

◆ 特集：環境に配慮した河道計画・設計 ◆

多摩川永田地区における “河原を維持する仕組み”復元の試み

服部 敦* 福島雅紀** 瀬崎智之*** 末次忠司****

1. はじめに

ある特定の生物種や生物群集、そしてその生息に良好な場など具象的に認知できるモノを対象とした保全だけでなく、それらのモノが機能し、相互に作用を及ぼし合う幾多の仕組みに支えられた生物の持続的生息を可能とならしめるシステムとして概念的に認知できる河川環境（または河川生態系）を対象とした保全を行っていくことが求められている¹⁾。その推進にあたっては、工学的専門の立場からシステムを構成するさまざまな仕組みや機能を抽出して科学的に分析・記述すること、それも一般人にとってもシステムとその作用を鮮明に理解できるようにすることが必要と考えている。

本研究は、河原が樹林地に変わって激減した多摩川永田地区で現在実施されている修復について、河原（単なる場だけでなく、そこに展開されている生態系をも含めた総称として用いる）が形成・維持される仕組みを考察したものである（修復立案時の検討については島谷ほか²⁾ 参照のこと）。その要点は、仕組みの定性的解釈にとどまらず、修復への応用においてキーとなる仕組みの機能状況を量的に指標化（表示）し、その指標を活用して目標設定から管理まで行うための基本的考え方を提案することにある。

2. 永田地区の河床低下に伴う河原縮小の概要

永田地区は、写真-1に示す多摩川51.7～53.3km区間であり、近年、左岸堤防に沿うように低水路が固定されている河床勾配1/330、河床材料の平均粒径35mm、90%粒径100mm、平均年最大流量620m³/s（調布橋観測所：59.5km地点）の礫床河道区間である。堤間幅の2/3～3/4を占める高水敷は、細砂を主体とする表層土によって礫面が覆い隠され、その上に草（オギ、オオブタクサなど）や樹木（大部分がハリエンジュ）が繁茂している。しかし、約60年前には全域が河原であり、その後少なくとも約20年前までは河原

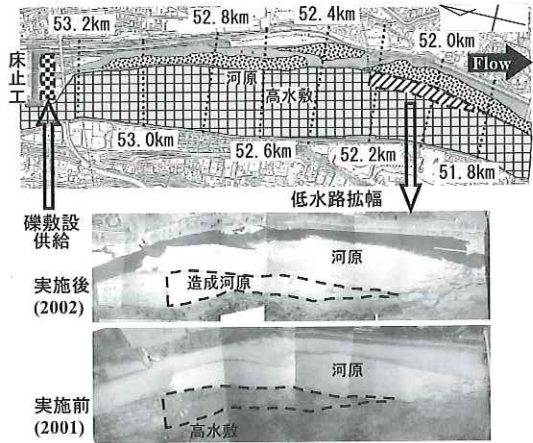


写真-1 多摩川永田地区の修復実施状況

の様相を呈していたことが確認されている³⁾。現在、河原は低水路内に僅かに残るのみとなっている。河原減少に伴って河原を生息場とする生物が激減し、カワラノギクは絶滅が危惧されている。さらに高水敷は低水路とは生物群集が異なり、その生息を支える物質循環系も異なることが指摘されている⁴⁾。このような状況を考慮して、写真-1に示すように2001年より礫の敷設供給、2002年に高水敷掘削による拡幅によって、高水敷に変わった場所を河原に復元するための修復が行われている²⁾。

3. 河原の仕組みとそれに基づく修復

3.1 復元のキーとなる河原の形成・維持の仕組み

河原は、図-1に示すように出水と関わりのある仕組みのもとで、礫間に詰まっている土砂（以下、マトリクスと呼ぶ）に根付く植物が繁茂と流失・裸地化をあるサイクルで繰り返す場である。このサイクルを構成する素過程を裸地から図-1に示した矢印の順を追って以下に説明を加える。裸地には名称に“カワラ”の付く植物のように、マトリクスの保水性が低い場所に発芽・生長できる植物（以下、河原植物と呼ぶ）が繁茂する。河原植物は、裸地化した河原に再繁茂して疎ながらも群落を形成することに優れている^{5,6)}。その

Field Study on the Gravel-bar Restoration at the Nagata District in the Tama River

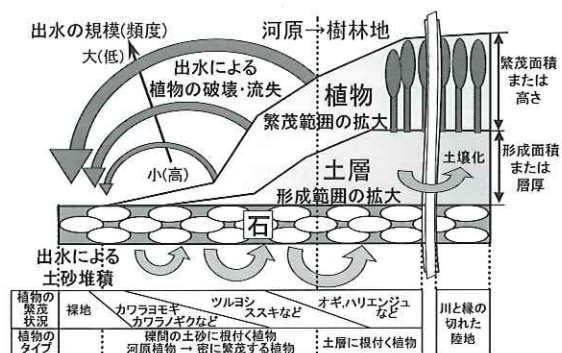


図-1 出水に関わる河原の仕組み

群落に侵入して密に繁茂する植物（例えばツルヨシ）は、上記の点ではやや劣るものの、出水による破壊に対する耐力が河原植物より優れている。瀬崎ほか⁷⁾は、破壊耐力を50%粒径に対する無次元掃流力（河床面の礫を押し流そうとする流体力とそれに抵抗して礫を留めようとする力[礫の重量、河床面との摩擦力]の比）を用いて評価している。ツルヨシでは、最大粒径規模の礫に覆い被さるように根茎を深く伸長しているため、その流失によって完全に裸地化する外力は、最大粒径の無次元限界掃流力（0.10～0.12：礫を押し流す流体力が勝り、礫の移動が生じるようになる値）とほぼ等しくなる。それに比べて根茎が地中浅くにしか伸長しないカワラノギクなど河原植物は、限界掃流力（0.06）程度で流失して裸地化する。さらに密に繁茂する植物の群落内には出水時に濁水中の土砂が沈降・堆積しやすく⁶⁾、それが土層を形成すると、土層に根付く植物（例えばオギ、ハリエンジュ）に遷移するようになる³⁾。河原植物より流失しにくく、土砂堆積に伴って拡大するこれらの群落によって、河原植物の生長が阻害されて個体数が減少する。個体数が少なくなり過ぎると出水後の再繁茂が困難になり絶滅が危惧される状態になるが、そこまで減少するより先に裸地化するという程良いサイクルを保つように仕組みが機能していれば、河原は再形成・維持される。

李ほか³⁾は、永田地区の土層に根付く植物が安定的に繁茂し続けている理由として、低水路の河床から2～4mも高くなった高水敷上で植物の破壊・裸地化が生じにくくなったことを挙げている。

以上より河原の仕組みに基づくと、修復においては高水敷となった範囲で植物の破壊発生頻度を回復することがキーとなると考えられる。その定量的指標として本研究では、掃流力によって破壊の発生が判別できると仮定し、流量ごとに河原に

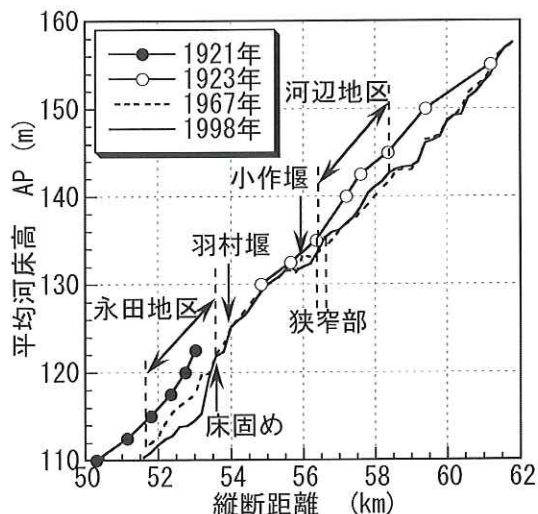


図-2 1920年代以降の河床縦断形の変化

作用する掃流力とその生起確率を算定することから得られる掃流力の生起確率を用いることとする。

3.2 河床低下の発生機構と目標を満たす河道状況

修復実施前までの河床低下の発生機構を整理し、これに基づいて植物の破壊発生頻度を回復するという目標を満たす河道状況の設定を試みる。

永田地区から直轄上流端までの低水路平均河床高の縦断形の経年変化を図-2に示す。なお、1920年代の河床縦断形は、地形図（縮尺1/25,000）の等高線から読みとったものである。砂利採取は、1920年代（関東大震災後）以降から盛んに行われ、1967年に全面禁止された⁸⁾。この期間に永田地区と河辺地区で河床が著しく掘り下げられ、著しい河床低下が認められる。1967年以降では、出水に起因する河床変動が顕在化し、永田地区では高水敷化をもたらした河床低下が生じたが、河辺地区では逆に上昇している。これらの状況から、狭窄部によるせき上げを受ける河辺地区を掘り下げたため礫が堆積するようになり、その分だけそれより下流への礫の流送量が減少し、そのため永田地区で河床低下するようになったと推定される。河辺地区と永田地区の間で河床低下が生じなかったのは、羽村堰による河床高固定の効果のためと推察される。

ところで永田地区では、難侵食性の脆弱な岩盤（以下、土丹と呼ぶ）が低水路河岸に一部を除き連続的に露出している。この土丹は、掘り下げによって既に沖積礫層が僅かになっていたため、図-3の平均河床縦断形の経年変化に示すように、1967年以降の河床低下の進行に伴って河岸に露出してきた。そのため低水路幅が縮小し、その後

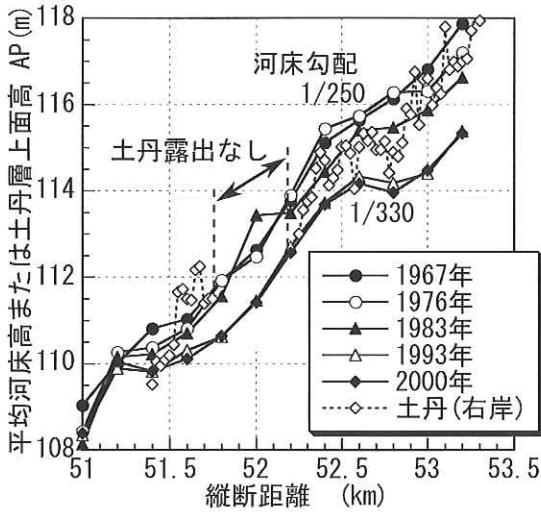


図-3 永田地区の河床縦断形の変化

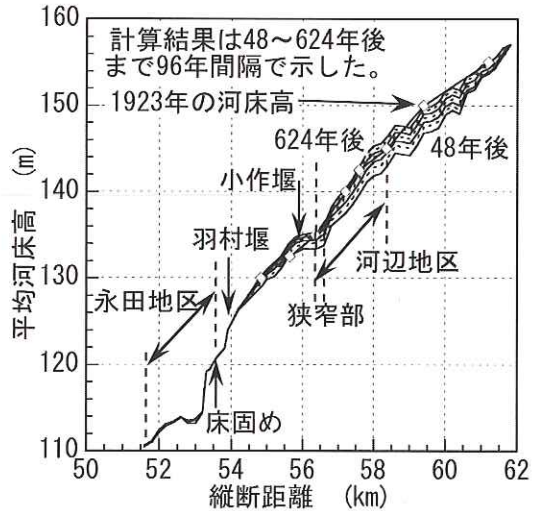


図-4 今後の河床変動の予測結果

ほとんど拡がらなかったため、図-3に示したように明確な緩勾配化の見られる著しい河床低下を引き起こしたと推定される。

これらの推定の妥当性を一次元河床変動計算によって確認する。本計算では芦田・道上による混合粒径の掃流砂量式を用いており、永田地区のほぼ全域で河床材料が移動する $100\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量を 1975～1998年に渡って全て時系列で与え、流量に応じて増加する一定の関係（流砂量式より設定）で礫を上流端から供給した。なお、この礫供給量 Q_{bin} は再現性が最も高くなるように試行錯誤を繰り返して調整を行い、最終的に $11,700\text{m}^3/\text{年}$ （24年間の平均値）と設定した。以上の条件で計算を実施したところ、河辺地区での堆積（実測値 $6,500\text{m}^3/\text{年}$ に対して計算値 $6,700\text{m}^3/\text{年}$ ）と永田地区の河床低下（同じく $5,600\text{m}^3/\text{年}$ に対して $5,160\text{m}^3/\text{年}$ ）を良好に再現できた（以上の値は全て空隙を除いた礫のみの体積、以降も同様）。また上記の供給量および侵食・堆積量より、羽村堰を越えて永田地区へ供給される量 Q_{bNagata} が Q_{bin} の概ね半分となっていると推定される。

これらの結果は、まだ河原が広く残っていた 1960～70年代であっても、仕組みが機能しなくなる原因となった掘り下げが既に完了しており、 Q_{bNagata} が半減しているため、目標とできるような河道状況ではないことを示唆する。さらに遡って 1920年代のような河床形状に戻すことも非現実的である。つまり過去の河道状況のなかから目標を満たすものを選定できないので、現状の河道形状をベースとして新たな河道状況を考案・設定しなければならない。修復目標の設定において、

河道の人為的攪乱が認められるものの、その程度があまり大きくないと予想されている高度成長期（1950年代）以前の河道状況を参考にすることが提案されている¹⁾が、本事例はシステムの復元を軸に据えたと、実現性のある河道状況が設定できない場合があることを示すものである。その場合、年代や過去の河道状況にとらわれずに、目標を満たす河道状況を、例えば上記のような河床変動の観点からも検討するべきであると思われる。

3.3 低水路拡幅および礫敷設供給による修復

3.3.1 今後の河床変動の予測結果

既に砂利採取が禁止されているので、このまま手を加えず放置しても半減している Q_{bNagata} の回復に伴って永田地区でいずれ河床低下が治まり、上昇に転ずることがあるか？目標を満たす新たな河道状況を検討する手始めとして、河床低下原因となっている礫供給量の不足と低水路幅の縮小が、今後の河床変動に及ぼす影響の大きさについて整理する。

3.2に概要を示した河床変動計算によって、 Q_{bin} を上記の設定値と同一と仮定して、24年間の出水が繰り返し発生するというシナリオでもって、将来の河床縦断形状を予測した結果を図-4に示す。河辺地区とその上流では河床が上昇し続け、それに伴って Q_{bNagata} が増加すること、さらに $Q_{\text{bNagata}}/Q_{\text{bin}}$ が 90% 程度まで回復する 400年後には、1920年代と河床縦断形がほぼ一致する結果が得られた。しかし永田地区では、 Q_{bNagata} が回復しても低水路が現状と同じく狭いままであれば、ほとんど河床上昇しない結果となった。現地においてもなお河床低下の進行傾向が見られること

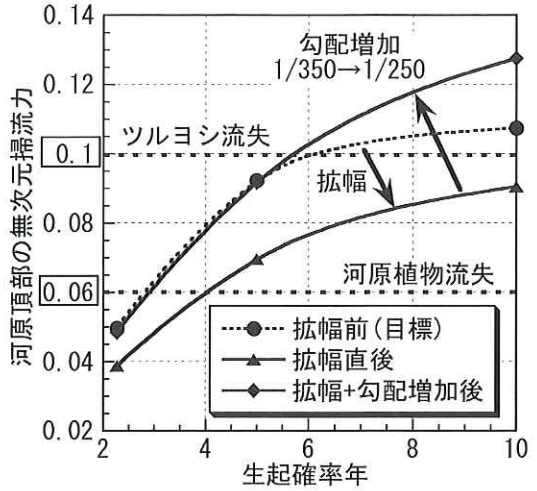
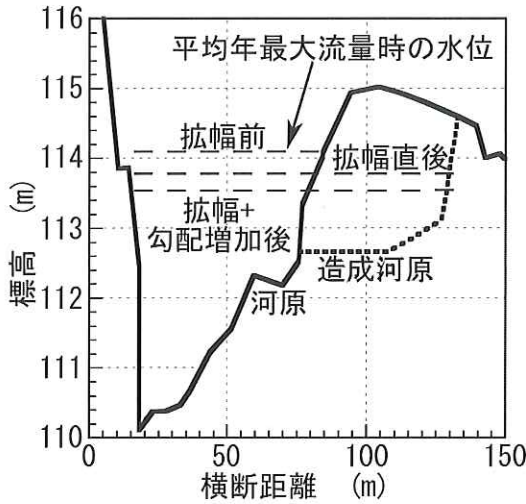


図-5 低水路拡幅状況と拡幅・礫供給による掃流力の生起確率分布の変化

(図-3参照)も考慮すると、河床低下から上昇に転ずる可能性は極めて低いと推察される。

3.3.2 修復による仕組みの機能回復

低水路が形成されてから現在まで、土丹が露出している右岸側の河原はほとんど侵食されていない。つまり3.3.1での推察から、1967年以降に見られた河床低下～高水敷化のプロセスを逆行するようにして、河床が上昇→高水敷上のハリエンジュ群落が流失→河原が復元ということは期待できない。したがって、修復として第一に高水敷を掘削し、低水路幅を広げるとともに、水路内に残っている河原の面積を拡大することを行わなければならない。しかし、掘削によって新たに造成した河原(以下、造成河原と呼ぶ)では、造成後しばらくは以下に示すように河原の仕組みが機能しないので、それをできるだけ早期に機能させるために礫敷設による供給量増加を行う必要がある。これらを実施している写真-1の状況が、目標を満たす河道状況の具体例であると判断されよう。

無次元掃流力の生起確率を用いると、拡幅と礫敷設供給による河原復元は52.0km地点を例として図-5のように説明できる。

①修復実施前の河原頂部における掃流力とその生起確率年の関係を●プロットで示す。この河原にはカワラノギクをはじめとする河原植物やツルヨシが繁茂していたが、2000～2001年の相次ぐ出水によって破壊された⁷⁾。これらの経緯よりこの河原は仕組みが健全に機能していると考えることとし、●プロットを機能回復の目標とする。

②拡幅のみを行うと、河積の増加のため掃流力が▲プロットのように低下し、河原上の植物群落が

破壊されにくくなる。そのため仕組みに機能不全が生じ、具体的にはツルヨシ流失の生起確率年が約6年から10年以上に、つまり発生頻度が概ね半減したことに対応して、ツルヨシ群落が拡大すると思われる。同時に、掃流力が低下したことに伴って礫が堆積して河床が上昇する。その際、拡幅により増加した動的安定河床勾配(上流からの礫供給量とほぼ等量の礫を流送できる流れ場となる河床勾配)に近づくように河床勾配が急になる⁹⁾。

③河床勾配の増加に伴って掃流力が再び増加する。河床形状を拡幅直後と同一と仮定して、勾配が1/350から1970年代と同じ1/250まで増加した場合、◆プロットのように目標である●プロットと重なる分布となる。この状態に達したとき、河原頂部とほぼ等しい標高である造成河原も含めて植物の破壊発生頻度が回復するので、仕組みが機能する河原が拡大できたことになる。動的安定河床勾配を大きくし、上記の河床勾配に早期に達するようにするために、礫敷設による供給量増大を行う。

4. 修復実施後の河床変動と今後の修復の進め方

4.1 礫敷設供給と拡幅の概要

礫敷設供給は、土丹の露出した床固め直下流の河床上に出水期前までに礫を敷設し、これが出水時の流れで削られ、運搬されるようにして行われている。2001年には1,800m³、2002年には4,400m³の礫敷設供給がなされた。供給に用いた礫は、小作堰(可動堰:1978年竣工:位置は図-2

参照)の湛水池に堆積したものである。その粒度分布は永田地区とほぼ同じである。

高水敷掘削による拡幅の実施前に、2001年9月出水によって土丹が露出していない右岸側河岸(図-3参照:51.7~52.1km)と左岸側から突出した高さの小さい河岸(52.3~52.5km)が侵食されて低水路が拡幅した。高水敷掘削による拡幅は、右岸側の河岸侵食区間をさらに拡げるように実施された。これらの拡幅によって経年的に変化した低水路幅の縦断分布を図-6a)に示す。

4.2 河床変動の測定結果

敷設した礫が供給され、かつ有意な河床変動が生じるピーク流量 $200\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水後にGPS(測定精度:鉛直約 3cm 、平面約 2cm)を用いて、縦断方向に約 25m 、横断方向に $2\sim 3\text{m}$ の間隔で横断測量を実施した。その測定結果から求めた礫床部の平均河床高の縦断分布を図-6b)に示す。高水敷掘削区間で2002年に河床高が著しく高くなっているが、これは平均河床高の算定対象とする礫床部に標高の高い造成河原が新たに加わったためである。このような理由で平均河床高が変わる影響を除いて礫の堆積・侵食による河床変動量のみを調べるために、2001、2002年とに分けて各年の第1回測量の平均河床高を基準として河床変動量を求めた結果を図-6c)、d)に示す。なお、河岸侵食が生じた2001年9月出水後の平均河床高は出水前の礫床部幅での平均河床高として算定している。

修復実施前には河床が低下し続けていたが(図-3参照)、拡幅した区間で上昇するようになった。拡幅区間での礫堆積量は2カ年で $3,000\text{m}^3$ であり、これは同2カ年の礫敷設供給量($6,200\text{m}^3$)の約5割に相当する。また2002年では拡幅区間より下流においても河床上昇が生じており、この区間も含めた礫堆積量はこの年の礫敷設供給量の約8割に相当する。以上のように、拡幅区間での堆積量をより増加させる工夫が今後必要と思われるが、3.3に示した修復の狙いどおりに河床が着実に上昇していることが明らかとなった。さらに礫の供給によって上記のように小出水でも顕著な河床上昇が生じたことは、より大量の礫供給を続ければ、図-5に示した掃流力回復が比較的速やかに行えることを期待させるものである。

4.3 今後の修復の進め方

この修復では、礫敷設供給量と拡幅規模(掘り拡げる幅と区間長)のバランスが重要である。拡幅規模を大きくするほど、掃流力の発生頻度が回復する河床高まで上昇させるのに必要な礫堆積量が増える。そのため、回復に費やす期間が長くな

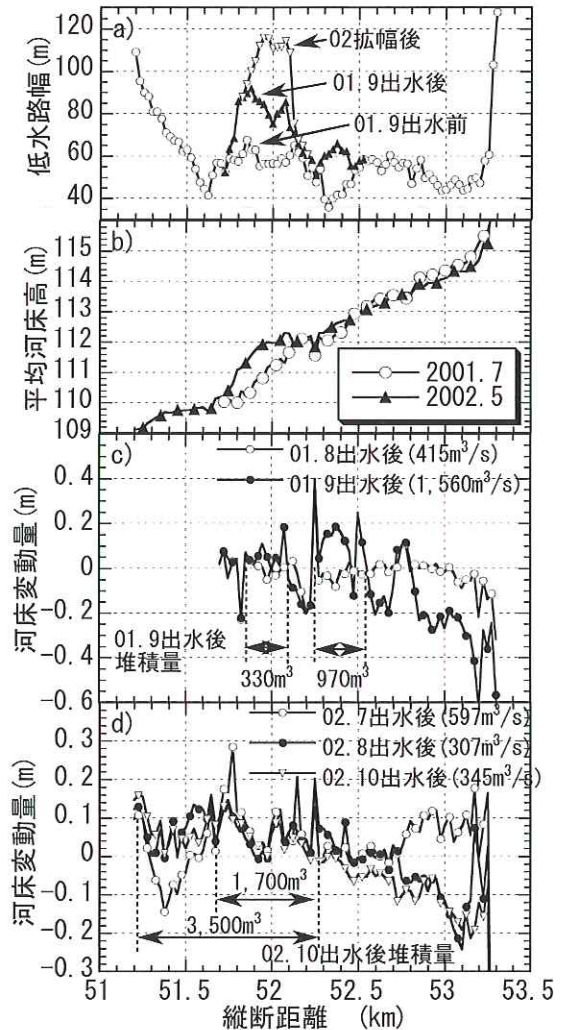


図-6 修復実施後の河床変動

り、植物も長期間流失しにくいままとなるので、密な植物の繁茂→土層の形成→樹林地へ戻る(図-1参照)というように、河原が拡大できない懸念が高まる。それだけでなく、3.2で述べた河辺地区のように下流への礫供給量を減少させ、より激しい河床低下を拡幅区間の下流に引き起こすという悪影響も懸念される。現在実施中の修復では、これらの懸念から免れている。現在の拡幅区間で河原が概ね復元された場合、上記の懸念される現象が防止できる適度な拡幅規模で段階的に拡幅していくことで、河原を拡大していくのが今後の修復の進め方となる。その際、出水の発生回数と規模によって、掃流力の発生頻度が目標値まで回復するのに要する時間が異なるであろう。したがって、図-5に示したように目標と現状とのズ

レを常々モニタリングして、次の拡幅のタイミングを捉えるというアダプティブ・マネジメントを行わなければならない。

5. おわりに

システムに着目した保全・復元の基本的考え方と実施上の留意事項について示し、特に図-5に示したような指標化が重要かつ実践的であることを論じた。しかしながら著者の知識不足のため、指標化には河川工学的観点に留まっており、生態学的には不十分である。様々な専門の立場から目標を設定し、図-5のように視覚的にも理解しやすい指標化を行うことが望まれる。

河原の仕組みを保全・復元するという点で抜本的である永田地区の修復であるが、それに要する時間は総延長が2kmに満たない永田地区のみでも数十年オーダーになると予想される。したがって、このような修復は、河川環境を現時点より悪化させないための河川管理、つまりエコシステム・メンテナンスと捉えるほうが適切かとも思われる。このような性質の修復をどのように評価し、継続していくかが、今後の最大の課題の一つではないかと考えている。

謝辞：国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所には定期横断測量、流量、礫敷設供給に関わるデータを提供していただいた。また、一次元河床変動計算は(財)リバーフロント整備センターと共同で実施した。ここに記して深甚の謝意を表します。本研究は、河川生態学術研究会多摩川研究グループの調査研究の一環として実施したものである。

参 考 文 献

- 1) 石橋良啓、池内幸司、尾澤卓思：良好な河川環境の保全・復元に向けて、河川技術論文集，第7巻，pp.7-12，2001年
- 2) 島谷幸宏、高野匡裕：多摩川永田地区における学術研究と河道修復（順応的管理の実践と課題）、河川技術論文集，第7巻，pp.381-386，2001年
- 3) 李 参熙、藤田光一、山本晃一：礫床河道における安定植生域拡大のシナリオー多摩川上流部を対象にした事例分析よりー，水工学論文集，第43巻ー pp.977-982，1999年
- 4) 上田眞吾、高 春心：安定同位体比から見た物質循環，多摩川の総合研究ー永田地区を中心としてー，河川生態学術研究会多摩川研究グループ，(財)リバーフロント整備センター，pp.755-758，2000年
- 5) 渡辺 敏、藤田光一、塚原隆夫：安定した砂礫州における草本植生発達の有無を分ける要因，水工学論文集，第42巻，pp.439-444，1998年
- 6) 末次忠司、藤田光一、服部 敦、瀬崎智之、伊藤政彦、榎本真二：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答，遷移および群落拡大の特性，国土技術政策総合研究所資料，第161号，2004。
- 7) 瀬崎智之、服部 敦、近藤和仁、徳田 真、藤田光一、吉田昌樹：礫州上草本植生の流失機構に関する現地調査と考察，水工学論文集，第44巻，pp.825-830，2000年
- 8) 皆川朋子、島谷幸宏：多摩川永田地区及び千曲川鼠橋地区における河原率にみる洪水による破壊・再生，第4回研究発表会講演集，応用生態工学研究会，pp.13-16，2000年
- 9) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，pp.314-321，1994年

服部 敦*



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部
ダム研究室主任研究官
Atsushi HATTORI

福島雅紀**



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部
河川研究室主任研究官
Masaki Fukushima

瀬崎智之***



国土交通省国土技術政策
総合研究所企画部企画課
建設専門官
Tomoyuki SEZAKI

末次忠司****



国土交通省国土技術政策
総合研究所河川研究部
河川研究室室長，工博
Dr. Tadashi SUETSUGI