

# 柿田川における水草群落と 底質動態の関係に関する研究

## RELATIONSHIP BETWEEN WATER WEED AND SEDIMENT IN THE KAKITA RIVER

知花武佳<sup>1</sup>・森田正人<sup>2</sup>・玉井信行<sup>3</sup>

Takeyoshi CHIBANA, Masato MORITA and Nobuyuki TAMAI

<sup>1</sup>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 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

<sup>2</sup>非会員 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

<sup>3</sup>フェロー会員 工博 金沢大学工学部土木建設工学科 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

The Kakita River is sustained by spring-water, and no floods occur all the year round. Due to such a stable condition, the diversity of the riverbed condition seems to be quite low. However, there are sand mounds behind the waterweed. In this paper, we analyzed the movement of bedload by measuring velocity and substrate conditions. In order to measure the bedload we developed a bed-load sampler. As a result, we could clarify that the flux of bedload is not uniform spatially and the sediments are sorted in the lateral direction. So we measured the distribution of bedload density from upstream to downstream, and understood the path of sediment. And by observing the geographical map, main source of sediment seems to be two branches of the river. Finally we delineated that the habitat of Florida Waterweed (*Elodea nuttallii*) are related to the flux of bedload.

**Key Words :** spring-dominated stream, bedload, waterweed, *Elodea nuttallii*

### 1. 研究の目的

一級河川狩野川水系の柿田川は湧水河川であり、その流量は  $12\text{m}^3/\text{s}$  と豊富ながら一定である。その上、その流域面積は極めて小さいために、柿田川には洪水による攪乱もなく、物理環境は一見単調で安定しているように見える。

実際、柿田川の河床材料は、その大半が3~5cm程度の火山岩性の礫で構成されているが、これらは普段の流況では動き得ない粒径であり、安定した河床には様々な水草を見ることができる。しかし、この水草群落の下流部には砂がマウンド状に堆積していることから、細粒分に関しては普段から輸送されているものと考えられる。

そこで本研究では、この水草、底質、流れ場の相互作用に着目し、砂のマウンドの形成・維持のメカニズムを捉えることで、柿田川に見られる底質の動態とそこにおける水草の生息状況の関係を把握することを目的とした。

### 2. 調査の概要

まず、現地観測により、掃流砂量及びその粒径が面的にどの様に変化しているかを把握することとした。調査は、2002年11月から2004年3月にかけて4回実施し

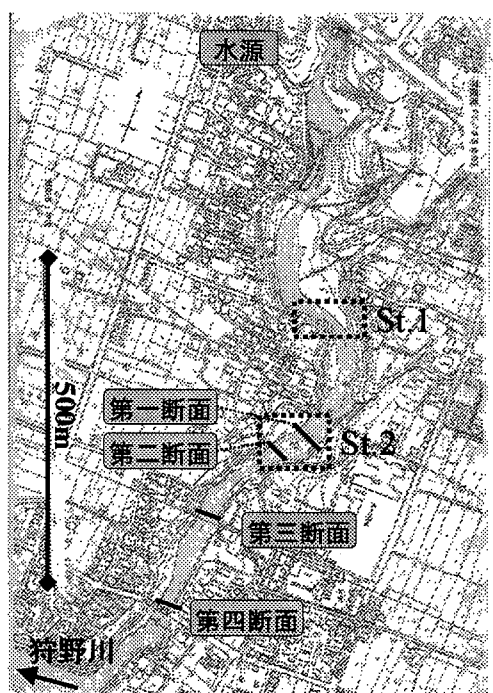


図-1 柿田川の概要と調査地区

ており、調査地点は、狩野川合流部から約700m付近のSt.1及び約500m付近のSt.2という二カ所に加え、図-1に示す四断面を設定し、各ステーションでは、掃流砂量の面的な分布を、各断面では横断方向の掃流砂量分布を計測することとした。また、各ステーションでは、水

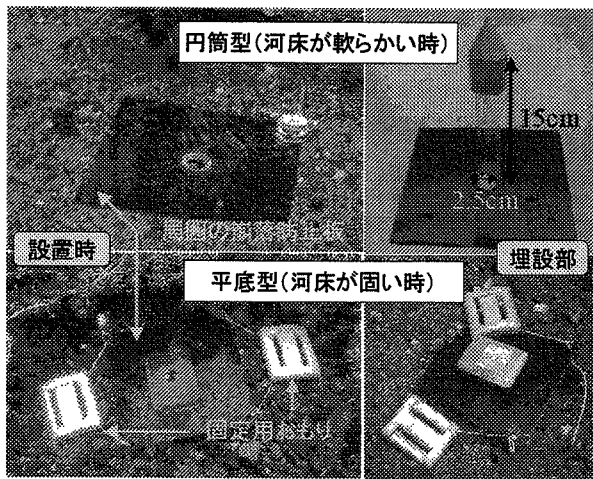


図-2 製作した底質トラップの概要

草の影響を受けている場所と受けていない場所を両方計測対象とし、各断面の調査では水草の影響を受けない場所のみを計測対象とした。

掃流砂の調査では、図-2 に示す底質トラップを作成し、周辺環境の異なる様々な点に埋設し一日後に回収した。この間にトラップに入った掃流砂は、すべて実験室に持ち帰り、解析を行った。また、各調査地点の位置関係を平板測量により捉えると共に、各点の流速プロファイルと水深を計測した。

### 3. 観測点で見られた流速プロファイル

底質トラップを設置した各観測点において、水深方向の流速分布を計測した結果、その分布形状は次の4パターンに分類できた (図-3)。

- ① 対数型 (標準的な分布形)
- ② 二層流型 (表層と底層の間で流速が急変。底層付近は深さ方向に一定流速)
- ③ 直線型 (表層から底層へのなだらかな変化)
- ④ 逆勾配型 (表層よりも底層の方が速い)

①は、すぐ上流に障害物がないか、あっても密度が極めて低い場所で見受けられる。②は、すぐ上流の河床に、水の透過しない障害物があるか、水草が極めて高い密度で生育している場所で見られる。③は、それらの中間であり、密度があまり高くない水草群落の下流で見られる。④は、上流の障害物とは関係が薄く、河岸近くなど表層と底層で流れが交換された場合に見られる。

ここで、水深方向に平均した流速が同程度であれば、剪断応力は④、①、③、②の順に大きい。そのため、上流から流れてきた砂は、この順に滞留しにくいと考えられる。

次に、表層と底層で流れの向きがどのように異なっているかを分類したところ、表層も底層も同じ向きに流れている場合 (標準型)、表層と底層がややずれた向きに流れ

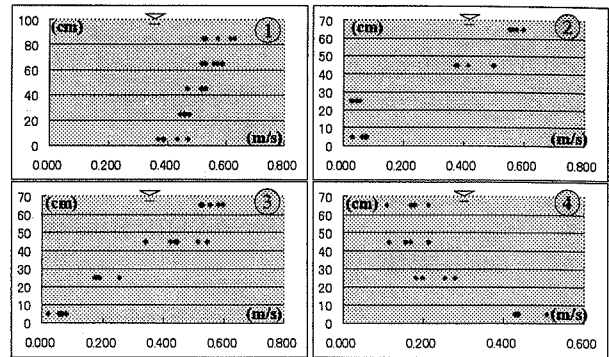


図-3 分類された流速分布形

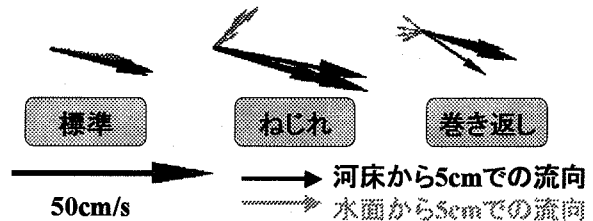


図-4 表層と底層での流向の違い

ている場合 (ねじれ型)、及び底層付近では逆流が生じ、その向きが時間と共に変動する場合 (巻き返し型) という3タイプに分けることができた。例として、水面から5cm 及び河床から5cm で時間的に流向がどのように変化しているかを計測した結果を図-4 に示す。ここで、表層底層共に、10秒平均の流速を4~5回ずつ計測しており、それらすべてを図中に示してある。これより、巻き返し型の底層流れだけは、時間的にその向きを変えている事がわかる。このような巻き返しが見られる場所では、流れてきた砂が捕捉されてしまい、下流へと流れず攪乱されながら維持されるという特徴があり、他の場合と状況が異なってくる。

このように、底層付近が植生の影響で減速しているか否か、それが下流に向かって流れるか否かで流れの状況を分類することができる。

### 4. 底質トラップで得られたサンプルの解析

底質トラップをおよそ24時間設置した後、トラップ中の堆積物の乾燥重量、強熱減量、強熱後の粒度分布を計測した。堆積量はトラップが完全に埋没するか、ほとんど入らないかの両極端になることがほとんどで、前者の乾燥重量は40g~70g程度であり、後者は10g以下であった。さらに、粒度分布に着目し大きく以下の4パターンに分類することとした。

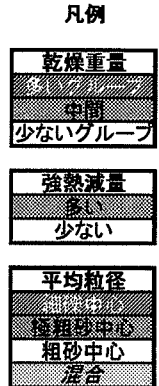
粗砂中心：粒径0.5mm程度を中心に構成 (平均粒径が0.2mm~0.5mm程度となる。)

極粗砂中心：粒径1.0mm程度を中心に構成 (平均粒径が0.5mm~1.3mm程度となる。)

細礫中心：粒径2.0mm程度を中心に構成 (平均粒径

表-1 各観測点における流れと堆積物の状況

| 観測点     | 観測点上流   | 流速分布 | 流向   | 乾燥重量(g) | 強熱減量(%) | 平均粒径(mm) |
|---------|---------|------|------|---------|---------|----------|
| St.1 1  | なし      | 対数型  | 標準   | 1.6     | 4.6     | 0.4      |
| St.1 2  | コカナダモ   | 対数型  | 標準   | 10.4    | 3.4     | 0.3      |
| St.1 3  | フサモ     | 直線型  | ねじれ  | 2.2     | 5.0     | 0.4      |
| St.1 4  | なし      | 対数型  | ねじれ  | 0.2     | 6.0     | 0.3      |
| St.1 5  | カワチシャ   | -    | 巻き返し | 5.2     | 4.2     | 0.6      |
| St.1 6  | コカナダモ   | 二層流型 | ねじれ  | 30.9    | 13.2    | 0.4      |
| St.1 7  | フサモ     | 二層流型 | 標準   | 4.6     | 5.5     | 0.6      |
| St.1 8  | 湧水口     | 対数型  | 標準   | 8.6     | 10.9    | 0.3      |
| St.1 9  | バイカモ(小) | 対数型  | 標準   | 9.7     | 11.1    | 0.7      |
| St.1 10 | コカナダモ   | 直線型  | 巻き返し | 3.3     | 2.4     | 0.5      |
| St.1 11 | なし      | 対数型  | 標準   | 5.0     | 2.2     | 0.6      |
| St.1 12 |         |      |      | 欠測      |         |          |
| St.2 3  | カワチシャ   | 二層流型 | 底層止水 | 30.8    | 6.3     | 0.6      |
| St.2 4  | コカナダモ   | 二層流型 | ねじれ  | 6.6     | 23.8    | 0.2      |
| St.2 5  | フサモ     | 二層流型 | 巻き返し | 2.1     | 5.9     | 0.6      |
| St.2 6  | バイカモ    | 直線型  | ねじれ  | 4.8     | 9.0     | 0.6      |
| St.2 7  | なし      | 逆勾配型 | 標準   | 0.6     | 5.2     | 0.3      |
| St.2 8  | なし      | 対数型  | 標準   | 11.3    | 3.9     | 0.3      |
| St.2 9  | バイカモ    | 直線型  | 巻き返し | 2.2     | 3.3     | 0.6      |
| St.2 10 | コカナダモ   | 直線型  | 標準   | 4.7     | 欠測      |          |
| St.2 11 | なし      | 逆勾配型 | 標準   | 欠測      | 欠測      |          |
| St.2 12 | 複数種     | 対数型  | 標準   | 4.1     | 4.7     | 0.5      |
| St.2 13 | なし      | 対数型  | 標準   | 4.7     | 3.7     | 1.2      |
| St.2 14 | なし      | 対数型  | ねじれ  | 4.7     | 2.4     | 0.7      |
| St.2 15 | なし      | 対数型  | 標準   | 0.4     | 4.0     | 0.3      |
| St.2 16 | バイカモ    | 対数型  | ねじれ  | 1.8     | 4.7     | 0.3      |
| St.2 17 | なし      | 対数型  | 標準   | 3.3     | 2.2     | 1.1      |



注) ただし, St1の5, 6, 7, 9, St2の3, 12, 14には石炭殻が含まれている。

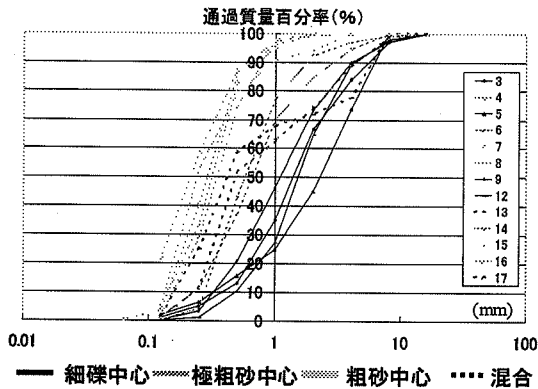


図-5 St.2の各観測点で得られた粒径加積曲線

が1.3mm~3.3mm程度となる。)

混合: 粒径0.5mm程度と粒径2.0mm程度が混在

この分類に際しては, 平均粒径よりも粒度分布に着目しており, どのサイズの材料が卓越しているかで判断している。例として, St.2の全観測点で得られた粒径加積曲線を図-5に示す。

また, 堆積物の内容としては, 火山岩性の砂礫に加え比重の軽い石炭殻が含まれていることが多かった。これらの比重を計測したところ, 火山岩の比重が2.5g/cm<sup>3</sup>であったのに対し, 石炭殻の比重はおよそ1.1g/cm<sup>3</sup>であり, 植生背後に堆積していることが多い。

### 5. ポイントスケールで見る観測結果の考察

これまで分類してきた, 流速分布形, 流向, 堆積物の

乾燥重量, 強熱減量, 粒度分布を, その観測点上流の水草と共にまとめたものが表-1である。ここでは, St.1とSt.2の結果を示している。なお, 平均粒径の欄の色分けは粒度組成をもとに分類したものであるため, 平均粒径の大小とは一致しないことがある。

まず, St.1の結果を見ると流速分布が対数型か否かで堆積物の乾燥重量が大きく異なっていることが見て取れる。これより, この区間では全体的に極めて少量の掃流砂が流れており, 水草後方ではそれらがかき集められ, 小規模のマウンドを形成しているものと考えられる。また, 11だけ粒径が異なっているのは, St.1の中でもこのポイントだけ場所が異なっているためで, これについては次章で述べる。しかし, その他の粒径を見ると, 部分的にやや粗い材料が堆積しているものの, 全体的に比較的類似した粒径が堆積していることがわかる。

次にSt2の結果を見ると, St1とは異なり流速分布が対数型であっても堆積量の多い所と少ない所が存在する。これは, St1とは異なり, 掃流砂量が面的に偏っており, 水草が無くとも大量の砂が移動している場所があることを表している。実際, こういった場所では砂漣を形成しながら砂が移動している様子が観察された。また, 粒度に注目すれば, St1よりも多様であり, 場所によって掃流砂のサイズが大きく異なっている様子が見て取れる。

最後に共通する特徴としては, 巻き返し型の場所では必ず堆積量が多くなっている点が上げられる。これは, 流れと共に砂が巻き返すことで, 元々周囲にあった砂がトラップに入っているためで, 決して上流からの掃流砂量に影響を受けているわけではない。また, 粒度はやや

表-2 各観測点の面的な配置と断面内観測点における堆積物の概要

| 断面  | 乾燥重量(g) | 強熱減量(%) | 平均粒径(mm) | 断面  | 乾燥重量(g) | 強熱減量(%) | 平均粒径(mm) |
|-----|---------|---------|----------|-----|---------|---------|----------|
| 1 1 | 1.3     | 2.2     | 0.5      | 3 1 | 2.8     | 12.3    | 0.7      |
| 1 2 | 26.3    | 2.4     | 0.5      | 3 2 | 4.7     | 4.0     | 1.4      |
| 1 3 | 4.7     | 1.5     | 2.4      | 3 3 | 3.5     | 4.3     | 1.1      |
| 1 4 | 31.7    | 1.9     | 0.6      | 3 4 | 3.9     | 2.6     | 1.6      |
|     |         |         |          | 3 5 | 10.1    | 1.6     | 3.3      |
| 2 1 |         | 欠測      |          | 4 1 | 31.9    | 1.7     | 2.3      |
| 2 2 | 4.8     | 1.6     | 0.3      | 4 2 | 18.9    | 1.4     | 1.3      |
| 2 3 | 4.3     | 2.3     | 2.7      | 4 3 | 21.2    | 1.3     | 1.3      |
| 2 4 |         | 2.8     | 1.2      |     |         |         |          |

| 凡例 | 乾燥重量    | 強熱減量 | 平均粒径  |
|----|---------|------|-------|
| ●  | 多い      | 多い   | 極粗砂中心 |
| ○  | 中間      | 少ない  | 粗砂中心  |
| □  | 少ないグループ |      | 混合    |

注) 3-2 と 3-3 には石炭殻が含まれている。

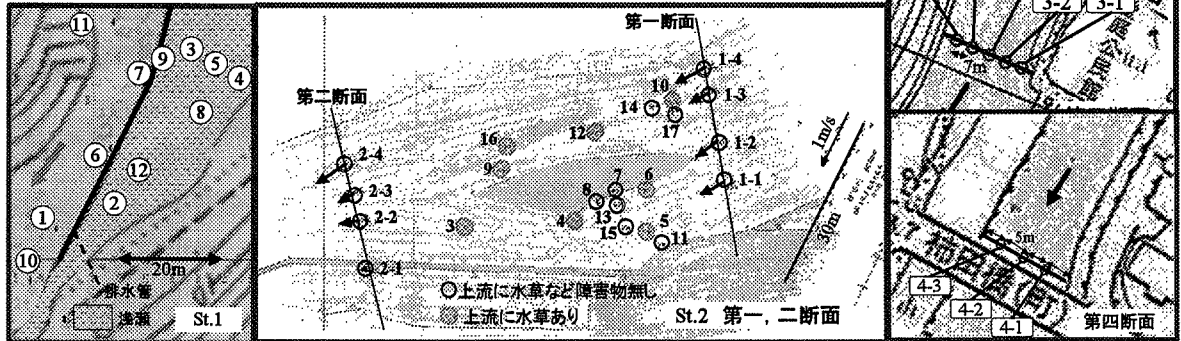


図-6 各観測点の面的な配置と断面内観測点における堆積物の概要 (図-1 参照)

粗めのものが目立っており、細かい材料の方が水草背後の巻き返しから抜け出し、下流へ移動しやすいことを示している。

## 6. 区間スケールで見る観測結果の考察

前章の結果より、St1 では観測結果が面的にあまり変化しなかったのに対し、St2 では対数型の流速分布でも堆積量に差が見られるなど面的に特徴的な違いが見られたため、掃流砂が面的にどの様に分布しているかについて考察を進める。ここでは、4断面の観測結果も参照することとする。図-6は、St1、St2、各断面における、底質トラップ設置位置を示しており、表-2には、断面内観測点における堆積物の概要について示している。なお、断面における観測点は、水草等の影響を受けないように選定されているため、基本的にはすべて流速流向分布は対数型の標準タイプである。

St1 の河床には排水管が設置されており、その左岸側に、水深20~40cmの浅瀬が形成されている。大半の観測点は、この上又は脇に設置されており、観測点11だけは、対岸に設置されている。St2は中州を挟んで、左岸側、右岸側それぞれに観測点を設定しており、断面1と2の間に位置している。水深は70cm~1m程度である。

前章の結果より、St1では面的な掃流砂量の偏りが少なく、この浅瀬全体を粗砂~極粗砂がまんべんなく少量

流れているものと考えられる。しかし、観測点11の結果を見れば、右岸側の滞筋部付近では、やや粗い粒径のものが極少量流下していると考えられる。

次に、St2の状況について考察する。表-1に示したとおり、堆積量の多かった観測点は、9、12、14、17であったが、図-6を見ればこれらはすべて中州を挟んで右岸側に位置していることがわかる。また、表-2を見れば、1-3、1-4、2-4のポイントでも堆積量が多いことが見て取れ、流砂は右岸側に偏っていることがわかる。すなわち、この区間では、水草の有無にかかわらず右岸に沿って多量の砂が移動していることがわかる。また、粒度組成に注目すれば、これら右岸側の観測点すべてで、極粗砂~細礫を中心とした比較的粗い砂分の堆積が目立つ。さらに細かく見れば、1-3や2-3は、細礫中心か細礫と極粗砂の混合であり、1-4や2-4は極粗砂中心であることから、中州右岸側では、そのさらに右岸側は細かく、左岸側は粗めであることがわかる。一方、中州より左岸側の観測点の大半と、1-1、1-2、2-2、2-3の粒度はすべて粗砂中心で細かくなっており、特徴は大きく異なっている。ただし、中州左岸側でも、巻き返し型の5及び底層にはほとんど流速がない3だけは前章で述べた通り粗めの粒度組成となっている。このように、左岸側は僅かに細かい砂が流れているだけであり、中でも粗めの材料は水草に捕捉されている様子が見て取れた。

さらに、第三断面の結果に注目する。図-1に示したとおり、この断面はSt2より下流で湾曲部を抜けたところに位置している。ここで堆積量の多いのは、3-2と3-3

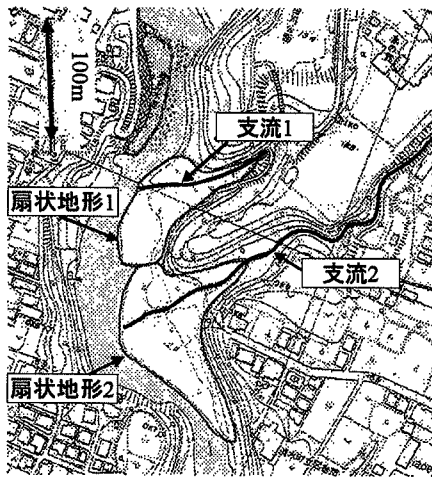


図-7 支流合流部に見られる扇状地形

であり、St2 とは逆に左岸側に偏っている。実際、この断面では、左岸側が浅瀬となっており、土砂が堆積しやすい環境にあることを表している。なお、3-1 は最も河岸よりで流れもほとんど無いため、堆積土砂がなかったものと考えられる。粒度に着目すれば、細礫クラスの大きな材料は右岸よりを極少量流れており、左岸側の 3-2 や 3-3 には、細礫から粗砂まで混ざった材料が堆積していることがわかる。

最後に第四断面の結果にうつる。ここでは、左岸側にやや粗い材料が多く見られる以外、横断方向の堆積量や粒度分布は見られない。全体的に細かいものから粗いものまでを含んでおり、多量の掃流砂は見られなかった。

## 7. 柿田川全域における土砂の動態

これまでの解析により、柿田川における河床材料の移動形態をミクロとマクロの両面から理解することができた。これらをもとに、柿田川における砂礫移動の特徴をまとめる。

まず、柿田川では多量の極粗砂が河床を移動していることが明らかとなったが、ではこの極粗砂がどこから供給されているのかという疑問が生じる。ここは湧水河川であるため、水源付近での土砂供給はほとんどない。しかし、水源付近には二つの支流が合流しており、この支流との合流部の地形を見れば、土砂は支流から供給されている可能性が高いことがわかる。図-7 は、支流合流部の地形を表したものであるが、合流部には二つの典型的な扇状地形が見て取れ、支流から土砂供給があることを表しているものと考えられる。すると、St1 は、この扇状地形の末端を対象としていたことになるが、実際細砂～極粗砂がまんべんなく全体を流れていた。こうした中で、水草後部には小さなマウンドが形成されていたことになる。

一方、St1 の 11 に代表されるように、支流の影響が無



図-8 柿田川における河床材料の動態

いと考えられる滞筋部においても、比較的粗い細礫クラスが河床を移動している。このサイズは、河床の至る所から移動し始め、掃流力の落ちるところで停止するということを繰り返しているものと考えられる。そして、この河床から供給されたものと支流から供給されたものが混合し、柿田川の湾曲部をショートカットするように右岸側に沿って流れる。実際、図-6 における St2 の平面図には流速の大きさも併記してあるが、内岸にあたる右岸側の方が流速は大きい。これとは逆に湾曲部の左岸側では流れはあまり来ず、少量の粗砂が移動しているに過ぎない。すなわち、支川から供給された土砂とそもそも柿田川の河床を動いていた細礫はこの湾曲部でふい分けられ、細礫が右岸よりの滞筋側、極粗砂が右岸よりの河岸側、左岸側に粗砂という分級が見られる。結果として、中州を挟んで右岸側と左岸側では水中の様子は大きく異なっており、左岸側の礫には苔類が付着し安定した様子が見られるものの、右岸側では礫間を砂が移動の様子が目視で確認できる上、掃流砂量の多い所では砂漣を形成しながら砂が移動している様子が見られる。

その後、右岸側を流れる極粗砂は再び湾曲部をショートカットし、左岸側を流れてきた粗砂と共に左岸側の浅瀬に堆積する。しかし、細礫は右岸側の滞筋に沿って流れ、最後は浅瀬から来た粗砂、極粗砂とも混ざりながら狩野川に流出する。

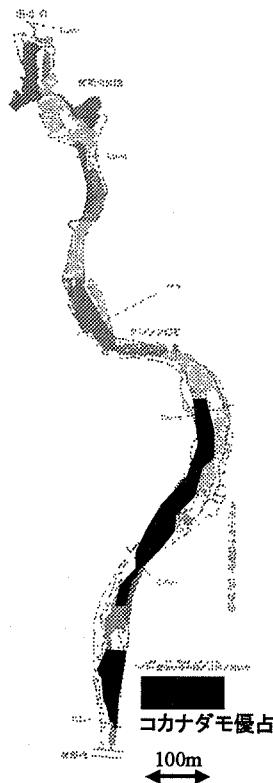


図-9 柿田川におけるココナダモの優占域  
(国土交通省中部地方整備局パンフレットより引用・加筆)

## 8. 柿田川における土砂の動態とココナダモの分布

このように柿田川における土砂の動態がある程度明らかとなってきたので、これと水草群落の関係について考える。柿田川には、ミシマバイカモ (*Ranunculus nipponicum*) やヒンジモ (*Lemna trisulca*) などの希少な水草を始め多様な水草が繁茂しているが、ここでは近年徐々に分布域を拡大してきたと言われる外来種のコカナダモ (*Elodea Nuttalli*) の分布に着目した。

図-9には、柿田川におけるココナダモの優占域を示してある。これを図-8に示した土砂動態と比較すると、多量の極粗砂が掃流されていた領域とココナダモの分布域が極めて一致している様子が見て取れる。実際、このような領域にココナダモが繁茂すると、図-10に示す様に、群落下部に巨大な砂のマウンドを形成し、そこから下流へ延びる砂の帯にも新たな群落が見られることとなる。そもそも、ココナダモは砂地に繁茂すると言われていることから、ココナダモ群落は多量の掃流砂が流れている領域に侵入し、そこでマウンドを形成しながら砂を蓄えることで、その繁茂域を拡大するという繁殖戦略ではないかと考えられる。

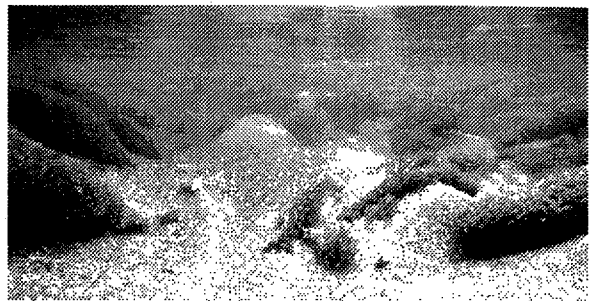


図-10 St.2 右岸側におけるココナダモの繁茂状況

また、植生の形状が変われば、流れの状態が変化すると考えられることから、他種の繁茂状況と土砂の関係もミクロ、マクロ両面から捉える必要があるが、これは今後の課題となる。特に、外来種であるココナダモと競合し、掃流砂が流れてくる領域を利用する種がいるか否かは、今後の柿田川の環境を保全する上で重要な問題となる。

## 9. まとめ

本研究では、開発した底質トラップを用いて、ミクロには水草背後の砂のマウンドを捉え、マクロには河道全体での掃流砂の動きを捉えることができた。また、この掃流砂の動きとココナダモの繁茂域が対応していることを見だし、柿田川における土砂動態が、水草の生息基盤に大きな影響を与えている可能性について言及した。

このような掃流砂の動態は、柿田川のみならず、土砂生産が活発ではない湧水河川では、生息場としても河道の変遷を捉える上でも極めて重要になってくるであろう。

謝辞：本研究は、河川整備基金の助成を受けたものであり、調査の際には柿田川緑のトラストの協力を得た。関係者の皆様に御礼申し上げます。また、株式会社環境調査技術研究所の渡辺誠氏、京大大学生態学研究センターの小野田幸生氏には数々の助言をいただいた。ここに深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局：柿田川パンフレット，2002.
- 2) 知花武佳，玉井信行，三宅基文，森田正人：柿田川の水草によって維持される動的な底質環境把握の試み，第57回年次学術講演会講演概要集 (CDROM)，2003.

(2004. 4. 7受付)