

海外事例との比較による 河原の自然再生計画に関する考察

A STUDY ON GRAVEL-BED RIVER RESTORATION IN JAPAN -A COMPARISON WITH OVERSEA PROJECTS

中村圭吾¹・大石哲也²・天野邦彦³

Keigo NAKAMURA, Tetsuya OISHI and Kunihiro AMANO

¹正会員 博(工) (独) 土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 主任研究員 (〒305-8516 つくば市南原1-6)

²正会員 工修 (独) 土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 研究員 (同上)

³正会員 博(工) (独) 土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員 (同上)

River restoration projects are increasing in the world. Gravel-bed river restoration is one of the major restoration goals because gravel-bed-river landscape is declining due to e.g. river straightening, dam construction and gravel excavation. In Japan, gravel-bed river restoration including the Tama River has carried out and started to evaluate at each site. This paper reviews the nine Japanese gravel-bed river restoration projects with several non-Japanese projects and proposes a key point for planning and implementation.

Key Words : river incision, sediment, reafforestation, gravel augmentation, vegetation

1. はじめに

河川の自然再生(River restoration)は世界各地で実施され、その数はますます増加している¹⁾。また近年、その目的を河原環境の再生とする事業が国内外で多くなっている^{1), 2), 3)}。河原はダイナミックな河川の環境を代表する自然景観であるが、特に先進国ではさまざまな理由によりその面積が急激に減少している⁴⁾。河原が減少する要因としては、河川改修、河道直線化にともなう河床低下、砂利採取による滞筋・砂州の固定化、流域の森林回復、堰・ダム・砂防ダムなどの建設による流況の安定・土砂供給量の減少、河道内樹木の人的利用の減少および河川管理者による樹木伐採の減少⁵⁾による樹林の拡大などさまざまな理由であり、そのメカニズムは十分に解明されているわけではない。また、河原の減少は、河道の樹林化と表裏一体の関係であることも多い。

河原再生が自然再生として積極的に実施されるのは3つの理由によると考えられる。ひとつは、治水安全度の向上である。河原の減少のひとつの原因である河道の樹林化の改善は、治水上のリスク低減となる。また再生した河原の維持にはかく乱頻度、冠水頻度をあげるために高水敷を切り下げることが多いが、それは治水上も好ましい条件となる。次に、生息場としての価値である。河原は特殊な自然環境であり、そこに依存した生物の貴重

種が大変多い。カワラバッタやカワラサイコなど名前に「カワラ」とつく多くの生物は希少となっており、河原の減少によりこれら多くの生物の減少が危惧されている。3つめは、河原の親水機能、環境教育の場としての重要性である。河原があることにより、人々が川に親しむことができ、ひいては川と人間の関係性を回復する場ともなりうる。また、親水体験と通じて河川や河川環境に対する関心も高くなると考えられる。

国内において河原再生に関連する研究は、多摩川^{6)~9)}を中心にその他の河川でも増加傾向にあり、その技術的知見はかなり高まってきている。しかしながら、個別研究事例が多く、国内の河原再生事例を横断的に比較分析した研究は見当たらない。そこで、本稿では、国内および海外の河原再生事例を整理し、その特徴を抽出し、技術的要点を考察する。また、河原再生を検討する上で役に立つと思われるいくつかの概念を紹介し、河原再生計画に資することを目的とする。

2. 国内における河原再生の現状

(1) 事例の収集と整理

国土交通省の各地方整備局に対し、実施中あるいは計画中の自然再生事業について概要を把握するためのアンケート調査を2005年に実施した。その中から河原再生にあたる8事例(鬼怒川、多摩川、千曲川、狩野川、豊川、

表-1 国内外における河原再生事業の概要

河川名	基本調査・事業区間の河原特性										再生の動機	目標	整備手法	事後評価
	流域 面積 (km ²)	流域 距離 (km)	幹線 河川 距離 (km)	平均 水深 (mm)	平均 流速 (m/s)	セグ メント	河川 形状	平均 断面 面積 (m ² /s)	代表 断面 (mm)	勾配				
国内	鬼怒川	2,578	1,760	176.7	2000	Seg.1	Bb	1/200	35	520	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	多摩川	1,953	1,240	138	1600	Seg.1	Bb	1/250	35	520	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	千曲川	2,475	1,163	214	1800	Seg.2-1	Bb	1/500	40	1300	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	神野川 (下流)	1,438	952	46	3000	Seg.1	Bb	1/250	35	520	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	豊川	1,152	724	77	2400	Seg.2-1	Bb	1/954	57	1563	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	横須川	1,139	910	79	2100	Seg.2-1	Bb	1/500	20-30	1080	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	旭川	1,081	1,800	142	1450	Seg.2-1	Bb	1/670	50	1400	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	江の川	1,219	3,870	194	1700	Seg.2-1	Bb	1/590	40	350	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	四万十川	1,336	2,270	196	3500	Seg.2-1	Bb	1/1300	40	5300	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	Thur川 (スエズ)	2,501	1,700	130	14000	Seg.2-1	Bb	1/1300	40	5300	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
海外	Lech川 (オースト リア)	2,789	4,126	264	2000	Seg.1	Bb	1/200	35	520	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	Watabell (ニュージー ランド)	3,764	11,686	211	2400	Seg.1	Bb	1/200	35	520	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	Plattell川 (アメリカ)	844	14,575	499	15	Seg.2-1	Bb	1/700	40	1300	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	Isar川 (ドイツ)	1,160	8,370	295	1800	Seg.2-1	Bb	1/500	40	1300	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働
	Isar川 (ドイツ)	1,160	8,370	295	1800	Seg.2-1	Bb	1/500	40	1300	交互 (山前 後列)	・河川底の再生 ・河川生態系の回復(希少生物の生育の促進) ・河川環境の改善(河川の水質の向上)	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働	・河川の切り下げ(洪水の軽減) ・上流からの土砂供給 ・地元自治体及び地域住民との協議と協働

揖保川、江の川、四万十川)を抽出し、その河原再生に関する報告書、資料などを担当事務所から収集した。この8事例に、学会などで多く報告されている旭川の事例^{10)~13)}を加え9事例について、比較分析し、必要に応じて現地踏査を実施した。

(2) 国内実施事例の比較

今回収集した事例のうち、2005年3月時点において、一部でも整備を実施し、効果検証段階に入っているものは4件で、残りの5件は整備未実施あるいは整備中であった。

表-1に今回収集した事例及び3.で解説する海外の事例を含めた基本諸元と河原再生の動機、目標、整備手法を示す。

国内事例の流域標高(流域最大標高)は、いずれも1,000m以上で1,081~2,578mであった。

河道特性は、現状ではいずれも交互砂州区間であったが、四万十川、鬼怒川のようにかつては複列砂州区間であった箇所もある。横断形状はすべての箇所ですべての箇所複断面河道区間であった。

河床材料の粒径は、計画高水流量、年間降雨量、流域標高に大きな違いがあるにもかかわらず約3~6cmで比較的一定であった。

河床勾配は、多摩川と鬼怒川が1/200と大きいがそのほかは、1/500~1,500で地形区分から言えば、谷底平野から自然堤防区間であった。

平均年最大流量は四万十川が5,300m³/sと圧倒的に大きいとそのほかは350~1,500m³/s程度で、流量増加にともなって河床材料が大きくなる傾向があった。平水流量は2~50m³/sであったが、河床材料との関係はなかった。

セグメント区分は、いわゆるレキ床河道区間のSeg.1あるいはSeg.2-1で実施されている。生態的な河川区分としてはひとつの蛇行区間で瀬・淵がひとつずつ存在する「Bb区間」であった。

調査結果より、河原再生事業の背景となった直接的インパクトを表-2に示す。また、改善すべき環境要素を表-3に、自然再生の整備手法を表-4に整理する。

表-2から放水路建設によりかく乱が大幅に減少した狩野川を除くすべての河川で、砂利採取が直接インパクトに挙げられていることがわかる。また、表-3の改善すべき環境要素について「レキ河原の減少」は当然として、狩野川以外では「樹林化」を挙げている。さらに「河原固有種の減少」、あるいは「帰化植物の繁茂」を問題としている箇所も多い。

表-4より、河原再生手法としては高水敷の切り下げがほとんどであることが分かる。その他に、植物・表土のはぎ取り、樹木伐採などを実施している。旭川と江の川では樹林化抑制策として伐採後のヤナギ切り株の樹皮をはぎ対策を実施している。土砂供給の検討をしている河川は鬼怒川と多摩川の2河川のみであった。

表-2 河原再生と背景となった直接的インパクト

河川名	砂利採取	ピークカット(ダム・放水路建設)	土砂の減少(ダム・砂防施設建設)	取水(流量調節)	河川改修(河堤固結、掘削)	引き堤	植物持ち出し行為の停止
鬼怒川	●	●	●	●	●		
多摩川	●			●			
千曲川	●						
狩野川		●(放水路)					
豊川	●	●		●			
揖保川	●		●		●		
旭川	●	●					●
江の川	●	●		●	●	●	●
四万十川	●		●				

表-3 改善すべき環境要素

河川名	レキ河原の減少	河原固有種の減少	樹林化	エコトーンの劣化と減少	帰化植物の繁茂	濁河床の悪化(堆積物の増加)	アユ産卵場河床の悪化・減少
鬼怒川	●	●(875/ギ)	●		●		
多摩川	●	●(875/ギ, 875/ギ, 875/ギ)	●		●(875/ギ, 875/ギ)		
千曲川	●		●	●	●(875/ギ)		
狩野川	●	●(875/ギ)		●			
豊川	●	●(875/ギ)	●				
揖保川	●		●		●		
旭川	●	●(875/ギ, 875/ギ, 875/ギ)	●				●
江の川	●	●(875/ギ, 875/ギ, 875/ギ)	●			●	
四万十川	●		●				●

表-4 自然再生の整備手法

河川名	河床(高水敷)の切り下げ	土砂供給	樹木伐採・根際再生抑制	表土・表土の剥離取り除き	放水路の設置	中水敷(高水敷)による河床水没の防止	河床(高水敷)の保全	市民による河床管理	フラッシュ放流
鬼怒川	●(小段)	●					●(875/ギ)	●	
多摩川	●(小段)	●					●(875/ギ, 875/ギ, 875/ギ)	●	
千曲川	●(小段)			●					
狩野川	●(小段)		●(伐採のみ)						
豊川	●(小段)								
揖保川	●(小段)							●	
旭川	●(小段)		●(河床敷も表土も)						
江の川	●(小段)		●(河床敷も表土も)			●			●
四万十川	●(小段)	●(伐採のみ)			●				

3. 海外における河原再生事例

ここでは、河原(gravel-bed river)の再生を目的とした海外の事例を紹介する。海外の事例の基本情報は表-1に示すとおりである。国内事例と比較すると学術的、生態学的な事後評価がなされている場合が多い。緯度経度を記述しておくので、現地の状況はインターネットなどで確認されたい。

(1) Thur川, スイス^{15,16)}

スイスのチューリヒ州境にあるThur川(47°35' 29" N, 8°46' 27" E)は、河川改修により直線化されたが、河床低下や生態機能の低下が問題となり、局所河道拡幅(River widening, Flussaufweitungen)により河原を再生した事例である。局所河道拡幅は低水護岸の一部を撤去することにより、河道を局所的に拡幅し、自然の侵食作用も利用して、レキ床の蛇行河道を再生する手法である。また侵食された高水敷は堤防まで侵食されないように水制で侵食を制御している。ここでは河原が再生されたことにより150年ぶりにコチドリが川に戻ってきた。ここでは、親水用地とコチドリの生息場をゾーニングにより区分している。

(2) Lech川, オーストリー²⁾

オーストリーのLech川(47°24' 15" N, 10°34' 33" E)は、アルプスを源流とするドナウ川の支川である。ここでは、世界でも最大規模の河原再生がEU-Lifeのプロジェクトとして実施されている。治水対策、河床低下対策、観光施設整備、自然再生など一連の53事業が事業費

7.8百万ユーロで実施されている。ここで特筆すべきは、左流入支川であるSchwarzwasserbach川やHornbach川に設置された砂防ダムを撤去することにより土砂供給を実施していることである。また、川幅を広げるために橋梁の架け替えなども実施されている。

(3) Waitaki川, ニュージーランド^{3), 17)}

Waitaki川(44°27' S, 170°00' E)は、ニュージーランドに比較的多く残存する網状河道のひとつである。河原は鳥類の貴重なハビタットとなっていたが、近年は外来種の侵入により、草地化・樹林化が進み、その生息場を脅かしていた。進入した外来種は河岸侵食を防ぐために導入した“外来種”のヤナギ属(*Salix fragilis*)やルピナス(*Lupinus polyphyllus*)である。そこで、機械的除去と化学的除去を併用した対策を実施した。機械的除去は、主にヤナギに対してなされた。化学的除去はルピナス、ヤナギを含む植物に対し、Grazon(トリクロピル)という易分解性で広葉に効く農薬によりなされた。農薬による大胆な河原再生事例である。

(4) Platte川, アメリカ^{18), 19)}

Platte川(40°40' 40" N, 99°31' 3" W)はネブラスカ州を流れる網状河道であるが、上流の水資源開発などにより河道が樹林化した。そこで、河床の移動性を高めるために2002-2004年にかけて中州などの植物除去を実施した。除去により下流域への土砂の堆積が心配されたが結果として影響はあまり無いようである¹⁹⁾。高水敷の切り下げをしない植物除去のみの河原再生は日本でも応用可能な技術であると考えられる。

(5) Isar川, ドイツ²⁰⁾

南ドイツのミュンヘン市内を流れるIsar川(48°6' 4" N, 11°32' 60" E)では、治水工事と親水(ビーチとしての利用)を主な目的としたヨーロッパでも最大規模の河原再生(8km程度)が実施されている。河原は市民に大いに利用されており、都市における河原の価値を示す好例である。ここでは、生態的機能の回復は主な目的ではないが、実施箇所においては、自然リッチに近い水生昆虫相が復活したとの報告がある²¹⁾。

4. 河原再生整備の要点

今回収集した事例や論文、現地調査の結果などから河原再生整備箇所の選定や施工方法に関する要点を以下に考察する。

(1) 場所の選定

a) 維持されやすい場所の選定

維持されやすい場所は、流水と土砂の作用により頻繁にかく乱を受ける箇所である。選定するには「数値計算により予測する方法」と「過去の分布情報から検討する方法」の2つが考えられる。

数値計算を用いて検討する場合には、平面二次元計算

などによりかく乱作用(せん断応力や掃流力)が大きい箇所を選定することができる。計算結果より、これらの外力が大きいところで再生を行うことが望ましい。この場合、植物の有無により計算結果が異なるので実際の事業の進め方を考慮して植生の分布条件を決めると良い。

過去に河原が存在した場所を候補地とする考え方もある。現在まで、洪水の流れ方を支配する要素が変化していないのであれば、本来的に河原が形成される箇所は同じと考えられるので、そこを河原再生の場所として選定する手法である。

b) かく乱頻度の設定

平均年最大流量(回帰年2~3年程度)がその河川の平面形態を規定するといわれている²²⁾。また、河原を整備しても数年かく乱がないと植物が繁茂し、河床はかく乱されにくくなる場合がある。したがって、河原の維持を目的とするには、河床かく乱の発生確率を2~3年に1回程度とするのがひとつの目安と考えられる¹⁰⁾。

c) 河原再生に適さない場所

河原再生によってその周辺の重要な生態系が乱される場合、下流域への治水的負担が大きくなりすぎる場合、洪水主流線の変化により保護されていない箇所では洗掘が起こる場合などは河原再生の場所を再検討すべきである。また、横断構造物の影響などにより、かく乱強度が弱い場所や地下水位が高い場所などは河原再生を実施しても河原の維持が困難と考えられるので、河原再生は実施すべきではない。

d) 親水整備からのアプローチ

河原は河原生物だけでなく、人間にとっても非常に魅力的な場所である。したがって、親水ニーズポテンシャルを把握した上で親水整備の一環として河原再生の箇所を決定することも検討されるべきである。また、生物との共存を考える場合は、Thur川のように生物と人が利用する箇所をゾーニングにより分ける。あるいは、Lech川のように、生態的重要度と利用者(観光客など)のインパクトをGIS上で整理し、生態学的観点から利用できる箇所を制限するなどの手法²³⁾が考えられる。ドイツのミュンヘンのような内陸都市では河川のビーチ(河原)がかなり重要な親水インフラとなっている。

e) 実現可能性の検討

上記の検討に加えて、切り下げ後に露出する表層河床材料の細粒土砂の有無²⁴⁾及び施工性を考慮して、整備の実現可能性を検討する必要がある。さらに、切り下げにより主流線が変化する場合もあるので、治水上の安全性について確認しておく必要がある。

(2) 施工・維持管理方法

a) 目的に応じた効果的な切り下げ方

国内では、通常図-1に示す3タイプ(小段、水平、斜め)の切り下げが行われている。比高ごとに異なる植生を期待する場合は小段タイプ、外力が比較的大きく、広

く河原を再生したい場合は水平タイプ、細粒土砂の堆積が心配される場合は、斜めタイプなど、現場の状況に応じて使い分ける必要がある。水平タイプは細粒土砂が堆積した場合、植物が繁茂しやすいので注意が必要である。

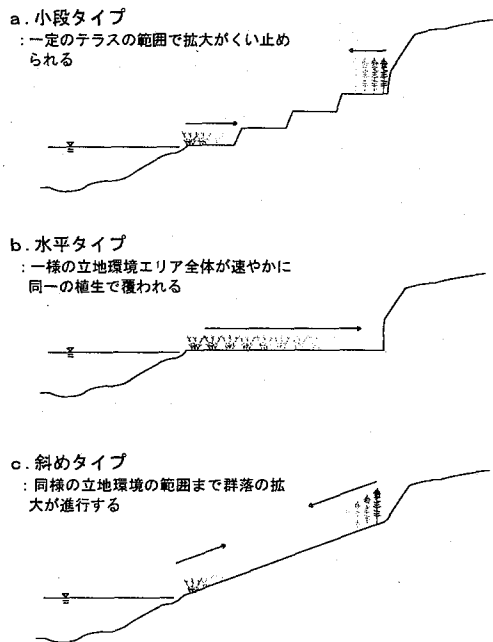


図-1 切り下げタイプおよび切り下げた砂州上での植物群落の横断的拡大成長に関する概念図

b) 河原維持のための戦略

河原維持のための戦略としては①土砂供給、②ダム・堰の弾力運用、③植物除去の3つが考えられる。

土砂供給の量については多摩川の検討事例⁹⁾が参考になる。供給方法については上流に設置するのが一般的であるが、旭川や江の川あるいはスイスのThur川のように河原再生で流下断面が拡大した結果、直上流の砂州側岸が侵食され、結果として土砂供給が引き起こされる事例は注目に値する。今後この地先侵食^{*}(Local erosion)を定量化し、河原再生のツールとして活かす研究が必要と考えられる。土砂供給はgravel augmentationとして海外でも盛んに実施されている²⁶⁾のでこれらの事例も参考になるであろう。Lech川の事例のように上流支川の砂防ダムを撤去して土砂供給を行う事例もある。河原維持にとって土砂供給は大変重要であるが、国内では意図的土砂供給例は少ない。

ダムや堰を運用して、人工出水を起こし、掃流力をあげることも河原維持の上で重要である。スイスのSpoel川では、河川のダイナミクスを復元するために定期的に人工出水を実施している²⁶⁾。ただし、下流の支川から十分な土砂供給が無い場合は、アメリカのコロラド川の事例²⁷⁾のようにかえって下流の河原(砂州)を侵食する場合があるので注意が必要である。人工出水と土砂供給はセットで実施するのが望ましい。

河原の植物の除去も管理上必要な場合がある。本来的

には自然に維持されるのが理想であるが、以前の河原は人為的な植物利用によって維持されていた^{5), 11)}可能性もあり、そのような場所ではその人為的植物利用のインパクトを代替する管理が必要な場合もある。また、高水敷の切り下げ後、河原が維持できるかどうかは施工後の出水のタイミングと規模によることも多い。したがって、期待した出水が来ない場合は人的除去などが必要であろう。

5. 河原再生を支援する概念

河原再生のような自然再生は比較的新しい取り組みであり、計画論に新たなパラダイムを必要とすることがある。ここでは河原の自然再生を考える上で役に立つと考えられる概念を3つほど紹介する。

(1) Alternative stable state (代替安定状態)²⁸⁾

この概念は生態学では有名なレジームシフト(regime shift)といわれる概念に含まれる言葉である。レジームシフトはよく湖沼の生態系あるいは水質を理解するのに使用される。浅い湖沼においては、「水生植物がなく、水が濁った状態」と「水生植物が繁茂し、水が透明な状態」の2つのAlternative stable stateがあるといわれる。そして、この2つの状態は、徐々に移行するのではなく比較的短期間に変化(shift)する。また、ひとたびある状態になるともうひとつの状態になるには大きなエネルギーが必要である。

河川においても、「土砂供給が多く、川幅が広く、植物があまり無い状態(仮に「河原モード」と呼ぶ)」と「土砂供給が少なく、河床が低下し、高水敷が樹林化する状態(仮に「樹林モード」と呼ぶ)」の二つの安定状態があると考えられる。「樹林モード」にある川を「河原モード」にしようと多少のかく乱を与えても安定系である「樹林モード」に逆戻りする。別の系である「河原モード」にするには相当大きな外力が必要であろう。河川地形学的には氷河期は「河原モード」、間氷期は「樹林モード」であり、現在は数万年スケールでは「樹林モード」である。「河原モード」が維持されていたのは、森林の荒廃と人為的圧力の「継続的外力」であった可能性がある。現状において「河原モード」を維持するためには人為的外力を意図的に与えないと難しい箇所も多いと考えられる。

(2) Restoration trajectory (復元経路)²⁹⁾

復元(restoration)を行うときに、ゴール(goal)や参考となる自然(reference)を設定することが一般的に行われている。しかし、河川生態系は「変動性(variability)」と「予測不可能性(unpredictability)」によって特徴付けられるので、ゴールを設定するよりも、ある変動を加味したtrajectory(経路、軌跡)とみなし結果を評価すべき、と

いう考え方がRestoration trajectoryである。これまで見てきたように河原再生はさまざまな要因が複雑に絡み合い、成果も施工後の出水状況などによりかなり差があるために、ある程度幅をもった評価・対応を行うことが重要である。一回の調査結果に一喜一憂しないという発想が河原再生には必要である。問題に対する準備と担保は怠らず、許容範囲を決めておき、ある数値以上（あるいは以下）になれば対策を実施するなどリスクヘッジ的な対応が必要である。

(3) Erodible corridor concept (許容侵食河道*)³⁰⁾

河川環境の理解が進んだことにより河岸侵食(erosion)は、治水上・構造物管理上の単なるリスクから、環境のために一定の範囲で許容するリスクとして受け入れられるようになってきた。このリスクを管理しながら、安全と環境を守ろうとするのがErodible corridor conceptの考え方である。この概念を実践に移すための検討が国内外で始まっている。

6. おわりに

河原再生は、国内外で盛んに実施され、その知見は高まりつつある。しかしながら、国内の事例は開始したばかりの事例が多く、今後その評価・解析が待たれる。河原再生は国外でも盛んに実施されているので、それらの成果にも目を配りながら、計画論をさらに精度、確実性の高いものとする必要がある。しかしながら、河原再生はある程度自然まかせな部分もあり、事業としてはリスクを伴う。そのリスクの範囲を想定しながらアダプティブに対応することが要求される。

注) *のついた語句は筆者の試訳である。

参考文献

- 1) Nakamura, K., Tockner, K. and Amano, K.: River and wetland restoration: lessons from Japan, *Bioscience*, Vol.56, pp.419-429, 2006.
- 2) Mohl, A.: LIFE river restoration projects in Austria, *3rd ECRR international conference on river restoration in Europe*, Geres, D. ed., Zagreb, Croatia, pp.201-209, 2004.
- 3) Caruso, B.S.: Project river recovery: restoration of braided gravel-bed river habitat in New Zealand's high country, *Environmental management*, Vol.37, pp.840-861, 2006.
- 4) Tockner, K., Paetzold, A., Karaus, U., Claret, C. and Zettel, J.: Ecology of braided rivers, *Braided rivers: process, deposits, ecology and management*, Sambrook Smith, G.H., Best, J.L., Bristow, C.S. and Petts, G.E. eds., Blackwell Publishing, London, pp.339-360, 2006.
- 5) 大石哲也, 萱場祐一, 天野邦彦: 全国7河川の河道特性及び地被の長期変動の実態とその関連性, *河川技術論文集*, Vol.8, pp.357-362, 2005.
- 6) 海野修司, 齋田紀行, 伊勢勉, 末次忠司, 福島雅紀, 佐藤孝治, 藤本真宗: 多摩川永田地区における河道修復事業実施後の生物群集と物理基盤の変化, *応用生態工学*, Vol.9, pp.47-62, 2006.
- 7) 植木真生, 福島雅紀, 末次忠司: 河道内への砂礫の敷設供給が下流河川の河床状態に与える影響, *河川技術論文集*, Vol.12, pp.415-420, 2006.
- 8) 佐藤孝治, 福島雅紀, 榎本真二, 服部敦, 末次忠司: 多摩川永田地区における河道修復事業による河原環境維持に関する研究, *水工学論文集*, Vol.49, pp.961-966, 2005.
- 9) 服部敦, 瀬崎智之, 伊藤政彦, 末次忠司: 河床変動の観点で捉えた河原を支える仕組みの復元, *河川技術論文集*, Vol.9, pp.85-90, 2003.
- 10) 眞田淳二, 浦上将人, 渡辺敏, 前野詩朗, 藤塚佳晃: 旭川下流部における礫河原の自律的回復に向けた実証的研究, *河川技術論文集*, Vol.12, pp.409-414, 2006.
- 11) 渡辺敏, 前野詩朗, 馬場俊介: 樹林化に伴う河川景観変化の土木史的考察, *土木史研究論文集*, Vol.25, pp.137-147, 2006.
- 12) 前野詩朗, 渡辺敏, 藤塚佳晃: 簡易に得られる植物特性値を考慮した水理解析モデルの精度向上の提案, *土木学会論文集*, No.803/II-73, pp.91-104, 2005.
- 13) 渡辺敏, 前野詩朗, 渡部秀之, 志々田武幸: 旭川におけるヤナギ林の拡大機構とその抑制管理のあり方に関する検討, *河川技術論文集*, Vol.11, pp.77-82, 2005.
- 14) 竹内義幸, 西岡昌秋, 羽尻光宏, 坪井基展, 佐々木昌俊: 揖保川三川分派地区における環境整備計画(自然再生)の取り組みについて, *河川技術論文集*, Vol.12, pp.391-396, 2006.
- 15) Peter, A., Kienast, F. and Woolsey, S.: River rehabilitation in Switzerland: scope, challenges and research, *Arch. Hydrobiol. Suppl. Large rivers*, Vol.15, pp.643-656, 2005.
- 16) Rohde, S., Schütz, M., Kienast, F. and Englmaier, P.: River widening: an approach to restoring riparian habitats and plant species, *River research and applications*, Vol.21, pp.1075-1094, 2005.
- 17) Maloney, R.F.: Effect of the herbicide triclopyr on the abundance and species composition of benthic aquatic macroinvertebrates in the Ahuriri River, New Zealand, *New Zealand journal of marine and freshwater research*, Vol.29, pp.505-515, 1995.
- 18) Kinzel, P.J.: Field investigation to assess the effects of riparian vegetation management on alluvial morphology, *Eos Trans. AGU*, 85(47), Fall Meet. Suppl., Abstract H53B-1240, 2004 (online).
- 19) Kinzel P.J., Nelson, J.M. and Heckman, A.K.: Channel morphology and bed-sediment characteristics before and after riparian vegetation clearing in the Cottonwood ranch, Platte River, Nebraska, water years 2001-2004, *Scientific Investigations Report 2005-5285*, USGS, 2005 (online).
- 20) 川口信行, 鈴木英一, 徳岡昭治, 服部仁美, 小泉浩正: 都市河川イザール川の洪水対策と自然再生を目的としたイザール川プランについて, (財)リバーフロンティア整備センター・(財)日本生態系協会編, 欧州川の自然再生と洪水対策調査団調査報告書, 2005.
- 21) Matthaei, C.D.: Large-scale river restoration enhances geomorphological diversity and benthic biodiversity, *Eos Trans. AGU*, 86(18), Jt. Assem. Suppl., Abstract NB14G-04, 2005 (online).
- 22) 山本晃一: 構造沖積河川学, 山海堂, p.149, 2004.
- 23) Yvonne P.: Value based decision making process for strategic visitor management in the Natura 2000 area Lech river valley, tyrol, working papers of the Finnish forest research institute 2, pp.299-304, 2004 (online).
- 24) 大石哲也, 天野邦彦, 中村圭吾: 砂礫構造の違いからみた河原植物の生育環境特性について, *河川技術論文集*, Vol.11, pp.477-482, 2006.
- 25) Merz, J.E. and Ochikubo Chan, L.K.: Effects of gravel augmentation on macroinvertebrate assemblages in a regulated California, *River, River research and applications*, Vol.21, pp.61-74, 2005.
- 26) Robinson, C.T., Uehlinger, U. and Monaghan, M.T.: Stream ecosystem response to multiple experimental floods from a reservoir, *River Research and Applications*, Vol.20, pp.359-377, 2004.
- 27) Powell K.: Open the floodgates! A second attempt to restore the altered environment of the Grand Canyon, by letting the Colorado River run free, *Nature*, Vol.420, pp.356-358, 2002.
- 28) 加藤元海: 生態系における突発的で不連続な系状態の変化—湖沼を例に—, *日本生態学会誌*, Vol.55, pp.199-206, 2005.
- 29) Hughes, F.M.R., Colston, A. and Mountford, J.O.: Restoring riparian ecosystems: the challenge of accommodating variability and designing restoration trajectories, *Ecology and society* Vol. 10, 12 (online), 2005.
- 30) Piegay, H., Darby, S.E., Mosselman, E. and Surian N.: A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion, *River research and applications*, Vol.21, pp.773-789, 2005.
- 31) Caruso, B.S.: Project river recovery: restoration of braided gravel-bed river habitat in New Zealand's high country, *Environmental management*, Vol.37, pp.840-861, 2006.

(2007.4.5受付)