

河原地形と河床材料分級から 見られる流域特性

BASIN CHARACTERISTICS FOUND IN TOPOGRAPHY & BED MATERIAL DISTRIBUTION ON DRY RIVERBED

藤森裕章¹・知花武佳²

¹正会員 工修 西日本旅客鉄道株式会社

研究実施時の所属：東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻修士課程
(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

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

Topography and bed material distribution have much effect on river ecosystem. To understand determinant factors which have effects on topography and bed material distribution, we performed field observations on about 20 dry riverbeds in 4 rivers. At first, according to the results about topography, sharp flood hydrograph makes dry riverbed to two parts. And in straight channel which has enough sediment supply, or if gravel bar is in little lower side of the curvature of the river, dry riverbed has steep water edge. On contrast, in straight channel which doesn't have enough sediment supply, dry riverbed has mild water edge.

Secondly, about bed material distribution, if sediment is not supplied by large flood but by small or middle flood because of effect of weir, there is the area which consists of mostly gravels in higher area in dry riverbed. On contrast, sediment supply is even exist in small or middle flood, there is the area consist of gravels. If longitudinal slope is large, even small flood convey gravels over dry riverbed.

Key Words : *dry riverbed, topography, bed material distribution on dry riverbed, gravel
flood hydrograph, weir*

1. はじめに

河川法の改正以来、河川整備の軸の一つとして環境という観点が盛り込まれた。それ以前から、治水、利水を考える上で、砂州の動態や特徴に関する研究は不可欠であったため、非常に多くの研究がなされてきた^{例えは1), 2)}が、環境を扱うためには、よりミクロな視点から砂州地形や河床材料分級というものを扱う必要が生じている。こうした、砂州上の微地形や河床材料は河川の生態環境、とりわけ植生の繁茂などに大きく影響を及ぼすこと^{3), 4)}が分かっているが、実際に多くの河川を訪れると、河原の形状や河床材料の分級パターンには様々なものが見られ、そこに生息する生物にも川ごとに特徴があることに気付く。そこで、こうしたミクロなスケールでの地形や河床材料を詳細に観察することにより、その河川流域の特徴を捉えることも可能ではないかと考えるようになった。これが明らかになれば、生物の生息場改善を考える際に、流域スケールで取り組むべき課題も見えてくるはずであ

る。そこで、本研究では、こうした砂州地形（特に河原の形状）とその上での河床材料の分級状態の規定要因を探りつつ、それらが流域のどのような特徴を反映しているのかについて検討する。

2. 踏査の概要

関東地方を流れる4つの河川、多摩川水系浅川、多摩川水系多摩川、荒川水系入間川、荒川水系高麗川に形成されている複数の河原を対象に踏査を行った。これら4河川の位置は図-1に示す通りであり、どの流域も主に中生古生層の堆積岩を地質にもっている点で共通している。既往研究³⁾によれば、こうした地質を有する河川では大きな礫から細粒の砂に至るまで幅広い粒度の土砂が生産されるために、明瞭な砂州が形成されやすいという特徴を有している。ただし、これらの河川は横断構造物の多寡、河床勾配、河川規模には違いが見られる。

これらの河川において、どのような地形、および河床

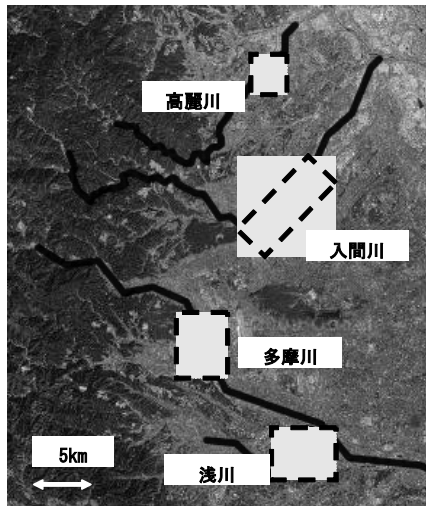


図-1 踏査区間(破線網掛け部が踏査範囲)

材料分級の河原があるかという点に注目して踏査を実施した。特に、地形に関しては既往研究^{4), 5), 6), 7)}及び、事前踏査より、河原地形を図-2に示す3種類に分類し、その中のどれにあたるかを目視で判定していった。まずは、この3種類の河原地形について説明する。

a) 切り立ち型

砂州が発達しており、砂州の前縁部にあたる河原の下流端から中ほどの水際は、安息角程度で切り立っている河原。ただし、前縁線と合致しない上流端の水際のみ、なだらかに水中へ接続し、曖昧な水際となっている。河原の中央部から下流端にかけて全体的に比高が高く、比較的平坦な面を持っている。なお、鈴木ら⁷⁾は河原の下流端から中ほどにかけての水際が横断方向に5%以上の勾配を有する場合をこのタイプに分類しており、河原では大きな礫から砂までが混在しており分級がきれいに見られないとしている。また、比高が高く、平坦で、細粒分が多いという河原の特徴故に、植生が面的に広がりやすく、出水がなければ河原全体が植生で覆われがちである⁵⁾。最もきれいに砂州が発達した場合に見られる、典型的なタイプの河原であり、メリハリのある瀬-淵構造は多様な水生生物の生息場となっていると考えられる。

b) 分断型

切り立ち型と同様の形状を有しているものの、平水時流路が砂州の中央を通っており、二つの砂州にまたがって形成される河原。分断された砂州の上流側が一つ上流の砂州の下流側と陸続きとなり、一つの河原を形成するが、中には前縁線に沿った流れと砂州を分断する流れの二本の流れが形成され、河原の上流側が中州状になるものもある。寺本ら⁴⁾によれば、川幅水深比が比較的小さな条件下で形成された砂州が、最終的にこの形状を有するとされている。なお、一つの砂州が水みちによって削り込まれているため、河原の上流端も切り立った勾配の水際となる。植生に関しては、切り立ち型と同様の特徴が見られるが、砂州中央を流路が分断するため、早瀬上

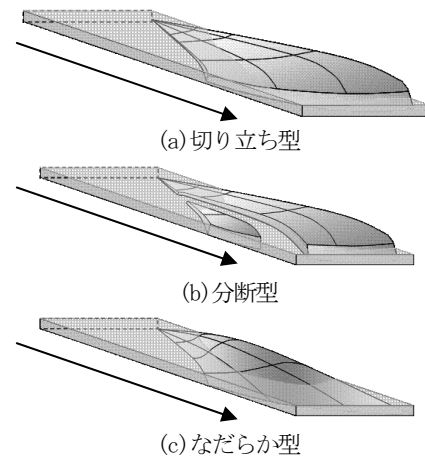


図-2 3種類の河原地形の概要

表-1 河原地形の観測結果

	浅川	多摩川	入間川	高麗川
切り立ち型	0	3	1	2
分断型	9	0	0	1
なだらか型	0	2	1	2
対象とした河原の総数	9	5	2	5

下流の落差が大きく、急勾配の早瀬が形成されやすい。

c) なだらか型

砂州があまり発達しておらず、水際全体がなだらかに水中へ接続している河原。佐々木ら⁶⁾の調査によれば、河原の上流端の水際は切り立ち型と同様に特に勾配が緩く、河原の中ほどの水際は淵脇にあたり比較的急勾配となっており、河原の下流端ではそれらの中間的な勾配になるという傾向を有している。そして、河原の中ほどから上流側で比高が高いために、河道線形によっては、河原の下流部に細粒土砂や植物の種子をトラップしやすいという特徴⁵⁾があり、植生が線状に集中して分布していることも多く、底質の分級もきれいに生じやすい^{7), 8)}。また、瀬-淵構造は曖昧になり、早瀬は横長の緩やかな瀬となる。湾曲の内岸部によく見られる⁷⁾タイプである。

河原の形状をこの様に3タイプに分類すると、それぞれ河原の比高や分級、瀬-淵構造、及び水際の環境が異なり、生物にとっての生息環境が全く異なることがわかる。次に、各対象河川がどのタイプの河原を多く有しており、その規定要因が何なのかについて次章で検討する。また、それぞれの河原の上でどのような分級が見られるのかについても観察し、これについては5章で検討する。

3. 踏査結果の概要

各河川において確認された、各河原タイプの数を表-1に示す。ここに示す通り、各河川はそれぞれ偏った河原のタイプを有している。まず、浅川では観測対象とした全ての河原が分断型であるという特徴を有していたが、このような河原は他の対象区間では高麗川の一箇所で見受けられなかった。次に、多摩川では切り立ち型とな

表-2 各河川の勾配・流域面積（踏査区間付近）

	浅川	多摩川	入間川	高麗川
河床勾配	1/100程度	1/250程度	1/250程度	1/250程度
流域面積 (km ²)	156.1	487.7	155.3	106.2

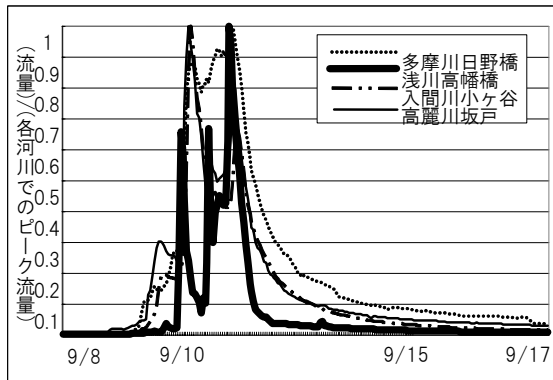


図-3 洪水ハイドログラフ(2001年9月)

だらか型がほぼ半数ずつ確認されているが、踏査した区間の上流部でなだらか型のものが多く、下流部では切り立ち型が多いという特徴を有していた。入間川では、基本的に砂州があまり発達せず、広範囲を対象としたにも関わらず、まとまった礫河原として認識できる河原は二つしかなかった。高麗川に関しては、多摩川と同様に、切り立ち型となだらか型がほぼ半数ずつ存在したが、多摩川のように空間的な傾向は特に見受けられなかった。

この様に、河川によって河原の形状は異なったがそれぞれの原因について、次章で考察する。

4. 河原形状とその形成過程に関する考察

各河川に見られた河原の種類と各河川の特徴をあわせて考えていくことで、各タイプの河原の成因を考える。山本⁹⁾によれば、河道特性として重要な要素は、平均年最大流量、代表粒径、河床勾配の三因子とそれらによって規定される川幅であるとされている。また、砂州の発生領域を考える上で重要となる因子は、川幅水深比と無次元掃流力であるとされるが、これらについても上記三因子が決まれば決定される。その他、重要な要素としては、河道線形、特に曲率（蛇行度又は曲率半径/川幅比）といったものが考えられる。本研究では、地質条件を揃えると共に、代表粒径が5cm前後の地点を選定しており、粒径については調査地間で差が生じないように設定してある。また、表-2にも示すとおり、河床勾配は浅川のみがやや急であり、川幅（低水路幅）も浅川のみが130m程度とやや広がっているが、その他は勾配1/250程度、川幅50～100mの範囲に収まっている。一方、流域面積は多摩川本川が他の3倍程度あるが、その他は100～150km²の範囲であり、データは得られていないものの平均年最大流量も同程度だと考えられる。しかしながら、土砂供給量やその特性については、各河川において横断構造物による影響が異なるために一定ではない。すなわ

至 羽村堰

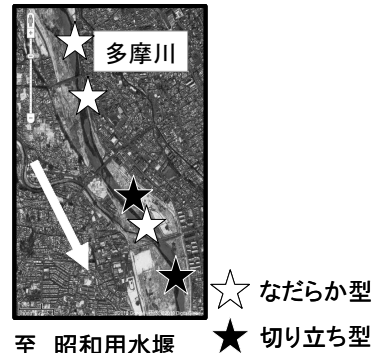


図-4 多摩川における河原の形状

ち、浅川のみ川幅水深比が大きき⁷⁾、河床勾配もやや急であり、多摩川のみ平均年最大流量が大きい、という特徴の他は横断構造物に伴う土砂動態の違いが河川間の特徴の違いとして考えられる。これらについて考察する。

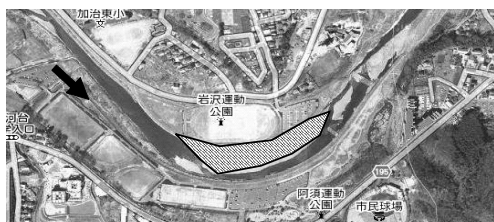
(1) 分断型を有する河川に見られる特徴（浅川）

浅川の河原は分断型のみであり、分断型の河原の成因は浅川に特徴的に見られそうである。

上述したとおり、浅川は他に比べ急勾配の河川であるため、これに伴って洪水ハイドログラフも急であることが特徴として挙げられる。図-3は4河川すべてにおいて記録のあった2001年9月の洪水のハイドログラフであり（ピーク流量で基準化してある）、ここからも浅川の洪水ハイドログラフがシャープなことが分かる。

これに加え、川幅水深比が大きいことも浅川の特徴として挙げられるが、これは既往研究の実験結果⁴⁾とは逆であり、実際にこれが原因であるとは考えにくい。

このように急勾配、ひいては、シャープなハイドログラフが分断型を形成する条件であると推測される。通常、砂州が形成される場合には、洪水時に砂州の中央を横断していた主流部が、減水期には徐々に上流側の前縁付近（平水時の流路付近）へと近づく。そして、平水時に前縁線に沿った流れが河原の側岸を侵食することによって、典型的な切り立ち型ができるというのが一般的なメカニズムである。しかし、流量が急激に低下すると、洪水減水期が短く、主流部が徐々に前縁付近に近づく間もなく、平水時に流路が砂州中央部を横断するものと考えられる。なお、既往研究⁴⁾で報告されている分断型の河原も、1/100程の河床勾配を有する神通川や、多めの流量を流してからポンプを急停止させた実験で確認されている。なお、実験水路では、多少ゆっくりと流量を低減させたとしても、砂州中央に流路が残る分断型となることの方が多い。これらの事実もシャープなハイドログラフが分断型の河原を形成する要因であることを裏付けている。ただし、実際には一回の洪水ではなく、中小出水の履歴も寄与しているものと考えられ、過去の浅川では必ずしも分断型ではなかったこともあり、流況との関係につい



a)入間川駿河台付近



b)高麗川万年橋付近



c)高麗川坂戸市厚川付近

図-5 入間川、高麗川に見られた切り立ち型の河原(黒線:堤防, 白線:低水路)

ては今後さらに詳細な検討を加える余地がある。

(2) 上下流でなだらか型と切り立ち型が分かれる河川に見られる特徴(多摩川)

多摩川では、図-4 に示すとおり、踏査区間上流部では砂州の発達が悪くなだらか型の河原が多いが、下流部では一部を除き、切り立ち型の河原が続く。多摩川の踏査区間は上下流を羽村堰、昭和用水堰に挟まれている区間であるため、堰間上流部になだらか型の河原が、堰間下流部に切り立ち型の河原が多いということになる。

本区間を対象とした過去の既往研究¹⁰⁾においても、堰間上流部では河床低下が生じ砂州が発達しないために早瀬の形状が不明瞭なのに対し、堰間下流部では砂州が発達し逆三角形型の狭窄型早瀬が形成されるという傾向を示してきた。すなわち、こうした特徴はここ数年変化が無く、横断構造物に伴う土砂動態への影響が砂州の形状特性に現れていると考えられる。なお、流域面積が大きい、すなわち、平均年最大流量が大きいということに起因する特徴は見出すことができなかった。

このように、横断構造物の直下流などで砂州が発達していない場合には、そもそも前縁線が不明瞭なため、流れが平水時流路に集中することなく、洪水減水期に河原側岸が侵食されず、水際全体がなだらかに水中へと接続することで、なだらか型の河原となる。

(3) 横断構造物とは関係なくなだらか型と切り立ち型を有する河川に見られる特徴(入間川、高麗川)

入間川及び高麗川では、なだらか型と切り立ち型が半数ずつ形成されている。特に入間川においては、まとまった礫河原として認識できる河原がほとんどなかった。しかしながら、その様な状況にあっても、切り立ち型の河原や、分断型が形成されている場所も存在した。まず、入間川及び高麗川において切り立ち型の河原となっていた場所の空中写真を図-5a) b)に示す。これらを見てわかる通り、これらは全て蛇行部に位置している。

蛇行部と砂州の位置関係による砂州形状の違いについては、永納ら¹¹⁾の研究によって調べられており、内岸砂州においては、その中程で砂州の前縁線を横切るような流れが強くなるのに対し、外岸砂州上では、外壁に沿いながら外岸砂州の先端に向かう流れと河床形状のため分流して内岸へ向かう流れとの分合流が見られ、複列砂州

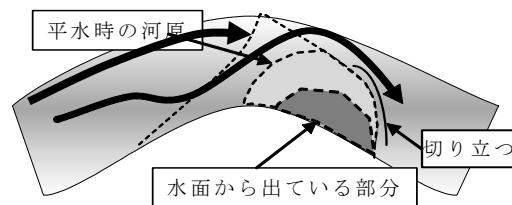


図-6 蛇行部内岸下流の河原における減水期の流れ

における中州の様相を見せる。そのため、洪水時は図-6 に示す通り、河道湾曲部直下の外岸側に流れが収束するため、洪水ピークから減水して低水に至るまでの流路が固定される場所が生じると考えられる。そのため、湾曲内岸の下流側には、水際が侵食され切り立った水際を有する河原が形成される。同様の場所で土砂が堆積傾向にあることは、山本⁹⁾によっても指摘されている。

ここで、図-5c)に示す高麗川の河原が分断型となっているのは、直上流の河原が高水敷化しており、洪水減水期の流線が固定されているためだと考えられ、これも結局は洪水減水期に河原の上を流線が移動できないことが分断型の形成要因となっていることがわかる。

5. 河床材料分級とその形成過程に関する考察

池田ら¹²⁾によれば、河床材料分級には前縁線の直下や河原上流側に粗い礫が多く、前縁線の直上や河原下流側には細かな土砂が堆積しやすいという傾向が報告されている。今回、高麗川の切り立ち型、なだらか型の二つの河原において詳細な礫径分布調査も実施しているが、やはり同様の傾向が確認された。さらに付け加えるならば、河原の上流側では、河床の上に大きな礫径のものが間隔を空けて存在していることで、粗度の大きな状態となっており、河原の下流側では礫間に細粒分が入ることで、比較的平らな状態となっているという共通特性が見出された。これは河原の上流端に早瀬があることをからわかるように、洪水減水期には早瀬の一部となっていた場所が、平水時には水面上にでているため、礫間の細粒分が洗い流されていることが原因である。よって、分断型の場合は、この様に粗度の大きなエリアはさほど広くない。

そのような一般的な土砂の堆積傾向がある中で、現地踏査では、河原の一部に砂利(2~32mmの土砂)がまとまって堆積しているのが観測された。同様の現象は、礫

の帯や砂の帯として佐々木⁹⁾によっても報告されている。これらの堆積個所の下流端では、その下流の河原との明確な境界線が見られることが多く、河原全体が動くような洪水ではなく、河原は多少変形する程度であり変化はなく、その上を比較的細かめの土砂が輸送されるような中小出水で形成されているのではないかと推測される。実際、図-7 に示すとおり、こうした砂利の部分だけ裸地として残り、その下流側には植生が繁茂していることから、この仮説が裏付けられる。そういう意味では、礫河原で藪化が進行するのを防ぐという効果も期待でき、これらの動態は重要な意味を持っていると考えられる。

これらの砂利の帯をよく観察すると、入間川や多摩川の堰間上流部における図-8 のように河原の比高の高い場所にのみ形成されているもの、高麗川や多摩川の堰間下流部における図-9 のように河原の比高の低い場所にのみ形成されるもの、浅川における図-10 のように带状ではなく河原の幅一杯に広がった砂利が河原のある場所から上流側全体に堆積しているもの、の三種類が見られた。これらの形成メカニズムについて考察する。

(1) 比高の高い場所にのみ砂利の帯が見られる河川の特徴(多摩川堰間上流部、入間川)

上述した通り、多摩川では堰間の上下流で土砂動態に差が生じている。特に上流側では河床低下が進行し、砂州の発達が悪いという特徴が見られた。こうした状況が生じるメカニズムについては、既往研究¹²⁾においてまとめている。すなわち、大出水の際には堰を乗り越えた土砂が堰の下流へ供給され、堰間上流部にも土砂が堆積するものの、その後中小出水を繰り返す内に、堰間上流部の土砂は下流へと流送されるにも関わらず、堰を乗り越えてくる土砂の量は少なく、堰間上流部は移動機会の少ない大きな礫のみによって構成されるという考えである。

この考えに基づけば、中小出水を繰り返す内に、堰間上流部では大きな礫のみが河川地形を構成するようになり、大出水の時にそこへ土砂が補われると考えられる。すると、中小出水で比高の低い部分に存在する砂利や砂は下流へと流送されてしまう一方で、その時は上流からの供給が少ない。一方、土砂を流送してくる大洪水の時は、こうした砂利や砂が比高の高い所へも移動することができ減水期に堆積する。そして、比高の低い場所の砂利はいずれ流送されてしまう。この様に考えると、図-8 に示す様な、水際が粗粒の礫で構成され、比高の高い場所で砂利の局所堆積が見られるという状況は説明が付く。

入間川においても、多摩川と同様に堰直下の河床低下が確認できるが、こちらは局所的にしか河原が形成されないほど河床低下は顕著である。しかし、やはり入間川においても河床低下をもたらしている原因の一つは堰の存在であると考えられ、多摩川と同様のメカニズムで砂利の帯が形成されていると推察される。

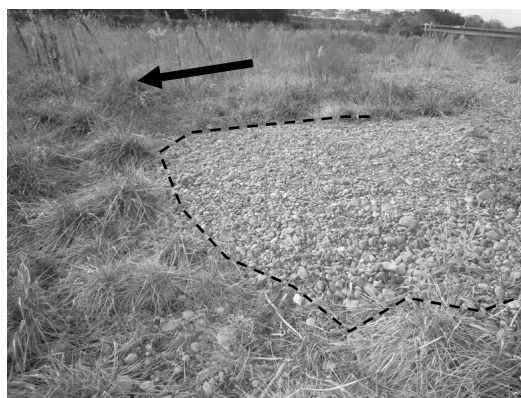


図-7 砂利の帯の範囲にのみ残る裸地(多摩川)

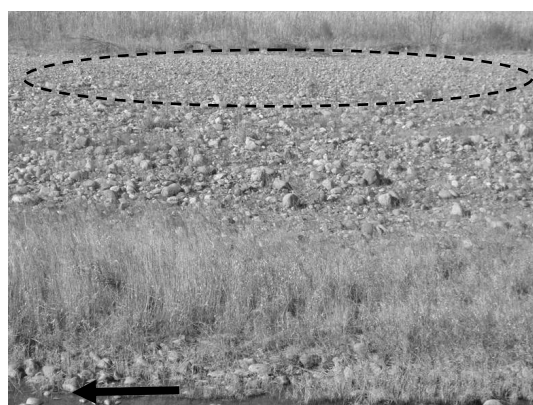


図-8 比高の高い場所の砂利の帯(多摩川堰間上流部)

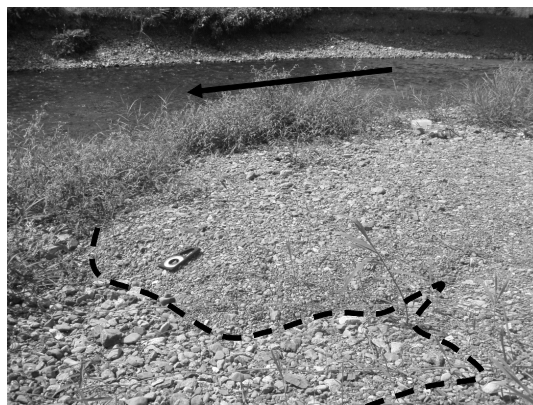


図-9 比高の低い場所の砂利の帯(高麗川)



図-10 河原全体を上流から覆う砂利の帯(浅川)

(2) 比高の高い場所にのみ砂利の帯が見られる河川の特徴(多摩川堰間下流部, 高麗川)

上述した考えに基づけば, 多摩川堰間下流部では, 中小出水においても, 堰間上流部から土砂の供給があるために, 砂利は中小出水で冠水する部分, つまりは河原の比高の低い場所に砂利が輸送され堆積する. 高麗川では, 砂州の発達には良くないものの, 入間川や多摩川のように落差の大きな横断構造物が少ないことから, 同様のことが起こっていると考えることができ, 堰が砂利の動態に及ぼす影響が小さい場合にこの様な砂利の帯が形成されることが考えられる. すなわち, 高麗川では堰の影響ではなく, そもそも上流からの土砂供給量が多くないことがなだらかな河原を作っている原因だと推察される.

(2) 河原のある場所から上流側で河原の幅一杯に広がった砂利の帯が見られる河川の特徴(浅川)

浅川では, 堆積厚が薄く, 横断方向一杯に, 下流側に境界を持つ砂利の帯が見られた. 浅川は上述した通り, 発達した切り立ち型の河原であり, この場合河原の上面が比較的平坦なことが特徴として挙げられる. また, 急勾配であるため, 河原がわずかに冠水する程度の中小出水でも, 砂利が河原中ほどまで輸送されることが考えられ, このよう堆積厚の薄い砂利の帯が河原の幅一杯に形成されたと考えられる.

6. まとめ

本研究を通して, 3種類の河原形状を規定する要素として, 土砂供給量と河床勾配(ハイドログラフの先鋭度)があり, 同じく3種類の河床材料分級パターンを規定する要素として, 横断構造物の影響と河原形状があることを示した. 河原形状と河床材料の分級パターンから読み取れる各河川の特徴を以下にまとめる.

- ・浅川の対象区間では分断型の発達した砂州が形成され, その上には河原の幅一杯に砂利が堆積していた. これらは, シャープなハイドログラフを有する急流河川で, 上流からの土砂供給が堰によって妨げられていないという特徴を表している.
- ・多摩川の対象区間では, 堰と堰で挟まれた区間の上流部では, なだらかな河原で比高の高い部分にのみ砂利の帯が見られた. これは, 上流からの土砂供給が堰で制限される一方, ある程度の規模の出水では砂利が供給されていることを表している. 一方, 同区間の下流部では, 切り立ち型の砂州が多く, 砂利の帯は低い位置にも形成されており, 堰の影響があまりないことを表している.
- ・入間川では, 蛇行部内岸の下流にのみ切り立ち型の河原が形成され, 砂利の帯も高い位置に形成されていた. これは, 多摩川の堰間上流部と同じ傾

向であるが, 入間川では堰の直上流でも傾向がそれほど変わらず, 砂利の帯の規模も小さいため, 土砂の動きが不活発であるという特徴を表している.

- ・高麗川では蛇行部内岸の下流に切り立ち型の河原が形成され, その他はなだらかな河原となっていた. また, 砂利の帯は比高の低い所に形成されていた. これらは, そもそも上流からの土砂供給がそれほど多くないものの, 堰による影響はそれほど大きくないという特徴を表している.

謝辞: 本研究は, 河川生態学術研究会多摩川グループの研究の一環として行われたものです. 御議論頂いた関係者の皆様に心より感謝致します.

参考文献

- 1) 黒木幹・岸力, 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, vol.342, pp.87, 1984.
- 2) 藤田裕一郎・木村嘉雄・堀池周二, 交互砂州の発達過程に関する研究, 京都防災研年報, vol.24B-2, pp.411, 1981.
- 3) T. CHIBANA and T. SUZUKI: "Relationship between Drainage Basin Characteristics and Riverine Landscape on an Alluvial Fan", *ADVANCES IN HYDRO-SCIENCE AND ENGINEERING*, Volume VIII, pp513 & CD-ROM, 2008.
- 4) 寺本敦子・松井宏充・辻本哲郎, 洪水時に形成される砂州地形と低水時の瀬淵構造との関係, 河川技術論文集, vol.11, pp.369, 2005.
- 5) 田所奈美・知花武佳, 河原における植生の種子漂着場に関する研究, 河川技術論文集, vol.12, pp.465, 2006.
- 6) 佐々木学・知花武佳・辻本哲郎, 砂州水際に形成される生息場の物理特性に関する研究, 河川技術論文集, vol.9, pp.469, 2003.
- 7) 鈴木高・知花武佳, 河道形状が河原水際の物理環境に及ぼす影響, 第61回年次講演会講演概要集CDROM, 2006.
- 8) 林融, 知花武佳: 中流域における平瀬の物理特性とその評価, 河川技術論文集vol.13, pp153-158, 2007.
- 9) 山本晃一: 沖積河川学, 山海堂, 1994.
- 10) T. CHIBANA, T. TSUJIMOTO, M. MIYAKE, G. SASAKI, H. IWAMOTO: "Hierarchical Analysis of Physical Environment in Riffles", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.9, No.1, pp1-6, 2005.
- 11) 永納栄一・福岡捷二・山坂昌成・竹内聡: 湾曲水路の交互砂州, 土木学会第37回年次学術講演会講演概要集, pp.551-552, 1982
- 12) 池田宏, 二粒径混合砂礫の送流に関する水路実験, 筑波大学水理実験センター報告, vol.8, pp.1, 1984.
- 13) 知花武佳・山下貴美子・工藤美紀男・榊澤亘, 横断構造物が河川地形に及ぼす影響とそこに見られる治水・環境両面の特性, 河川技術論文集, vol. 15, p. 231, 2009.

(2010.4.8受付)