

河川景観の変質とその潜在自然への回復

Disturbance of river landscape and restoration of potential nature

辻本哲郎*

Tetsuro TSUJIMOTO

1. はじめに

平成9年5月の河川法改正で明らかのように、河川環境が、治水、利水とともに河川管理・整備の目的として明確にされた。これは、河川は治水、利水、親水そして生態系保全機能といった多機能を同時に担うべきものであると認識されたということである。河川がこうした多機能を支えるには従来のように一つの機能を一つの構造で担うのではなく、そのかなりの部分を、河川固有の相互作用系すなわち河相で担うという考え方に転換していかなければならない。本研究では河相がさまざまな機能を担っている状況を「河川景観」と定義する。ところで、近年河川流域へのさまざまな人的インパクトによって河相が変質を余儀なくされており、素のため河川が担うべきさまざまな機能が低下している。河相でさまざまな機能を担うという立場からすれば、河川の持つ固有の性質が発揮できることが重要で、その復元が重要と考えられるようになってきている。こうした考えを軸に、近年台頭してきている多自然、近自然への願望の中で、どのように自然像を想定するかについて議論したい。

2. 河相・河川景観の概念

河川は水流、流砂そして河道地形の相互作用系として認識され、これが「河相」と呼ばれてきたが、実際にはさまざまな河川構造物があるし、またこれまで治水・利水の観点からは邪魔者扱いされてきた植生もむしろこうした考え方の鍵にすらなっている。水流、流砂、河道地形、植生構造物、植生の相互作用系は図1に示すように、構造物、植生、地形に影響された水流が土砂を移動させ、地形変化を通して構造物の安全性・機能を脅かしたり、植生の盛衰に影響し、さらにそれがまた流れを変化させるという相互作用である。また点線で示すような副次的な作用もある（水流による植生の变形や、地形の流砂への直接的影響など）。こうした相互作用系が今日的に「河相」と呼ぶべきもので、この河相で治水、利水、親水、生態系保全の多機能を担うのである。治水とは水流・土砂の制御であり、利水は水料の配分や航行など水域利用のための河道維持

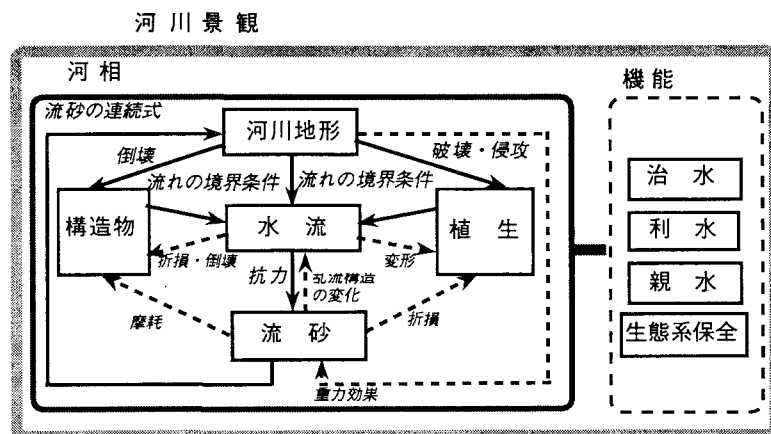


図1 河道における相互作用系としての河相と河川環境

キーワード：河相，河川景観，インパクトと応答，回復

*名古屋大学大学院工学研究科助教授（〒464-8603 名古屋市千種区不老町，ttsujimoto@genv.nagoya-u.ac.jp）

であったりする。親水は河相の利用やその変化過程の制御であり、生態系は河相の個々の要素があるいは全体系が提供する生息場での生物活動と言えるだろう。生態学の分野で、生息環境に生態系が保持されている状態でもって「景観（ランドスケープ）」を定義するのと同様に、「河川景観」とは河相でさまざまな機能を担っている状態と定義するのが、今後の河川の管理・整備を考えるうえで合理的である（辻本，1997）。すなわち、「河川景観管理」が河川の今日的課題で、たとえばさまざまな人間の河道そのものや流域へのインパクト（河道掘削，築堤など直接的なものや水系上流でのダム建設による土砂供給の減少や流況変化，さらには流域の土地利用変化）が「河川景観」を変質させていることの認識とそれを軽減することの重要性である。

3. 河相の固有性と河相・河川景観の変質

水系において、気象・地形条件に応じて上流から、溪流部，山地河川，扇状地区間，沖積地河川，河口部などごとに、河床材料や河道内微地形と水理諸量（たとえば水深や流速）の空間分布のパターン（州や、瀬・淵など），河道植生（種や群落の分布）さらにはさまざまな生き物の生活の場としての利用の仕方などが固有性を示すことが多い。こうした性質は、先述の河相の相互作用系の平衡指向の結果と言える。この特徴ある塊が「セグメント」で、近年河川管理での重要な視点と認識されるようになった（山本，1988）。セグメントは主として河道勾配に対応して河床材量や河床・流路性状，水理量の空間分布だけでなく，水際植生，生息生物も固有な区間で，河川管理はそれぞれに応じて考えるべきだと認識されるようになってきている。

水系的視点からすると，セグメントの固有性に加えて，こうしたセグメントが通常には固有の連続性を持つてつながったものとなっていることの重要性がある。とくに上・下流を往来する魚類には固有な区間（セグメント）の適切な連続性は重要な要件である。

こうした河相の固有性，連続性は河道，水系，流域へのさまざまなインパクトによって変質を受けている。人間活動は古くよりさまざまなインパクトをこれらに与えてきたが，ダム建設など大規模，急激なインパクトによる変質は無視できない河相と河川の持つ機能に変質をもたらしていることが推測される。ゆるやかなインパクトに対しては，河相はほぼそれに相応した変化を呈してきた。言い換えれば，洪水など自然の変動も合わせ，動的な平衡状態の変遷として推移してきたが，大規模で急激なインパクトに対しては非平衡あるいは新しい平衡が見いだせないままの状況を呈している。図2は河相がさまざまなインパクトで変化していく中で，大規模インパクトが異常な応答・変質を引き起こしていることを図で説明したものである。

近年の特徴的な河相変化に河床低下があげられる^{注1)}。河床低下はその原因により，次のように分類される（図3参照）。(i) ダム（や砂防工）で土砂供給が停止される場合の河床低下（(i-a) rotational degradation），

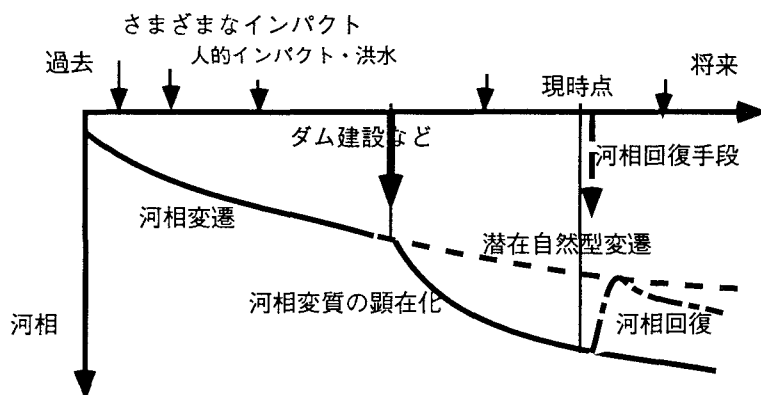


図2 さまざまなインパクトに対する応答としての河相の変化

注1) 1997年，米国ミシシッピーでConference on Management of Landscape Disturbed by Channel Incisionという会議が開催され，河床低下に伴う河相や生息環境も含めた河川機能の変質と回復について議論されるなど，重要な課題としての認識が進んでいる。ミシシッピーでは，(ii)のタイプの河床低下で，とくに段差部分がそのまま遡るhead cut現象が注目を浴びている（(ii-b)）。

アーマー化の下流への伝播 ((i-b) parallel degradation), (ii)下流部(本川)の河道掘削などにより, 河床低下が上流へ伝播する場合 ((ii-a)). (i) の場合は, (河床低下する部分の) 河床勾配が減少するのに対し, (ii) の場合では, (河床低下する部分の) 河床勾配の急な部分が上流へ遡上するというように, 特徴が全く異なるので注意する必要がある. また, ダムの場合, 洪水の強度や頻度(流況)の変化を伴い, たとえば, アーマー層が破壊されないままとなっている状況や, 移動床過程の不活発さをもたらしていることも河床低下に付随する河相変化である.

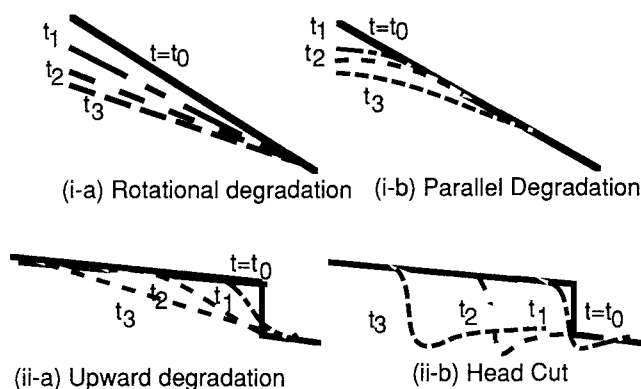


図3 さまざまなタイプの河床低下

こうした河床低下は従来は護岸, 橋脚, 利水構造物の局所洗掘の危険性を増すなど, 河川の機能を変質させていることが認識され, また対策がとられてきたが, 今日, 河川が担う様々な機能についてもどのようにその影響が及んでいるかを検討する必要性が出てきている. たとえば, 魚道の浮き上がりによる魚類生息環境への影響のほか, 河道内植生分布が変化して, 疎通能力の減少など治水機能や生態系への影響, 利水施設の機能低下などがあげられる.

4. 潜在自然の概念と目標河川景観

河川景観の変質が認識される中で, 何らかの影響, 変質の軽減や自然の復元が必要であるという考え方が普及しつつある. 多自然型川づくりも, その初期的な段階での近自然材料を用いただけの工法的な意味合い, 親水的なものから, 生態系への配慮といった考え方へと進化してきた(Close-to-Nature River Improvement)のであるが, 本来ここに述べたような変質した景観の復元, すなわち機能回復, 自然復元といった要請を担うもの(River Restoration)として認識される.

ここにおいて, 河川・流域への人的インパクトによって変質してきた河川景観をどこまで自然に回復してやればいいのかという議論が出てくる.

玉井(1996)は, 植物社会学における潜在自然植生の概念を応用した「潜在自然」の概念を提案している. このときの「潜在自然」とは「他の条件をそのままにして人的影響を停止したときに現れる自然」ということである. 「現存植生」が「潜在自然植生」からずれているのは, それだけ人為が施されていることを示す. 都市に近い河川や人工的に制御された河川では現存植生が潜在自然植生と懸け離れたものになっていることが多い. 河川を取り巻く状況が変化しており, それに応じた「今日的潜在自然」が想定されるにもかかわらず, 河川環境の現況がそれからずれている. こうした状況で, 「今日的潜在自然」を認識しながら河川整備を考えようというもので, 重要な視点である.

一方, 本研究では, もう少し自然度の高い河川を対象とする. そこでは, 河床低下など河相変質が進んでいるものの, 微地形や河床材料特性など物理環境と植生(さらには生息環境)の関係はよく対応関係がついている^{注2)}. こうした場合の, 河川景観の変質は, 物理環境の境界条件(流況や土砂供給)の変化への

注2) たとえば, 辻本(1993)の手取川の植生調査は「現存植生」が「潜在自然植生」と同一であるからこそ, 植生分布あるいは植生生育条件と微地形(比高や横断勾配)の関係が議論されるし, 河道地形とそこに出現する水量分布と魚類生息条件が議論される(辻本・永禮, 1998)も「潜在性」を前提としたものである).

河相の（非平衡なあるいは新たな平衡を見いだせない）変化とそれに対応した植生や生息環境などの機能の変化というふうに見ることができる。このように問題設定する場合、河川の潜在自然の概念は、潜在植生のそれ（潜在植生の考え方ではむしろ今日の途上、環境条件を自然に成育する植生におきかえてとらえたものと言える）に比べると、応答の後に現れる平衡状態よりもそれに至る過程が重要である。プロセスを考えた潜在自然像を考えなければならない^{注3)}。たとえば、さまざまな、また継続的インパクトはそのままにして、河相変質が顕在化した誘因と考えられる大規模かつ急激な人的インパクトだけが「なかった」と仮定した河相の変化（図2の破線）を想定し、その変遷上の現時点の河相を一つの潜在自然河相と考え、これを一つの目標河相（その河相で期待される機能を担った状況が目標河川景観）と考えるのである。あるいはこれが多自然型川づくりの目標とする自然像である。なお、図2の一点鎖線は何らかの自然復元措置をとって、潜在自然河川を目指そうとする試みと期待される河相、河川景観の変化を図にしたものである。

5. 河川景観の記述

河川景観の記述は、河相の記述と各機能の表現・評価を校正される。河相は図1に示した相互作用系で、図中の各矢印に相当する支配方程式が用意されればよい。

まず、水流は、与えられた地形、構造物、植生を境界条件とし流れの支配方程式を解くことによって記述される。これには、河床粗度の効果、植生の効果をそれぞれ、Rastogi-Rodi (1978)、清水ら (1992) の方法で取り込み、k-εモデルを用いた水深平均平面2次元流れの解析が有効である。掃流砂については、流れの解析から得られた摩擦速度に芦田・道上式 (1971) を適用して求め、掃流粒子の運動方向によって縦断・横断芳香成分に分配して（たとえば、中川・辻本, 1986）河床変動解析を行う。一方、浮遊砂については、平均流速についての解を用いて水深平均された濃度についての移流拡散方程式を解く。浮遊砂の乱流拡散係数は流れの解析で求められた渦動粘性係数と同一視し、平衡基準面濃度については経験式で摩擦速度と関係づける（辻本, 1992）。浮遊砂の河床への沈降フラックスの計算においては、平衡濃度分布形（たとえば、中川・辻本, 1986）を仮定して底面濃度と水深平均濃度を関係づける。さまざまな流況、土砂供給条件に対して河相（水理状況）が記述される。

これに対して、河川が担うべきさまざまな機能を評価することが次の課題で、これが出来て、河川景観が記述されたことになる。たとえば、図4はある河川河道区間（石川県森下川）の洪水時と低水時の等流速線であり、主として治水機能（治水安全度）は洪水時のこうした流れの状況に対する洗掘量と対応させて、生態系保全機能（生息環境適性値）は低水時のそれとたとえばIFIMの手法で評価される（辻本・永禮, 1998）。

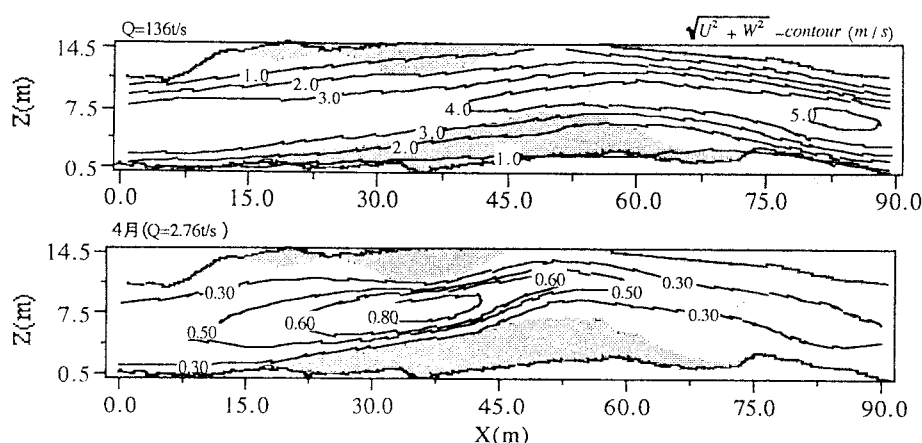


図4 流量による流れの空間分布の違い

注3) 今日の潜在自然植生は現在の地形や土壌条件で本来支えるべき自然植生で、現在の状況で人工的な作用を停止したあと時間とともに変化していつて至るべき植生では必ずしもない。植生の成育途上で地形・土壌が変化する（特に河川では人工的インパクトを加えなくても洪水時の河相相互作用が地形・土壌条件も否応なしに変化させる）から、これらの地形・土壌条件上にあるべき植生を考えるなら、全く違う地質・土壌条件から植生とともにこれらも変化して今日の地形土壌条件とともに存在する植生ということになる。これに対し、ここでの潜在自然河川像は、人的インパクトを停止した時点の状況を初期条件として今日に変遷してきた姿をさすことにした。

6. 河川景観の変質と回復のシナリオ

ある時点での河相とそれが担う機能が前章の手法で記述されると、次は、河相、河川景観がさまざまなインパクトによって変化するプロセスを記述することが重要となる。さまざまなインパクトはおおむね、(A) 流況の変化と、(B) 流況の変化と上流からの土砂供給条件の変化で整理される。とくに、前者は、洪水の強度と頻度ということになる。土砂供給条件の変化は一定流量のもとでも河相に変化が現れるが、洪水と低水の組み合わせは次のように河相の変化を助長する。すなわち、(i) 洪水時には短期間であっても地形の変化、そしてまれに植生の倒壊などの変化があり。一方、(ii) 比較的長い低水時、洪水時の堆積地形などが陸化し、そこへの植生侵攻が見られる。植生の流れに与える影響は大きく、次の洪水時の地形変化は低水状態を挟まない場合に比べて著しく異なる。後述のように、河相の変化がこれによって助長される。こうした繰り返しが河相変遷の重要な過程となっている。図5はこうした流況のモデリングの一例で、洪水流量、低水流量をどのような規模で代表するか、洪水継続時間、洪水頻度（低水状態の継続時間）がモデルのパラメータとなる。図2の過去、現在、将来あるいは、回復代替案において、これらをどう設定するかが鍵となる。

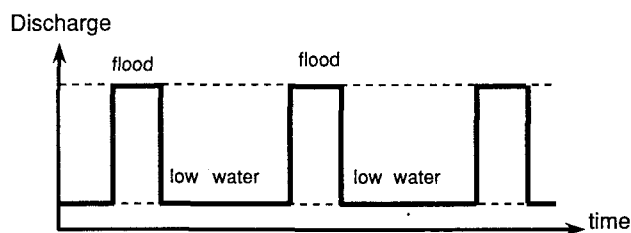


図5 河相変遷をもたらす流況のモデル

著者らは、こうした枠組みを持つ素過程を(1)現地河川で観察して抽象化し、(2)実験室での基礎実験、(3)数値計算での解析を行ってきた。実験においては、植生を透過計数を変えることの出来る透過構造でモデル化、低水時の侵食も人工的に想定することで、洪水・低水状態の繰り返しによる独特の現象を記述した。とりあげた素過程は、次の3つである。(i) 植生によって植生近傍流速が低減され、河床低下傾向が植生周辺まで至らず、植生周辺が侵食を受けないまま取り残されるだけでなく、低水時植生の影響を間接的に受けて侵食されなかったところが、低水時に、みお筋が低下したため陸化し、植生の侵攻を受けることになる。これによって、次の洪水期に侵食される領域はさらに限定され、階段状の形状が出来る（辻本，北村，1996a）。(ii) 上流からの給砂が激減し、アーマー化され、さらにダム調節で洪水の強度が抑制されている場合、河床材料はもはや動くことがないが、洪水時に運ばれてくる微細砂が孤立した植物群落の後方（下流側）に堆積し、洪水後の低水時にはその部分が陸化し植生域がここへ拡大してくる。洪水・低水の繰り返しで堆積・植生域は下流側へ延伸するが、洪水強度、頻度、植生密度に応じた平衡長さに向かう（辻本，北村，1996b）。(iii) 上流からの給砂が減少しているものの、アーマー化が未発達な場合、河床材料は掃流状態で運ばれるが、このときの堆積域は孤立した植生域の上流部に生じる。また、給砂が少ないほど、植生域の両側に河床低下される部分ができ（洪水後の低水じょうたいでしばしば水たまりになる）、植生域の両側に陸化した横断斜面が形成される。陸化域に植生が進入するとすれば、植生域の拡大は上流側への延伸とともに拡幅がある（辻本，辻倉，1998）。

さまざまな河道で、上記のような素過程がどのように組み合わされて河相、河川景観変遷につながっているかという総合化の問題が残されている。

実際に大規模な人為インパクトの影響が出ている可能性のある事例について次のように調べる事が、望まれる。

(1) そのインパクトが与えられた時点に遡った状況を推定し、その時点から大規模インパクトのあった場合に現時点の河川景観への変化が説明できるかどうかを検証する。

(2) その時点でインパクトが与えられなかった場合を想定しての変化過程を推定することによって、「現時点の潜在自然河相」を推定する。

(3) 現況と「現時点での潜在自然」河相との比較によって、現在河川景観がどのように変質しているかを具体的に明らかにする。

(4) 潜在自然への回復に効果的な手段を想定し、いくつかの代替案を作成する。現状のまま将来予測を行い、回復手段をとった場合と比較する。どの時点で、どの程度の回復が期待されるかを明らかにし、いくつかの代替案の優劣を判断する。

回復手段は、河相変遷が主として流況や供給土砂減少に関わっていることから、これらについて、新しい技術を開発していくことが望まれる。

7. あとがき

河川景観の変質が認識される中で、何らかの影響、変質の軽減や自然の復元が必要であるという考え方が普及しつつある。多自然型川づくりも、その初期的な段階での近自然材料を用いただけの工法的な意味合い、親水的なものから、生態系への配慮といった考え方へと進化してきたのであるが、本来ここに述べたような変質した景観の復元、すなわち機能回復、自然復元といった要請を担うものとして認識される。

河相を、水流、流砂、流路・河床形態、植生の相互作用系であるととらえ、それが治水、利水、環境（親水・生態系保全）機能を担っている状態でもって河川景観を定義し、まず相互作用系のインパクトに対する応答過程の把握の仕方、河相が受け持つさまざまな機能の評価法について議論した。応答としては植生が地形変化を助長する過程へ着目し、その中から素過程の抽出を行った。また、機能評価では、治水・利水に比べて遅れている生態保全機能の評価として生息環境評価を整備し、上記と並列させている。

次に、インパクトを分類して河相変化への寄与を検討し、大規模、急激なインパクトを排除したと仮定した河相変遷を想定し、そこにおける今日的河相を潜在自然に定義した。これにもとづいて、変質した河相の潜在自然への回復シナリオが議論され、また評価できるとした。

今後、具体的な事例の検討と平衡して、こうした手法を確立させたい。

参考文献

- 1) 芦田和男・道上正規：混合砂礫の流砂量と河床変動に関する研究，京都大学防災研究所年報，第14号B2，pp.259-273，1971.
- 2) 清水義彦・辻本哲郎・中川博次：直立性植生を伴う流れの数値計算に関する研究，土木学会論文集，第447/II-19号，pp.35-44，1992.
- 3) 玉井信行：潜在自然型川づくりの体系化に向けて，河川，No.598，日本河川協会，pp.61-66，1996.
- 4) 辻本哲郎：掃流砂と浮遊砂，流体の非線形現象，第6.4章，池田駿介編，朝倉書店，pp.147-162，1992.
- 5) 辻本哲郎：新しい河川景観の概念とその整備，第5回水資源に関するシンポジウム論文集，pp.625-630，1997.
- 6) 辻本哲郎・北村忠紀：河床低下に及ぼす植生繁茂の影響，水工学論文集，土木学会，第40巻，pp.199-204，1996a.
- 7) 辻本哲郎・北村忠紀：植生周辺での洪水時の浮遊砂堆積と植生域の拡大過程，水工学論文集，第40巻，pp.1003-1008，1996b.
- 8) 辻本哲郎・辻倉裕喜：植生周辺の掃流過程と中州の発達，水工学論文集，第42巻，pp.457-462，1998.
- 9) 辻本哲郎・永禮大：河川の魚類生息環境評価－石川県森下川の例，第4回河道の水理と河川環境シンポジウム論文集，印刷中，1998.
- 10) 中川博次・辻本哲郎：移動床流れの水理，新体系土木工学23，技報堂出版，350p.，1986.
- 11) 山本晃一(1988)：河道特性論，土木研究所資料，第2662号，pp.169-185.
- 12) Nestler, J.M., R.T. Milhaus and J.B. Layzer (1989): Instream habitat modeling techniques, *Alternative in Regulated River Management*, edited by J.A. Gore and G.E. Petts, CDC Press.
- 13) Rastogi, A.K. and W.Rodi : Predictions of heat and mass transfer in open channels, *Jour. Hydraul. Eng.*, ASCE, Vol.104, No.3, pp.397-420, 1978.