

## 河道変化を治水・環境保全の接点においた川づくりの考え方

### An Idea of Using Autonomous Channel Change as a Key Concept for Balancing River Environment Conservation and Flood Disaster Mitigation by the Management of River Channels

藤田 光一

Koh-ichi FUJITA

#### 1. はじめに

近年、豪雨による河川災害が頻発する中で、治水の重要性が改めて認識され、ソフト・ハード両面から減災・防災をより一層推進する方策が活発に議論され、提言されている（社会資本整備審議会河川分科会 豪雨災害対策総合政策委員会 2005；大規模降雨災害対策検討会 2005）。このことを、しかし、環境軽視の言い訳にしてはならないのは当然であり、こうした状況を契機として、従来治水と環境に分けて考えがちであった河川技術を、両方の達成を支える統合的技術として本格的に進化させていくことが本道であろう。

治水と環境を対立の構図ではなく共存する方向に持っていくべきと言う基本理念は、「川という1つのシステムを扱うのであるから、種々の働きかけは縦割りでなく統合的であるべき」というわかりやすい基本認識とともに、至極まっとうであり、実務への反映は必然の方向であろう。河道計画のあり方について筆者は、1)「A. 人工系の活動に大きな支障が出ないように河道をコントロールする一方で、B. 川が本来持つ自律的な動態を最大限生かすこと」が河道計画の目標となること、2)この2つの目標は時に相利関係を持ち、また、相利関係となるように積極的に持っていくことが重要であるが、他方、両者が程度の差はあれトレードオフの関係を持つ場合が少なくないこと、3)そのような（より一般的な？）状況においては、AとBそれぞれの目標追求の折り合いを付けることが河道計画の要諦になること、を提起した（藤田 1998；藤田 1999）。これも治水と環境保全を一体的に扱うという立場からのものと言える。

こうした中で今求められているのは、理念や認識の確認というよりも、それを具体化する道筋を議論・検討し、基本理念を実践する際の隘路やその打開策を一つ一つ考えていくことであると言えよう。ここでは、まず、具体的な議論に入る前の整理として、治水と環境の目標達成プロセスの比較を試みる（2章）。次に、治水と環境のせめぎ合いの代表的な局面の1つである河道掘削に焦点を当て、河川の自然環境の保全を組込んだ河川整備・管理がどのようなものになっていくかを極力具体的なイメージに基づき検討する（3章）。最後に、これらを踏まえ、まとめとして、防災と環境に関わる施策を統合的に進める方向性や課題について考察する（4章）。

#### 2. 治水と環境の目標達成プロセスの比較論

日本において、治水のための河川整備については、目標の設定や目標を達成する手段を定めるプロセスが河川砂防技術基準（案）などに定められているのに対し、環境については、そのような形で手順が確立されているとは言えず、河川の自然環境保全・再生に関わる目標設定のあり方について活発な議論がなされている最中である（たとえば、河川環境目標検討委員会 2006）。本稿は治水・環境の接点を扱っており、その議論の前提として、それぞれの目標追求の基本的スタンスを把握しておく必要がある。そこで、まだ整理しき

れない部分が多いものの、治水・環境それぞれの目標追求について、あえて両者を比較するという切り口から考察し、特に環境目標追求の基本的性格についての整理を試みる。

環境目標や指標選定の基準化（一般化、普遍化）の実効性や成否はさておき、それらが施策・事業の実施の中でどのように位置付けられるかについては、ある程度一般的な方向が出てきている。たとえば、図-1中の①～⑫は、河川の自然再生を行う上での手順について提案されているものの一例であり（Land & Water Australia 2002）、河川の

環境再生を主体にした手順としては、概ね必要な内容を持っていると考えられる。そこで、この手順を借用して、施策・事業実施過程で、環境目標と指標がどのような形で登場するかをもう少し具体的に抽出すると、①に対応して「1. ビジョン、大局的目標の設定」、⑦に対応して「2. 目標にどの程度到達したかを図る軸(尺度)の設定」、⑦⑧⑩⑫に対応して「3. 軸(指標)上の目標(値)設定」、⑧⑨に対応して「4. アクション、施策、事業と軸(尺度)上の到達具合との関係把握」の4つが出てくる（図-1の左側）。ここで②は「大局的目標に向かったの具体的な目標・評価のベクトル」の設定、③は「ベクトル上の到達目標点」の設定とも表現でき、これらは①とともに区別して考える必要がある。集約した4つのステップに「5. 軸(尺度)上の到達具合が人間そのものや人の暮らしにどう関わるか？」を加えた5つについて、治水と環境の2つの目標を並列させて、比較してみたのが表-1である。

この表を見ると、治水に関しては、①～⑤の内容のいずれもが“手順としては”明確であることがわかる。⑤も、具体的内容はともかく、生命、財産という人にとっての重要性という点で疑いようのない事項が前面に出てくる。一方、環境に関しては、こうした手順設定の議論が始まって日が浅く、発展途上と言うこともあって、治水に比べれば、具体的な手順を明確に定めることに現時点では難しさを抱えており、それは大きく次の2つに起因すると言えそうである。一つは、生物・生態系という複雑かつ多様な事象を扱うゆえの「科学的・技術的難しさ」であり、これには②と④が該当する。もう一つは⑤に対する答えが明瞭でないこと

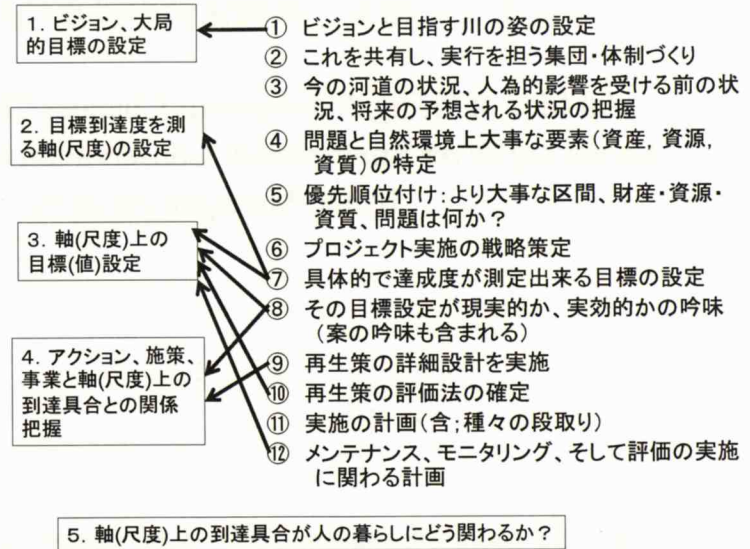


図-1 河川環境目標設定と遂行に関わる手順の提案例（図の丸数字）（Land & Water Australia 2002）

表-1 治水と環境の目標および達成手順設定の比較（例示に基づく）

項目	治水	環境
		比較的単純な例を想定して
1 ビジョン、大局的目標の設定	国民の生命・財産を守る／既往最大洪水でも被害が出ないように	50年前の環境に近づきたい／健全な生態系を取り戻す
2 目標にどの程度到達したかを図る軸(尺度)の設定	安全に流せる洪水流量／安全に処理出来る豪雨規模	代表的な生物種の復活具合
3 軸(尺度)上の目標(値)設定	1/**年確率洪水 or 豪雨まで安全に処理出来る	10種の内9種まで復活／特定の生物種の復活
4 アクション、施策、事業と軸(尺度)上の到達具合との関係把握手法	河床掘削、ダムなどが流過能力（安全に流せる流量、豪雨）をどのくらい上げるかを表現	河川に戻す流量と復活する種の関係を表現／攪乱の度合いと植物生育状況との関係を表現
5 軸(尺度)上の到達具合が人の暮らしにどう関わるか？	自分の命や財産に危害が及ぶ可能性が減る。	???

(図中の???)であり、これには、**1**と**3**が当たる。「大局的な目標をどう設定するか」あるいは「ベクトルは設定したが、その軸上のどこを到達目標点とするのか」という問いに系統だって答えるには、本質的には**5**への答え、すなわち生物・生態系と人間そのものや人びとの暮らしとの関係について何らかの形で明言できる状況が必要であり、少なくとも現時点では、確立された手順を通じてそれを得ることは難しい。

このうち、「科学的・技術的難しさ」は、応用生態工学的知見の発展、集積に伴って徐々に克服され、**2**、**4**の手法も整えられていくと期待される。諸外国で提案、活用されているIBI, RHS, AUSRIVASなどの手法について、日本の河川における有効性を検討するというアプローチがとられつつある。一方、**5**の難しさとの関連が深いと思われる**1**、**3**に関しては、科学的・技術的知見の向上と必ずしも同期するものではなく（一部はありうるが）、むしろ次のような性格の異なる複数のアプローチからの多様な展開が考えられる。

- ・ シビルミニマム／全国基準、地域基準／国際水準
- ・ 費用便益 (B/C) / 自然環境の価値の評価
- ・ 効用と労力のバランス／ビジョン達成
- ・ 地域の意思決定
- ・ 自然環境が人に与える影響の解明
- ・ 実践からの体得
- ・ “啓蒙” / 情報提供。

いずれにしても、目標設定と達成手順に関わる種々の議論や手法開発・評価を行う時に、科学的・技術的扱いを追求すべき部分と、それ以外が重要になる部分とをよく仕分けすること、その上で、両者の展開を互いに反映し合う関係を作ることが重要であろう。

以上のように、環境目標については、その設定と達成手段についての実務的な手順をどのように構築していくかについて、検討や議論が行われている段階にある。また、治水目標についても、ハード的手法の限界も踏まえた減災や被害最小化への取り組みの重要性が認識される中で、従来の手法をさらに展開させる検討が行われていく状況にある（社会資本整備審議会河川分科会 豪雨災害対策総合政策委員会 2005；大規模降雨災害対策検討会 2005）。このような状況が整理され、目標設定に関わる種々の新しい手順が確立されるにはある程度時間を要すると考えられ、これを待ってから治水・環境目標の調和的達成を行う方策をさぐるという順番を踏むよりも、実際のケースを想定して、治水・環境目標追求の接点について現状で使える道具を活用しつつ具体的な議論を行うというアプローチを併用していくこと、これら目標設定の議論にフィードバックしていくというスタンスがより現実的、実効的と考えられる。具体的には、治水追求の部分と環境追求の部分とを一緒にして、最終的にどのような河床の場をつくるか、さらには水や物質（土砂）の循環なども含めたあるべき川の姿はどのようなものであるかの検討を具体の河道について行い、それを再びそれぞれの目標追求に戻していくというアプローチを採ることである。

こうした観点から、以下では、治水については、表-1に示したオーソドックスな目標達成手順の範疇で、環境については、表-1の中の**2**と**4**に相当する項目の中で不完全ながらも現時点で検討可能なものを使って、治水、環境それぞれの目標追求の接点について考えていくこととする。

### 3. 河道掘削という局面における治水と環境保全・再生との接点

#### 3. 1 掘削という切り口の意味

河川整備における治水と環境保全・再生の追求といっても、両者が常に相反する関係にあるとは限らず、それぞれの目標追求を並行して進め、それぞれに必要な川づくりを“足し算する”というアプローチが適用可能な場合も少なくない。一方、いつもではないにせよ、両者の目標追求が干渉し合う場合も確実に存在し、そのような場合にこそ、両方の目標達成にとって必要となる河床場の実現をどのように整合させていくかの

検討が重要となる。そして、明確な干渉が生じるケースについて、干渉の仕方や両者の接点を具体的に見ていくことから、様々なヒントが得られると考えられる（図-2参照）。

河川整備の対象を河道に絞った場合、治水と環境保全の干渉が最も顕著に起こりうるのは、つまるところ掘削と河岸処理の2つと考えられる。治水の大部分は流過能力の増大を必須事項としており、計画高水位を上げるという手段は一般的になり得ず、また引堤が難しいこともやはり一般的な現状においては、流過能力を増大させる最も有力な手段は河道掘削になる。また、河岸処理は、水域と陸域の境界が河川の自然環境を考える上で重要な場所であるだけに、そのやり方によっては環境の質を大きく低下させることになる。ここでは、治水と環境の目標追求の間でのせめぎ合いが最も先鋭的に起こりうる対象として、主として流過能力を増大させるための河道掘削を取り上げ、河道セグメント1と河道セグメント2を想定して考察を加えていく。

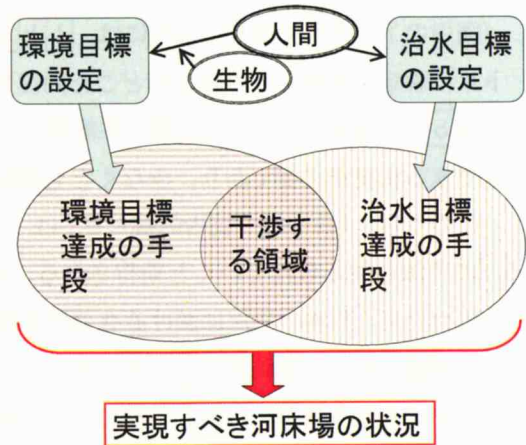


図-2 治水、環境の目標設定から実現すべき河床場を見出すまでの流れのイメージ

### 3. 2 河道セグメント1における横断面内段差の解消という掘削がもたらすもの

#### 3. 2. 1 横断面イメージの考察

河道セグメント1（扇状地礫床河川）では、その多くで、横断面内で河床の一部が低下して複断面形状を呈し、低水路状の河床部分と高水敷状の河床部分との段差が拡大する状況となっている。このような段差の拡大は、低水路状の部分が堤防法線に寄っている所では侵食・洗掘による堤防破壊につながると懸念され、また、高水敷状の部分ではいわゆる樹林化をもたらすと考えられている。本来単断面的で、川幅全体に渡って砂州の影響を受けやすいセグメント1の河道では、図-3に示すようなシステムが健全に作用し（藤田、李、渡辺ほか 2003）、河道内の植生成育状態が一様でなく、礫河原状態から、相当程度

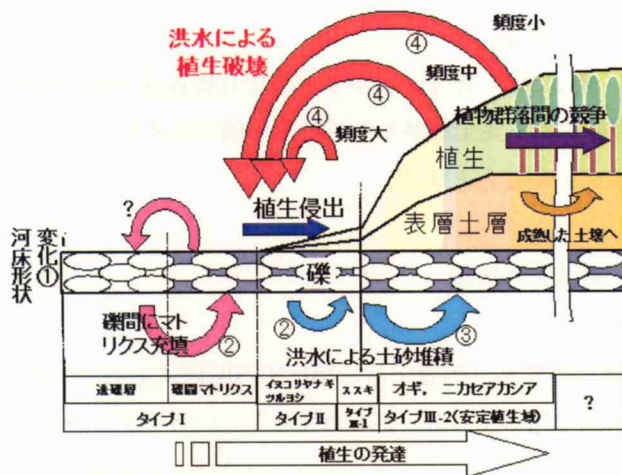


図-3 河道セグメント1における植生消長システム

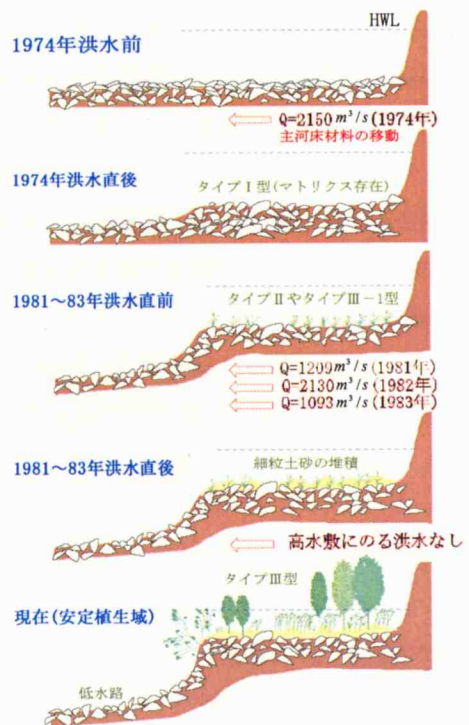


図-4 多摩川永田地区における河道状況変化（藤田、李、渡辺ほか 2003）

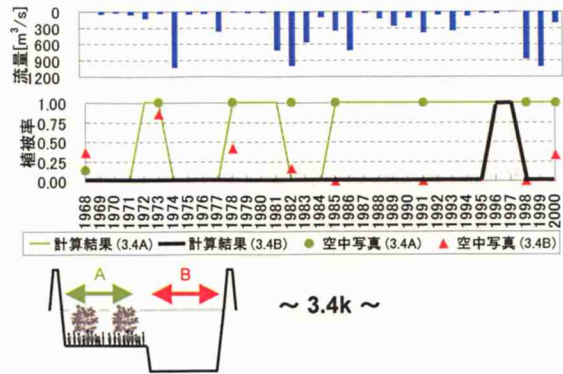
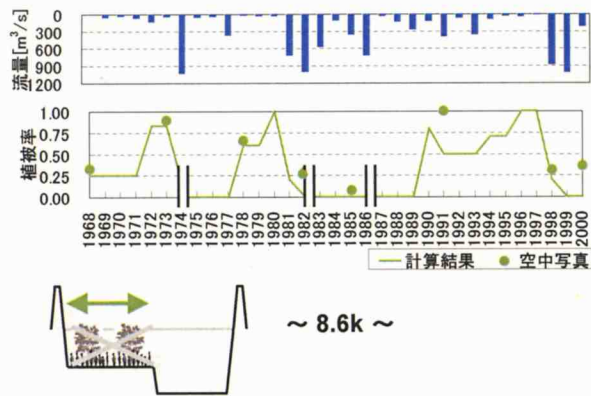


図-5 利根川水系神流川について植生消長簡易計算手法を適用して得た植被率変動と空中写真分析との比較 (井上ほか 2006)

安定的に樹木が成育する場所まで、多様に分布していたと考えられる。それが、上記の段差の拡大によって、たとえば、多摩川永田地区に見られるように(図-4)、高水敷状河床の部分に一方向的な樹林化が起こるなどの変化が多くある河川で生じている。

このような状況に対して、河道掘削により高水敷状になった河床部分を切り下げ、段差を小さくすることで、健全な植生消長システムを復活させ、あわせて、流過能力の増大や洪水流の低水路状部分への集中の緩和を図ろうとする発想が生まれるのは自然なことである。たとえば、上記の多摩川永田地区では、カラノギクなど絶滅が懸念されている河原系植物の保全を緊急的に図る措置と整合を取りながら、河床を様々に切り下げる施工が試験的に行われ、詳細なニタリング調査がなされている(島谷, 高野 2001)。

このような段差の縮小が植生消長に及ぼす影響を簡易に見積もる手法として、流水と土砂の作用による立地条件変化に着目した植生消長の簡易計算法がある(井上ほか 2006)。この手法を用いると、横断面内の各場所で、河床が礫河原の状態(タイプI)、比較的疎らな植生が生育している状態(タイプII)、樹林や密生した草本植生が生育する安定的植生域の状態(タイプIII)の間で時系列的にどのように遷移するかを大ざっぱに知ることができる。図-5は、この手法を用いた計算例であり、出水にもなるとなると植被率が大きく変動する様子、段差の上下で植被率が大きく異なる様子が概ね再現できている。図-6は、この計算法を用いて、図-4の河道条件について、安定植生域の平均的な持続期間と段差との関係を

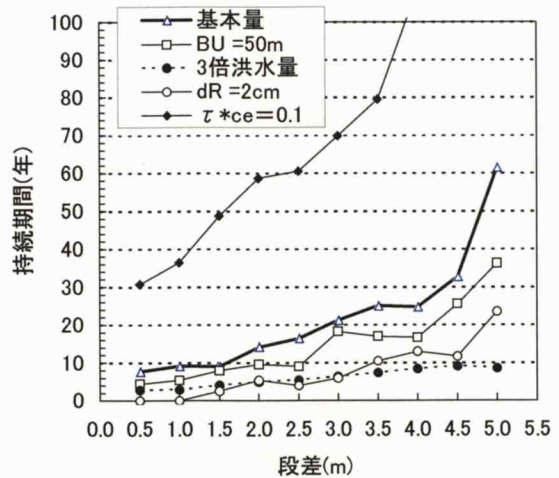
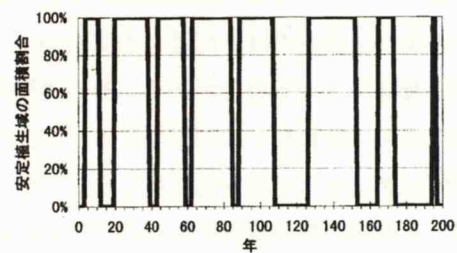


図-6 横断面内の河床段差と安定的植生域の平均持続期間との関係(植生消長簡易計算手法による計算例:多摩川永田地区に似た条件を設定)(藤田, 李, 渡辺ほか 2003)

a) 段差を2.5mで一様に設定した場合



b) 段差を0.5m, 2.5m, 5mで三等分して混ぜた場合

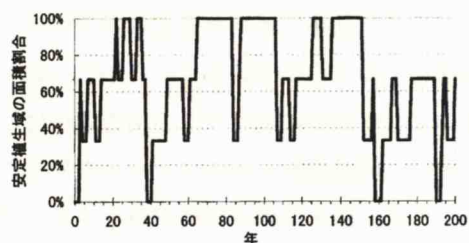


図-7 安定的植生域となっている河床面積割合の時間変化(李, 山本ほか 1999)

求めた例である。ここで、平均的持続期間とは、超長期にわたる植生消長計算において、礫河原が安定植生域で被われた状態が継続する期間を、計算期間中に出現する全ての安定植生域について平均したものである。この図から、この計算例の基本量の下での結果においては、平均的に見て10年以内に植生域と河原が入れ替わる状況とするには、段差を1.5m以下にする必要があり、また、段差が4.5mを超えると、高い方の河床はほとんど陸地的様相を呈することがわかる。

以上から、高水敷的状态を呈している河床を切り下げ、段差を縮小することで、礫河原が本来持っていた植生消長システムの回復を期待できることがわかる。回復したシステムの下では、礫河原あるいは安定的植生域が長期間継続することはなく、出水の出方によって、2つの状態が適度な頻度で入れ替わることになる。ただし、この入れ替わりは時間軸上であるから、仮に段差をある河川区間で一様に設定してしまうと、図-7のa)のように、一連区間の河道状態が出水の発生や非出水期間の継続に伴い一様に変化しやすい条件も持つことになる。したがって、当然の発想として、対象河道区間の中で段差が一律でなく様々に異なるような河道とすることが出てくる。たとえば、3種類の段差を持たせると、同じ計算条件でも、図-7b)のように、安定植生域のエリアや礫河原のエリアの占有率が不規則でマイルドに変化することになる。実際に種々の段差が存在するようにするには、砂州の挙動をうまく河道計画に組み入れることが必須であり、そのことは河道のシステムの本質から言っても理に適っている。そのためには、砂州の挙動と植生消長との関係について理解を深めるとともに、今まで述べてきた植生消長簡易計算のような手法を平面計算に拡張していくことも必要になる。

### 3. 2. 2 河道縦断方向に着目した考察

段差のコントロールに関しては、そもそもなぜ横断面内の河床の一部が低下して、縦断方向に一様に段差が大きくなるかを理解し、段差発生原因を踏まえた河道設計を行うことも重要である。これには、以下に述べるように河道縦断方向に着目した考察が必要となる。

砂に比べ礫は動きがずっと遅いので、上流部でダム等による供給抑止があったとしても、その影響が速やかに広範囲（たとえば数十km）に下流に伝わることは考えにくい。したがって、礫供給抑止地点からある程度以上離れたところでは、礫供給抑止それ自体が河床に直接与える影響はあまり大きくないものと考えられる。そのような場所では、河道への直接的インパクト、特に過去からの履歴が、現在の河床変化特性に大きな影響を及ぼしている場合がある。その典型的な例は、横断構造物がある河道区間での砂利掘削である。ある時期に活発に行われた砂利掘削によって、河床縦断形が全体的に下がると、結果として、横断構造物の天端高が河床高に対して相対的に高くなる。その後、元の河床高になるように、構造物上流区間を礫が埋めていくが、元々礫の流送量は小さいので、砂利採取によりできた上流側ポケットを埋めるのに長い年月がかかる。このため、この間は、構造物下流への礫供給が絶たれることになる。この結果、構造物下流で河床低下や縦断勾配の減少が起こる（たとえば、服部、瀬崎ほか 2003）。段差の発生がこのようなメカニズムに起因する場合には、前項で述べた適正な段差の分布についての検討と合わせ、そのような段差性状が現れやすい土砂動態をどのように改善していくかについての検討があわせて必要となる。段差縮小を図る河道区間の上下流とのつなぎ部分に起こりうる河道変化についても対応を考慮しておく必要がある。そして、これらの場合の対応策は、河道縦断方向のスケールを持つことになる。

このように、礫を主河床構成材料とするセグメントでは、礫の動きが砂に比べ鈍いことを良く理解し、水系スケールの土砂動態だけにとらわれず、着目箇所付近の過去からの種々のインパクトの履歴を頭に入れな

がら、過去の履歴の影響が現在にどのように効いているかという分析を行って症状を診断することが肝要であり、そこからより現実的な処方箋が見出されるケースも少なくないはずである。なお、植生消長は、段差や主河床構成材料である礫の流送状態のほかに、洪水の発生状況、ウォッシュロード的に流送される細粒土砂の供給量にも左右されるので、これらを水系スケールでどのように制御するかという視点も必要になる場合がある（井上ほか 2006；藤田，李，渡辺ほか 2003）。

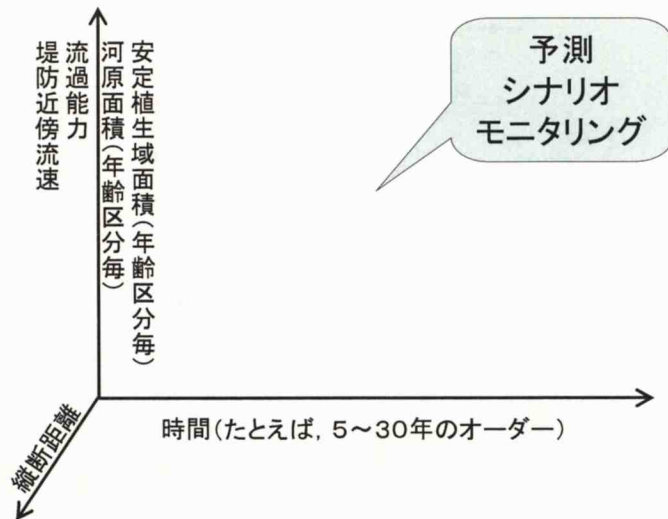


図-8 段差縮小のための掘削という局面における河道変化の評価イメージ

### 3. 2. 3 治水と環境保全・再生との接点

今まで述べてきたケースについて、治水、環境それぞれの目標追求の間の干渉具合あるいは接点は次のようになろう。大きくなった段差を適度に縮小することは、流過能力の増大と植生消長システムの再生につながることから、また、低水路部の洪水流の集中の緩和にも役立つ可能性もあることから、総じて、治水、環境の両方にとってプラスの作用をもたらすと期待できる。ただし、植生消長システムが活発になることは、横断面内の一定範囲に安定的な植生域がある状況と違って、植生の存在が時間・空間的にかなり変動することを意味し、このことは、洪水流の挙動にも一定程度反映すると考えられる。すなわち、ある河道区間全般にわたって段差を縮小する働きかけを河道に行う場合には、そして、そのやり方が一律でなく図-7b)のように場所によって差を持たせる場合には、洪水位の縦断変化や流速の平面的差異が増大しうること、またその特性が時間とともに変化しうることを治水上の安全性確保に反映させることが大事になる。洪水流による樹木の流失現象にある程度の不確実性が伴う（流失が一定の洪水外力でいつも起こるとは限らない）ことも考慮しなければならないかもしれない。このため、たとえば、図-8に示すように、治水、環境それぞれにかかわる複数の評価項目を縦軸として、それらが河道への働きかけをきっかけとして、以後時間的、空間的にどうなっていくかを可能な範囲で予測あるいはシナリオ化し（場合によっては予測に幅を持たせて）、この結果を最初の働きかけの方法の選択に的確に反映させること、さらに、実際の河道変化を、図-8を描くような視点でモニタリング・評価し、植生消長システムの活性化が特に治水上の負の効果をもたらさないように種々の管理を行うことが大事と考えられる。

### 3. 3 河道セグメント2における低水路川幅拡大がもたらすもの

#### 3. 3. 1 川幅再縮小という現象と河道整備上の着眼点

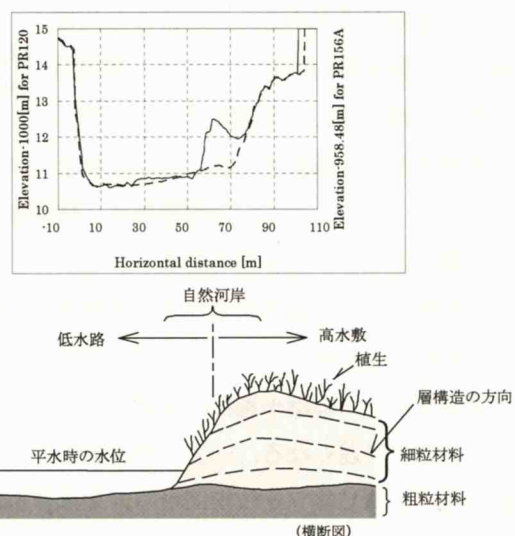


図-9 セグメント2-1における川幅拡大後の川幅縮小の状況（藤田，Moodyほか 1996）

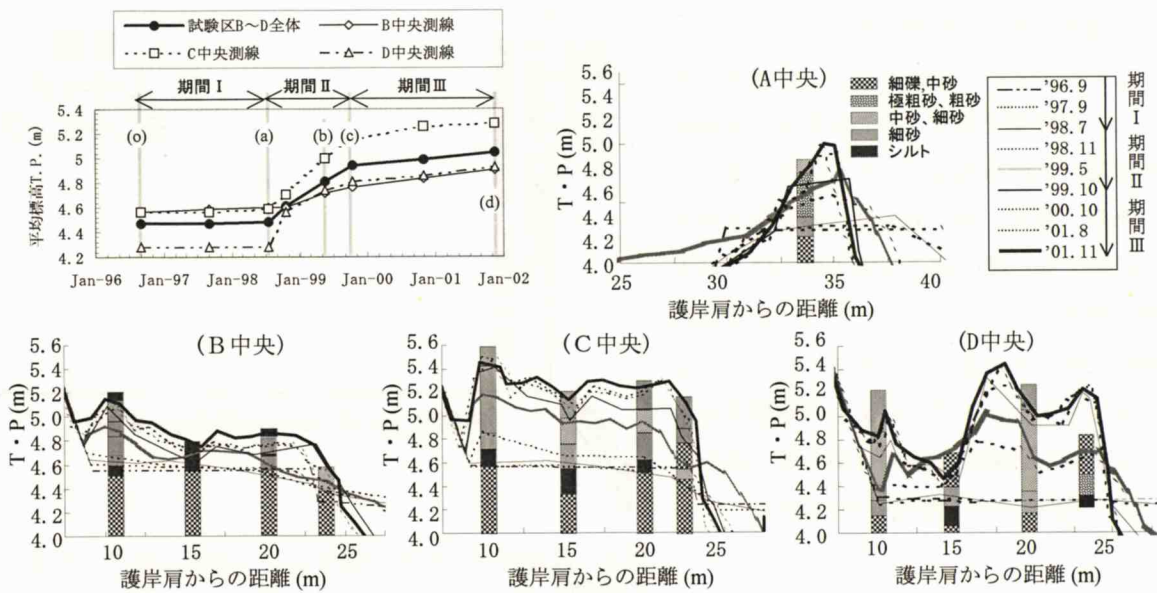


図-10 試験区A~D中央横断測線沿いの土層構造と横断形状変化および平均高さの発達状況(瀬崎, 末次ほか 2002)

河道セグメント2は自然堤防帯にあり、元々複断面河道の特徴を備えているので、流過能力を増大させる際に低水路拡幅が検討されることが多い。ところがセグメント2においては、低水路川幅を拡幅した後、早くて数年、遅くても10年程度で、図-9のように川幅が元に戻ろうとする現象が見られる場合がある(藤田, Moodyほか 1996)。川幅縮小部分には、河床材料よりも細かい土砂が堆積し、また、密生した植物が成育する。このような川幅縮小は、疎通能力の観点からは、掘削の効果が低減することを意味する。一方、

自然環境という観点からは、この現象をうまく利用することで、人工河岸の前に自然河岸の形成を促すことができる。このように、川幅縮小は、疎通能力、ハビタットの両面で変化をもたらすので、その可能性を適切に織り込んでおく必要がある。

高水敷のうち、低水路寄りを一部掘削して低くし、中水敷をつくる場合がある。この場合も、細粒土砂による堆積が中水敷上に生じ、河岸寄りの部分を中心に徐々に元の高さに近づいていく。掘削した中水敷が高い場合には、川幅縮小過程で堆積が相当進んだ状態からスタートすることに相当するので、堆積のスピードはその分だけ遅くなる。一方、中水敷といえども、平水位ぎりぎりまで掘削してつくる場合には、川幅拡大後の縮小と同じような状況になる。中水敷掘削が湿地的環境やごく浅い水域の確保を目的に行われる場合、平水位ひたひたの高さに設定すると、細粒土砂の堆積が起こって、陸地化が早く進み、目的としていた環境が維持できないことにもなる。このように、自然再生という目的を持つ場合でも、掘削後の河道変化に目を配らなくてはならない。

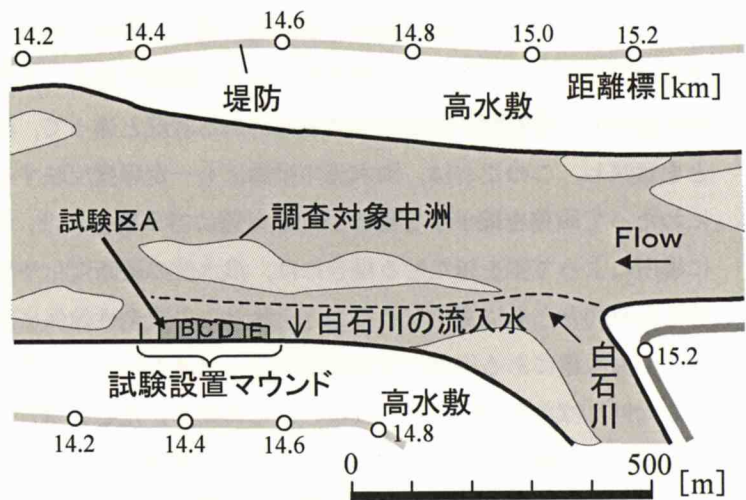


図-11 自然河岸形成工法の試験地(阿武隈川)(瀬崎, 末次ほか 2002)



瀬崎・末次らは、阿武隈川において、護岸が施工された直線上の単調な水際に、横断方向幅15mほどのテラスを人工的に設け、テラスの高さを平水位以下から平水位よりやや高いものまで数種類に設定した後の変化を追跡している（瀬崎，末次ほか 2002；瀬崎，藤田ほか 1999）。これは、上述の川幅縮小現象を利用した自然河岸形成工法の有効性を調べることを目的としたものである。図-10は、テラスを設置した試験区A～Dの護岸肩からの横断形状の経年変化を示したものである。この付近の平水位はおよそT.P.4.1mである。試験区の平面位置は図-11に示すとおりである。この図から、たかだか数十cmではあるが平水位を上回る高さのテラスを設置した場所では、5年間で最大1mを超える新たな堆積が生じる一方で、テラス高が平水位より低かった試験区Aの護岸寄り部分では、堆積が生じていないことがわかる。堆積土砂は細砂が中心となっている。このように、若干でも平水位より高く植物が密生しやすい条件にある河床では、そのトラップ効果によって、それが無い時にはほとんど堆積し得ない細粒土砂の堆積が出水時に起こり、有意な地形変化を起し、川幅縮小の原因にもなる河岸・高水敷形成が明瞭に生じることが、現地試験でも確認されている。一方、初期の河床高が平水位以下の場合には、密生した植物が生育しにくいいため、細粒土砂の堆積が起こりにくく、水域の状態が維持される。

以上のように、河道セグメント2において、低水路拡幅後に川幅再縮小が、また高水敷切り下げによる中水敷化の後に再高水敷化が起こりうること、これらの原因が密生した植生による主河床構成材料よりずっと細粒の土砂の堆積であることが知られるようになった。こうした変化は、前述のように、流過能力や水際状況に大なり小なり影響を与えることから、治水、環境の両面で河川整備において考慮すべき事項の1つとなる。河道計画は、過度な低水路拡幅案をチェックするという観点から、平均年最大流量時の摩擦速度 $u_*$ の改修による変化が一定以上（たとえば±15%など）になる場合には精査を行うなどの考慮がなされているが、起こりうる河道変化の性状や速度を具体的に予測あるいは想定しての技術判断までには至っていない。

なお、セグメント1とセグメント3においては、川幅縮小は起こりにくい。前者については、河岸付近といえども細粒土砂が堆積するには勾配が急すぎるためである。このため、3.2で述べたように植生消長が重要になる。後者については、潮位の影響で川幅拡幅後も川底が水面下になり、密生した植物が成育しにくいいため、細粒土砂の堆積に必要な流速低減効果が発揮されないためである。その代わり、河床勾配が水平に近く、流れ場全体で掃流力が小さくなるため、主河床構成材料そのものが細粒化したり、細粒土砂が河床変動に寄与する状況が起こるようになる。

### 3.3.2 川幅縮小を概略計算する手法を用いた検討

前項の整理を受けて、技術的にまだ検討段階ではあるが、川幅縮小現象を予測あるいは想定することにより、河道整備・管理上の技術判断がどのようになるかを、実河川を想定した河道および水文条件を与えた計算によりケーススタディ的に調べた。河道条件は、平均河床勾配が1/1700、平均堤間幅が210m、平均低水路幅が80m、低水路河床材料の平均粒径が2mm程度の複断面形状をなす河道区間である。平面二次元計算により流速ベクトルの平面分布を求め、低水路河床について平面河床変動計算を行い、低水路内の河床形状変化を平面的に求めた。こうした計算に加えて、低水路河床材料より細かい土砂を流量の関数で決まる濃度を持たせて上流から与え（ウォッシュロード的供給を仮定）、その細粒土砂が植生で覆われた河床上でトラップされ低水路河床材料の上に堆積するという計算を行った。この堆積が、川幅縮小の原因となる河岸・高水敷形成に当たる。河床上の植生は、平面河床変動計算により平水位より高いとされた河床部分において、有意な攪乱を受けず一定期間経過すると生育するとした。なお、植生で被われた河床部分は、植生侵食を起す

通常の  
河床変動計算

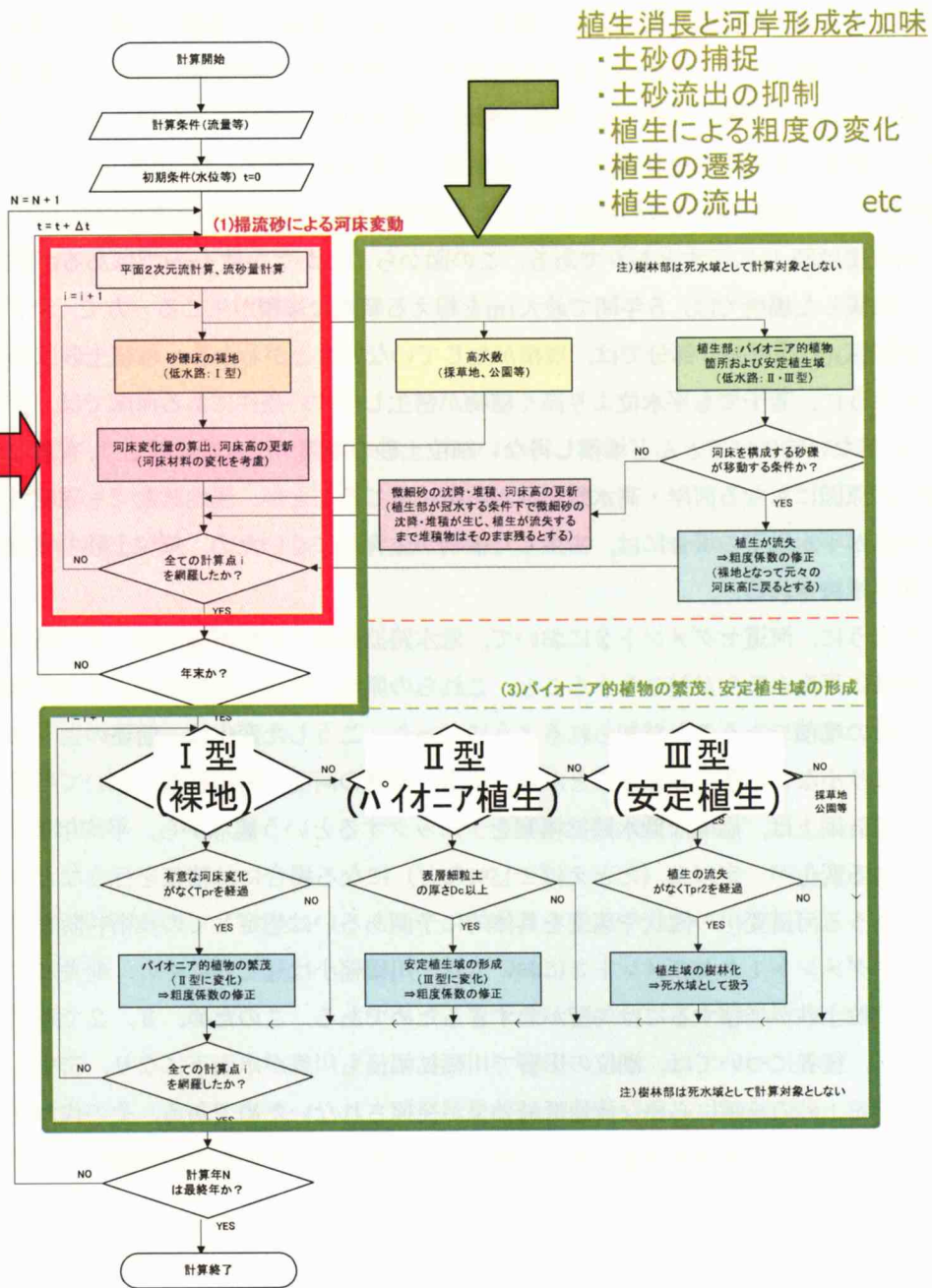


図-12 細粒土砂堆積による川幅縮小現象を考慮した平面河床変動計算のフロー

一定以上の流速を受けると、堆積した細粒土砂と一緒に流失し、元の低水路河床材料の面に戻るとしている。以上の計算は、3. 2. 1で扱った植生消長の簡易計算において、流れの計算を平面二次元にし、平面河床変動計算を加え、植生にトラップされる細粒土砂による地形変化を計算対象に組み入れたことに相当する。図-12に計算のフローを示す。

以下に、この方法によって、植生が繁茂し、細粒土砂が堆積し、河岸・高水敷形成が生じる範囲がどのように計算されるかを示す。図-13は、対象河道区間の低水路法線が現況のまま10年経過した場合の河岸・高水敷形成範囲の変化を示したものである。図中でヨシあるいはオギとされている範囲が河岸・高水敷形成範囲であり、また計算では近年10年の洪水流況を与えている(次図も同様)。図-14は、現況河道の低水路を拡幅し、低水路内に形成されていた州も掘削するというインパクトを与え、図-13と同じ10年が経過した後の河

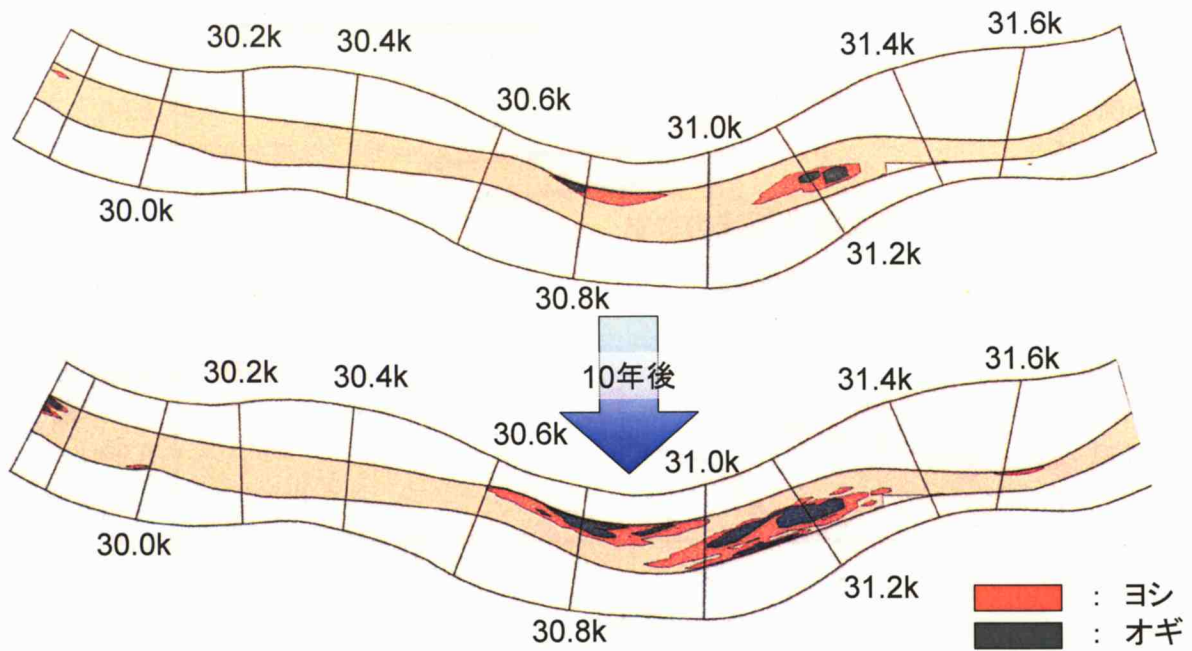


図-13 低水路内における植生繁茂と細粒土砂堆積による河岸・高水敷形成の計算：現況低水路法線のまま10年経過した場合

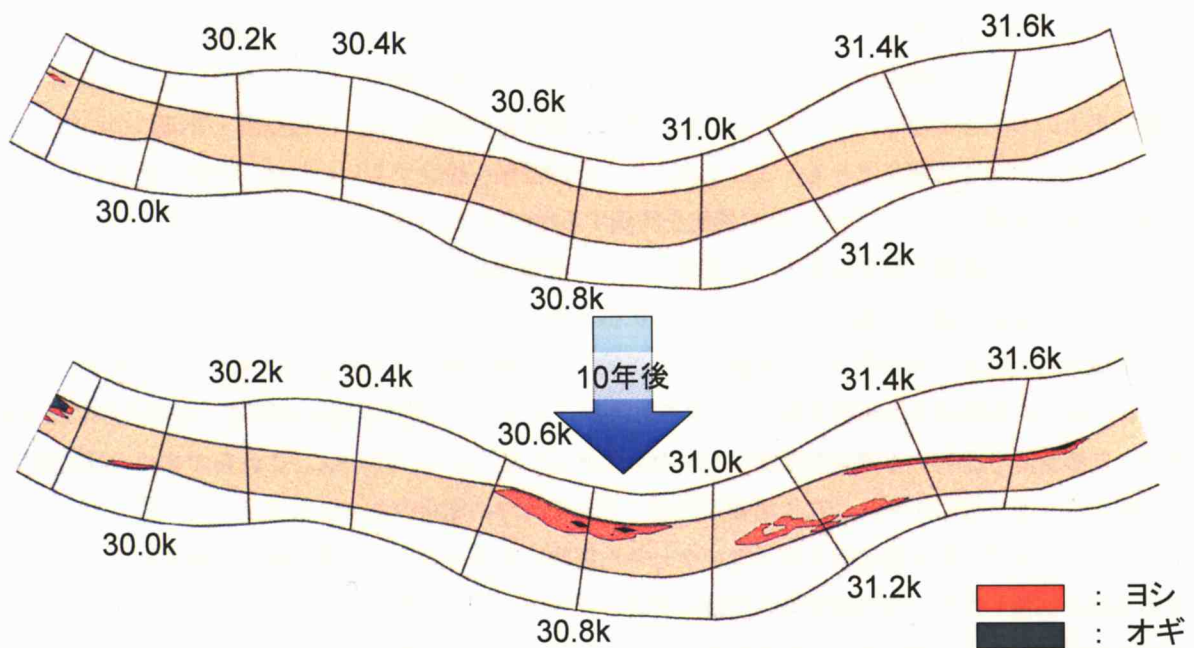


図-14 低水路内における植生繁茂と細粒土砂堆積による河岸・高水敷形成の計算：現況低水路法線を拡幅後、10年経過した場合

岸・高水敷形成範囲を示したものである。図-13から、低水路法線が現況のままでも、河岸・高水敷形成範囲が拡大し、しかし法線形の中での形成範囲は変わらない（蛇行の内岸に位置する）計算結果となっている。一方、低水路を拡幅し、州を掘削した図-14では、図中の30.6Kより上流において連続的に河岸・高水敷形成が生じ、川幅縮小の状況を明確に示す計算結果となっている。なお、30.6Kより下流で川幅縮小がほとんど起きない計算結果になっているのは、下流端付近に堰がある条件が与えられており、30.6K付近までは平水位が

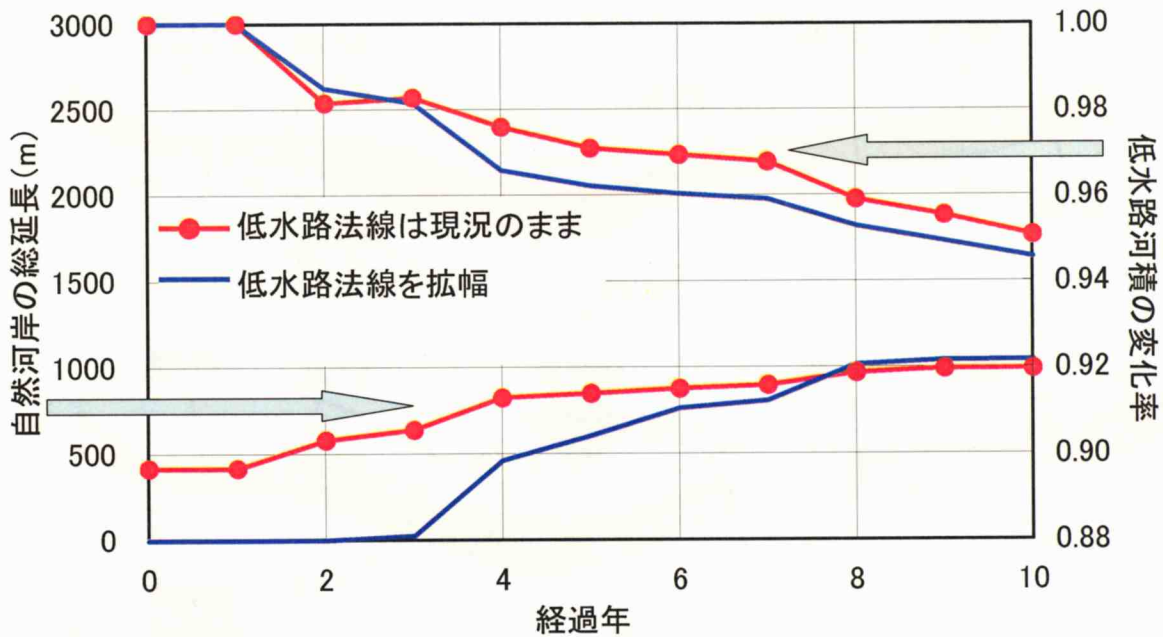


図-15 自然河岸の総延長と低水路河積変化率の経年変化

高く、低水路内で河床変動が起こっても河床が平水位より上に出にくくなっているためである。

本計算は種々の仮定を設けてのものであり、その実現現象の再現性についてはさらに検討を要するが、3. 3. 1で述べたような川幅縮小や河岸・高水敷形成の基本的な特徴は捉えているようである。そこで、個々の計算結果ということだけでなく、このような計算が表す河道変化の特徴から、河道整備・管理についてどのようなことが言えるかを考察してみる。ここでは、二つの評価軸を設定する。一つは、河岸・高水敷形成に伴う河道断面積の低減である。これは、治水機能を評価する軸の一つと見ることができる。もう一つは、河岸・高水敷が形成された範囲の河道縦断方向の延長である。計算対象とした河道区間は河川改修が進み、低水路には兩岸とも全面的に護岸が施されていた。さらに拡幅後も何らかの河岸処理が連続的になされると想定すると、形成された河岸・高水敷とその水際は、人工的な河岸線を覆い、良好なハビタットを提供する河道変化（いわば河川の自律的な水際再生能力）と見ることができる。この縦断距離の総和を「自然河岸の総延長」と呼び、自然環境を提供する機能を評価する軸の1つとして見ていく。図-15に、これらの2つの評価軸についての経年変化を一緒に示す。ここで河積変化は、それぞれの初期状態を1として示している。

この図から、まず、低水路法線を変えないケースも拡幅したケースも、河積が徐々に減少していること、低水路法線を拡幅したケースの方がやや低減の度合いが大きいことがわかる。このことは、低水路拡幅による河積拡大効果が徐々に減っていく計算結果になっていくことを表すものである。なお、低水路法線が現況のままの低減率は計算上やや強調されすぎている可能性がある。一方、自然河岸の総延長は、時間の経過とともに増大しており、その度合いは低水路を拡幅したケースの方が大きく、拡幅直後、いったん0にされた延長が、この計算結果では、8年程度で現況のままのケースに追いついている。以上のことは、河岸・高水敷の形成・成長という河道変化現象が、治水機能の面では経時的な低減（劣化）をもたらす一方で、自然河岸の復元という面では、好ましい状況をもたらすという相異なる作用を持つと言える。ここにおいて、治水と環境の面で、正負異なる影響をもたらす河道変化をどのように捉え、制御していくかという課題が浮かび上がってくる。

### 3. 3. 3 インパクト付与後の河道変化をもたらす治水・環境機能の経時変化を見越して掘削法を検討するという考え方

以上の計算例は、河道掘削のあり方について、次のような着眼点を与えるものと考えられる。

#### a) 掘削による低水路幅と安定川幅とのズレの意味についての新しい見方

掘削により設定する川幅が、いわゆる“安定川幅”よりも大きくならざるを得ない場合、従来は、掘削後に川幅縮小がある分だけ河道維持労力が増えるというマイナス面をどのように処理するかという見方がもっぱらとられていたと考えられる。しかし、川幅縮小が新たな自然河岸の形成過程でもあることに着目すると、掘削後、川幅縮小による河積低減が起こることは、自律的な自然河岸形成システムを内包する河道設計を行ったことも意味することになる。安定川幅になるような掘削は、逆に、そうした自然河岸形成システムが備わっていない河道の設計であり、したがって、掘削当初の河岸状態が相当程度維持される見込みとなることから、その状態が環境上好ましくない場合には、多自然川づくりの一部としての河岸処理をその段階でしっかり行うことになる。

#### b) 安定川幅よりも大きい川幅にすること、すなわち“緩めの”河道設計を行うことに積極的な意義を見出すこと

これらのことは、安定川幅よりもわざと“一定量緩めて”広めに川幅を設定し、河川の自律的な自然河岸形成システムを意図的に組み込むという考え方につながっていく。この場合、掘削後の川幅縮小に対処するための維持掘削は、単に、安定川幅に基づく河道設計を行えなかったことに起因するやむを得ないマイナス面を除去するというだけでなく、縮小した川幅の回復を定期的に図ることで、自律的な自然河岸形成システムを再び活性化させるという積極的な面を持ちうる。すなわち、対象河道区間の各所で、湿地上の河床領域や土砂堆積・浸食が頻繁に起こる不安定な河床領域から自然河岸・高水敷形成に至るまでの様々な段階の物理環境が共存する状況を創り出すという目的を持つことにもなる。

こうした考えに基づく掘削とその後の河道管理のイメージを図-16に示す。必要な治水機能の向上のために河道を掘削する状況において、必要掘削量が多いので、また掘削に関わる種々の制約から、安定川幅（現況川幅）よりも大きな掘削後川幅

を設定せざるを得ないとする。この際、掘削後の川幅縮小が自然河岸形成による環境上の機能向上の過程でもあるとの認識から、さらには、自然河岸・高水敷形成の過程で生じる多様な物理環境自身が環境上重要との認識から、川幅縮小過程そのものも当該河道が持つべき大事なプロセスと位置づける。そして、掘削およびその後の河道変化に伴う治水および環境上の機能変化に関する予測あるいは想定結果に基づき、掘削法と掘削後の



図-16 川幅縮小を織り込んだ河道掘削法の決定と“積極的な”河道維持管理のイメージ

維持管理法を別々でなく一体的に決める。掘削後は、治水、環境機能をモニタリングしながら、予測あるいは想定と実際のズレを監視して、適切な維持管理を行う。この河道維持作業は、単なる疎通能力回復だけでなく、河川の自律的な自然水際再生機能の回復を図るものでもあるから、一連河道区間における環境機能の空間分布状況を適切に保つという視点から、一度に行うのではなく、場所を少しずつ変えながら段階的に行う方式とする。

このような考え方は、流路そのものの変動を許容できない現代の土地利用を前提にした場合、河道に人間が定期的に手を入れることが、治水のみならず河川の自然環境保全に関わるシステムの再生にとっても必要であるとの考えに通じるものであり、ライン川の河川改修と環境管理の検討における「Cyclic rejuvenation」の考え方（たとえば、中村 2006）とも共通性を持つてくる。

#### c)高水敷切り下げと低水路拡幅との適正な役割分担

一定の流過能力増大を求められた時、低水路川幅拡大と高水敷切り下げの最適組み合わせをどう考えるかも、大事なポイントになると考えられる。高水敷切り下げは、切り下げ量が一定以下なら、比較的長持ちする流過能力増大法と考えられる。一方、安定幅からの低水路川幅拡大は、高水敷切り下げを低水路河床高まで行うことに当たるから、前述のように、程度の差はあるが、細粒土砂堆積による河積低減が徐々に進む可能性のある流過能力拡大法といえる。これらの特徴の違いを生かして、必要な定期的維持掘削量が許容以内で、河川の自然河岸形成システムが適度に組み込まれた、安定川幅よりも“緩めの”川幅設定を行い、残りを高水敷切り下げで対処するというような考え方も出てこよう。

また、高水敷切り下げは、セグメント2の河道において、低水路の河床低下により相対的に高水敷が高くなり、低水路と高水敷の分断化が進んだ河道における水際一帯の環境修復にもつながると考えられ、その面からの評価も必要である。

以上のような3つの着眼点を踏まえた河道掘削・管理法を具体的に定めて行くには、次のような技術判断に資する知見が必要になってくる。また、川幅縮小に伴う河道断面変化をどの程度、どのような考え方で当初の掘削に見込むかを河道計画の観点から整理する必要が出てくる。

- ・ 切り下げた高水敷の再堆積速度
  - ・ 安定川幅より広げた低水路の河岸・高水敷形成速度。形成河岸の形状とその変化特性
  - ・ 自然河岸形成過程における環境機能の評価。物理環境の変化の下での、生物・生態系の変化とその評価
  - ・ 洪水位、流速、掃流力などの縦断変化特性への影響
  - ・ 再堆積の活性度と河岸・高水敷形成の材料と
- なる細粒土砂の供給特性との関係。それを踏まえた、掘削および管理法。それらと流域特性との具体的関係（なお、これは細粒土砂動態モニタリングの有力な動機づけになりうる）。
- ・ 河床主構成材料と細粒土砂に関する平面河床変動計算の実用性を見極めく植生との相互作用、侵食過程を含む>

#### 4. 治水と環境、河道計画・設計・改修と管理の垣根を取りはらった川づくり—まとめに代えて—

2章で述べたように、治水と環境、特に後者についての目標設定とその達成手段を検討する手順を確立していくことが重要であり、そのための検討が行われつつある。その一方で、豪雨による洪水氾濫が引き起こす災害が頻発する中で、河道掘削が有力かつ現実的な治水手段として計画され、実行に移される河道区間も

多い。また、河川整備計画における改修においても、河道掘削が代表的な手法となっている。こうした状況の中で、実際の河川整備において、治水と環境の両機能を向上させるやり方を、現時点で用いることのできる技術的手段（表-1の②と④に属するもの）を活用してケーススタディ的に検討していくことから、治水と環境保全を調和的に図っていくための様々な知見が得られ、こうした知見が、上述の目標設定のあり方を検討することにも役立つはずである。こうした考えに立って、限定的ではあるが、セグメント1河道における植生消長（2章）、セグメント2河道における川幅縮小現象（3章）に焦点を当て、それらを概略計算できる手法を用いて、治水と環境それぞれの機能向上を追求することの接点について、極力具体的に検討を行った。なお、一連の検討では、掘削などの直接変化が河川の自然環境に及ぼす影響については、議論から外している。

その結果、治水と環境保全が必ずしもトレードオフの関係になるわけではないこと、特に、河道変化を一定程度許容すること織り込んだ河道計画を策定することで、両者が共存しうるシナリオがあることを示した。ただし、この場合、治水のための河道掘削を行った後の河道管理が重要な役割を果たすことになる。その場合の河道管理行為は、治水機能回復だけでなく、環境保全にとって重要な、河道が本来持つ自律的な動きを回復させる役割を併せ持つことになる。この意味で、掘削などの河道計画を立てる段階で、その後の河道管理をあわせて検討し、その具体的な方針を策定しておくが必要になる。この際には、掘削後の河道変化の予測を行うことや、洪水発生状況や土砂供給状況などを想定した河道変化のシナリオを持つておくことが重要になる。そのために、本稿で取り上げた現象も含め、起こりうる代表的な河道変化について、治水、環境それぞれについて最低限の評価ができるような予測あるいはシナリオ特定の技術が求められる。

さらに、河道変化を許容し、河道の中に様々な特徴を持つ物理環境を共存させることになるため、当然のことながら、河道計画上の想定と実際の河道の状態との間でずれが起りやすくなる。このことが、治水機能の時空間的なばらつき増大させることにつながる可能性がある（たとえば、玉井ほか 1997）、河道について適切なモニタリングを行い、治水機能の現状を把握した上で、必要な管理を迅速に行えるような状況を作ることをあわせて考えなければならない。この際には、河道状況を効率的にモニタリングすることが重要であり、特に、種々の症状が現れやすい洪水時の水位縦断などのモニタリングを適切に行うことが、今まで以上に重要になっていく（福岡 2006）。モニタリングは、環境機能の現状を知るためにも必須であり、河道管理が治水機能の回復だけでなく、環境機能の回復も同じ重みで兼ねることになるわけであるから、環境機能の評価につながるモニタリングを行うことの重要性は論を持たない。その上で、モニタリング結果を治水、環境に関わる評価軸に表す手法、その結果から必要な管理内容を判断する道筋を明確にしておくことが大切になる。

以上のように、考察の対象とした現象が限定的で、今後様々な議論や検討が必要ではあるが、河道変化を治水、環境の接点においた川づくりにおいては、河道計画、設計、改修と河道管理とを一体的に行う必要が従前以上に高くなると考えられ、管理を適切に行っていくための技術体系の構築が、治水、環境の両面で急がれる（安全・安心が持続可能な河川管理のあり方検討委員会 2006）。

## 参考文献

- 安全・安心が持続可能な河川管理のあり方検討委員会（2006） 安全・安心が持続可能な河川管理のあり方について（提言（案））。国土交通省河川局。
- 井上優，大沼克弘，藤田 光一（2006） 流水と土砂の作用による立地条件変化に着目した植生消長の簡易計

- 算手法の開発. 河川技術論文集, 土木学会水工学委員会河川部会, 第12巻.
- 河川環境目標検討委員会 (2006) ワークショップ 河川環境目標への科学的アプローチは可能か—考え方と実際— 報告書. リバーフロント整備センター (印刷中).
- 島谷幸宏, 高野匡裕 (2001) 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, 土木学会水理委員会河川部会, 第7巻.
- 社会資本整備審議会河川分科会 豪雨災害対策総合政策委員会 (2005) 総合的な豪雨災害対策の推進について (提言). 国土交通省.
- 瀬崎智之, 藤田光一, 近藤和仁, 山内芳朗, 栗田信博, 松井幸一, 内田正 (1999) 水際植生の土砂堆積機能を利用した自然河岸形成工法の開発. 河川技術に関する論文集, 土木学会水理委員会河川部会, 第5巻.
- 瀬崎智之, 末次忠司, 伊藤政彦, 吉田昌樹, 外山久典 (2002) 自然河岸形成工法の河岸発達過程に関する追跡調査. 河川技術論文集, 土木学会水理委員会河川部会, 第8巻.
- 大規模降雨災害対策検討会 (2005) 提言 洪水氾濫時・土砂災害発生時における被害最小化策のあり方. 国土交通省河川局.
- 玉井信行, 松崎浩憲, 白川直樹 (1997) 潜在自然型河川の特性とそれに関する研究・河川管理の在り方について. 第3回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集, 新しい河川整備・管理の理念とそれを支援する河川技術に関するシンポジウム, 土木学会水理委員会基礎水理部会.
- 中村圭吾 (2006) 世界の河川復元 (自然再生) の現状と課題. 水利科学, No.289.
- 服部敦, 瀬崎智之, 伊藤政彦, 末次忠司 (2003) 河床変動の観点で捉えた河原を支える仕組みの復元—多摩川永田地区を事例として—. 河川技術論文集, 土木学会水工学委員会河川部会, 第9巻.
- 福岡捷二 (2006) 洪水流の水面形観測の意義と水面形に基づく河川の維持管理技術. 河川技術論文集, 土木学会水工学委員会河川部会, 第12巻.
- 藤田光一, John A. Moody, 宇多高明, 藤井政人 (1996) ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小. 土木学会論文集, No.551/II-37.
- 藤田光一 (1998) 河道計画が目指すべき方向と技術的課題. 土木学会水理委員会, 水工学シリーズ98-A-2.
- 藤田光一 (1999) これからの河道計画のあり方に関する考察—新河道計画論に向けて—. 河川技術に関する論文集, 土木学会水理委員会河川部会, 第5巻.
- 藤田光一, 李參熙, 渡辺敏, 塚原隆夫, 山本晃一, 望月達也 (2003) 扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション. 土木学会論文集, No.747/II-65.
- 李參熙, 山本晃一, 望月達也, 藤田光一, 塚原隆夫, 渡辺敏 (1999) 扇状地礫床河道における安定植生域の形成機構に関する研究. 土木研究所資料, 第3266号.
- Land & Water Australia (2002) Planning for river restoration. Fact Sheet 9.