊田市矢作川自然環境報告書・平成10年度, 99 pp.
- 内田朝子 (1997) 矢作川における付着藻類と底生動物の基礎調査報告, 矢作川研究 No. 1 : 59-58.
- 内田朝子 (1998) 矢作川における付着藻類と底生動物の基礎調査報告 その2, 矢作川研究 No. 2 : 19-31.

豊田市矢作川研究所主任研究員：〒471-8501 豊田市西町3-60
 豊田市役所河川課内
 名城大学農学部動物学研究室研究員