



兵庫県安室川における希少藻類チスジノリをシンボルとした自然再生のための総合的な河川技術に関する研究

瀧, 健太郎

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2009-03-06

(Date of Publication)

2009-04-09

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙3050

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2003050>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



神戸大学博士論文

兵庫県安室川における希少藻類チスジノリを
シンボルとした自然再生のための
総合的な河川技術に関する研究

2009年1月

瀧 健太郎

目次

第1章 序論	1
1.1 はじめに	1
1.2 河川環境の保全・再生に関する河川行政の変遷，及び既往研究	1
1.2.1 河川環境の保全・再生に関する河川行政の変遷	1
1.2.2 河川環境の保全・再生に関する既往研究	2
1.3 本研究の位置付けと論文の構成	4
第2章 人為的な河床攪乱による河川環境の修復実験とその検証	9
2.1 概説	9
2.1.1 二級河川千種川水系安室川の概要	9
2.1.2 チスジノリ(<i>Thorea Okadae</i>)	9
2.1.3 安室川自然再生計画検討会	11
2.1.4 安室川自然再生計画	11
2.2 チスジノリの生態に関する仮説	12
2.3 河床材料の研磨・転石	13
2.3.1 研磨・転石実験の実施方法	13
2.3.2 研磨・転石実験の結果と考察、及び今後の実施方針	13
2.4 農業用井堰群の連続転倒によるフラッシュ放流実験	15
2.4.1 フラッシュ放流実験の実施方法	16
2.4.2 フラッシュ放流実験の結果	17
2.4.3 フラッシュ放流実験結果の考察、及び今後の実施方針	21
2.5 結語	22
第3章 中小河川における河川環境の改善を前提とした河道計画手法の開発	25
3.1 概説	25
3.2 河道計画手法の開発	25
3.2.1 目標とする河川環境の設定	26
3.2.2 自己流区間の河道計画	26
3.2.3 背水区間(感潮区間)の河道計画	31
3.3 適用と考察	34
3.3.1 自己流区間での適用	34
3.3.2 背水区間(感潮区間)での適用	34
3.4 結語	37

第4章 中小河川での実用性を考慮した自然再生計画のための二次元水理モデルの開発	41
4.1 概論	41
4.2 水理モデルの構築	42
4.2.1 水理モデルの構成	42
4.2.2 解析対象区間	43
4.2.3 メッシュ分割	43
4.2.4 植生抵抗のモデル化	44
4.3 水理モデルの適用と考察	46
4.3.1 水位の再現性	46
4.3.2 植生の倒伏過程の再現性	46
4.3.3 植生抵抗と河床抵抗の評価	47
4.3.4 水理モデルの空間分解能の検証	49
4.4 結語	51
第5章 河川環境改善に向けた順応的な河道管理手法	55
5.1 概説	55
5.2 河川環境改善の方針及び設計条件の設定	55
5.2.1 検討方針	55
5.2.2 設計条件	55
5.2.3 河道設計に用いる水理モデル	57
5.3 河道設計及び試験施工の結果と考察	57
5.3.1 現況流路の改変(付替え・掘削等)による瀬・淵の再生	57
5.3.2 砂州の(部分的な)切り下げによるたまりの再生	59
5.3.3 砂州の(部分的な)切り下げによる大型淵(湧水)の再生	59
5.3.4 砂州の切り下げによる外来植物の侵入抑制	62
5.4 結語	64
第6章 安室川における希少藻類チスジノリの生育適地の推定	67
6.1 概説	67
6.2 チスジノリの適地条件に関する仮説の検証	67
6.2.1 チスジノリの適地条件に関する仮説	67
6.2.2 調査区間の設定とメッシュ分割	68
6.2.3 チスジノリの分布情報	68
6.2.4 仮説を検証するための評価指標(物理特性値)	68
6.2.5 仮説の検証と考察	69
6.3 チスジノリの適地推定	77
6.3.1 適地推定モデルの設計	77
6.3.2 適地推定モデルの適用と考察	79
6.4 結語	82

第7章 住民協働型の河川管理体制を構築するための実践技術	85
7.1 序論	85
7.1.1 河川管理における諸課題の整理 - 特に中小河川に着目して -	85
7.1.2 河川管理に関わる市民活動の現状	87
7.2 安室川における協働型管理体制	88
7.2.1 安室川自然再生計画検討会・技術部会の構成	88
7.2.2 重点実施施策の協働実施体制の構築プロセス	88
7.3 成功要因の分析と考察	97
7.3.1 成功要因の分析	97
7.3.2 河川技術・河川技術者の担う役割	99
7.4 結語	100
 第8章 結論	 103

第 1 章

序論

1.1 はじめに

本論文は、二級河川千種川水系安室川(兵庫県赤穂郡上郡町)をフィールドに、都道府県が管理する二級河川及び一級河川(指定区間)(以下、「中小河川」という。)への適用性を考慮しながら、希少動植物を再生のシンボルとして河川環境を保全・再生するための実践的な河川管理手法について検討したものである。

1.2 河川環境の保全・再生に関する河川行政の変遷，及び既往研究

1.2.1 河川環境の保全・再生に関する河川行政の変遷

明治 29 年(1896 年)に河川法が制定されて以来、公有財産である河川を行政機関(河川法に定められる河川管理者)が預かり、時代の要請に応じた河川整備が進められ、これまでのわが国の経済的發展に大きく貢献してきた。このような中、近年では、近代化に伴うライフスタイルの変化と相まって、人と川との関わりは希薄化し、人々の普段の暮らしやまちそのもの、興味そのものが川から遠ざかり、結果として、河川環境の劣化が多くの河川で指摘されるようになった¹⁾。

河川環境保全の重要性が認識されるようになったのは、高度経済成長期の水質問題が契機と言われている。昭和 40 年代にはオープンスペースとしての利用、昭和 50 年代には親水性の向上、昭和 60 年代には河川とまちづくりの一体化が河川環境の主な課題として注目された。さらに、自然生態系や景観などが重視され、平成 2 年(1990 年)には、建設省(当時)の通達『多自然型川づくり』の推進について²⁾により、河川が本来有している生物の良好な成育環境に配慮し、あわせて美しい自然景観を保全あるいは創出する河川整備の実施が位置付けられた。平成 7 年(1995 年)には、建設省(当時)の諮問機関である河川審議会から「21 世紀の社会を展望した今後の河川行政のあり方について」¹⁾が答申され、今後の河川環境行政においては、生物の多様な生息・生育環境の確保、河川と地域の関係の再構築を基本方針とすることが示された。

このような河川環境に対する要請を踏まえ、平成 9 年(1997 年)には河川法が改正され、治水・利水とならび、河川環境の整備と保全が河川管理の目的に加えられた。さらに、平成 14 年(2002 年)には、国土交通省により河川環境の保全を目的に流域の視点を含めた川のシステムを再生する「自然再生事業」が制度化され、失われた湿地環境、旧河道を活かした蛇行河川、あるいは砂礫

河原の復元などが各地で事業化された。そして同年、自然再生推進法が制定され、自然環境の保全・再生が国家的な取り組みへと発展を遂げた。

平成18年(2006年)には、有識者会議(多自然型川づくりレビュー委員会)からの提言「多自然川づくりへの展開」³⁾を踏まえ、国土交通省により「多自然川づくり基本方針」が定められた⁴⁾。提言「多自然川づくりへの展開」の中では、「多自然型川づくり」の課題として、限られた区間内で画一的な整備(例えば、水際部における自然石護岸の設置など)に終始する事例が多かったことや、事後のモニタリングはほとんど実施されていないことなどが挙げられ、「多自然川づくり」の方向性として、1)個別箇所の自然から河川全体の自然の営みを視野に入れること、2)地域の暮らしや歴史・文化と結びつきを考慮すること、3)施工時のみでなくその後の河川管理全般を視野に入れること、の必要性が提言された。さらに「多自然川づくり基本方針」の中では、「多自然川づくり」を「河川全体の自然の営みを視野に入れ、地域の暮らしや歴史・文化との調和にも配慮し、河川が本来有している生物の生息・生育・繁殖環境及び多様な河川景観を保全・創出するために、河川管理を行うことをいう。」と定義しており、調査、計画、設計、施工、維持管理等の河川管理におけるあらゆる行為が多自然川づくりの対象とされることとなった。

1.2.2 河川環境の保全・再生に関する既往研究

河川環境の保全・再生を効率的に進めるには、1)汎用性のある計画・設計論、2)計画・設計に用いる解析ツール、3)実施及び持続的な管理体制を整える必要がある。以下に、計画・設計論、解析技術、実施・管理体制の3つの視点から、河川環境の保全・再生に関する現状と課題について整理する。

(1)河川環境の保全・再生の計画・設計論

多自然川づくりや自然再生の分野では、国が管理する一級河川(以下、「直轄管理河川」とする。)を中心に、流域全体を視野に入れ、順応的管理プロセスを組み込んだ先進的な事例が次々と生みだされているが、一方で川の個性を重視せず、安易な工法選定での整備にとどまっている事例も未だに見受けられる。特に中小河川では、人々の生活に身近な水辺として環境保全・再生へのニーズは高いものの、直轄管理河川に比べて十分な対応がとられていない。中小河川は直轄管理河川に比べて一河川あたりの予算規模が小さく、所要の治水安全度の確保も遅れている。そのため中小河川においては、どうしても義務的な責任範囲が明確な治水に重点を置いた予算編成がなされるなど、河川環境の保全・再生のための十分な執行体制がとられ難い状況にあると言える。

ところで、多自然(型)川づくり等、環境保全・再生に配慮した河道計画・設計技術に関する実務者用のマニュアルは、中小河川向けにもこれまでいくつか出されている(例えば、財団法人リバーフロント整備センター⁵⁾⁶⁾など)。しかしこれらの内容は、従前の画一的な設計思想への反省から、計画・設計論は示されているものの抽象的で幅のある表現となっているか、単なる事例集のレベルに留められている場合が多く、実務者にとって必ずしも使いやすいものとなっていない。

国土交通省が提供する実務者用のガイドライン⁷⁾では、自然再生事業を進める場合、人為的改変と河川の物理環境及び生物相との応答関係を調査・分析し、その結果を踏まえ、モニタリングとフィードバックの仕組みを組み込んだ順応的な再生計画を立案するという、基本的な過程が紹介されており、直轄管理河川ではこの過程に倣って再生計画を策定し事業化に至っているが、既往調査(例えば、社団法人自然環境共生技術協会⁸⁾など)によれば、中小河川においては、このような過程を経て計画から実施まで至った事例がほとんど報告されていない。

このようなことから，中小河川の環境保全・再生をより効率的に進めていくためには，直轄管理河川などでの事例から得られた知見について，中小河川の特性を尊重しつつも本質を損ねることなく，できるだけ使いやすい方法に変換し，実用性の高い計画・設計・実施方法を体系化することが喫緊の課題であると考えられる．

(2) 河川環境の保全・再生の計画・設計に用いる水理解析モデル

良好な河川環境を持続的に回復させるためには，河川に何らかの人為的改変を加える必要があるが，これらの人為的改変の方法を検討する場合，着目する生物の生育・生息環境のスケールに合わせた水理量の時間・空間変化を推定することが効果的と考えられる．例えば，魚類や河道内植物等を対象とした場合，彼らの生息・生育環境を構成する瀬・淵，たまり，砂州などの河道微地形と流水との関係が重要となる．

実務レベルで用いる水理解析モデルの多くは，高水計画検討用に使用目的が特化され，計画規模を大きく下回るような洪水への適用には限界がある．一般的なマニュアル(例えば，財団法人国土技術研究センター⁹⁾・中小河川計画検討会¹⁰⁾)では，主として高水計画検討のための解析方法が示されており，これらの方法は，「計画の基本となる洪水を安全に流下させる」という河川管理の義務的責任に関わることから，計画高水流量時の水理現象を安全側(水位を低く見積もらないように)に評価することに重点が置かれている．一方，河川環境を構成する瀬・淵，たまりなどの河道内微地形の遷移を支配する流量は，計画高水相当の大きな流量よりもむしろ，平水時の流量から平均年最大流量までと考えられている．そのため，河川環境の保全・再生計画の検討を目的とする解析では，平水時や平均年最大流量時の水理現象や，ピーク水位に至るまでの過程の再現性に重点を置く必要がある．

ピーク流量が平均年最大流量に満たない洪水の場合には，河道内に生育する木本群落に加え，ツルヨシなどの高茎草本群落の抵抗が流れに大きく影響する．すなわち，解析モデルの再現性を確保するためには，河道内樹木や植生の倒伏過程での流水抵抗を考慮することが求められる．

また，瀬・淵，たまり，河道内の植生，礫河原などの河道内要素は，面的な広がりを持つとともに，時々刻々とその状態を遷移させる．水深，流速，摩擦速度(掃流力)などを介して流水が河川環境に与える影響を評価するには，これらの水理諸量の時空間変化を把握することが効果的と考えられる．

河道内植生の倒伏過程を考慮した解析に関する既往研究では，ヨシを片持ち梁と見なし，その有限変形をモデル化するなど，洪水外力による草本類のたわみ挙動を力学的に解析する考え方が一般的となっている(例えば，室田ら¹¹⁾，中川ら¹²⁾，辻本ら¹³⁾，末次ら¹⁴⁾，狩野ら¹⁵⁾など)．また，服部ら¹⁶⁾は，植生(ヨシ)の葉と茎に作用する抵抗を個別に評価し，ヨシ群落の密生の度合いに応じた流れの過程及び倒伏状態に応じた抗力を評価し，抗力係数を与える手法を提案している．さらに宮崎ら¹⁷⁾は，一級河川庄内川において，服部らの手法を準二次元不等流計算に適用し良好な再現性を得ている．

しかしこれらの研究では，河道微地形に作用する水理量の時間変化を面的に再現することは考慮されていない．その後，前野ら¹⁸⁾は，リーチスケール¹⁹⁾や数 km 区間レベルの植生管理への実用性を意識し，主に木本類に適用されている既往の植生抵抗モデルを拡張した．前野らの方法では，平面二次元非定常流モデルに草本類の密生度と倒伏度合(直立，1/2 倒伏，1/4 倒伏)に応じた抗力係数が与えられており，一級河川旭川においてモデルの再現性が確認されている．ただしこの方法では，植生の密生度は，解析モデルの計算水位が粗度係数を用いた一般的な計算水位に最

も近づくように定められ、その値が適用区間に一様に与えられる。したがって、密生度の空間分布は考慮されず、植生の繁茂状況のバラツキが水量の空間分布に与える影響までは評価されない。そのため、対象種によっては生育・生息環境のスケールでの水量の応答が詳細に評価されない可能性もある。

(3) 協働型河川管理体制を構築する実践技術

中小河川においては、近年の都道府県の財政状況の悪化により財源が不足し、河川の維持管理(草木伐採や浚渫など)に十分な事業費が充当されない場合もあり、河川が有する治水機能を維持することが困難になってきている。また、河川には、治水機能の確保に加えて、河川環境の保全も含めた多様な機能を確保することも求められており、維持管理費の大幅な積み増しが期待できない中であって、住民協働型の河川管理を展開することが河川行政上の喫緊の課題とされている。

前述のように、明治29年(1889年)に河川法が制定されて以来、公費による河川管理が浸透し、近代化に伴うライフスタイルの変化と相まって、人と河川との関わりの希薄化が進んだ。これに対し、平成9年(1997年)には河川法が改正され、河川整備計画の策定時には地域住民からの意見聴取・反映が新たな義務として河川管理者に課せられることとなった。また、平成14年(2002年)に創設された自然再生事業においても、住民参加による計画策定プロセス、維持管理体制の構築などが事業の採択条件となるなど、住民協働は河川管理の前提となってきている。

このような中、最近では、住民協働型の河川管理の好事例が全国で散見され報告されている(例えば、「いい川・いい川づくり」研究会²⁰⁾、財産法人リバーフロント整備センター²¹⁾)。しかし一方で、良好な協働管理体制を構築するための実践技術の体系化はあまり進んでおらず、研究成果も少ない(例えば、山道ら²²⁾、流域懇談会²³⁾、滋賀県²⁴⁾など)。このため実務レベルでは、行政組織としての知見は蓄積され難く、住民ニーズも多様化する中で、事例ごとに試行錯誤を繰り返さざるを得ない場合が多い。特に都道府県では技術職員の部局間の異動も頻繁で、技術者個人としての知見の蓄積も困難な状況にあり、協働体制を構築するための実践技術を体系化することが重要な課題となっている。

1.3 本研究の位置付けと論文の構成

これまで述べたように、中小河川での環境の保全・再生に関する分野において、計画策定から実施、維持管理に至るまでの河川管理に関する技術は、未だ一連のものとして体系的に示されていない。そこで本論文は、中小河川への適用性を意識しながら、二級河川千種川水系安室川(兵庫県赤穂郡上郡町)をフィールドに、希少動植物を再生のシンボルとして、河川環境を保全・再生させるための実践的な河川技術について総合的に検討する。

第2章では、人為的改変、物理環境及び生物相との応答関係を踏まえ、既存(物的・人的)資源を活用した人工的な河床攪乱によって希少種の生育環境の改善を図る方法について、安室川での実証実験を通じて具体的に考察する。安室川では、夏期出水による河床攪乱が希少藻類チスジノリ(*Thorea Okadae*)の生育に好影響を与えるとの知見が得られている(佐藤ら²⁴⁾)。そこで第2章では、それらの知見を踏まえ、既設農業用井堰の連続転倒によるフラッシュ放流、及び、人の手作業による河床材料の研磨・転石による河床攪乱を実験的に行い、これらの人為的行為が出水によ

る河床攪乱の効果を代替できるかどうかを検証する。また、その結果を踏まえた有効な実施計画の立案を試みる。

第3章から第5章では、治水機能を確保しながら、河道形状に人為的な改変を施し、良好な河川環境を復元する方法について考察する。

第3章では、特に中小河川における実務レベルでの実用性を考慮しながら、河川環境の保全・再生を前提とした具体的な河道計画手法を検討する。具体的には、既往研究成果(特に、洪水流と中規模河床波との関係に関する既往研究、直轄管理河川での実験結果など)を再整理し、中小河川でも比較的容易に取り扱える水理諸元(平均年最大流量、掃流力、川幅水深比など)を評価項目とし、治水安全度の確保だけでなく、自然の営力(ダイナミズム)により、瀬・淵、たまり、砂州、多様な水際など、各河川が固有に有すべき物理環境を形成・維持できる河道計画の立案手法を示す。

第4章では、人為的改変が河川の物理環境や生物相に与える影響を予測するため、中小河川でも通常得られる情報をもとに構築でき、瀬・淵、たまりなどの河道微地形や対象種の生息・生育環境のスケールに応じた水理量の時間・空間変化を評価できる解析モデルを開発する。

第5章では、第3章で示した河道計画手法、及び第4章で構築した水理モデルを安室川に適用し具体的な河道設計を試みる。さらに、試験施工により改変の効果を検証するとともに、今後の順応的な河川管理方法について考察する。

第6章では、人為的改変と河川の物理環境や生物相との応答関係を定量的に評価する手法を提案する。既往調査結果からチスジノリの生態に関する仮説を立て、河川の物理環境を代表する指標として、水理量(水深・流速・摩擦速度)、日照時間、表面水温などの物理量を選定し、生物相を代表する指標として、チスジノリの分布範囲と個体数を選定して、統計的手法を用いて定量的にこれらを比較しチスジノリの好適生育条件を推定する。

第7章では、安室川での環境改善が進められる中で醸成された良好な協働管理体制について、その形成プロセスに着目して成功要因を分析する。また、分析結果を踏まえ、中小河川での河川環境の保全・再生を目指す場面において、持続可能な住民協働型の河川管理体制を構築するための共通した留意点を抽出・整理し、一般化を試みる。

第8章では、本研究のまとめと結論を述べる。

参考文献

- 1) 河川審議会：21世紀の社会を展望した今後の河川整備の基本的方向について，河川審議会答申，1996．
- 2) 建設省通達：「多自然型川づくり」の推進について，河治発第56号・河都発第27号・河防発第144号，1990．
- 3) 多自然型川づくりレビュー委員会：多自然川づくりへの展開」，委員会提言，2006．
- 4) 国土交通省河川局通知：多自然川づくり基本指針，2006．
- 5) 財団法人リバーフロント整備センター編：中小河川における多自然型川づくり～河道計画の基礎技術～，1997．
- 6) 財団法人リバーフロント整備センター編：多自然川づくりポイントブック，2006．
- 7) 国土交通省河川環境課：自然再生事業～計画から実施までの考え方(案)～，2005．
- 8) 社団法人自然環境共生技術協会編：自然再生事業の進め方に関する研究について，2005．
- 9) 財団法人国土技術研究センター編：河道計画検討の手引き，山海堂，2002．
- 10) 中小河川計画検討会：中小河川計画検討の手引き(案)～洪水防御を中心として，財団法人国土開発技術研究センター編，1999．
- 11) 室田明，福原輝幸：直立性の植物を有する開水路の流水構造について，第28回水理講演会論文集，pp.225-231，1984．
- 12) 中川博次，辻本哲郎，北村忠紀，藤井康嗣：流れによって変形する植生粗度の抵抗則，土木学会論文集第39巻，pp.465-470，1995．
- 13) 辻本哲郎，北村忠紀：柔軟な植生粗度を伴う流れに関する研究，土木学会論文集，No.607/II-45，pp.29-44，1998．
- 14) 末次忠司，藤田光一，服部敦：流れによる変形を考慮した高茎草本植物の抵抗則，国土技術政策総合研究所資料，No158，2004．
- 15) 狩野晋一，森吉尚：高茎草本の洪水時の挙動，リバーフロント研究所報告，第15号，pp.102-109，2004．
- 16) 服部敦，瀬崎智之，近藤和仁，藤田光一：ヨシ群落上流れに関する大型水路実験と抵抗則の検討，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集第2部，pp.616-617，2000．
- 17) 宮崎誠，本田信二，川瀬宏文，栗村直彦，鬼頭政徳：洪水時のヨシ群落の力学的特性を考慮した河道水理検討手法に関する考察，河川技術論文集，第9巻，pp.79-84，2003．
- 18) 前野詩郎，渡辺敏，藤塚佳晃：簡易に得られる植生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．
- 19) 辻本哲郎：砂州景観保全を河川生態工学からどう意義づけるか，河川技術論文集，第10巻，pp.43-48，2004．
- 20) 「いい川・いい川づくり」研究会：私たちの「いい川・いい川づくり」最前線，学芸出版社，pp.195-236，2004．
- 21) FRONT 編集部編：川からはじまる人づくりまちづくり，財団法人リバーフロント整備センター，2006．
- 22) 山道省三，森清和：多摩川をモデルとした「河川環境」の保全に関する住民参加型の手法，制度についての調査・研究，多摩川環境調査助成集，Vol.22，No.119，1997．

-
- 23) 流域交流懇談会：パートナーシップではじめる<いい川づくり>，1996．
 - 24) 滋賀県，第3回世界水フォーラム分科会「流域管理と住民参加」開催報告，滋賀県土木交通部河港課，2003．
 - 25) 佐藤裕司，横山正，真殿克磨，辻光浩，水野雅光，魚留卓，妹尾嘉之，杉野伸義，永野正之，三橋弘宗，浅見佳世，道奥康治，原田一二三：兵庫県上郡町・安室川における淡水産紅藻チスジノリ配偶体の出現—特に河川の流量変化との関係について—，陸水学雑誌，67，pp.127-133，2006．

第2章

人為的な河床攪乱による河川環境の修復実験と その検証

2.1 概説

2.1.1 二級河川千種川水系安室川の概要

二級河川千種川の支川安室川は、兵庫県南部の最西端にある赤穂郡上郡町に位置し(図-2.1)、流域面積 65km²、流路延長 17km、流域の年間降水量は 1,260mm(アメダス上郡 1982-2001 年平均)の典型的な中小河川である。

上流部(安室ダム～農業用井堰群、写真-2.1～写真-2.2)は、1/100～1/400 の河床勾配で山間部の様相を呈している。また安室ダム(洪水調節容量 1,800,000m³、利水容量 2,300,000m³、ダム地点における計画高水流量 100m³/s のうち 15m³/s(最大 25m³/s)を放流)や農業用井堰群による連続した湛水域が形成されている。

下流部(有明橋～千種川合流点、写真-2.3～写真-2.6)は、1/400～1/600 の河床勾配で河川沿いに低平地が広がる。この区間には農業用井堰はなく、いくつかの箇所では湧水が確認されており、付近には、チスジノリ(*Thorea Okadae*)が生育する。

2.1.2 チスジノリ(*Thorea Okadae*)

チスジノリ(*Thorea Okadae*)は、日本固有の淡水産紅藻類で、兵庫県では絶滅種¹⁾に、環境省 RDB では絶滅危惧 類²⁾に指定されており、国内でも産地が限定されている。淡水産の紅藻類は少なく、世界でも 100～200 種程度と推定されており、その多くは進化の早い時期に淡水に進出して、独自にその後の進化を遂げたと考えられている。

チスジノリは雌雄異株で、大型の配偶体(写真-2.7 左)、受精後接合子上に発達する果孢子体、シャントランシア期の小型の胞子体(*Chantransia stage*、以下、「シャントランシア体」と呼ぶ、写真-2.7 右)の三世代を交代する生活環を持つ(吉崎³⁾。

安室川では、昭和 40 年代には「珍しい藻」として地元で知られ、平成 3 年(1991 年)11 月にチスジノリとして生物学的に同定された(田村ら⁴⁾、瀬戸ら⁵⁾)。また安室川では、有性世代の配偶体は秋から春にかけて出現し、無性世代のシャントランシア体は周年で生育することが確認されている⁶⁾。しかし、配偶体発生メカニズムや生育に必要な環境条件等については、ほとんど明らかにされていない(平成 21 年(2009 年)1 月現在)。

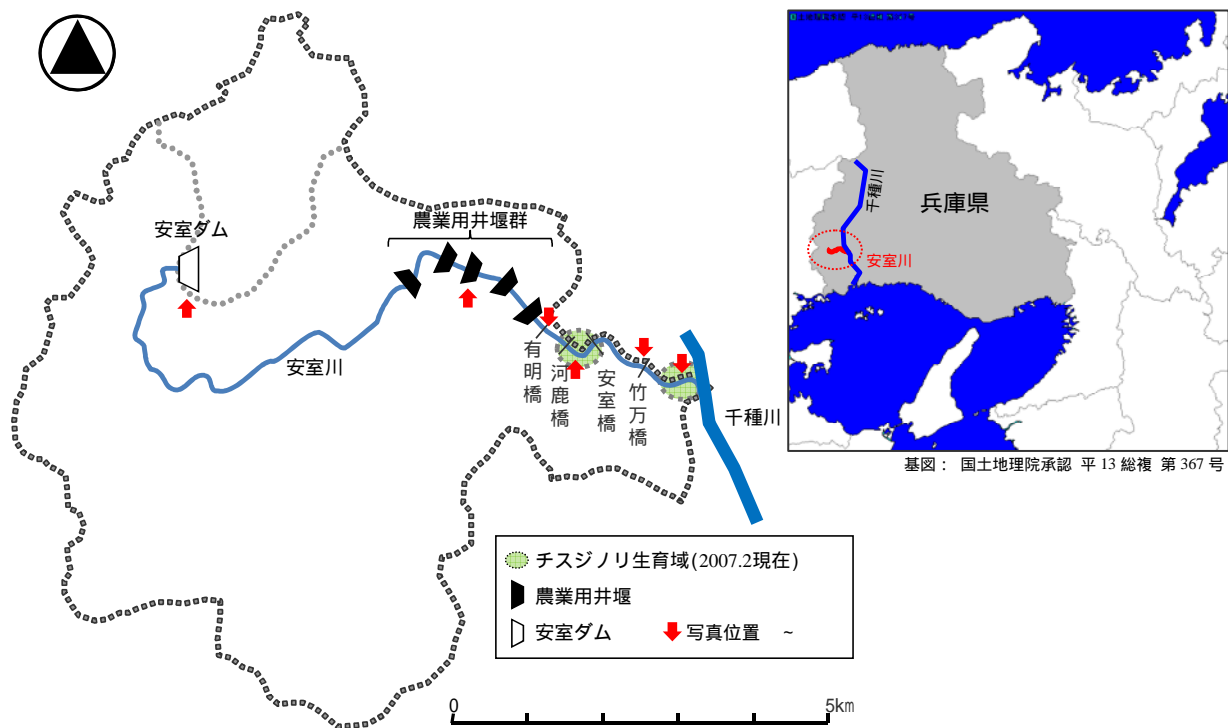


図-2.1 安室川流域図



写真-2.1 安室ダム()



写真-2.2 麦尻井堰(下流から3基目)()



写真-2.3 河鹿橋付近(下流側から撮影)()



写真-2.4 竹万橋付近(竹万橋より上流側)()



写真-2.5 千種川合流部付近()



写真-2.6 護岸近傍の湧水(有明橋付近)()



写真-2.7 配偶体(左)とシャントランシア期の孢子体(右)

2.1.3 安室川自然再生計画検討会

安室川では、昭和 50 年代に、営農形態の変化、周辺土地利用の高度化等に対応するため、河道拡幅、多目的ダム(安室ダム)の建設、農業用井堰の改築等の水害対策と水資源開発が進められた。しかしその後、瀬・淵、たまり、湧水の減少、砂州の陸地化、陸生の侵略的外来植物の侵入など、河川環境の劣化が顕在化した。そして、チスジノリも平成 7 年(1995 年)3 月以降は確認されない状態が続き、平成 15 年(2003 年)度には兵庫県の絶滅種に指定された¹⁾。

このような中、平成 14 年(2002 年)12 月に、河川管理者である兵庫県西播磨県民局により、安室川の劣化した河川環境の再生方策を検討するため、学識経験者、内水面漁業組合や周辺土地改良区などの関係者で構成される「安室川自然再生計画検討会」(以下「検討会」)が発足され、チスジノリ生態の解明に向けた調査が開始された。

検討会では、毎月の悉皆調査など専門家による様々な調査がなされ、平成 17 年(2005 年)3 月までに、多くの新たな知見が得られている⁷⁾。主なものを以下に列挙する。

- 1) 年間の水位変動と確認個体数に関する過去の調査記録が集約され、夏期の洪水規模が冬期の配偶体の出現に影響している可能性が示唆された(佐藤ら⁸⁾、表-2.1)。平成 15 年(2003 年)8 月に台風 10 号による比較的大きな出水があったことから、検討会は平成 16 年(2004 年)1 月にかつての生育域で悉皆調査を実施し、約 9 年ぶりにチスジノリの生育を確認した。
- 2) 悉皆調査により、安室川では未確認であったシャントランシア体が初めて発見され、その後は、配偶体と識別して目視により調査することが可能となった。
- 3) 悉皆調査で確認した配偶体の生育箇所の物理環境条件を計測、集約した(表-2.2)。この結果、周辺に比べて平常時の水深、流速が比較的大きい箇所、湧水付近に多くの配偶体が分布する傾向が確認された。

ただし、平成 16 年(2004 年)1 月の再確認後も、チスジノリ(配偶体)の確認個体数は不安定に変動しており、未だに絶滅の危機は払拭できたとはいえない状況にある。

2.1.4 安室川自然再生計画

平成 16 年(2004 年)10 月には、検討会での様々な調査研究の成果を踏まえ、兵庫県西播磨県民局により、チスジノリを再生のシンボルとした「安室川自然再生計画」が策定された⁹⁾¹⁰⁾。同計画では、チスジノリに代表される安室川の河川環境の健全性を取り戻すことを目的に、(1)人工

表-2.1 最高水位(竹万水位観測局)と配偶体数^{11), 12)}

年	最高水位 (8-9月) (m)	最高水位 (10-11月) (m)	配偶体が確認された個体数	
1992	3.04	2.23	多数	(‘92.10-’93.3)
1993	2.43	2.08	1000以上	(‘93.10-’94.3)
1994	2.05	1.85	97	(‘94.10-’95.3)
1995	1.91	1.91	-	(‘95.10-’96.3)
1996	2.32	1.97	-	(‘96.10-’97.3)
1997	2.49	1.86	-	(‘97.10-’98.3)
1998	2.90	3.20	-	(‘98.10-’99.3)
1999	2.34	1.91	-	(‘99.10-’00.3)
2000	1.94	2.30	-	(‘00.10-’01.3)
2001	2.41	2.45	-	(‘01.10-’02.3)
2002	1.16	1.50	-	(‘02.10-’03.3)
2003	3.88	2.13	129	(‘03.10-’04.3)
2004	3.49	3.34	3	(‘04.10-’05.3)

注) 夏期(8-9月)の出水のうち2.40mを超えるものに E

表-2.2 悉皆調査結果から集約された配偶体の生育地の物理条件¹³⁾

項目	範囲
水温	7~30
流速	30~100cm/sec
水深	30~100cm

表-2.2 に示す流速は、可搬型電磁流速計 ACM-100D(アレック電子株式会社製)を用いて計測した、底層(川底から3cm~5cm 付近)の値。

的な河床攪乱と、(2)失われた流れの多様性(瀬・淵，湧水，たまり)を有する河道の再生，が重点実施施策に位置付けられた。

その他，千種川合流部付近の湿地再生や，地域住民と安室川との関わりをとり戻すための学習会・イベント等の開催なども重点実施施策とされた。これらの施策は，チスジノリ生態に直接的に関連するものではない。このように，同計画はチスジノリをシンボルとするものの，安室川の良好な河川環境を再生することを目標としており，チスジノリの生態に直接影響を与えない施策も加わっている。

2.2 チスジノリの生態に関する仮説

安室川自然再生計画で設定された重点実施施策について，効果的な実施計画を立案するため，既往研究や検討会による悉皆調査の結果を集約し⁸⁾¹⁴⁾¹⁵⁾，チスジノリ生態に関する仮説を次のように設定した。

- 1) 夏期の出水による河床攪乱により，河床堆積物や付着藻類が除去され，チスジノリの胞子体の着床の機会が増える。(夏期の河床攪乱が減少したため，チスジノリが減少した。)
- 2) 普段からある程度の深さ(0.34 ± S.E.0.09m，悉皆調査の集計値)と流れがある場所，河床がきれいな場所，日陰など日光が届きにくい場所，湧水付近，に分布しやすい。(好適生育環境が面的に減少したため，チスジノリが減少した。)

仮説 1)はチスジノリの発生条件に関する仮説で，2.1.4 で示した重点実施施策「(1)人工的な河床攪乱」に対応する。また，仮説 2)はチスジノリの好適生育条件に関する仮説で，2.1.4 で示

した重点実施施策「(2)失われた流れの多様性(瀬・淵,湧水,たまり)を有する河道の再生」に対応する。これらは共に競合する藻類(例えば,カエトフォラ(*Chaetophorales*, 緑藻類), ディアトマ(*Diatoma*, 珪藻類))の一次生産が抑制される条件であると考えられる。

2.3 河床材料の研磨・転石

本研究では,安室川自然再生計画の重点実施施策である「(1)人工的な河床攪乱」を効果的に実行するため,手作業による河床材料の研磨・転石を実験的に実施した。本節では,これらの研磨・転石実験の方法及び結果を示し,チスジノリ生態への効果を検証するとともに,今後の実施方策について考察する。

2.3.1 研磨・転石実験の実施方法

ある程度の規模(例えば,平均年最大規模など)で洪水が発生した場合,流水の作用により,河床材料に付着する微細粒分や付着藻類が剥離するとともに,河床材料そのものも移動する。このような自然的な河床攪乱を代替するため,人間が手作業で河床材料を研磨する(磨く),転石する(耕す),という2つの手段により,直接的に河床を攪乱することを試みた。

研磨(磨く)実験区では,護床ブロックやコンクリート護岸等の河川構造物の表面を,付着物が剥ぎ取られるまで市販の金属ブラシを用いて研磨した。転石(耕す)実験区では,河床材料を水中で持ち上げ,堆積している微細粒分をゆすぎ落としてから,上下逆にして河床に戻した。上下逆にすると,付着藻類は日光の届かない礫の裏側で光合成ができなくなりほとんどが死滅する。

研磨・転石実験の実験箇所として,実験実施時(2005.9 現在)に配偶体の生育が確認されている箇所(1箇所),及び,過去に生育が確認されたことがある箇所(2箇所)の計3箇所を選定した(図-2.2)。また実施時期は,出水期の終盤で単孢子体が形成される9月中下旬とした。

実験箇所(a)及び(b)では,研磨・転石の効果を統計的に検証するため,図-2.3に示すように,研磨あるいは転石を行なう実験区と何もしない対照区とを交互に10区画ずつ設けた。実験前に生育が確認されていない実験箇所(b)及び(c)では,単孢子体の供給源として上流部にシャントランシア体付きの河床礫2~3個を実験前に移植した。また実験箇所(c)では,上郡町立山野里小学校の低学年の学童で構成される「山野里なんでも体験隊」を集め,環境学習の一環として研磨・転石(「川を耕す・磨く」イベント)を行なった。ここでは,実験区と対照区とを区別しないことや,魚取りの時間帯を設けるなど学童の集中力や興味が失われないよう工夫した(第7章で詳述)。

配偶体の発生状況を実験箇所(a)及び(c)では月に1回のペース,実験箇所(b)ではおよそ週に1回のペースで目視確認を行なった。実験箇所(b)では,上郡町立上郡中学校科学部によりデータが収集され,配偶体数だけでなく,10ずつある転石実験区と対照区のうち,最上流部にある各2区画(2実験区,2対照区)でシャントランシア体付き礫の個数も集計された。

2.3.2 研磨・転石実験の結果と考察,及び今後の実施方針

(1) 配偶体への効果

表-2.3で示すように,実験箇所(a)では実験区に,実験箇所(b)では対照区に,配偶体が1株

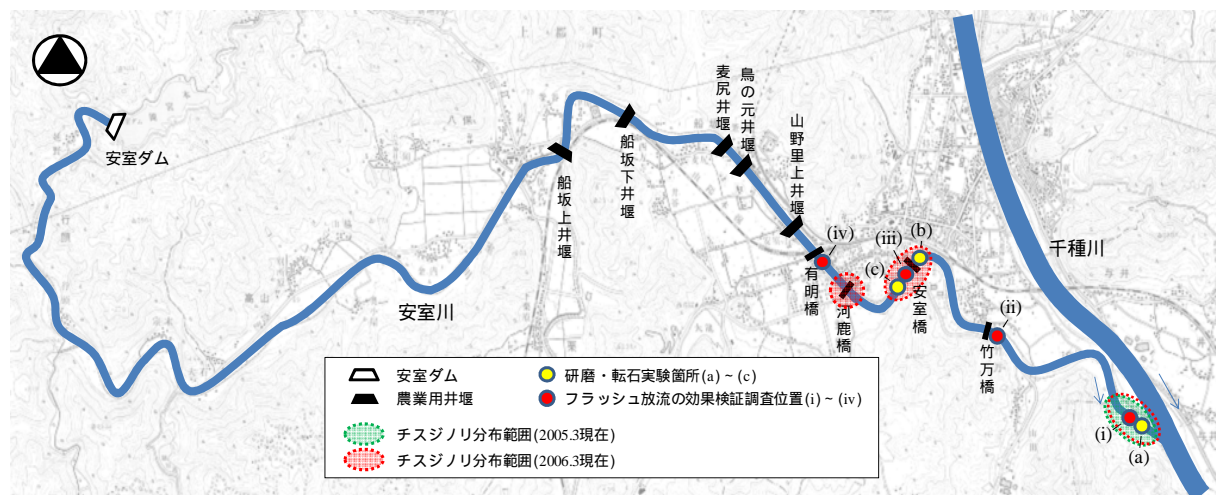
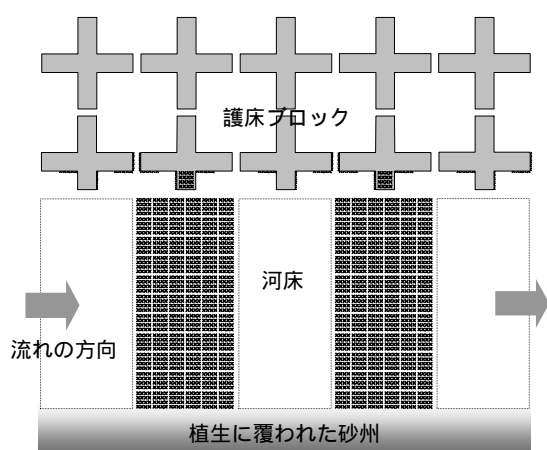


図-2.2 研磨・転石，フラッシュ放流実験に関連する調査位置図



(■ : 実験区, 無印 : 対照区)

図-2.3 実験区と対照区の設定例(実施箇所 b)



写真-2.8 現地の状況(実験箇所 b)

ずつ確認された。しかし、確認された個体数が少なく、実験区と対照区との差異について統計的な有意性を確認するには至らなかった。

実験箇所(a)及び(b)以外では、9月中旬に「山野里なんでも体験隊」による研磨・転石がなされた実験箇所(c)や、上流部で平成16年(2004年)に新設された河鹿橋の橋脚付近で配偶体の発生が新たに確認された(図-2.2)。新たに配偶体の発生した箇所は、研磨・転石が行われたり、橋梁工事が行われたりするなど、人為的な河床攪乱があった場所と一致しており、2.2の1)で示した「河床攪乱が配偶体の発生を促進する」との仮説を肯定するものであり、研磨・転石等による人工的な河床攪乱が配偶体の発生を促進させる方法として有効であることが示唆された。

(2) シアントランシア体への効果

実験箇所(b)では、図-2.4で示すように、実験区でシアントランシア体の顕著な増加が確認された。転石後、一時的にシアントランシア体の数は減少するが、2週間程度で対照区の個体数と同等に回復しており、研磨・転石がシアントランシア体を増やす試みとして有効であることが示唆された。

表-2.3 研磨・転石箇所のチスジノリ発生状況

実験内容	実験箇所 a		実験箇所 b	
	シャントランシア体	配偶体	シャントランシア体	配偶体
転石（実験区）	多数	1株	多数	×
転石（対照区）	多数	×	多数	×
研磨（実験区）	×	×	×	×
研磨（対照区）	×	×	×	(1株)

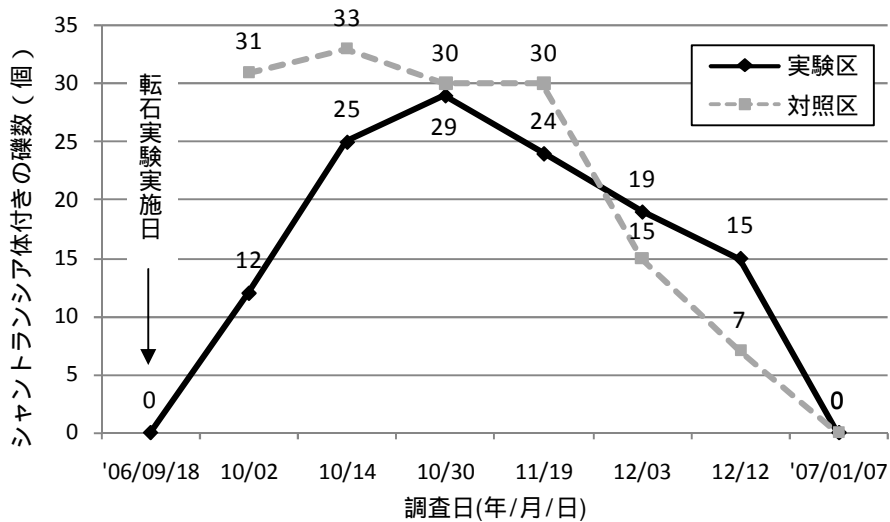


図-2.4 シャントランシア体付き礫数の比較(実験箇所 b)

(3) 今後の実施方法

以上のように、実験の結果、9月中旬に実施した研磨・転石による人工的な河床攪乱は、配偶体の発生、及びシャントランシア体の分布域の拡大に寄与することが検証された。したがって今後も、同時期に同様の方法で、広い範囲に研磨・転石を実施することが効果的であると考えられる。例えば、「山野里なんでも体験隊」により研磨・転石が継続されるだけでも、配偶体の発生機会の増加やシャントランシア体の分布域の拡大が期待される。

一方で、より効果的に研磨・転石を実施するには、更に因果関係を明確化する必要があり、仮説の有意性が確認されるまで、実験箇所(a)(b)での方法による検証調査を継続し、実例をできるだけ多く蓄積することが望まれる。なお、平成20年度(2008年度)現在においても、検討会及び上郡中学校科学部の検証実験、「山野里なんでも体験隊」による研磨・転石のイベントは継続されている。

2.4 農業用井堰群の連続転倒によるフラッシュ放流実験

次に、重点実施施策である「(1)人工的な河床攪乱」を効果的に実施するため、研磨・転石実験の他に、既設の農業用井堰群を連続的に転倒させ人工洪水を発生させるフラッシュ放流実験も

行った。本節では、これらのフラッシュ放流実験の方法及び結果を示し、チスジノリ生態への影響を検証するとともに、今後の実施方策について考察する。

2.4.1 フラッシュ放流実験の実施方法

(1) 目標の設定

チスジノリの発生要因に関する仮説 1)(2.2 参照)から、フラッシュ放流に期待される効果は、「チスジノリ胞子の着床を妨げている他の付着藻類を剥離させること」と「河床に堆積する微細粒分を掃流すること」であると考えられる。付着藻類を剥離させるためには、微細粒分を掃流するより大きな掃流力が必要となる。付着藻類の剥離条件については、河床に作用する掃流力が 1.6N/m^2 を超えると付着藻類の剥離効果が急激に増加することが室内実験で確認されている(箱石ら¹⁶⁾、戸田ら¹⁷⁾)。このことから、今回のフラッシュ放流実験では、付着藻類の剥離に必要な掃流力として 1.6N/m^2 以上を確保することを目標とした。

(2) 放流計画

フラッシュ放流に関する国内事例の多くは、河床堆積物の掃流及び水質改善を主な目的とし、洪水調節ゲートを有するダムからの放流を行っている。一方、安室ダムは自然調節方式のダムであるため、非洪水時の放流量は利水放流管の能力 $2\text{m}^3/\text{s}$ に制限される。このため、安室ダムより下流で、かつ、チスジノリ生育範囲の上流に位置する 5 基の農業用井堰(合計貯水量約 10.7 万 m^3)を連続転倒させて、所要の流量規模を確保することを試みた。なお、安室ダムは放流後の農業用井堰に水を供給するために活用した。フラッシュ放流実験に用いた各井堰の諸元を表-2.4 に示す。これらの井堰を下流側から順に一定時間間隔で転倒させることとした。

実験実施日は、チスジノリの単孢子・果孢子が放出され着床する 5 月から 9 月までの間で、利水者(農業用井堰の管理者)及び漁業者との合意が得られた平成 17 年(2005 年)9 月 21 日及び 22 日の 2 日間とした。農業用井堰群の連続転倒は 1 日 1 回ずつ 2 日連続して実施し、転倒間隔の違いによる洪水波形の応答を把握するために、1 日目と 2 日目の井堰の転倒間隔を変え、1 日目の転倒間隔を 20 分、2 日目を 15 分とした。

(3) フラッシュ放流の効果検証のための現地調査

実験時には、図-2.2 に示す調査地点(i)から(iv)の 4 箇所で、ダイバー水位計による 1 分間隔での水位計測のほか、強熱減量調査による付着藻類等の質量計測(藻類剥離調査)や、移動した河床材料の粒径の観測(移動粒径調査)を実施した。また、調査地点(ii)に近接する既設の固定水位観測局(竹万水位観測局)でも 10 分間隔で水位を記録した(通常時は 60 分間隔で測定)。

1) 藻類剥離調査の方法

十分に藻類を付着させた素焼きタイルの平板を河床に設置し、付着物の強熱減量をフラッシュ放流前後で比較することにより藻類の剥離状況を確認した。強熱減量はタイルに付着する有機物の質量に相当し、強熱残量(強熱処理後の質量と元のタイルの質量との差)は無機物の質量に相当する。すなわち、強熱減量はタイルに付着する藻類の質量で、強熱残量は付着する微細粒分の質量と見なすことができる。

具体的には、放流実験の約 1 ヶ月前に素焼きタイルの平板($0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$)を河道内に設置し、自然状態で藻類を付着させておいた。次に、図-2.5 に示すように、調査地点ごとに平板を 4 枚並べて設置し、放流前、1 回目放流後、2 回目放流後、放流後 1 ヶ月後に、1 枚ずつ付着物を採取し強熱減量を測定した。

表-2.4 フラッシュ放流に用いる農業用井堰の諸元

井堰	容量(m ³)	高さ(m)と幅(m)	門数	種別	
山野里上井堰	20,200	1.60, 44.00	1	ゴム製起伏堰	最下流
鳥の元井堰	10,000	1.80, 35.75	1	ゴム製起伏堰	
麦尻井堰	21,600	1.80, 18.50	2	鋼製起伏堰	
船坂下井堰	27,700	2.15, 18.60	2	鋼製起伏堰	
船坂上井堰	10,700	1.70, 20.80	2	鋼製起伏堰	最上流

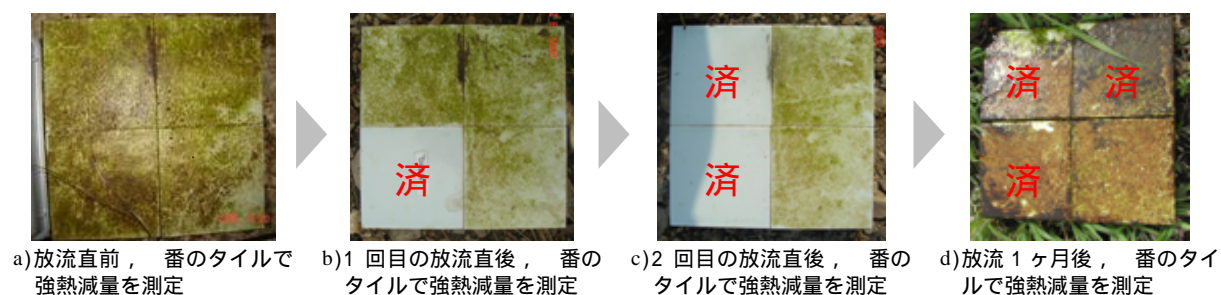


図-2.5 藻類剥離実験において強熱減量を測定する手順(調査地点(iv))

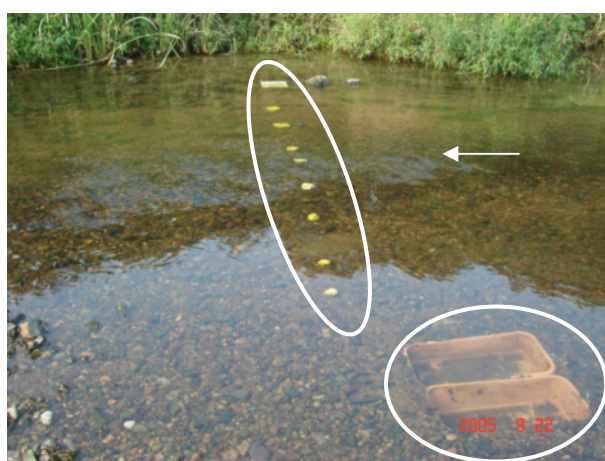


写真-2.9 トラップ箱と置石の状況(調査地点(iii))

2) 移動限界粒径の調査方法

写真-2.9 のように, フラッシュ放流時の掃流土砂を捕捉するため, トラップ箱(縦横 60cm × 深さ 30cm 程度)を河床に設置し, 捕捉された土砂の粒度分布を確認した. また, 2 回目の放流時には着色した約 5~15cm の粒径別の砂利をトラップ箱横の流心付近に浮き石(周囲の河床材料と噛み合わない)状態で設置し, 置石調査として移動状況を確認した.

2.4.2 フラッシュ放流実験の結果

(1) 現地調査の結果

1) 藻類剥離調査の結果

調査結果のうち最も明瞭な傾向がみられた, 調査地点(iv)における強熱減量・強熱残量の変化

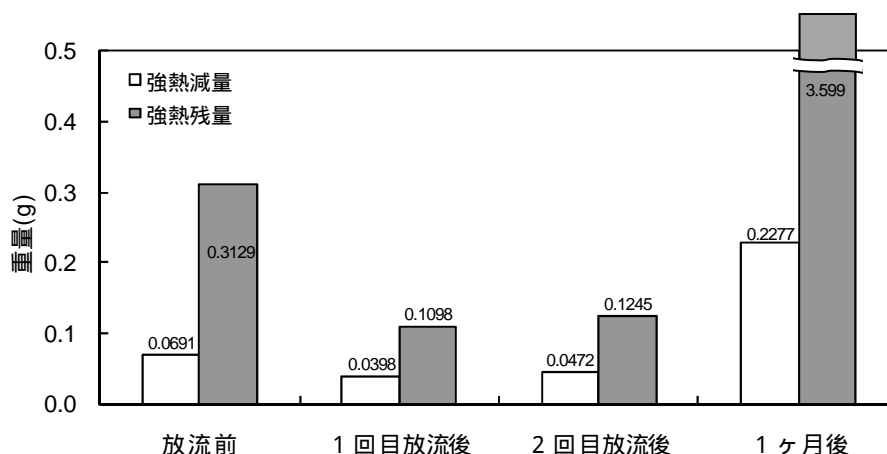


図-2.6 強熱減量と強熱残量

表-2.5 掃流力(計算値)と移動した河床材の粒径

調査地点	掃流力 (N/m^2) (計算値)	粒径 (cm)		
		移動限界粒径 (計算値*)	トラップ箱で補足 した礫の粒径	移動した置石 の粒径
1日目の放流				
(i)	76.87	6.3	2.7	-
(ii)	6.05	0.7	7.5	-
(iii)	69.18	8.6	5.3	-
(iv)	40.6	4.8	7.5	-
2日目の放流				
(i)	80.07	7.1	5.3	14
(ii)	6.11	0.7	10.6	13
(iii)	77.73	9.7	2.7	10
(iv)	42.37	5.0	1.9	14

*)移動限界粒径は岩垣公式¹⁹⁾より算定した。

を図-2.6 に示す。他の調査地点では、はじめに平板に付着させた藻類の密度にバラつきがあったことなどから、あまり明瞭な傾向は見られなかった。調査地点(iv)の結果から、以下のことが確認された。

- 1) 1回目の放流後、概ね強熱減量および強熱残量ともに減少傾向であった。
- 2) 2回目の放流後は、1回目の放流後の値から変化がほとんど見られなかった。
- 3) 1ヶ月後の調査では、強熱減量および強熱残量ともに放流前よりも増加した。

2) 移動粒径調査の結果

表-2.5 に示すように、放流後のトラップ箱には粒径 2cm ~ 10cm 程度の礫が捕捉され、置石調査では全ての調査地点で 10cm 以上の礫の移動が確認された。

(2) 水理解析による効果の検証

各地点での目標掃流力($1.6N/m^2$)の達成度を確認するため、準二次元非定常流解析による洪水波形の再現を試みた。安室川でのフラッシュ放流の規模($10m^3/s \sim 20m^3/s$)は、平均年最大洪水流量($80m^3/s$)に満たない小洪水で、かつ、流れは低水路内を複雑に蛇行するため、二次元解析を用いることが望ましいが、汎用性・実用性を考慮し、一般に河道計画に多く用いられる準二次元解析法を用いた¹⁸⁾。適用した準二次元水理モデルの基礎式は以下のように定式化される。

【連続式】

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2.1)$$

【エネルギー式】

$$\frac{\beta}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha v^2}{g} + \lambda h \cos \theta \right) = S_o - S_f \quad (2.2)$$

ここに、 A ：流水断面積(m^2)、 Q ：流量(m^3/s)、 q ：単位流下距離当たりの横流入量($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)、 v ：平均流速(m/s)、 $S_o = \sin \theta$ ：水路勾配($\cos \theta \cong 1$)、 S_f ：摩擦勾配(抵抗則として Manning 公式を適用する時、 $S_f = n^2 v^2 / R^{4/3}$ 、 n ：Manning の粗度係数、 R ：径深(m)、 h ：水深(m)、 α ：エネルギー係数、 β ：運動量係数、 λ ：圧力分布補正係数、 t ：時間(sec)、 x ：距離(m) (下流向き正)である。

特に、小規模な洪水を再現する場合、高茎草本類が多く繁茂し、かつ流路が複雑に蛇行している状態での水位変動を適切に表現する必要がある。これらの工夫は、計画規模相当の洪水を対象に河道断面を検討する際には通常不要である。河道内樹木は死水域、草本類は倒伏状態と想定し、かつ、流水は計画河道の全断面で流下するため、河道内で複雑な蛇行や流速変化をすることはない。このため、作成した水理モデルには以下の工夫を加えた。

- 1) 倒伏せずに直立状態のままの高茎草本群落が発見された場合、Manning の粗度係数 n を大きめに設定することで表現した。高茎草本群落内の粗度係数は、既往の実験結果²⁰⁾などを参考に、草丈と水深の関係から $n=0.15$ とした。また、低水路内の植生がない部分については $n=0.030$ 、植生が倒伏している箇所では $n=0.040$ を採用した。
- 2) 50m ピッチの河道横断形状データに加え、対象流量規模(10m/s ~ 20m/s 程度)で見た急縮断面を追加測定し内挿した。
- 3) 対象流量規模での蛇行状態を現地で確認し、その流心線の長さが解析モデルの河道延長となるように断面間隔を調整した。
- 4) 鋼製井堰は、図-2.7 に示すように転倒して放流するため、一般に用いられる全幅堰の流量公式(式(2.3) ~ 式(2.4))を適用し²¹⁾、越流量 Q_{out} のハイドログラフを得た。ゴム製起伏堰からの洪水波形は、過去の転倒時(約 1 年前)に観測した実績波形を適用した。

【越流公式】

$$Q_{out} = CBh^{1.5} \quad (2.3)$$

$$C = 1.758 + \left(\frac{0.00295}{h} + \frac{0.237h}{w} \right) (1 + \varepsilon) \quad (2.4)$$

【連続式】

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (2.5)$$

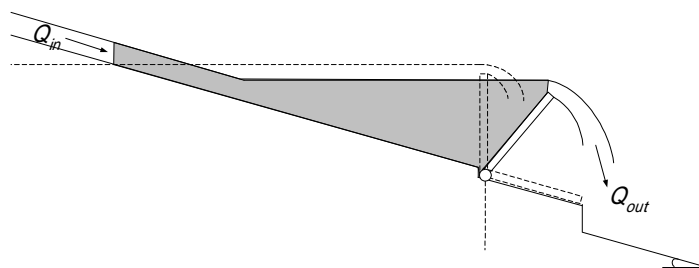


図-2.7 鋼製井堰からの放流のモデル化

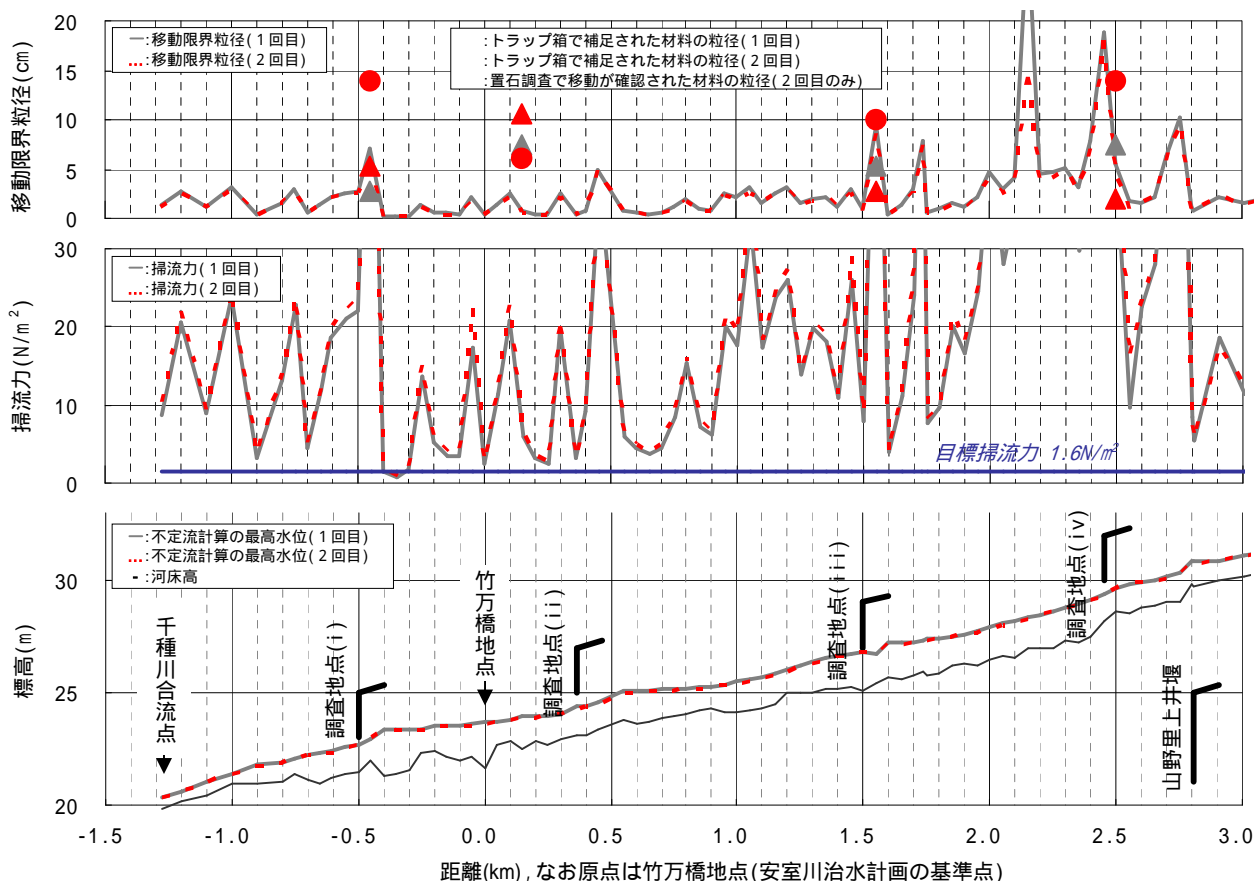


図-2.8 移動限界粒径及び掃流力の計算結果

ここに、 Q_{out} ：越流量(m^3/s)、 Q_{in} ：流入量(m^3/s)、 B ：堰幅(m)、 h ：越流水深(m)、 C ：越流係数($m^{1/2}/s$)、 W ：水路底面から堰縁までの高さ(m)、 ε ：補正高($W \leq 1m$ ： $\varepsilon=0$ 、 $W>1m$ ： $\varepsilon=0.55(W-1)$)である。

上記の方法により、フラッシュ放流実験時の各地点の水理量の変化を計算したところ、図-2.8に示すように、各調査地点の水位観測データや移動粒径調査の結果と近い値が再現された。この結果から、フラッシュ放流により、ほぼ全区間にわたって目標値である $1.6N/m^2$ を超える掃流力が河床に作用したことが推測される。

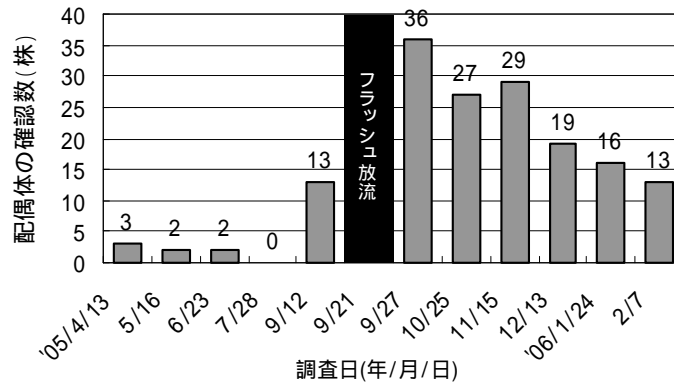


図-2.9 配偶体確認数の変化(安室川全体)

2.4.3 フラッシュ放流実験結果の考察，及び今後の実施方針

フラッシュ放流直後には，配偶体数株の流失が確認されたものの，図-2.9 に示すように，約1週間後の調査では配偶体の確認数は増加した．また，シャントランシア体についても，フラッシュ放流後に各調査地点で増加傾向となり，フラッシュ放流がチスジノリ生育に効果的であることが示された．一方で，前述のように新たに配偶体が発生した箇所は，人為的な直接攪乱があった場所と一致しているなど，「フラッシュ放流の効果によって配偶体が発生した」とは断言できないものの，微細粒分や付着藻類の剥離が定量的に確認されたことから，期待していた攪乱効果は充分得られたものと判断される．

また，井堰の転倒間隔(1回目は20分，2回目は15分)の違いにより生じる掃流力の差異は微小であったこと，構築した水理モデルを用いて，転倒間隔をさらに短縮した場合の掃流力を算定したが殆んど差異が見られなかったこと，最下流2基の堰操作は一人で担当されており堰間の移動に10分程度は必要であることなどから，実運用にあたってはこれ以上転倒間隔を短縮する必要はなく，実験時と同様に15分～20間隔で運用することが適当と考えられる．

なお，フラッシュ放流規模の流量(10～20m³/s)の範囲では，低低水路(みお筋)から両岸砂州上に流れが乗り水面幅が急激に広がる一方で，水位の上昇がそれ程大きくならない．このことがの結果(転倒間隔を短縮しても掃流力に殆ど差異が見られないこと)の原因であると推測される．

農業用井堰の連続転倒によるフラッシュ放流は，年に3～4回程度経験する出水と同規模の流量となっており，当然，9月中に同等規模の洪水が発生することも珍しくない．したがって，果胞子の放出や単胞子の形成が始まる5月から配偶体が発生し始める9月中頃までに，フラッシュ放流に匹敵する規模の洪水がなかった場合に，フラッシュ放流を実施することが望ましいと考えられる．また，9月中旬(20日前後)は，農業用水の必要期間とモクズガニ漁の解禁期間との端境期で，農業者，漁業者の合意を得やすい時期であり，社会的にも実施可能な日程と言える．

また，今回の実証実験の検証計算結果から，目標掃流力1.6N/m²が一連区間で確保される時の竹万水位観測局の水位は1.9mであることが分かった．そのため，次回以降のフラッシュ放流時には，掃流力1.6N/m²ではなく，竹万水位観測局の水位が1.9mを一時間以上越えることを目標にすることとした．これにより次回以降は，竹万水位観測局の水位による目標管理が可能となり，ダイバー水位計による水位データの取得や強熱減量調査など煩雑なモニタリングは不要となる．

以上の内容を踏まえ，今後の運用の参考となるように，フラッシュ放流実施の判断，具体的な

実施方法，効果検証方法(モニタリング方法)，さらに安全管理方法について実施計画書²²⁾としてとりまとめた．これにより今後は，河川管理者と地域住民との協働のもと専門家に頼ることなく，フラッシュ放流が継続的かつ適切に実施されることが期待される．

2.5 結語

本章では，手作業による河床材料の研磨・転石，及び，農業用井堰の連続転倒によるフラッシュ放流といった人為的な河床攪乱がチスジノリ生態に与える効果について，実証実験を通じて検証した．さらに検証結果を踏まえ，今後の施策の実施方針を定めることを試みた．

本章で得られた成果を以下に要約しておく．

- 1) 手作業による研磨・転石を実験区と対象区に分けて実施することにより，研磨・転石の効果が定量的に表現された．実験区(研磨・転石した範囲)では，シャントランシア体の顕著な増加傾向が確認された．
- 2) 環境学習の一環として学童により研磨・転石がなされた範囲で配偶体数株が新たに発見されるなど，手作業による研磨・転石がチスジノリの増産に効果的であることが示された．
- 3) 農業用井堰の連続転倒により，微細粒分・付着藻類の除去に必要な掃流力(1.6N/m^2)を発生させるため，準二次元非定常流解析モデルを用いて，転倒基数や堰転倒の時間間隔を設定し，実証実験を行った．実証実験の結果，置石調査や強熱減量調査などから，農業用井堰の連続転倒によるフラッシュ放流を実施することで，チスジノリの生育の阻害要因である微細粒分・付着藻類が除去されることが確認された．
- 4) 実証実験は堰転倒の時間間隔を変えて2度(連続2日)行い，異なる洪水波形のデータを取得して，準二次元水理モデルの再調整を行い再現性の向上を図った．さらに，構築した水理モデルを用いることにより，転倒間隔の違いによる効果の差が検証され，現地での適用性を考慮した最適な転倒間隔が設定された．
- 5) 実証実験の結果を踏まえたフラッシュ放流の実施方針として，社会的に(漁業者と農業者が)合意可能で，チスジノリ生態(孢子体の着床)に顕著な効果が見られる期間(9月下旬)が実施時期と定められた．また，既設水位観測局の水位データのみで実施の判断や効果検証ができるように工夫することで，地域が主体的に取り組める実施計画が策定された．

これらの具体的な成果を，河川環境の保全・再生を目指す政策的立場から俯瞰すると，安室川と同様の河道特性を持つ中小河川においては，農業用井堰の連続転倒によるフラッシュ放流や手作業による河床材料の研磨・転石など，比較的小規模な河床攪乱でも十分に自然再生の効果が示されたと言えよう．

参考文献

- 1) 兵庫県：改訂・兵庫の貴重な自然 - 兵庫県版レッドデータブック 2003 - , 兵庫県県民生活部環境局自然環境保全課, 2003 .
- 2) 環境庁：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 9〔植物 II(維管束植物以外)〕, 環境庁自然保護局野生生物課, 2000 .
- 3) 吉崎誠： *Thorea okadai* Yamada(チスジノリ), 藻類の生活史集成, 第 2 巻, pp.226-227, 内田老鶴圃, 1993 .
- 4) 田村武男, 真殿克麿：チスジノリの分布と藻の特性, 酸性雨・千種川・生活排水, 兵庫県立上郡高等学校, pp.11-13, 1993 .
- 5) 瀬戸良三, 右田清治, 真殿克麿, 熊野茂：兵庫県安室川産の淡水産紅藻チスジノリとチスジノリ属 2 種の日本における分布, 藻類, vol.41, pp.355-357, 1993 .
- 6) 財団法人リバーフロント整備センター：千種川水系安室川 安室川自然再生計画検討業務(その 4)報告書, 兵庫県西播磨県民局, 2006 .
- 7) 財団法人リバーフロント整備センター：千種川水系安室川 安室川自然再生計画検討業務(その 3)報告書, 兵庫県西播磨県民局, 2005 .
- 8) 佐藤裕司, 横山正, 真殿克麿, 辻光浩, 水野雅光, 魚留卓, 妹尾嘉之, 杉野伸義, 永野正之, 三橋弘宗, 浅見佳世, 道奥康治, 原田一二三：兵庫県上郡町・安室川における淡水産紅藻チスジノリ配偶体の出現—特に河川の流量変化との関係について—, 陸水学雑誌, 67, pp.127-133, 2006 .
- 9) 兵庫県：安室川自然再生計画, 2004 .
- 10) 辻光浩, 水野雅光, 齋藤重人, 池田正, 眞間修一：チスジノリがよみがえる川づくり(兵庫県安室川), リバーフロント研究所報告, 第 15 号, pp.17-24, 2005 .
- 11) 財団法人リバーフロント整備センター：千種川水系安室川 安室川自然再生計画検討業務(その 4)報告書, 第 2 章, p.44, 兵庫県西播磨県民局, 2006 .
- 12) 財団法人リバーフロント整備センター：千種川水系安室川 安室川自然再生計画検討業務(その 4)報告書, 第 4 章, p.50, 兵庫県西播磨県民局, 2006 .
- 13) 財団法人リバーフロント整備センター：千種川水系安室川 安室川自然再生計画検討業務(その 4)報告書, 第 4 章, p.37, 兵庫県西播磨県民局, 2006 .
- 14) 東山真也, 瀧健太郎, 杉野伸義, 横山正, 三橋弘宗, 上郡中学校科学部員：上郡中学校科学部員による安室川の淡水産紅藻チスジノリ(*Thorea okadae*) を復活させる試み, 人と自然, No.17, pp.73-78, 2007 .
- 15) 杉野伸義, 宮田祥史, 関基, 瀧健太郎, 三橋弘宗, 佐藤裕司, 兵庫県安室川におけるチスジノリの発生と光環境の関係, 藻類, vol.55, No.1, p.83, 2007 .
- 16) 箱石憲昭, 塚原千明：水流による藻類の剥離に関する実験的研究, ダム技術, No.173, pp.32-41, 2001 .
- 17) 戸田祐嗣, 西村明, 池田駿介：糸状藻・非糸状藻の増殖・剥離・種間競争に関する室内実験, 河川技術論文集, 第 10 巻, pp.483-488, 2004 .
- 18) 例えば, 社団法人土木学会：水理公式集平成 11 年版, 丸善, pp.92-93, 1999 .

- 19) 狩野晋一，森吉尚：高茎草本の洪水時の挙動，リバーフロント研究所報告，第15号，pp.102-109，2005．
- 20) 社団法人土木学会：水理公式集平成11年版，丸善，pp.158-159，1999．
- 21) 例えば，社団法人土木学会：水理公式集平成11年版，丸善，p.243，1999．
- 22) 財団法人リバーフロント整備センター：千種川水系安室川 安室川自然再生計画検討業務(その4)報告書，参考資料，フラッシュ放流実施計画書，兵庫県西播磨県民局，2006．

第3章

中小河川における河川環境の改善を前提とした 河道計画手法の開発

3.1 概説

本章では、直轄管理河川での先進事例を中心に、これまでに蓄積された河川環境再生のための知見を最大限活用しつつ、中小河川において、所要の治水安全度を確保しながら河川環境の保全・再生を実現するための具体的な河道計画手法を開発する。検討にあたっては、はじめに琵琶湖に流入する中小河川群の環境変化に着目し、全国の中小河川で共通する課題を抽出した上で、広範囲に適用可能な河道計画手法の構築を試みる。

3.2 河道計画手法の開発

3.2.1 目標とする河川環境の設定

(1) 中小河川環境の現状と課題 - 琵琶湖に流入する中小河川群に着目して -

昭和30～40年代、滋賀県下に流れる川の多くは、周辺地盤に対して河床高が高い天井川の様相を呈し、堤外は砂礫河原が広がり、水際は多様で流れには瀬・淵が見られた。これは、川と人との関わりの中で連綿と築かれてきた2次的自然(里川的自然)であり、この中で琵琶湖集水域に特有の生物相と生活文化が育まれてきた。

しかしながら、近年、急速に進む流域開発やそれに伴う水資源開発や河川改修、治山事業の進展等により、各河川の流況や土砂動態が変わり、河川環境が大きく変化してきた。河道の掘削や拡幅は、流況の変化や土砂供給量の減少とあいまって、川の営力を低下させ、砂礫河原や瀬・淵を減少させたひとつの要因と考えられる。また画一的な護岸整備により、水際の多様性が失われ、河岸部の緩やかな水陸移行帯が減少した。

また、琵琶湖河口付近では、破堤時に壊滅的な被害をもたらす天井川を解消することを目的とした河床掘削が優先的に進められた。これにより、琵琶湖水位の影響を受ける背水区間が拡大し、河口部での堆積傾向が強まることで、琵琶湖への土砂供給量が減少しているとの指摘もなされている。この河口部での応答は、河積拡大による新たな堆積空間で堆砂が進行し、掘削前の川幅・河床高に戻ろうとする傾向(堆積傾向)となることが要因であると考えられる。さらに、琵琶湖へ

の土砂供給の減少は、琵琶湖の水位管理(利水に配慮した冬期の高めの水位管理)との相乗効果もあって、湖岸侵食(浜欠け)を促進していると考えられている¹⁾。さらに、経済的な発展の中で人々のライフスタイルが変化し、河川環境の変化とともに、川と深い関わりをもつ生活文化や人々の川への関心は急速に失われている。

このような現象の結果として、琵琶湖に流入する中小河川群では、2 次的自然状態の河川環境にハビタットを持つ生物相の劣化や固有の河川景観の喪失が不可逆的かつ急速に進行し続けている。これまで日本全国の中小河川は、管理する自治体が異なっても基本的に統一された手法で整備が進められてきており、これらの課題は、全国の多くの中小河川にも共通すると考えられる。

(2) 目標とする河川環境像の設定

これまでに述べた課題から、“流域の特性に適切な治水安全度を確保すること”とあわせて“かつての2 次的自然状態の河川環境が有していた機能を確保すること”を河道計画の目標とすることが望ましいと考えられる。言い換えれば、“計画高水流量をより安全に流下させる河積を有し”、“自然の営力により、それぞれの川が本来有すべき河原、瀬・淵、多様な水際などの河相が動的に形成・維持される河道を形成すること”となる。

また、河口部で河床掘削や低水路拡幅を実施して、湖水位(潮位)の影響を受ける背水区間(感潮区間)を新たに生じさせた場合は、その後のレスポンスとして土砂堆積・河床上昇(河口砂州の成長)や湖岸(海岸)侵食が想定される。これをできるだけ回避するためには、特に背水区間(感潮区間)において、“琵琶湖(海域)への土砂供給が維持される河道”の整備が望まれる。

3.2.2 自己流区間の河道計画

(1) 目標値の設定

湖水位(潮位)の影響を受けない区間(以下、「自己流区間」)では、“自然の営力により、それぞれの川が本来有すべき河原、瀬・淵、多様な水際が動的に形成・維持される河道”を目標とする。これらの目標を実現するためには、次の条件を満足する必要があると考えられる。

【条件】植物の進入を防ぐ程度に、砂州が定期的に攪乱されること

【条件】自然の営力で砂州が形成されること(瀬・淵、多様な水際が自然に形成されること)

次に、河道計画の検討手順に適用することを念頭に、条件 及び を満足する具体的な水理条件について整理した。

植物の不可逆的な侵入を防ぐ程度に、砂州が定期的に攪乱される条件

既往研究では、2, 3 年に1 回程度、裸地部分が攪乱されることにより裸地域が維持されることが示唆されている(例えば、瀬崎ら²⁾、服部ら³⁾、鎌田ら⁴⁾、福岡ら⁵⁾)。平均的な河床材料が動く無次元掃流力 τ_* を 0.06 と考えると、平均年最大流量 Q_m (年超過確率 1/2 ~ 1/3) に対応する無次元掃流力 τ_* が 0.06 を上回るか否かで、裸地が維持されるかどうか評価される(図-3.1)。また、無次元掃流力 τ_* が 0.10 を上回ると、河床材料の最大粒径程度まで動くため、一年草程度の植生が侵入しても、ほとんどの土砂が動き植生も同時に攪乱されることから、砂州の樹林化の拡大が抑止される¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。ただし、一旦樹林化が進んだ場合は、 τ_* が 0.10 を上回っている場合でも破壊される可能性は少なく、その場合は人為的な攪乱が必要になると考えられる。このことから、植生の不可逆的な侵入を防ぐ程度に砂州が定期的に攪乱される河道の設計条件は、平均年最大流量 Q_m に対応する無次元掃流力 τ_* を用いて以下のように設定される。

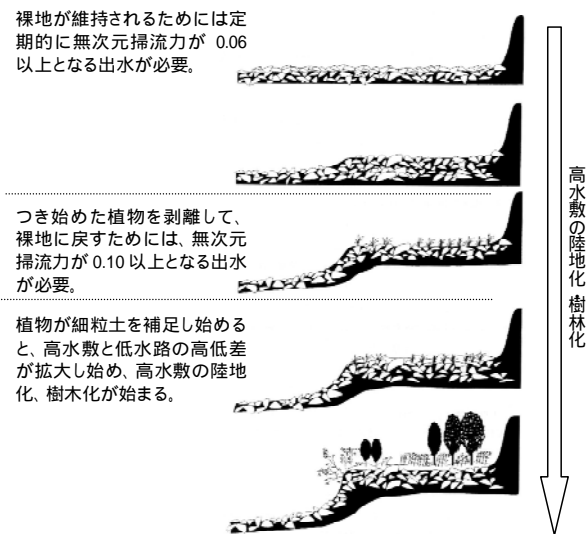


図-3.1 砂州の陸地化・樹林化(服部ら³⁾から引用)

$$\tau_* > 0.10 \quad (3.1)$$

自然の営力で砂州が形成される条件

砂州の形成条件は、既往研究結果より、水理実験値(村本ら⁶⁾、理論値(黒木ら⁷⁾、実河川の統計値(山本⁸⁾)を用いて整理される。

村本ら⁶⁾は、水理実験の結果をもとに、川幅水深比 B/H_L 及び水深粒径比 H_L/d_R 用いて、砂州形成条件を図-3.2 ように整理した。村本らは、勾配の違いによる影響は小さいとし、無次元掃流力 $\tau_* < 0.6$ の条件下で、砂州の形成限界を $B/H_L > 10$ としている。

黒木ら⁷⁾は、砂州の発生領域について、二次元浅水流と流砂モデルを用いた弱非線形解析によって議論し、その結果を図-3.3 のように与えている。縦軸は無次元掃流力 τ_* とし、横軸は川幅水深比の B/H_L ではなく、河床勾配 I_b と組み合わせ、 $BI_b^{0.2}/H_L$ をとって砂州形成領域の区分線を示している。この図によると、 $\tau_* > 0.10$ かつ $BI_b^{0.2}/H_L > 7 \sim 8$ の範囲では、殆どの事例で砂州が形成されていることが分かる。 $I_b = 0.010$ のとき $BI_b^{0.2}/H_L = 8$ となり、この式に I_b 値(=0.010)を代入すれば、 $B/H_L = 20$ となる。同様に、 $I_b = 0.001$ のとき $BI_b^{0.2}/H_L = 7$ となり、 $B/H_L = 28$ である。したがって、 $\tau_* > 0.10$ の場合、砂州発生領域の閾値は $B/H_L > 20 \sim 28$ 程度と導かれる。また、 $0.06 < \tau_* < 0.10$ の範囲では、 B/H_L の閾値はこれより小さくなる。なお、本研究の対象とする安室川中下流部の河床勾配 I_b は、0.0016 ~ 0.0025 程度となっている。

山本⁸⁾は、全国 109 水系を対象とした統計結果から、図-3.4 のように砂州形態の区分を整理している。平均年最大流量 Q_m に対応する川幅水深比 B/H_L が、 $20 < B/H_L < 70$ で交互砂州、 $70 < B/H_L < 140$ で交互或いは複列砂州、 $140 < B/H_L$ で多列砂州が形成されることが分かる。

以上のように、砂州形成条件は水理実験値(村本ら)から $B/H_L > 10$ 、理論値(黒木ら)から $B/H_L > 20 \sim 28$ 、実河川での計測に基づく統計値(山本)から $B/H_L > 20$ と導かれる。すなわち、砂州形成の閾値は川幅水深比 B/H_L が $10 \sim 30$ 程度と幅を持った値となっていることが示唆される。河道設計上は確実に砂州を形成する条件を設定しておく方が望ましい。そのため、自然の営力で砂州が形成

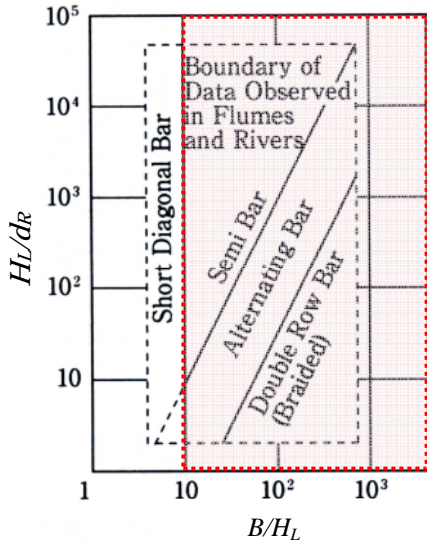


図-3.2 交互砂州の形成領域区分⁶⁾(水理公式集平成11年度版より引用)

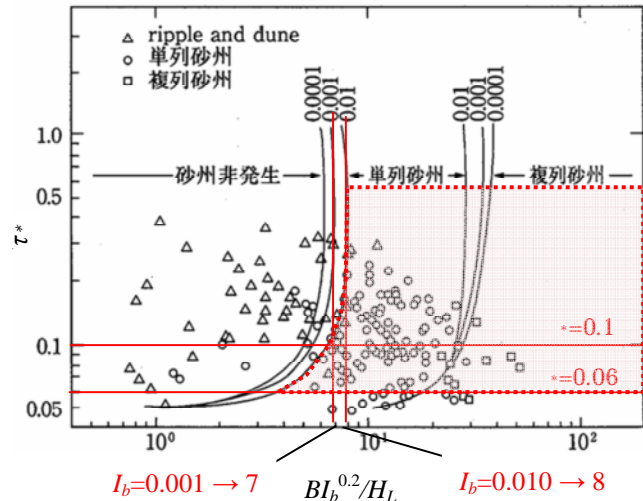


図-3.3 中規模河床形態の領域区分⁷⁾(水理公式集平成11年度版より引用,一部加筆)

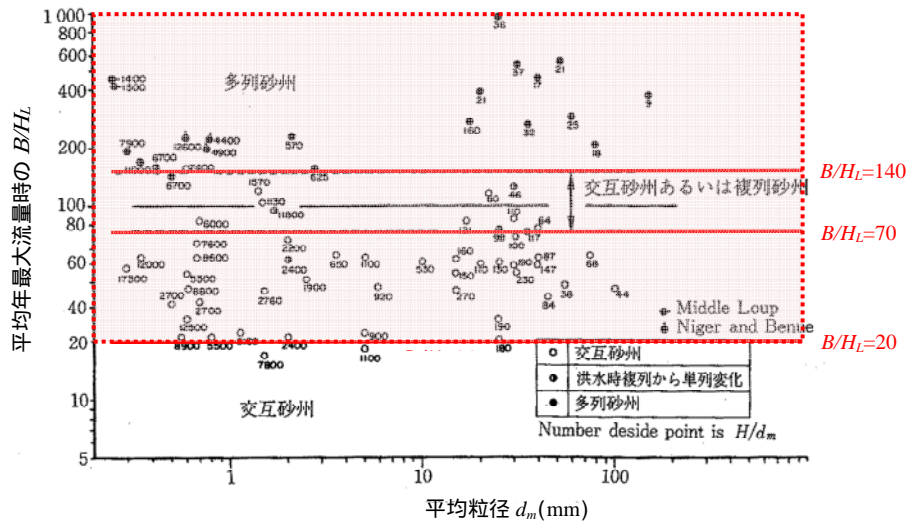


図-3.4 砂州の形成区分(山本⁸⁾から引用,一部加筆)

される河道の設計条件は、平均年最大流量 Q_m に対応する川幅水深比 B/H_L を用いて、以下のよう
に設定される。

$$B/H_L > 30 \tag{3.2}$$

次に河道断面を設定する手順を示す。まず、自然営力により良好な環境が持続するように、(1)
で示した設計条件を満足する低水路部分の横断形状を設定し、次に、設定した低水路部分の横断
形状を保持しながら、治水上必要とされる河積が確保されるように、高水敷を含む全断面の横断
形状を設定する。以下に順を追って詳述する。

(2) 低水路部分の横断形状の設定方法

自己流区間での設計条件である「 $\tau_* > 0.10$ かつ $B/H_L > 30$ 」(式(3.1)及び式(3.2))を満たすように、
低水路横断形状を設定する手順を以下のように定めた。またフローを図-3.5 に示す。

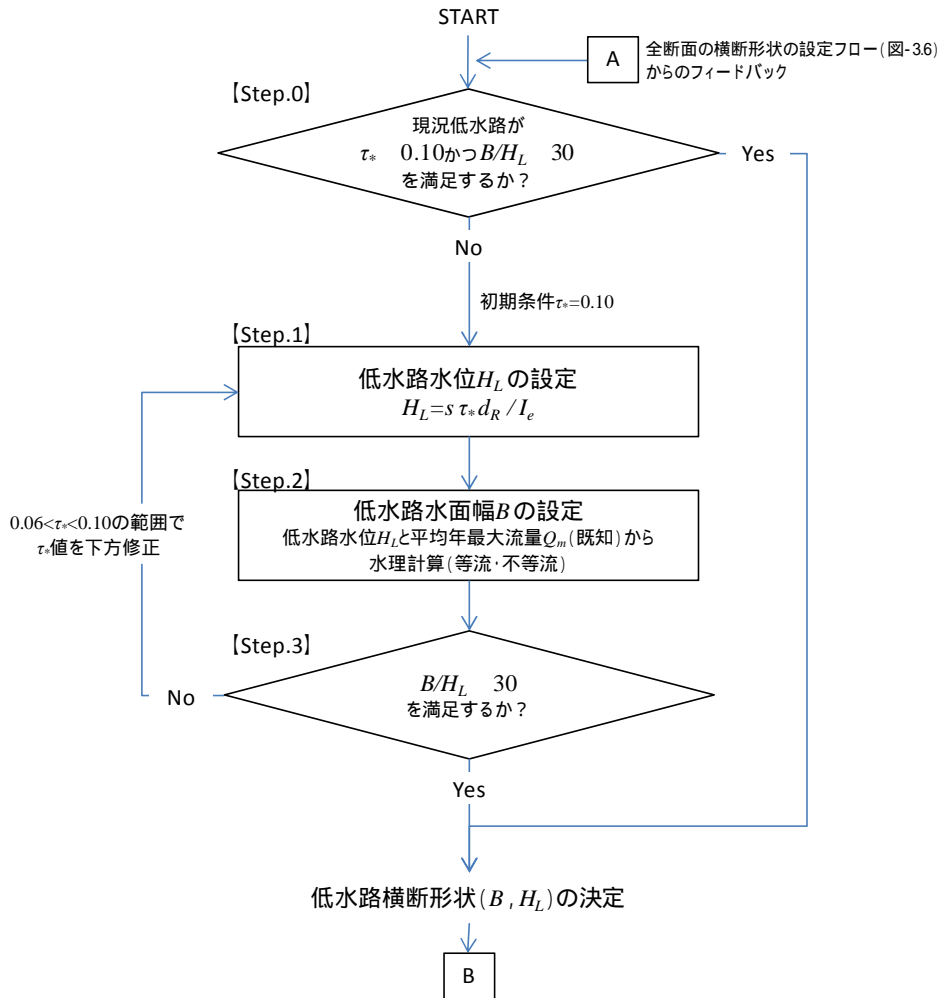


図-3.5 自己流区間での低水路横断形状の設定フロー

・【step.0】現況低水路の確認

現況断面で、無次元掃流力 τ_* 及び川幅水深比 B/H_L を確認する。「 $\tau_* > 0.10$ かつ $B/H_L > 30$ 」が成立していれば現況の低水路形状を踏襲する。不成立の場合ややむを得ず低水路形状を改変する場合は step.1 に進む。

・【step.1】低水路水位 H_L の設定

τ_* の目標値を定めれば、式(3.1)から低水路水位 H_L の値は次式により決まる。初期値は $\tau_* = 0.10$ として H_L を定める。

$$\tau_* = \frac{H_L I_e}{s d_R} \quad (3.3)$$

ここに、 s ：河床材料の水中比重(=1.65)、 d_R ：河床材料の代表粒径(m)、 I_e ：エネルギー勾配、 d_R 及び I_e (河床勾配 I_b) は既知である。

・【step.2】低水路水面幅 B の設定

平均年最大流量 Q_m 及び低水路水位 H_L が決まるため、低水路の法面勾配を与えると、不等流計算(または等流計算)により低水路水面幅 B が定まる。低水路の法面勾配は河川環境上緩い方が望ましい場合が多いが、補助事業実施河川の事業認可時など、一般的には法面勾配を 1:2.0 と推奨されることが多い。

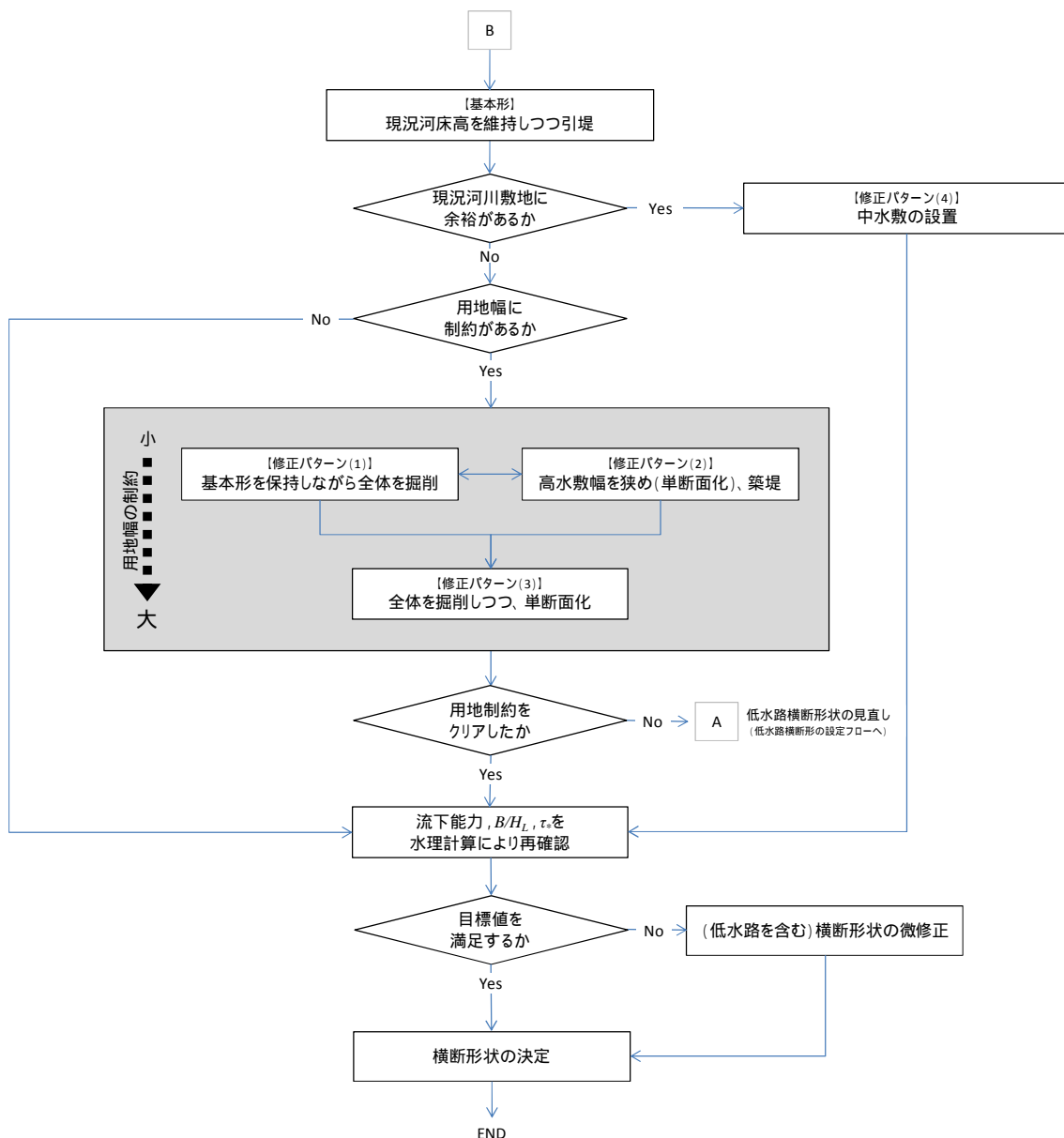


図-3.6 横断面形状(全幅)の設定フロー

・【step.3】川幅水深比 B/H_L の確認

step.1 及び step.2 で得られた H_L と B との比が砂州形成条件である $B/H_L > 30$ を満たしているかどうか確認する。満たしていない場合は、 τ_* を 0.06 から 0.10 の範囲内で小さく設定し、step.1 に戻り砂州形成条件が満たされるまで繰り返す。

ただし、最終的に砂州形成条件を満たせなかった場合は、自然の営力によって砂州や瀬・淵を再生することが難しく、人為的に湾曲部を造ったり水制などの構造物を設置したりするなどして、砂州や瀬・淵を造りだす工夫が必要となる。

(3) 全断面の横断面形状の設定方法

(2)では河川環境上の目標を達成するための低水路部分の横断面形状の設計方法について述べた。

次の段階では、治水上の目標を満足する横断形状を検討する必要がある。そこで、(2)で定めた低水路横断形状を保持しつつ治水上必要な河積が確保されるように、堤防高、高水敷幅等を含めた全断面の形状を設計する方法について述べる。横断形状(全幅)を設定するまでの流れを図-3.6に示す。図中の修正パターン(1)から(4)は河川用地の制約に応じた断面形状の工夫例で、以下に詳述する。

(2)で設定した低水路横断形状を保持することで、自然の営力により河床が定期的に攪乱されられ砂州の形成が期待されるが、さらに環境上は、大規模な河床掘削を避け、現況のみお筋をできるだけ保全することが望ましい。このため、図-3.7で示すように、引堤のみで必要な河積を確保するパターンを設計上の基本形とした。このとき、「堤防防護ライン」に対応する高水敷幅を保持しながら、高水敷高を平均年最大流量付近に設定する。「堤防防護ライン」とは、河道計画マニュアル⁹⁾では、“洪水時の河岸侵食によって生ずる堤防の破壊を防止するために必要なライン(幅)”とされており、堤防防護ラインに対応する高水敷幅を確保できない場合には、低水護岸等で高水敷を補強することが推奨されている。さらに治水の観点からは、破堤リスクが増すことを回避するため、計画高水位が現況河道の堤防満杯水位を超えないよう留意する必要がある。なお、この基本形に沿って河道設計がなされる場合には、完全掘り込みの河道と異なり破堤リスクが残ることを技術者が理解しておく必要がある。

また、現場での適用時には用地幅の制約などにより、基本形での設計が困難な場合も想定される。図-3.8.1から図-3.8.3に用地幅の制約度合いに応じた修正パターンを例示する。なお、図中の低水路については、施工後数年経ち、自然に砂州が形成された状態を想定して作図している。

図-3.8.1は、基本形で設定された高水敷幅を保持しながらも河道全体を掘り下げることによって、用地幅を節約する例(修正パターン(1))を示している。このとき、(2)で設定した低水路部分の形状は保持される(以下の修正パターンも同様)。この例では、掘削により現況のみお筋が破壊されるため、掘削後の低水路部分には現況のみお筋幅を参考に低々水路を設置する等の工夫が望まれる。

次に、図-3.8.2は、基本形で設定された高水敷を狭め、計画高水位が上昇しないように最小限の掘削を行い、用地幅を節約する例(修正パターン(2))を示している。このとき堤防防護ラインに対応する高水敷幅が確保されないため、低水護岸等の補強が必要となる。高水敷幅を極力確保する例(1)とは異なり、河床掘削を極力少なくする例と言える。さらに、修正パターン(1)と修正パターン(2)とを組み合わせ、積極的に高水敷を狭め掘削を行うことで、堤内地への用地拡幅を最小化する場合も考えられ、図-3.8.3にはその設計例(修正パターン(3))を示しておく。

このほか、もともと幅広い高水敷幅を有する区間では、(必要の低水路横断形状を確保するとともに)不足する河積を高水敷掘削で確保する方法が考えられる(図-3.9、修正パターン(4))。高水敷の冠水頻度が高いと樹林化が抑制されるため、低水路横断形状を保持できる範囲で、高水敷高を極力低くすることが望ましい。このことから高水敷の掘削高は、平均年最大流量に対応する水位を目安に設定されればよいと考えられる。なお図中には、平均年最大流量に対応する水位付近まで切り下げられた部分を、高水敷や低水路と区別し中水敷と表現している。

3.2.3 背水区間(感潮区間)の河道計画

(1) 目標値の設定

背水区間(感潮区間)では、河口部での土砂堆積が抑制されるように、「平均年最大流量程度で主要な河床材料が流下する状態」を最低限確保すべき目標とした。限界摩擦速度 u_{*c} と摩擦速度 u_{*}

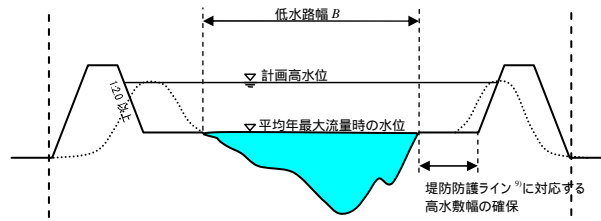


図-3.7 基本形

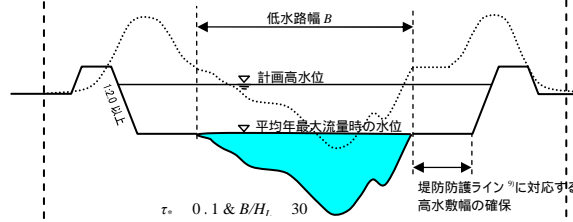


図-3.8.1 修正パターン(1)

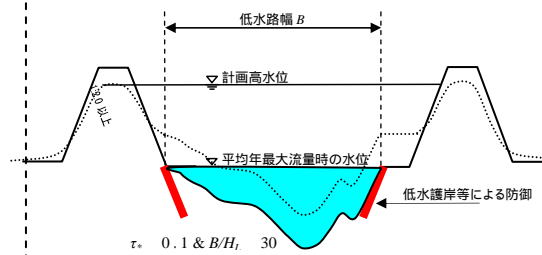


図-3.8.2 修正パターン(2)

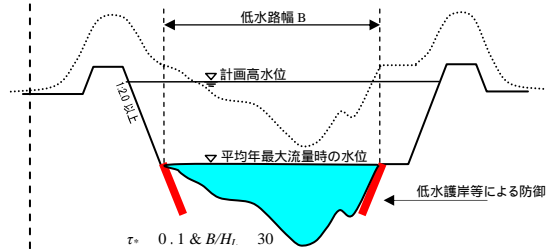


図-3.8.3 修正パターン(3)

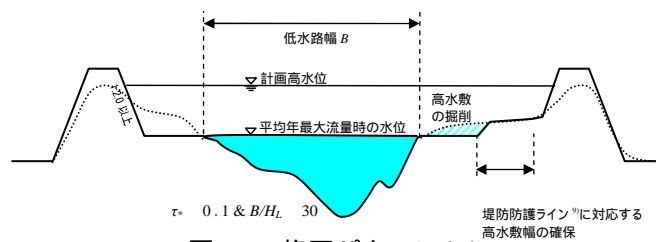


図-3.9 修正パターン(4)

との関係を用いてこの状態を表現すると、設計条件は以下のように表わされる。

$$\frac{u_*}{u_{*c}} > 1 \quad (3.4)$$

(2) 低水路部分および全断面の横断形状の設定方法

背水区間(感潮区間)の低水路横断形状及び横断形状(全幅)の設定方法は、低水路横断形状の設計条件である「 $B/H_L \leq 30$ かつ $\tau_* > 0.10$ 」を「 $u_*/u_{*c} > 1$ 」に読み替えれば、基本的な原理は自己流区間の場合と同様であるため、図-3.5 及び図-3.6 に方法に準じることができる。また、図-3.7 から図-3.9 までの基本形や用地制約を考慮した修正パターン等についても同様に、自己流区間での方法に準じることが可能である。

ただし、背水区間(感潮区間)では、自己流区間に比べ、下流水位(潮位・湖水位など)の影響が大きく、河床高を下げた場合の掃流力の低下が著しい。したがって、河床高の変更を伴う断面修正をする場合は、その都度、低水路横断形を再設定する必要性が生じる。

(3) ヨシ帯を活用した低水路形状の設定方法

これまでに述べた修正例は、設計条件(背水区間(感潮区間)では、 $u_*/u_{*c} > 1$)を満たす低水路横断形状を固定したまま、河道掘削をしたり高水敷を狭めたりすることで、用地幅の制約に対応するものであった。すなわち、設定した低水路横断形状を不可侵のものとして取り扱ってきた。

ところで、多くの河川の背水区間(感潮区間)、特に河口部には、ヨシ群落が多く形成されている様子が見られる。ヨシは流れに対して比較的強い高茎草本で、直立状態ではほぼ死水域として働き、倒伏状態では河積を侵さないという特性を持つ。このことから、ヨシ帯が形成可能な背水区間(感潮区間)においては、このヨシ帯の特性を利用した低水路横断形状の修正の可能性が示唆される。仮に、ヨシ帯が倒伏状態となる水位が平均年最大水位と計画高水位との間にある場合、ヨシ帯部は平均年最大流量時には倒伏せずほぼ死水域として働き、計画高水流量時には倒伏状態となりほとんど河積を侵さないと考えられる。例えば、福岡¹⁰⁾により、河川の中下流部の高水敷、河岸、中州に見られるヨシ群落、オギ群落(平均草丈 1.5m 以上、平均茎径 0.5cm 以上)の粗度係数として、倒伏しない場合に $n=0.10$ 、倒伏する場合に $n=0.05 \sim 0.06$ が与えられている。

したがって、低水路部分を一部拡幅しても、ヨシ帯が拡幅部に形成されれば、平均年最大流量時の摩擦速度 u_* が維持される可能性があると考えられ、河道の設計条件は次のように表わされる。

- 1) 低水路の拡幅部がヨシ帯の生育条件(基盤高・勾配・底質条件)を満たしていること
- 2) ヨシ帯が、平均年最大水位では直立状態を保ち、計画高水位では倒伏すること

仮に条件 1) ~ 2) を満たすように低水路の拡幅を行えば、図-3.8.1 から図-3.8.3 で示すような修正を伴わずに河積を拡大でき、用地幅を小さくすることができる。またヨシ帯は、コイ科魚類やオオヒシクイ等の湿地を餌場とする希少鳥類など、多様な生物のハビタットとしての機能を有することから、低水路を拡幅しヨシ帯を形成すれば河川環境上の利点も多いと考えられる。

ヨシ帯の生育条件は、基盤の地質や地形、冠水頻度などの影響を受けるため、適用する河川ごとに異なり調査する必要がある。例えば、琵琶湖周辺の調査事例¹¹⁾では表-3.1 のように与えられている。またヨシの倒伏条件は、河道計画マニュアル¹²⁾の中で表-3.2 のように与えられている。

そこで、ヨシ帯を活用した低水路横断形状の修正案の設定手順は、以下のように行う。

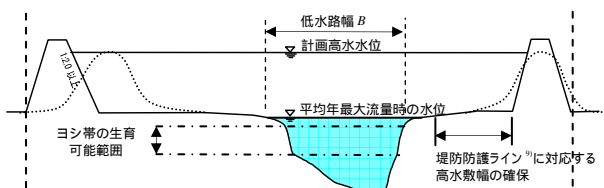


図-3.10 基本形

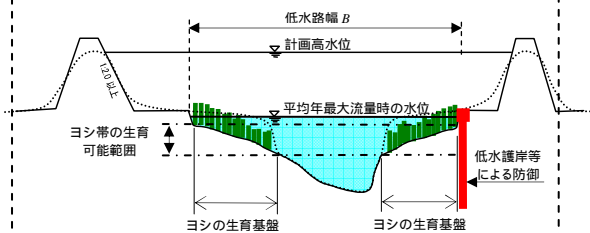


図-3.11.1 ヨシ帯を活用した低水路部の修正パターン(a)

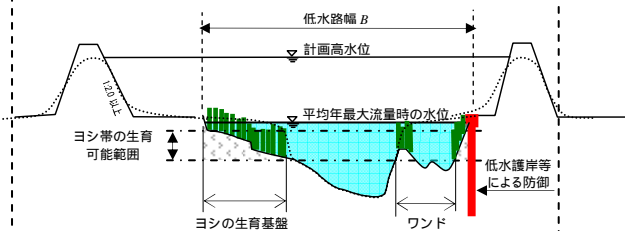


図-3.11.2 ヨシ帯を活用した低水路部の修正パターン(b)

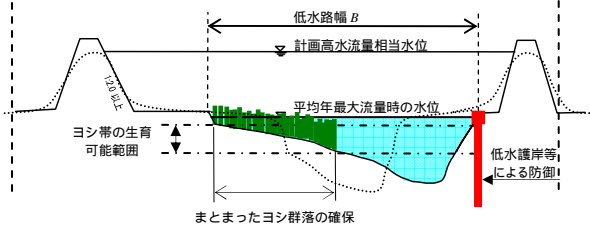


図-3.11.3 ヨシ帯を活用した低水路部の修正パターン(c)

表-3.1 ヨシ帯の生育基盤の条件¹¹⁾

基盤高	B.S.L.-0.8 ~ +0.2m 程度
勾配	平均 1/50 (最大 1/20)
底質	砂質土 ($d_{50}=1.0\text{mm}$)

表-3.2 ヨシ帯の倒伏条件¹²⁾

直立状態	$u_* < 0.12\text{m/s}$
たわみ状態	$0.12\text{m/s} < u_* < 0.22\text{m/s}$
倒伏状態	$0.22\text{m/s} < u_*$

・【step.0】基本形の設定

はじめに，(2)の設計方法で基本形(設計条件($u^*/u_{*c} > 1$)を満足する低水路部を有し，引堤により必要な河積を確保した断面)を設定する(図-3.10)。

・【step.1】低水路の拡幅高・幅の設定

ヨシ帯が生育できる基盤高以浅で低水路を拡幅した断面を設定する。このとき，ヨシ帯を片岸に寄せて広い群落を形成するなど，河川の特性を踏まえた工夫を行う。

両岸にヨシ帯を均等に割りつけた場合(修正パターン(a))，部分的にワンドを設置した場合(修正パターン(b))，片岸にヨシ帯を寄せた場合(修正パターン(c))の修正例を，図-3.11.1 から図-3.11.3 に示す。

・【step.2】掃流力の確認

拡幅部にヨシ帯が形成されたことを前提に，平均年最大流量を与えて不等流計算を実施する。なお出発水位は，基本形を設定する場合と同様に，治水計画で用いられる値を参照する。また，ヨシ帯の倒伏条件は表-3.2 を用いる¹¹⁾。

計算結果から導かれる修正断面の摩擦速度 u^* と基本形の摩擦速度 u^* を比較する。修正断面の摩擦速度 u^* が小さい場合，step.1 に戻り断面を再設定し，基本形と同程度の掃流力 $u^*{}^2$ が算出されるまで試行錯誤を繰り返す。

3.3 適用と考察

3.3.1 自己流区間での適用

一級河川淀川水系姉川(滋賀県長浜市)の中流部 5.4km 付近に，3.2.2 で示した自己流区間の設計方法を適用した。計画高水流量($1,900\text{m}^3/\text{s}$)のほか，設計に用いる各諸元は河川管理者から提供されたデータを用いた(表-3.3)。また平均年最大流量は，滋賀県降雨強度式を用いて合理式により2年確率流量を算定し， $207\text{m}^3/\text{s}$ とした。なお平成21年(2009年)1月現在，姉川の高水計画は検討中であり，本研究で用いた諸元は最終的な計画値とは異なる可能性がある。

ここでは，これらの諸元を用いて，3.2.2(3)で示した基本形及び修正パターン(1)から(3)までに基づき河道設計を行った。表-3.4 には，修正パターン別に，設計河道の水理諸元，及び現況河道との用地幅の差を示す。また，図-3.12 に基本形を，図-3.13 に最小の用地幅となるように設計された修正パターン(3)の横断形状を示す。表-3.4 に示すように，基本形，修正パターン(1)～(3)の全てで，平均年最大流量時の無次元掃流力 τ^* と川幅水深比 B/H_L は， $\tau^*=0.12$ と $B/H_L=32$ となり，自己流区間の設計条件($\tau^*>0.10$ ， $B/H_L>30$)を満足する断面が設定された。同時にどのパターンも計画洪水流量を十分に流下できる断面も確保されている。また用地幅は，修正パターン(3)(図-3.13)が基本形(図-3.12)に比べ約45.5m狭く設計されており，ここから，この修正パターンが用地幅の縮減に効果的であることが確認される。

3.3.2 背水区間(感潮区間)での適用

一級河川淀川水系愛知川(滋賀県彦根市)の最下流部 0.4km 付近に，3.2.3 で示した背水区間の設計方法を適用した。設計に用いる諸元には，自己流区間と同様に，河川管理者から提供された

表-3.3 与条件として計算に用いた諸元(姉川 5.4km 付近, 自己流区間)

計画高水流量 Q (m^3/s)	平均年最大流量 Q_m (m/s)	低水路粗度係数 n_L	高水敷粗度係数 n_H	河床勾配 I_b	代表粒径 d_R (mm)
1,900	207	0.038	0.035	1/293	30

表-3.4 設計河道の諸元(姉川 5.4km 付近, 自己流区間)

	低水路幅 B (m)	平均水深 H_L (m)	川幅水深比 B/H_L	無次元掃流力 τ_*	計画高水位 H.W.L. (m)	設計堤防高 D.D.L.(m)	現況断面との用地幅の差 ΔL (m)
基本形	55.4	1.72	32	0.12	T.P.+ 98.112	T.P.+ 99.112	+36.2
パターン(1)	55.4	1.72	32	0.12	96.112	97.112	+28.6
パターン(2)	55.4	1.72	32	0.12	99.102	98.102	+ 0.0
パターン(3)	55.4	1.72	32	0.12	96.112	97.112	- 8.3

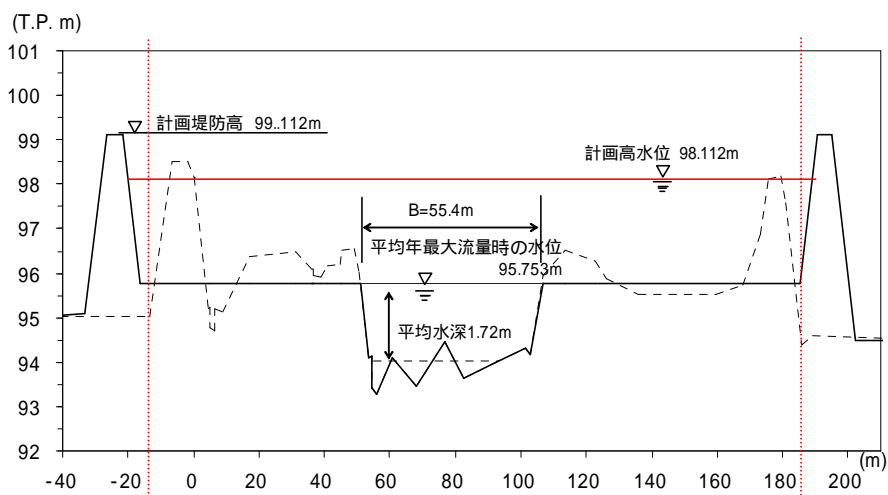


図-3.12 姉川 5.4km 付近の設計河道(基本形)

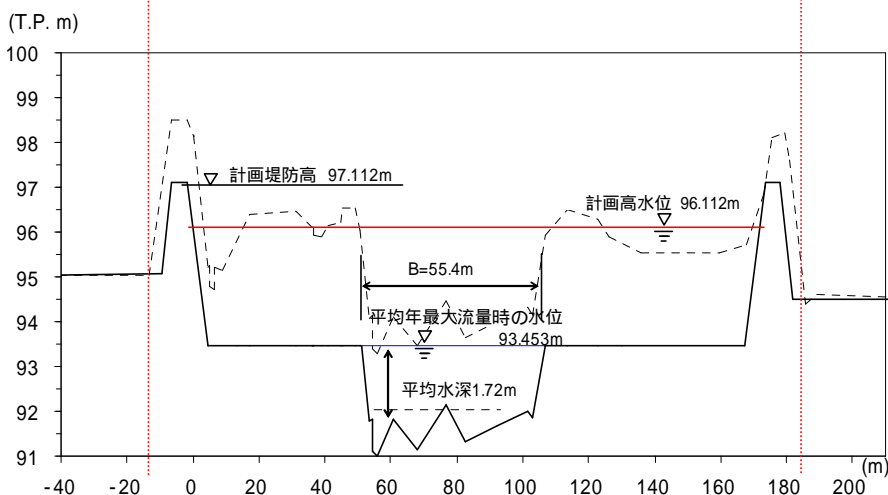


図-3.13 姉川 5.4km 付近の設計河道(修正パターン(3))

表-3.5 与条件として計算に用いた諸元(愛知川 0.4km 付近, 背水区間)

計画高水流量 Q (m ³ /s)	平均年最大流量 Q_m (m/s)	低水路粗度係数 n_L	高水敷粗度係数 n_H	河床勾配 I_b	代表粒径 d_R (mm)	移動限界摩擦速度 u_{*c} (m/s)
3,100	850	0.025	0.035	1/900	2.5	0.063

表-3.6 設計河道の諸元(愛知川 0.4km 付近, 背水区間)

	摩擦速度 u_* (m)	(摩擦速度/移動限界摩擦速度) u_*/u_{*c}	計画高水位 H.W.L. (m)	設計堤防高 D.D.L.(m)	現況断面との用地幅の差 ΔL (m)
基本形	0.187	2.96	T.P.+ 87.44	T.P.+ 88.44	+49.5
パターン(a)	0.158	2.50	87.44	88.44	+ 0.0
パターン(c)	0.158	2.50	87.42	88.44	+ 0.0

値を与えた(表-3.5)。平均年最大洪水流量についても、自己流区間の場合と同様の方法で算出し 486m³/s を与えた。また、不等流計算に用いる下流端境界条件(出発水位)としては、琵琶湖へ流入する河川の高水計画時に用いられる値である B.S.L.+0.4m を用いた。B.S.L.は琵琶湖基準水位(Biwako Surface Level)で T.P.+84.371m に相当する。

ここでは、3.2.3(4)で示した(低水路横断形状の)修正パターン(a)(c)に基づき河道設計を行った。このとき、ヨシ帯部分の平均基盤高は、ヨシ帯の生育可能範囲(表-3.1)の上限値の B.S.L.+0.2m を用いた。表-3.6 には、修正パターン別の設計河道の水理諸元、及び現況河道との用地幅の差を示す。さらに比較のため、設計河道のうち図-3.14 に基本形を、図-3.15 に修正パターン(a)、図-3.16 に修正パターン(c)の横断形状を示す。

表-3.6 に示すように、設計河道の摩擦速度 u_* (m/s) は、基本形で 0.187m/s、パターン(a)及び(c)では 0.158m/s と算定された。この区間の限界摩擦速度 u_{*c} は 0.063m/s ($d_R=2.5$ mm の条件で岩垣公式¹³⁾により算定)であるから、どの設計河道でも摩擦速度 u_* が限界摩擦速度 u_{*c} を上回っており、背水(感潮)区間の設計条件($u_*/u_{*c}>1$)を満足する。また、パターン(a)及び(c)では、ヨシ帯基盤に生じる摩擦速度 u_* は共に、平均年最大流量時に 0.12m/s、計画高水流量時に 0.22m/s と算定され、平均年最大流量時にはヨシ帯は直立状態として、計画高水流量時には倒伏状態として解析上評価された。用地幅は、修正パターン(a)と(c)(図-3.15、3.16)において基本形(図-3.14)よりも約 49.5m 狭く設計されており、これらの修正パターンが用地幅の縮減に効果的であることが確認された。

以上の結果から、3.2 で示した設計条件及び河道設計方法を用いれば、所要の流下能力を確保しつつ良好な河川環境を復元する河道設計が可能になると考えられる。また修正パターン(1)~(3)を適用すれば用地幅が低減できること、また、背水(感潮)区間においては、修正パターン(a)~(c)によりヨシ帯の倒伏特性を考慮した低水路横断形状を設定することで、環境にも配慮しながら用地幅が低減されることが確認された。

ところで、本章で示した設計条件は、汎用性を考慮しながら既往研究を集約し設定されているため、適用される河川独自の特性により個別に変更される余地もある。本章で示した設計条件を用いて河道設計を行い施工した場合に、想定どおりの結果にならない可能性もある。したがって、今後の適用にあたっては、事業実施段階にあってもモニタリングを継続しながら逐次フィードバックを行い、順応的に設計河道を見直していくことが必要となろう。

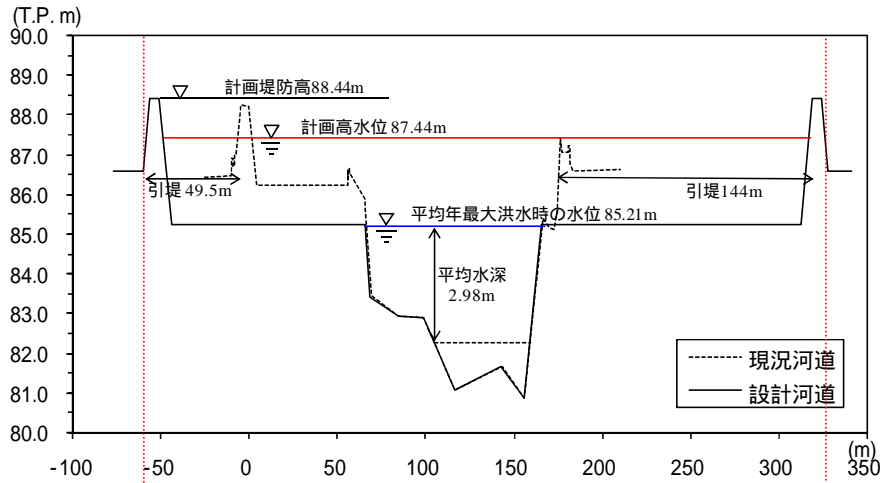


図-3.14 愛知川 0.4km 付近の設計河道(基本形)

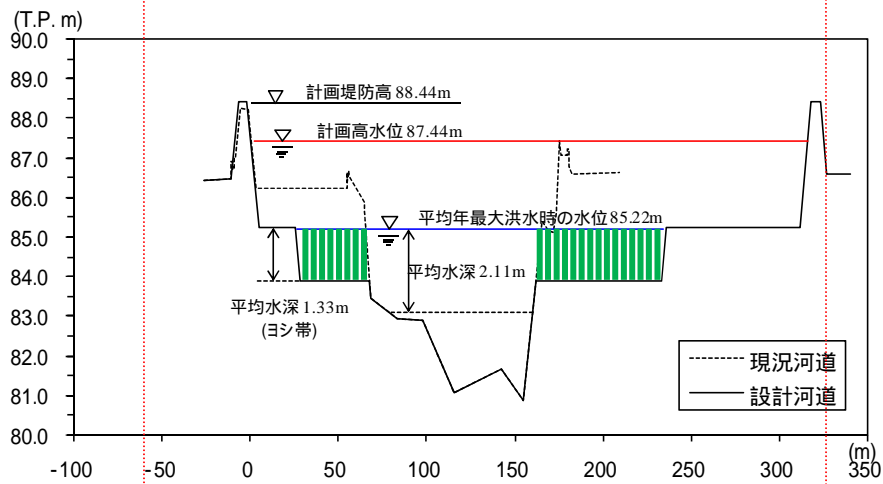


図-3.15 愛知川 0.4km 付近の設計河道(パターン(a))

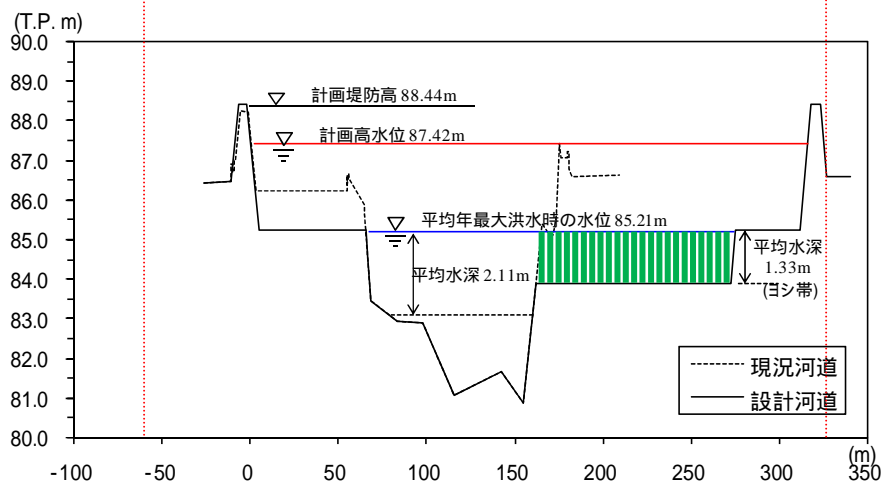


図-3.16 愛知川 0.4km 付近の設計河道(修正パターン(c))

3.4 結語

本章では、全国の事例や既往研究の成果等を踏まえ、幅広く中小河川に適用することを念頭におきながら、自然再生を前提とした具体的な河道の設計条件及び設計手順を提案した。本章で得られた成果を以下に要約しておく。

- 1) 社会活動との関わりの中で築かれてきた河川の 2 次的自然状態が、人為的改変により一方への不可逆的な河相の変化を生じさせることなく、動的平衡状態にあることを必要条件とし、特に河川の横断形状に着目して、適用すべき設計条件と設計の手順を示した。
- 2) 自己流区間においては、持続的に砂礫河原、瀬・淵が形成される状態を目標とし、平均年最大流量に対応する無次元掃流力と川幅水深比とが、砂州形成領域に含まれることを設計条件とした。
- 3) 背水区間(感潮区間)においては、近年各地で顕在化している湖岸(海岸)侵食を回避するため、上流からの供給土砂が河口付近で堆積せず湖岸(海岸)域へ持続的に供給されることを目標とし、平均年最大流量に対応する摩擦速度が限界摩擦速度を超えることを設計条件とした。
- 4) 治水と環境とを同時に考慮した河道設計を行うため、2)3)の設計条件を満たす低水路形状を設定したうえで、所要の流下能力を確保するように横断形状(引堤幅・高水敷幅・掘削深など)を設定する設計手順を示した。あわせて、用地制約等がある場合での対応策として用地幅を縮減する工夫の方法も示した。さらに、これを実河川に適用し、2)3)の設計条件を満たす河道形状の設定が可能であることが確認された。
- 5) これらにより、中小河川における自然再生を前提とし、具体的でかつ一般に適用できる先駆的な河道計画手法が提案された。

本章の成果は、平成 19 年(2007 年)度に、滋賀県の設計基準書である「滋賀県設計便覧(河川編)」に記載された。本章で示した設計条件や設計手順が、提言や任意の手引書という形ではなく、自治体を実施する全ての設計に適用が義務付けられる基準書に記載されたことは、現場を実際に変えるという意味において非常に効果的であると考えられる。また、3.3 で示した設計条件は、国土交通省四国地方整備局発行の手引書(河川伝統技術の導入方策・手引き(案)、2007)でも河道特性評価法として引用された。

本章で示した河道の設計条件は、既往研究を集約して設定したもので、かつ、本章の方法による河道の施工事例はまだ存在しないため、今後は、試験的な運用により施工事例を増やし、それらの結果を踏まえた更なる改善が望まれる。

第 5 章では、本章で提案した河道計画手法を安室川(自己流区間)に適用し、チスジノリ等の生育に適した、瀬・淵など多様な流れを有する河川環境を復元するための実施計画の策定を試みる。

参考文献

- 1) 瀧健太郎，児玉好史，都築隆禎，伊藤禎和，加藤陽平：琵琶湖湖辺域における湖岸保全施設によらない湖岸管理の実現可能性に関する一考察，リバーフロント研究所報告，第18号，pp.137-144，2007．
- 2) 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出機構に関する現地観測と考察，水工学論文集，第44巻，pp.825-830，2000．
- 3) 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 - 多摩川永田地区を事例として - ，河川技術論文集，第9巻，pp.85-90，2003．
- 4) 鎌田磨人，小島桃太郎，岡部健士：河川砂州上に侵入したシナダレスズメガヤを除去するために必要な洪水営力，応用生態工学会第8回研究発表会講演集，pp.97-98，2004．
- 5) 福岡泰斗，鎌田磨人：洪水によるシナダレスズメガヤの除去効果及びそれに対するヤナギ群落の阻害効果，応用生態工学会第9回研究発表会講演集，pp.187-190，2005．
- 6) 村本嘉雄，藤田裕一郎：中規模河床形態の分類と形成条件，第22回水理講演会論文集，pp.375-382，1978．
- 7) 黒木幹男，岸力：中規模河川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，第342号，pp.87-96，1984．
- 8) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，pp.453-458，1994．
- 9) 財団法人国土技術研究センター編：河道計画検討の手引き，山海堂，pp.163-180，2002．
- 10) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法，森北出版，pp.333-340，2005．
- 11) 滋賀県土木交通部：滋賀県設計便覧(河川編)，別紙第3編，第2章，pp.34-35，2007．
- 12) 財団法人国土技術研究センター編：河道計画検討の手引き，山海堂，pp.116-118，2002．
- 13) 社団法人土木学会：水理公式集平成11年度版，丸善，pp.158-159，1999．

第4章

中小河川での実用性を考慮した

自然再生計画のための二次元水理モデルの開発

4.1 概論

安室川自然再生計画¹⁾には、(1)人工的な河床攪乱、(2)流れの多様性を有する河道の再生等が重点実施施策に位置づけられており、第2章では重点実施施策である(1)人工的な河床攪乱に関する考察を行った。もう一つの重点実施施策である「(2)流れの多様性を有する河道の再生」に関する具体策の検討過程では、チスジノリの好適水理条件の把握、瀬・淵、たまり等が維持される河道形状の設定、などが課題となる。

良好な河川環境を回復・維持するための対策(河道の改変)を検討するためには、着目する生物の生育・生息環境のスケールに合わせた水理量の時間・空間変化を推定する必要がある。例えば、魚類や河道内植物等を対象とした場合、当該種の生息・生育環境を構成する瀬・淵、たまり、砂州などの河道微地形と流水との関係が重要となる。したがって、河川環境の保全・再生計画の検討に用いる水理モデルには、以下のような機能が求められる。

- 1) 河道微地形に作用する水理量の時空間変化の高い再現性
- 2) 対象種の生息・生育環境の差異を推測できるだけの空間分解能

河道内微地形の遷移には、平水時の流れや平均年最大程度までの中小規模洪水の影響が卓越する。そのため、河川環境の保全・再生計画の検討に用いる水理モデルでは、計画規模洪水の再現性に焦点を当てた水理モデルと異なり、平水時の流れから中小規模(平均最大程度の)洪水時の流れでの高い再現性が求められる。

1.1.2(2)でも述べたように既往研究では、前野ら²⁾により、植生の密生度と倒伏度合に応じた植生抵抗の変化を考慮した二次元水理モデルが提案されているが、植生の密生度は一様に扱われており、植生の密生度の面的なバラつきが河道内微地形に作用する水理量に与える影響までは評価されない。

そこで本章では、中小河川で得られる情報量にも配慮しつつ、服部らの植生抵抗の評価方法を応用して植生の倒伏過程や密生度の面的なバラつきを考慮することにより、上記1)2)の機能を有する二次元水理モデルの開発を試みる。

4.2 水理モデルの構築

4.2.1 水理モデルの構成

瀬・淵，たまり，河道内の植生，礫河原などの河道内要素は，面的な広がりを持つとともに，時々刻々とその状態を遷移させる．水深，流速，摩擦速度(掃流力)などを介して流水が河川環境に与える影響を評価するためには，平面二次元非定常流解析により，水理諸量の時空間変化を再現することが有効である．

河道微地形の遷移に支配的な平均年最大流量程度までの流量条件では，河道内に生育するツルヨシなどの高茎草本群落の抵抗が流れに大きく影響する．すなわち，植生抵抗の変化を詳細に評価することでモデルの再現性の向上が期待される．

そこで本研究では，浅水流方程式を基本とした平面二次元非定常流解析モデルを採用し，植生の密生度の面的なバラつきと倒伏過程での抵抗変化を考慮するため，植生抵抗項には服部らが提案した透過係数³⁾を与え，以下のように定式化した．

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial \xi} + v \frac{\partial u}{\partial \eta} \\ & = -g \frac{\partial H}{\partial \xi} - \frac{gn^2}{h^{3/4}} u \sqrt{(u^2 + v^2)} + 2 \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial \eta} \right) - \frac{g}{k^2} u \sqrt{u^2 + v^2} \end{aligned} \quad (4.1)$$

水面勾配
河床の摩擦抵抗
流れの乱れ
植生抵抗

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial \xi} + v \frac{\partial v}{\partial \eta} \\ & = -g \frac{\partial H}{\partial \eta} - \frac{gn^2}{h^{3/4}} v \sqrt{(u^2 + v^2)} + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial \xi} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) - \frac{g}{k^2} v \sqrt{u^2 + v^2} \end{aligned} \quad (4.2)$$

水面勾配
河床の摩擦抵抗
流れの乱れ
植生抵抗

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial (uh)}{\partial \xi} + \frac{\partial (vh)}{\partial \eta} = 0 \quad (4.3)$$

$$k = \left(\frac{g \cdot \rho \cdot (u^2 + v^2)}{N \cdot F_D} \right)^{0.5} \quad (4.4)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \rho \left(C_D + C_{DL} \frac{A_l}{2ld} \right) d (u^2 + v^2) \cos^2 \theta + \frac{1}{2} \rho \cdot C_{SL} \frac{A_l (u^2 + v^2)}{l \cos \theta} \quad (4.5)$$

ここに， ξ ：流下方向座標軸， η ：横断方向座標軸， u ：流下方向の水深平均流速(m/s)， v ：横断方向の水深平均流速(m/s)， t ：計算時間(s)， h ：水深(m)， H ：水位(m)， g ：重力加速度(m/s²)， n ：河床の粗度係数(m/s^{1/3})， ε ：水平渦動粘性係数(0.3 hu_*)， k ：透過係数， ρ ：水の密度(kg/m³)，

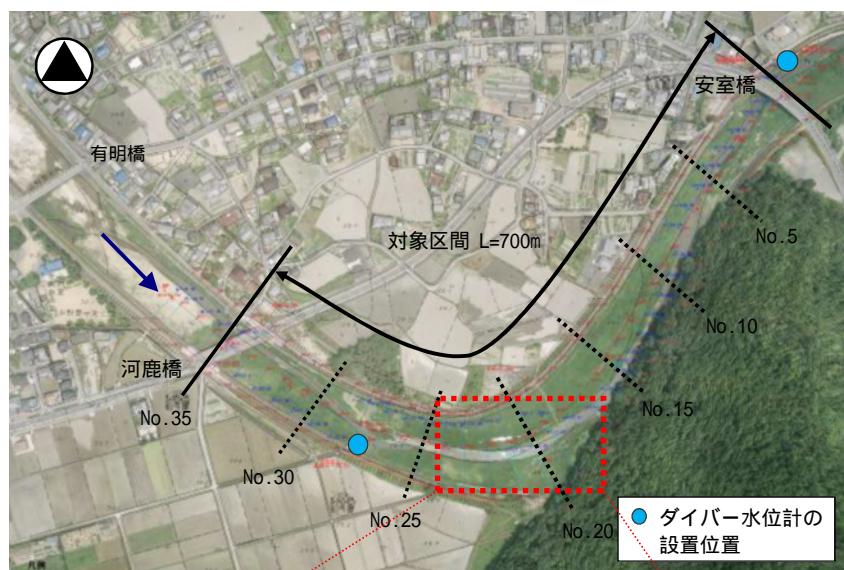


写真-4.1 適用区間（河鹿橋～安室橋：千種川合流から約3.0km）

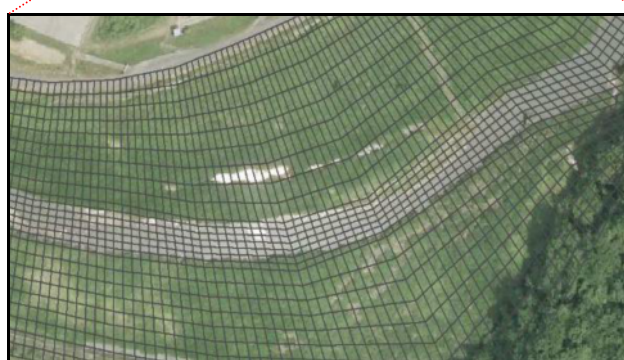


図-4.1 メッシュ分割

N ：単位面積あたりの本数(本/m²)， F_D ：抗力(N/本)， A_l ：植生一本あたりの葉の総面積(m²/本)， l ：茎の長さ(m)， d ：茎の直径(m)， θ ：倒伏角度， C_D ：茎の抗力係数， C_{DL} ：葉の抗力係数， C_{SL} ：葉の摩擦抵抗係数である．

4.2.2 解析対象区間

安室川の中流域(千種川合流から約3.0km上流，河鹿橋～安室橋)の約700mを対象区間とする(写真-4.1)．この区間では，流路の固定化，砂州の陸地化，陸域性の侵略的外来植物(セイタカアワダチソウ(*Solidago canadensis* var. *scabra*))の侵入等，河川改修後の中小河川に見られる典型的な環境劣化が進行している．一方でこの区間の一部には，礫河原や瀬・淵、湧水，たまりなどの物理環境，チスジノリや在来の水辺植物など良好な生物相も残されている．

4.2.3 メッシュ分割

メッシュ分割は，流路の広狭や法線形を詳細に表現できるよう一般座標系を採用した(図-4.1)．流下方向には2m間隔で分割した．横断方向に分割する際には，平水時の水際線で流路と陸上部

とを区分し，流路内を7分割(概ね2m間隔)，陸上部では左右岸ともに9分割(0.1m～4m)とした．また，平成18年(2006年)6月には20m間隔での横断測量を実施し，得られた標高を線形補間して各メッシュの地盤高を与えた．

4.2.4 植生抵抗のモデル化

(1) 植生分類

適用区間ではツルヨシ(*Phragmites japonica*)群落が優占(90%程度)している．表-4.1に示すようにツルヨシの生育状態に応じて，被度が50%以下の群落をツルヨシ(疎)，50%以上の群落をツルヨシ(密)として二つの植生分類に分け，透過係数 k を設定した．ツルヨシが疎な状態でも，カナムグラ(*Humulus paponicus*)のようなツル性草本と混生する場合には倒伏しにくくなるため，ツルヨシ(密)と同様に扱うこととした．セイタカアワダチソウやヨモギ(*Artemisia princeps Pampan*)は，ツルヨシと同程度の強い流水抵抗を持つものとし，ツルヨシ(密)と同じ透過係数を与えた．

なお，ツルヨシに比べ背が低く柔らかな水際植物であるヤナギタデ(*Polygonum hydropiper*)・ミゾソバ(*Polygonum thunbergii*)等の群落も一部に見られたが，分布範囲も限られており，今回の解析では植生抵抗を評価せず，裸地として取り扱った．

(2) 植生の抗力

抗力 F_d に関するパラメタ諸量を表-4.2に示す．パラメタ諸量のうち，ツルヨシの茎の長さ l ，茎の直径 d ，単位面積あたりの本数 N ，1本あたりの葉の総面積 A_l については，図-4.2に示のように疎密を分類区分して，区分ごとの代表的な群落を対象にコドラート調査(1m×1m，11箇所)を実施し，得られたデータの平均値を与えた．茎の抗力係数 C_D ，葉の抗力係数 C_{DL} ，葉の摩擦抵抗係数 C_{DL} は，服部ら³⁾の実験結果に基づく値を採用した．

(3) 倒伏条件

一般的な河道計画マニュアル⁴⁾を参照し，平均流速から算定した摩擦速度と高茎草本類の倒伏状態(直立・たわみ・倒伏)との関係を用いて倒伏条件を与えた(表-4.3)．また，一旦たわみ状態になった場合は直立状態に，また，倒伏状態になった場合はたわみ状態に戻らないものと仮定した．

(4) 倒伏角度

平成18年(2006年)7月19日に比較的大きな出水(既往第4位，ピーク流量110m³/s)があり，出水後11日目に現地にて倒伏状況をしたところ，最大倒伏高は直立高の概ね20%であった．また，倒伏開始時の摩擦速度は0.12m/sであるため(表-4.3)，摩擦速度と倒伏角度の関係は図-4.3のようにモデル化することができ，たわみ状態での倒伏角度 θ を便宜的に式(4.6)に示す二次関数で与えることとした．

$$\theta = \left(\frac{\pi}{2} - \sin^{-1} 0.2 \right) \cdot (u_* - 0.12)^2 \quad (4.6)$$

ここに， θ :倒伏角度(rad)， u_* :摩擦速度(m/s)である．

(5) 河床の粗度係数

河床の粗度係数としては，現地での河床材料調査(平成18年(2006年)6月)の結果から，一般的な河道計画マニュアル⁵⁾を参照し，代表粒径ごとに整理されている推奨値を採用した(表-4.4)．

表-4.1 植物群落の構成とモデル上の分類

植物群落の構成	モデル上の分類
ツルヨシ単独で疎生	ツルヨシ(疎)
ツルヨシ単独で密生	
ツルヨシ(疎)+カナムグラ	
ツルヨシ(疎)+セイタカアワダチソウ	ツルヨシ(密)
セイタカアワダチソウ+カナムグラ	
ヨモギ+カナムグラ	

表-4.2 透過係数の算定パラメタ

	適用区分	適用区分	
		ツルヨシ(密)	ツルヨシ(疎)
茎の長さ(m)	l	群落ごとに設定	
茎の直径(m)	d	0.006	0.006
単位面積あたり本数(本/m ²)	N	95	50
1本あたりの葉の総面積(m ² /本)	A_l	0.096	0.070
茎の抗力係数	C_d	1.000	
葉の抗力係数	C_{dL}	0.095	
葉の摩擦抵抗係数	C_{SL}	0.015	

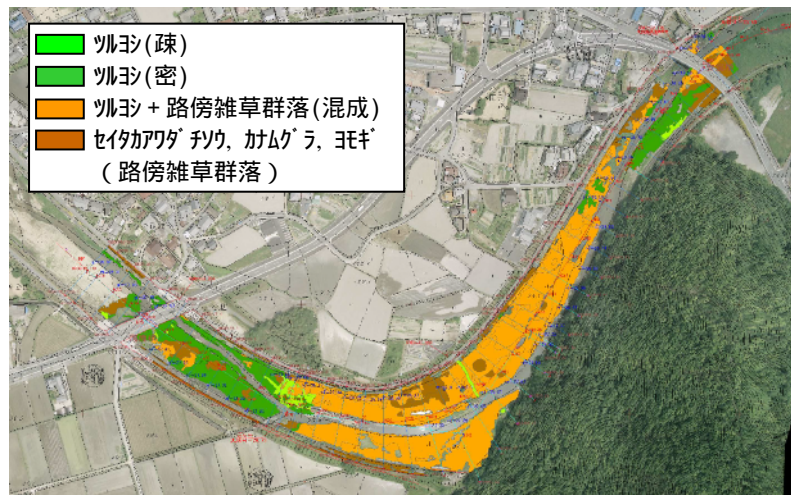


図-4.2 解析モデルで取り扱う高茎草本群落の分類

表-4.3 植生の倒伏条件⁴⁾

状態	摩擦速度 u_* の範囲(m/s)
直立状態	$u_* < 0.12$
たわみ状態	$0.12 < u_* < 0.22$
倒伏状態	$u_* > 0.22$

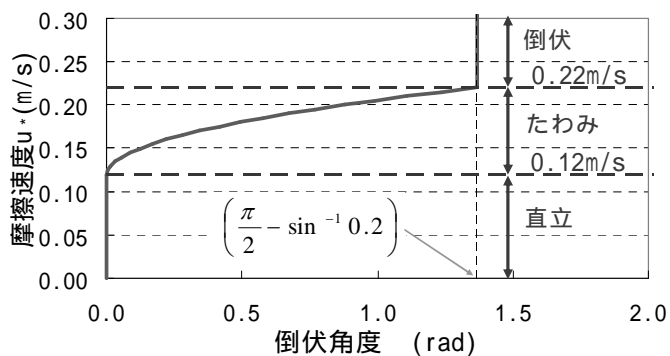


図-4.3 摩擦速度と倒伏角度との関係

表-4.4 粗度係数⁵⁾

区分	粗度係数 n
流路内	0.029 - 0.034
陸上	0.020

4.3 水理モデルの適用と考察

4.3.1 水位の再現性

構築した水理モデルを用いて、平成18年(2006年)7月19日洪水の再現計算を実施した。このとき、上流端境界条件(洪水波形)及び下流端境界条件(出発水位)には、第2章で構築した準二次元モデル(フラッシュ放流波形の解析用)による計算値を与えた。ただし、横断測量及び河床材料調査の結果(平成18年(2006年)6月に実施)に基づいて、河道断面と粗度係数は更新されている。

水理モデルの再現性を検証するため、表-4.5に示す4ケースで計算を行った。図-4.4には再現計算に用いたハイドログラフを示す。図-4.5には、case.Aからcase.Dまでの計算水位と上流側のダイバー水位計(位置は写真-4.1参照)の実測水位との比較結果を示す。Case.Bでは、全体的に計算水位が実測値よりも低めに評価され、他のケースと比較して最も実測値との乖離が大きい。case.Cでは、ピーク付近で再現性が良いが、水位上昇過程では水位が高めに評価された。case.Dでは、立ち上がり付近での再現性は良いが、ピーク付近では水位が高めに評価された。case.Aでは、水位上昇過程で若干水位が低めに評価されているものの、他ケースに比べ偏りが少なく全体的に良好な再現性が得られた。これにより、植生の倒伏過程を考慮したモデルの有効性が確認された。さらに倒伏角度等を精緻に与えるなどの工夫により再現性の向上が期待される。

4.3.2 植生の倒伏過程の再現性

平成18年(2006年)7月19日洪水の再現結果から植生倒伏過程を整理した。図-4.6には、流量が $20\text{m}^3/\text{s}$ に達し、上下流部の砂州から徐々に冠水が始まった時点での倒伏高 $h(\text{m})$ と植生高 $h_v(\text{m})$ との比(倒伏度) h/h_v を示す。図-4.7にはピーク流量 $110\text{m}^3/\text{s}$ に達した時点での倒伏度(h/h_v)を示す。解析結果では、まず適用区間の上下流部の砂州が冠水して倒伏が始まり、ピーク流量時には、ほぼ全域で完全に植生が水没し湾曲部の内・外岸側の一部を除き倒伏状態になると評価された。

図-4.8にはピーク流量時の植生抵抗(抗力 F_d 値)の分布を示す。ここでは、上下流部や湾曲部下流の内岸側(図中の破線印)で植生抵抗が大きく評価されている。

ここで図-4.9に、出水の約一ヶ月前(平成18年(2006年)6月下旬)の未倒伏時に調査した植生高分布を示す。これを解析結果(図-4.6, 4.8)と比較してみると、砂州冠水直後に倒伏度(h/h_v)が0.5以上と評価された箇所(図-4.6)、及びピーク時に抗力 F_d が0.002以上とされた箇所(図-4.8)は、植生高が1.0m以下となる箇所(図-4.9)に概ね重なっていることが分かる(図中破線印)。この結果から、冠水頻度が高く早い段階で倒伏が起こる箇所、洪水時の植生抵抗が大きい箇所では、同一種の群落でも植生高が小さくなる傾向が示唆される。

次に、出水後11日目に調査した倒伏度(h/h_v)の分布を図-4.10に示す。ここでは倒伏度(h/h_v)が0.2~0.5で倒伏大、0.5~0.8で倒伏中、0.8~未倒伏で倒伏小と分類している。上下流部及び湾曲部直下の内岸側(図中破線印)では倒伏中・小との判定になっており、ピーク流量時にほぼ全域で倒伏状態であるという解析結果(図-4.7)とは異なっていた。

ところで、図-4.10で倒伏中・小と判定されている箇所は、植生高が比較的小さい箇所(図-4.9)とよく一致しており、ここから出水後11日目には背の低い植生はあまり倒伏していないことが分かる。一般に、背が低く自重の小さいヨシは、倒伏状態から直立状態へは比較的速やかに回復する傾向がみられる。このことから、図-4.10で倒伏中・小と判定された箇所の植生は、ピー

表-4.5 モデルの再現性の検証に用いた計算条件

case.A	植生の倒伏過程を考慮
case.B	植生抵抗を無視
case.C	植生の倒伏過程を考慮しない(終始倒伏状態)
case.D	植生の倒伏過程を考慮しない(終始直立状態)

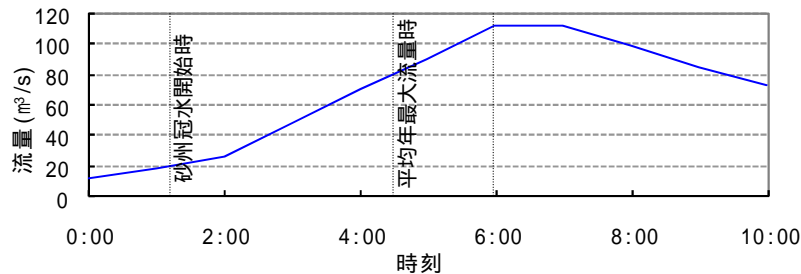


図-4.4 再現計算に用いた洪水ハイドログラフ(有明橋付近, 写真-4.1参照)

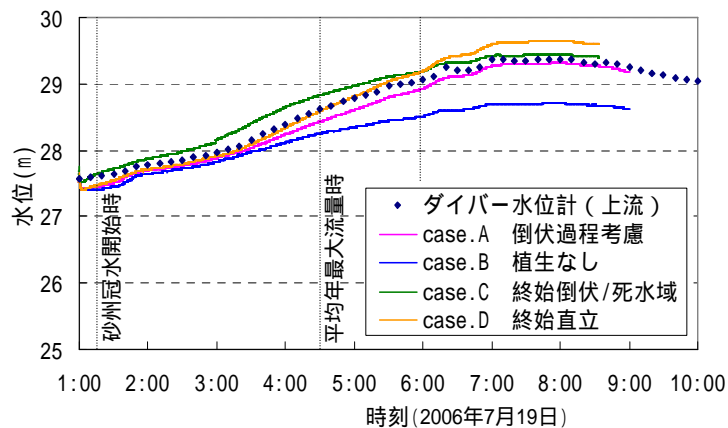


図-4.5 植生抵抗及び倒伏過程を考慮しない解析値との比較
(ダイバー水位計位置(測点No.26右岸側), 図-4.1参照)

ク流量時まで完全に水没し倒伏したものの、背が低く自重も小さいため、出水後11日には倒伏状態からある程度回復したと推測でき、図-4.7の解析結果とも矛盾しないと考えられる。

4.3.3 植生抵抗と河床抵抗の評価

本モデルでは、式(4.1)(4.2)に示すように、河床(砂州地盤面)の摩擦抵抗と植生抵抗を個別に評価できる。以下、河床の摩擦抵抗と植生抵抗の項の計算値を速度の次元に換算したものを河床抵抗と植生抵抗と表現する。ここで、平成18年(2006年)7月19日洪水の再現計算で得られた河床抵抗の最大値(m/s)を図-4.11に、植生抵抗の最大値(m/s)を図-4.12に、植生が全くないと仮定した場合の河床抵抗の最大値(m/s)を図-4.13に示す。

特に、図-4.11と図-4.12の結果を比較すると、砂州にツルヨシ等が繁茂している場合の河床抵抗は0.02~0.10m/sであるのに対して、植生抵抗は広い範囲で0.30m/sを超えており、河床抵抗に比べて植生抵抗が卓越していることが分かる。

摩擦速度が0.02~0.10m/sである場合、岩垣公式⁶⁾を用いて移動限界粒径を算定すると1mm以下となった。図-4.13に示すように、砂州に植生がない場合は、繁茂している場合に比べ河床抵抗

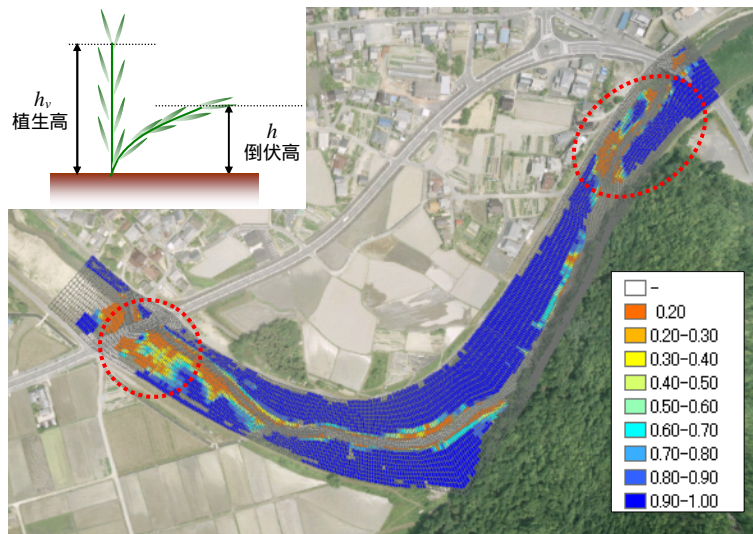


図-4.6 砂州冠水直後($20 \text{ m}^3/\text{s}$)の倒伏状況(h/h_v)

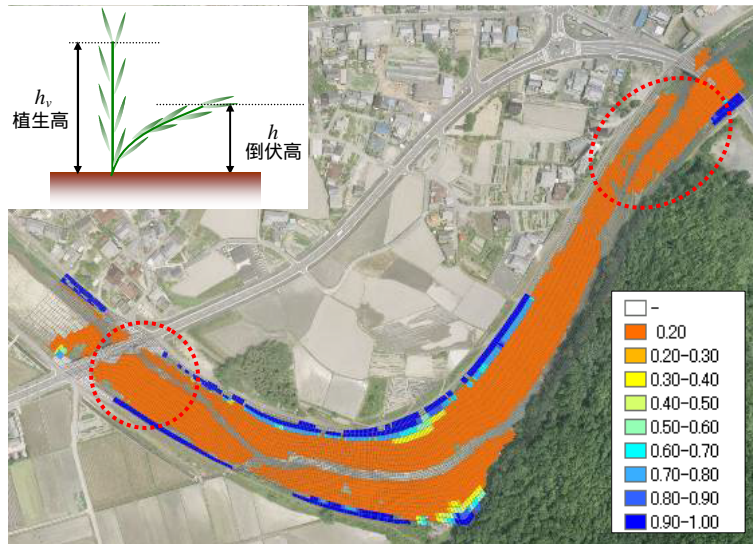


図-4.7 ピーク流量($110 \text{ m}^3/\text{s}$)時の倒伏状況(h/h_v)

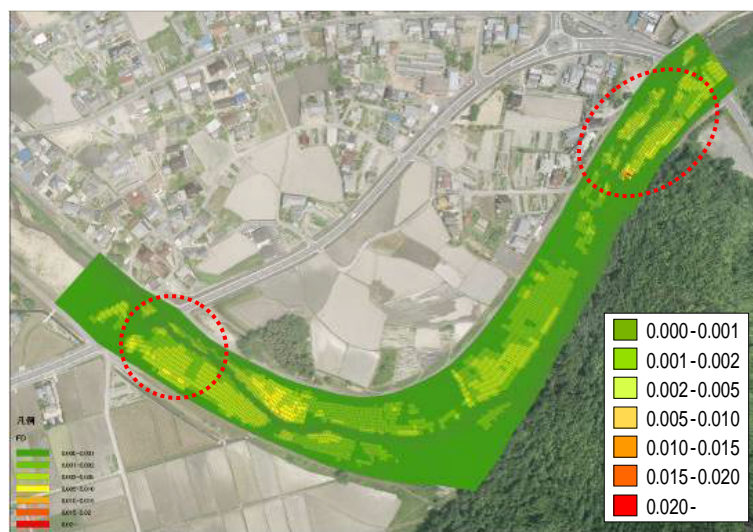


図-4.8 ピーク流量($110 \text{ m}^3/\text{s}$)時の植生抵抗(抗力 F_d)

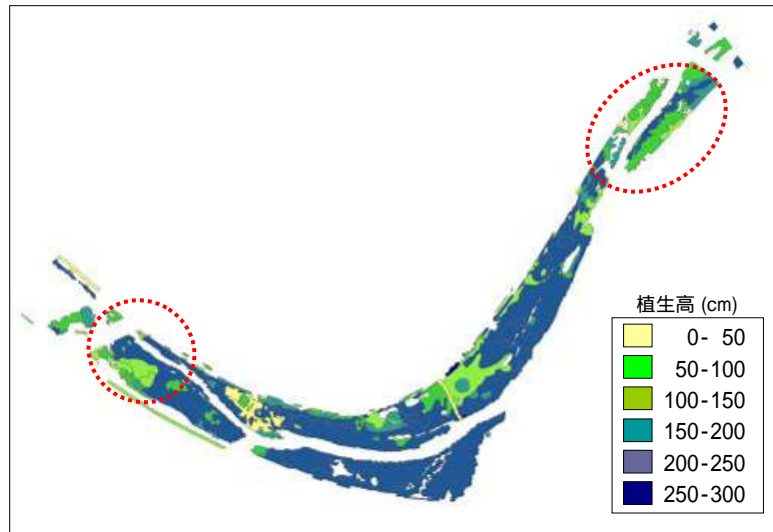


図-4.9 植生高分布(2006年6月・現地調査結果)

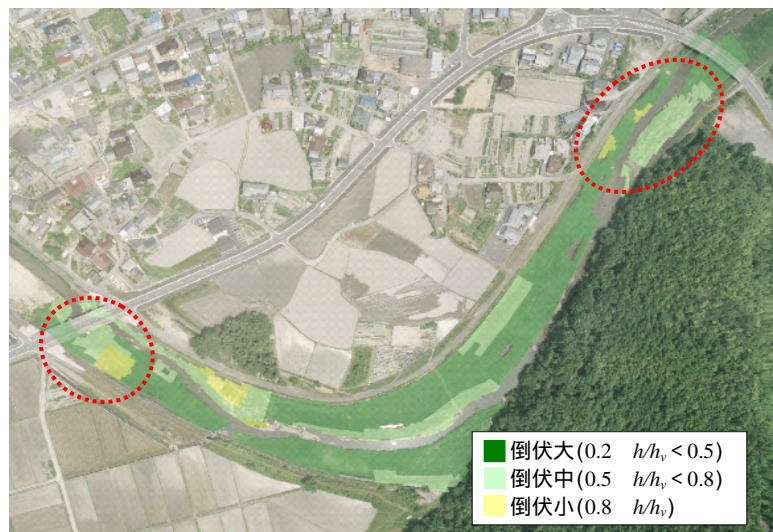


図-4.10 出水11日後の植生倒伏状況(現地調査結果)

が大きく評価され0.10～0.20m/sとなり、移動限界粒径は5mm以下となった。

この結果から、ツルヨシ等が繁茂した砂州では、裸地に比べ、細粒分が移動し難い傾向となることが示唆される。また、適用区間の砂州では1mm以下の細粒分の堆積が進行している。このため、ツルヨシ等の繁茂が堆積傾向を強め、砂州の陸地化を助長した可能性も示唆される。

4.3.4 水理モデルの空間分解能の検証

次に、本水理モデルが、対象種の分布と水理諸量との関係性を的確に表現できるかどうかを検証するため、解析結果(平水時(0.8m³/s)の流速)とチスジノリの分布を比較した。

平水時(0.8m³/s)の流速分布の計算値とチスジノリ分布を重ね合わせた結果を図-4.14に示す。図-4.14からも分かるように、チスジノリは数メートルから十数メートルの範囲に群生している

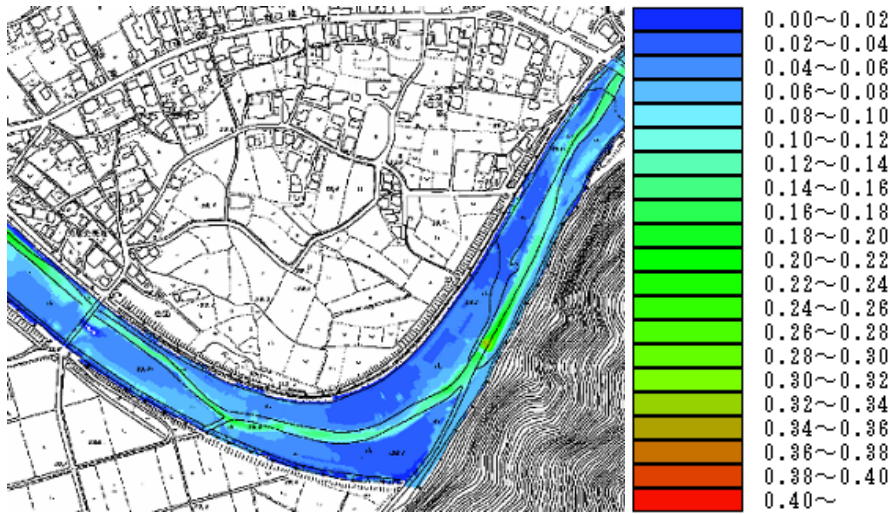


図-4.11 河床抵抗(最大値(m/s))

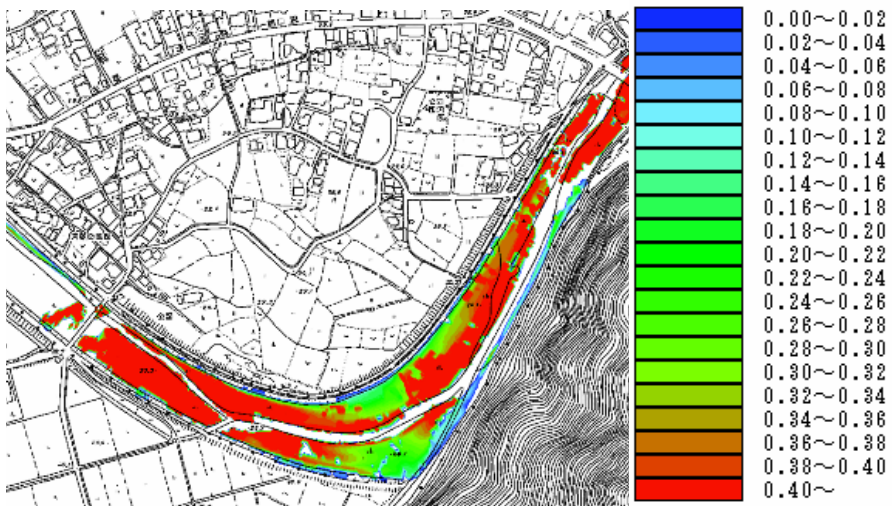


図-4.12 植生抵抗(最大値(m/s))

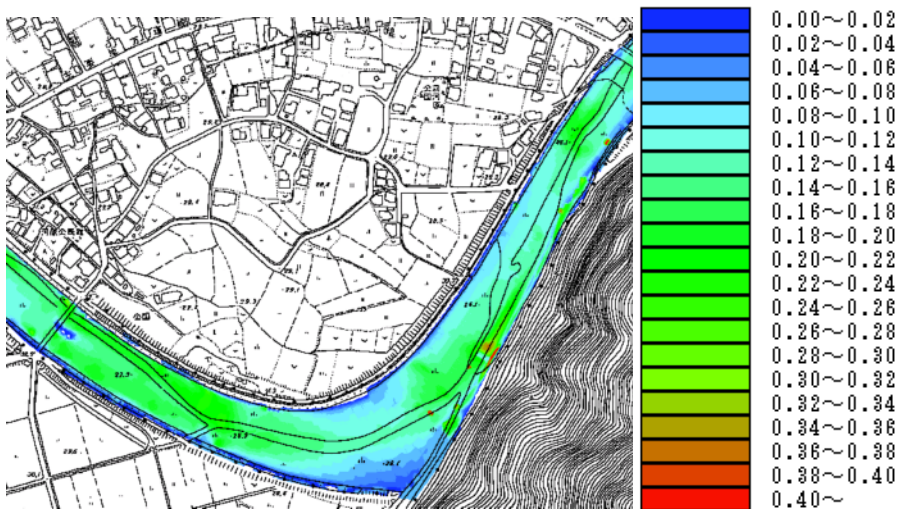


図-4.13 河床抵抗(最大値(m/s))：植生なしの場合

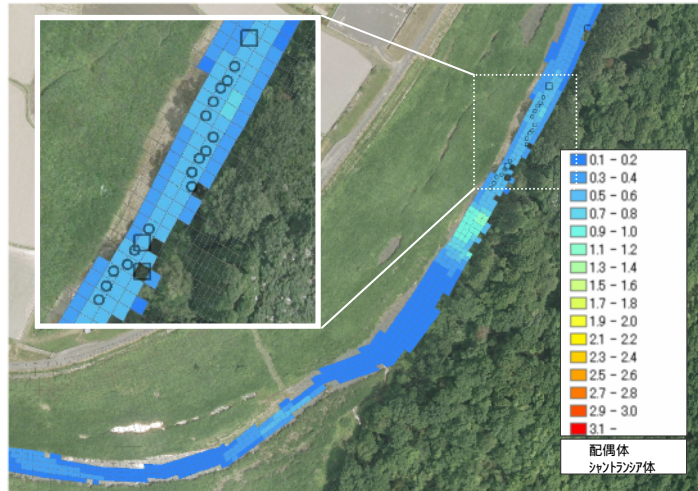


図-4.14 平水時(0.8m³/s)の流速(m/s)とチスジノリの分布範囲

ことが多い．図-4.14からは平水時の流速が比較的大きい箇所にチスジノリが分布する傾向が視覚的に確認される．この傾向は，検討会によるチスジノリの好適生育環境に関する仮説と整合する(第2章参照)．したがって本水理モデルは，チスジノリ分布と水理諸量との関係性を推測できるだけの空間分解能を有すると考えられる(第6章で詳述)．

また，チスジノリのように川底に付着する藻類のほか，貝類，トビケラなどの底生昆虫，アユ等の回遊性魚類の産卵床，タナゴなど非回遊性魚類の生育場，さらには河道内植物の分布なども同程度の空間的なバラつきを持つことから，本解析モデルは幅広い対象種にも応用可能であると考えられる．

4.4 結語

本章では，河川での環境整備や自然再生を検討するための技術ツールとして，服部ら⁸⁾による植生抵抗の評価手法を二次元非定常流解析に適用することにより，植生の倒伏過程に応じた流水抵抗を考慮した解析モデルを構築した．本章で得られた成果を以下に要約しておく．

- 1) 服部ら⁸⁾の手法の適用にあたり，以下を新たに考慮し，再現性の高い解析モデルを構築した．
 - ・ 植物群落を種別ではなく繁茂状況に応じて疎・密に分類し，抗力 F_d の各パラメタを与えた．
 - ・ 植生の倒伏状態(直立・たわみ・倒伏)は，摩擦速度を用いて簡易的に判定した．
 - ・ 植生の倒伏角度は，最大倒伏角度から直立状態まで，便宜的に摩擦速度の二次関数で与えた．最大倒伏角度は出水直後の現地調査により決定した．
- 2) 実績洪水の再現計算により，次のモデル性能が確認された．
 - ・ 計算結果は，安室川の実績洪水(平成18年(2006年)7月19日洪水)の水位変化をよく再現した．特に，ピーク付近だけではなく，砂州冠水時からピークに至るまでの過程も精度よく再現

した。

- ・ 計算により得られた植生の倒伏状況は出水後の倒伏調査結果とよく一致しており，植生の倒伏過程もよく再現した。
- ・ 計算結果と植生分布との重ね合わせにより，植生抵抗が大きくかつ河床抵抗が小さく評価された箇所に背の低い植生群が分布し，逆に植生抵抗が小さくかつ河床抵抗が大きく評価された箇所に背の高い植生群が分布する傾向が確認された。
- ・ 計算結果とチスジノリの生育分布とを重ね合わせることで，水理量とチスジノリ分布の因果関係を視覚的に確認でき，チスジノリとの水理量の空間分布の関係が明瞭に表現された。

以上のように，本章で示したモデル化の手法により，水理諸量と河道内植生やチスジノリ分布との因果関係を分析できる解析ツールが開発された。植生抵抗を詳細に考慮した二次元解析の活用は，基礎データの収集やモデル構築に多大な労力が必要であるとの実務者の抵抗感が大きく，これまでは現場での利用がなかなか進まなかった。しかし，今回示した手法では実用性を考慮し，簡単な現地調査で得られる情報を利用して流れを再現できるように工夫されており，基礎情報が不足がちな中小河川でも比較的適用しやすいモデルとなっている。特に最近では，身近な水辺の自然再生が求められており，中小河川の自然再生計画の検討を行う場面では，この解析モデルが積極的に活用されることが期待される。

次章(第5章)では，この解析モデルを安室川に適用し，河道形状を改変による水理諸量への影響を検証しながら，環境改善に効果的で，(出水等を経験しても)維持される河道改変の実施計画の策定を試みる。

参考文献

- 1) 兵庫県：安室川自然再生計画，第3章，pp.13-16，2004．
- 2) 前野詩郎，渡辺敏，藤塚佳晃：簡易に得られる植生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．
- 3) 服部敦，瀬崎智之，近藤和仁，藤田光一：ヨシ群落上流れに関する大型水路実験と抵抗則の検討，土木学会第55会年次学術講演会講演概要集，第2部，pp.616-617，2000．
- 4) 財団法人国土技術研究センター編：河道計画検討の手引き，山海堂，pp.116-118，2002．
- 5) 国土交通省河川局編：美しい山河を守る災害復旧基本方針，巻末資料，参考 I，pp.3-4，2006．
- 6) 社団法人土木学会：水理公式集平成11年度版，丸善，pp.158-159，1999．

第5章

河川環境改善に向けた順応的な河道管理手法

5.1 概説

本章では、安室川自然再生計画¹⁾に示される重点実施施策のうち、「(2)流れの多様性を有する河道の再生」を効果的に実施するため、第3章で提案した河道設計法、及び、第4章で開発した水理モデルを活用して、河川環境を修復するための河道設計を行う。また、設計に基づき試験施工を実施し、その後の河道の遷移の観測結果を踏まえて、今後の順応的な河道管理の方法について検討する。

5.2 河川環境改善の方針及び設計条件の設定

5.2.1 検討方針

本研究では、河道形状の修正にあたり、安室川の河川環境が劣化する以前(昭和30年～40年代)の状態を参考に、安室川の持つ自然の営力(ダイナミズム)によって、以下の 及び の状態が、持続的に更新・維持されることを目標とした。

瀬・淵、たまり、湧水がある状態

砂州の陸地化及び外来植物の侵入がない状態

ここでは、自然のリズムに合わせて河川環境は時々刻々と変化し続けつつ、河相が不可逆的に一方向だけに進行しない状態を目指すこととした。

調査区間として、砂州の陸地化、侵略的外来植物の侵入、流路の固定化等が顕在化していた中流部約700m(河鹿橋から安室橋までの間)を選定した(写真-4.1, 第4章での解析対象範囲と同じ区間)。

5.2.2 設計条件の設定

(1) 砂州形成、瀬・淵の維持条件

第3章では、上流側から適度な土砂供給があれば、平均年最大流量(80m³/s)時の川幅水深比 B/H_L が10～30を超え、かつ無次元掃流力 τ_* が0.06～0.10を超えると、直線河道においても交互砂州等の中規模河床波が形成されること、さらに数年に一度の洪水で主要な河床材料が掃流され、砂州が移動し、砂礫河原や瀬・淵が動的に維持されることなどが示された。これに基づき、安室川での砂州の形成、瀬・淵の維持を図るため、次の設計条件を与えた。

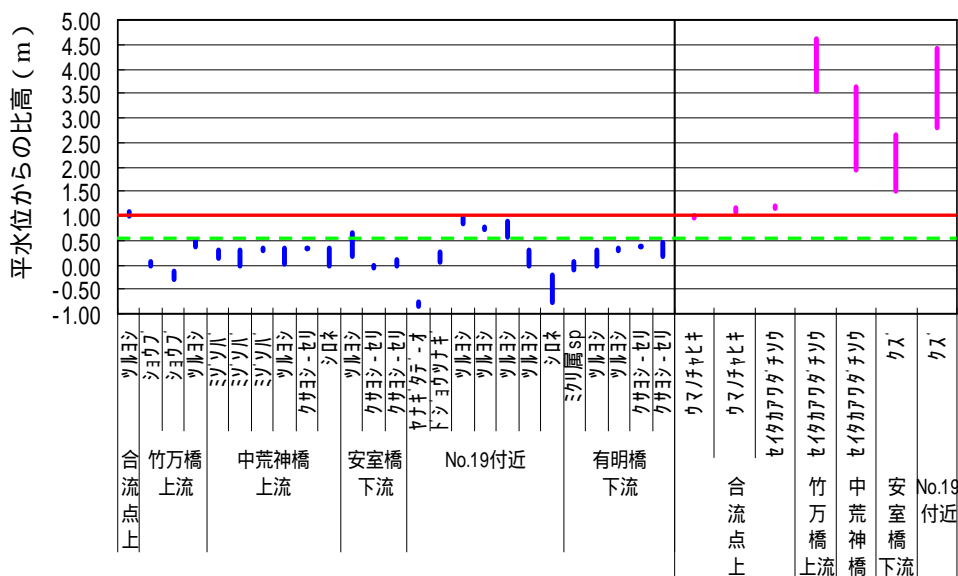


図-5.1 調査区間周辺における植物の分布範囲(2004年調査²⁾)

$$B/H_L > 10 \text{ かつ } \tau_* > 0.06 \quad (5.1)$$

ここに、 B ：低水路川幅(m)， H_L ：低水路平均水深(m)， τ_* ：平均年最大流量 Q_m (m^3/s)時の無次元掃流力である。

(2) 良好な水辺植生の維持条件

調査区間周辺での植物の分布範囲(平水位からの比高)を図-5.1示す(2004調査²⁾)。平水位+1.0m以上でセイタカアワダチソウ(*Solidago Canadensis ver. scabra*)・クズ(*Pueraria lobata*)等の陸生植物の侵入が確認できる(図-5.1右側)。セイタカアワダチソウは侵略的外来植物で安室川固有の植物相に悪影響を及ぼす可能性が高い。また、速い流れの水辺に生育するツルヨシ(*Phragmites japonica*)は平水位+1.0m以下に分布し、緩やかな流れの水辺に生育するミゾソバ(*Polygonum Thunbergii*)やヤナギタデ(*Polygonum hydropiper*)などの群落は平水位+0.5m以下で確認できる(図-5.1左側)。このような緩やかな流れの水辺周辺には、タコノアシ(*Penthorum chinensis*)、カワジシャ(*Veronica undulate wall*)、ゴキヅル(*Actinostemma lobatum*)などの希少植物も確認されている。これらを踏まえ、安室川における良好な植物相の成立条件を次のように設定した。

- ・セイタカアワダチソウの根・地下茎から駆除し再侵入を防ぐため、セイタカアワダチソウが分布し始める比高(平水位+1.0m)から0.3mの余裕をみて、計画砂州高(比高)を平水位+0.7m以下とする。
- ・緩やかな流れの水辺に生育する植物(ミゾソバ・ヤナギタデ等)の再生を図る箇所では、計画砂州高(比高)を平水位+0.5m以下とする。

(3) 治水安全度の条件

調査区間では、砂州の陸地化が進行し部分的に流下能力が不足していた。安室川は改修済みであり、計画高水流量 $470m^3/s$ に見合う河積の確保は河川管理の前提条件である。そのため、流下能力が不足する部分については、必要な河積が確保できるよう、砂州高の上限を設定した。

5.2.3 河道設計に用いる水理モデル

式(5.1)で与える砂州形成、瀬・淵の維持条件への適合・非適合の判定には、第2章でフラッシュ放流波形の解析用に構築した準二次元水理モデルを用いた。また、河道微地形の改変後の水理量(水位・流速・掃流力など)の予測には、第4章で開発した二次元水理モデルを用いた。

5.3 河道設計及び試験施工の結果と考察

本節では、前節(5.2)で設定した設計条件を用いて、目標とする河川環境(瀬・淵、たまり、湧水がある状態、砂州の陸地化及び外来植物の侵入がない状態)を実現するため、次の4パターンの改変(図-5.2)について実施した河道設計及び試験施工の結果を示しその妥当性を検証する。

5.3.1では現況流路の改変(付替え・掘削等)による瀬・淵の再生について、5.3.2では砂州の(部分的な)切り下げによるたまりの再生について、5.3.3では砂州の(部分的な)切り下げによる大型淵(湧水)の再生について、5.3.4では砂州の切り下げによる外来植物の侵入抑制について述べる。

5.3.1 現況流路の改変(付替え・掘削等)による瀬・淵の再生

河道形状の修正により、砂州の形成、瀬・淵の維持に要する条件を満足するかどうかについて、第2章で構築したフラッシュ放流波形解析用の準二次元水理モデルを用いて検証した。

現況河道(平成18年(2006年)7月時点)では、川幅水深比 B/H_L は設計条件(>10)を満足していたため、河道形状の修正により十分な無次元掃流力 τ_* を得ることが設計上の課題となった。ただし、治水上の制約から、橋梁基礎の保護などを目的に点在する床固工(図-5.2)の保持、計画高水流量を満足する河積の確保を考慮する必要がある。このため、実現可能な修正パターンを設定する場合、床固工間を計画河床以下での掘削することが原則となる。このような掘削条件のもと、いくつかの修正パターンで試行錯誤したが、どのパターンでも床固工間の貯留効果が大きくなり、かえって水面勾配の低下を招き、結果的に十分な無次元掃流力 τ_* を得られなかった(表-5.1)。

ところが一方で、現況河道では、平成18年(2006年)度の出水期を経て砂州、瀬・淵が成長するなど、良好な河相の遷移が見られていた(写真-5.1)。この遷移には、以下の原因が考えられる。

- ・ 調査区間の上流側(有明橋～河鹿橋)において平成18年(2006年)3月に実施された砂州の切り下げ工事(流下能力の確保が目的)により、植生で被覆されていた砂州が裸地状態となり、一時的に土砂移動が活発化した。
- ・ 平成18年(2006年)度は、7月に既往4位の出水(ピーク流量 $110\text{m}^3/\text{s}$)をはじめ、前年の最大流量(約 $40\text{m}^3/\text{s}$)を超える出水が6回以上発生するなど、攪乱頻度が増加した。
- ・ 経年的に河床材料の細粒化が進み、比較的小さな洪水でも河床が変動しやすくなった。

また、平成18年(2006年)9月には、調査区間でシャントランシア体の生育が新たに確認された。

このように、現状で良好な遷移が進んでいる状況を考慮すると、平成19年(2007年)度に直ちに現況流路を改変してしまうことを避け、その後の経過を観察すべきと判断される。そのため、当面の方針として、瀬・淵の成長など、現地で進行する河道形状の遷移をモニタリングしその要因分析を重ねたうえで、その後、段階的・順応的に現況流路の改変方法を検討することとした。

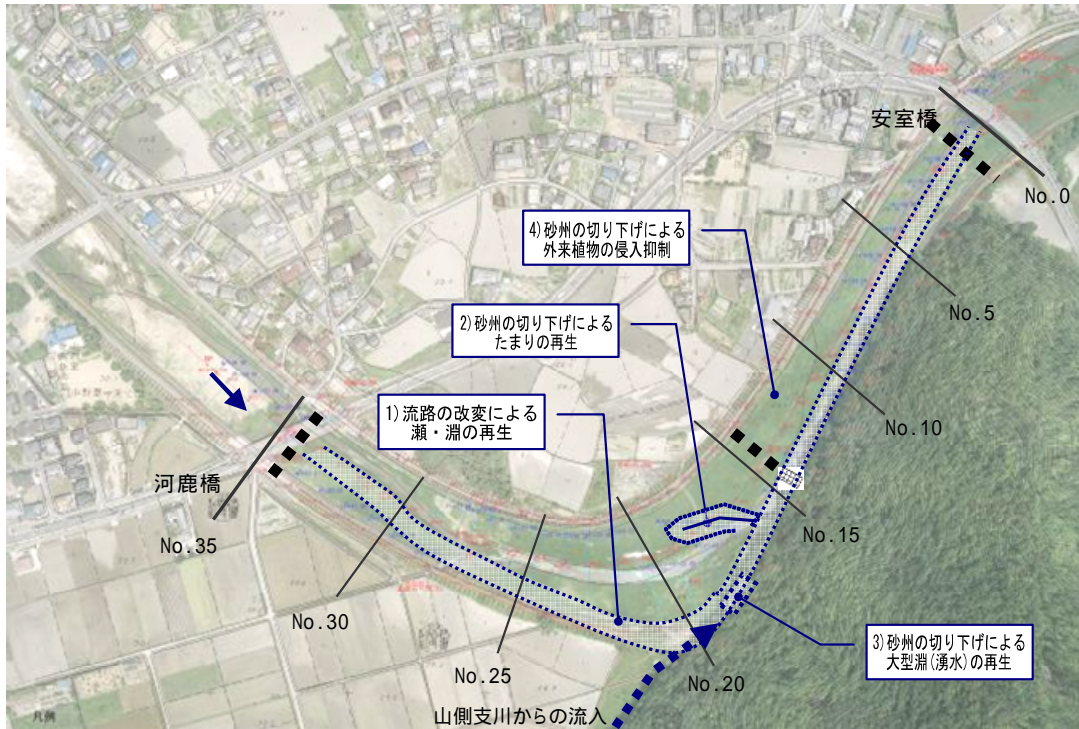


図-5.2 試験施工箇所的位置図

表-5.1 河道修正パターンの検証ケース

	現況	ケース	ケース
断面図	----- 改修直後(1976) —— 現況(2006)	----- 改修直後(1976) —— 現況(2006) —— 改変ケース	----- 改修直後(1976) —— 現況(2006) —— 改変ケース
平均水面勾配 (上限~下限)	1/500 (1/310 ~ 1/800)	1/3200 (1/420 ~ 1/20000)	1/3200 (1/1400 ~ 1/20000)
河道全体	0.022	0.007 (-0.015)	0.016 (-0.006)
河床部のみ	0.011	0.018 (+0.007)	0.036 (+0.025)
左岸砂州上	0.105	0.026 (-0.079)	0.032 (-0.073)
B/H_L	35	35	33 (-2)



写真-5.1 河道の変遷(左は2006年5月, 右は2006年9月にほぼ同じアングルで撮影)

5.3.2 砂州の(部分的な)切り下げによるたまりの再生

(1) たまりの設計

たまりは、現況河道での二次元解析結果に基づいて、洪水時の摩擦速度(植生抵抗項 + 河床抵抗項, 式(4.1)(4.2)参照)が相対的に小さいNo.16 ~ No.20左岸(湾曲部内岸側)に設置することとした(図-5.2, 5.5)。たまり底面の敷高はT.P.24.6m(直下流の床固工天端高)とした。また、たまりの底面は下流部で本川河床に接続させ、床固工(図-5.2, No.15付近)の影響で生じる背水によりたまりに常時の湛水が確保されるようにした。たまりの横断形状としては、底幅を約1.0m程度確保し、法勾配を極力緩く(平均1:25)することで、緩やかな水陸移行帯を広く確保した(図-5.3)。

次に、たまり形状の持続性を確認した。試験施工後しばらく経過し、周辺に高茎草本類が再繁茂した場合を想定して、二次元解析により平成18年(2006年)7月19日洪水時の摩擦速度の変化を確認した。図-5.4に現況河道の、図-5.5に試験施工後の摩擦速度分布を示す。この値は植生抵抗項と河床抵抗項との合計である。図-5.4, 図-5.5ともに、ピーク時刻の約150分前の分布を示しており、この時点では平均年最大流量($80\text{m}^3/\text{s}$)程度の流量が流下している。図-5.6には改変前後での摩擦速度(計算値)の時間変化を示す。図-5.6から、たまり設置部では改変後に摩擦速度(植生抵抗項 + 河床抵抗項)が低下することが確認される。

ところで、改変後の最大摩擦速度(河床抵抗項 + 植生抵抗項)の計算値は 0.033m/s であるが、たまり(水面)に植生抵抗はないため、この値(0.033m/s)は河床面に作用する最大摩擦速度と等しい。また、付近の代表粒径に対する限界摩擦速度を算出すると 0.089m/s であった(岩垣公式³⁾)。すなわち、たまりの河床面に作用する最大摩擦速度(0.033m/s)は限界摩擦速度(0.089m/s)よりも小さく、大洪水時にも攪乱されにくいことが確認される。また、周辺の高茎草本群落により洪水時に流下する細粒分が捕捉され、たまり部での堆積はある程度抑制されるため、たまりの形状は比較的長く維持されると想定される。

(2) 試験施工

平成19年(2007年)3月には、上記の設計に基づき試験的にたまりを再生した。施工前はツルヨシが優先種として繁茂していたが(写真-5.2左)、試験施工直後は一旦裸地となり(写真-5.2中)、同年6月にはたまり周辺にミゾソバ、ヤナギタデなどの目標としていた水際の植物が確認された。さらにその周辺にはツルヨシの再生が見られた(写真-5.2右)。また、出水期を経験した同年11月にもその形状は維持され、順調な経過が見られた。

この結果から、たまりの設計は適切であったと考えられ、同様の河道特性を持つ区間への適用が期待される。

5.3.3 砂州の(部分的な)切り下げによる大型淵(湧水)の再生

(1) 大型淵の設計

地元でのヒアリング結果をもとに、かつて湧水が豊富に湧き出していた大型淵の再現を試みた。位置はNo.20右岸山付部付近で(図-5.3, 5.7)、形状は深さ2m、幅2m、法勾配1:2.0、延長約15mとした(図-5.7)。昭和40年代にはこの大型淵は本川の一部であったため、大型淵を取り込むように本川流路を付け替え、かつての形態を再現することも選択肢として考えられたが、「試験施工では現況流路の改変は行なわない」との方針(5.3.1参照)を踏まえ、本研究で実施する試験施工では流路の付け替えを見送り、局部的な掘削のみとした。

ここでも、地形の持続性を確認するため、試験施工後しばらく経過し、周辺に高茎草本類が再

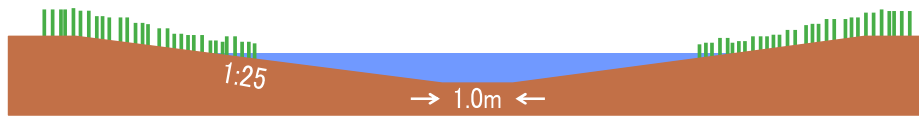


図-5.3 たまりの施工断面（横断方向のイメージ図，No.20付近）

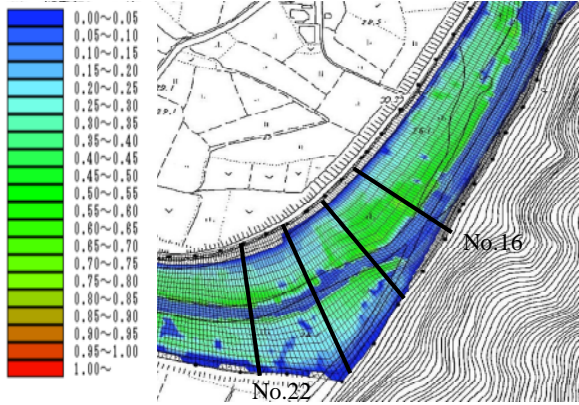


図-5.4 変更前の摩擦速度 (m/s)，ピーク時刻の約150分前 (80m³/s: 平均年最大流量相当)，植生抵抗項 + 河床抵抗項

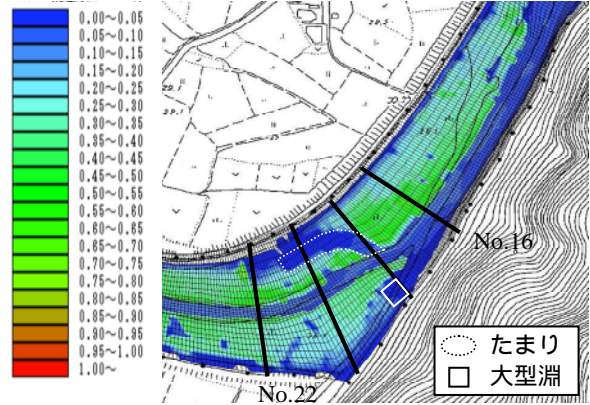


図-5.5 変更後の摩擦速度 (m/s)，同左

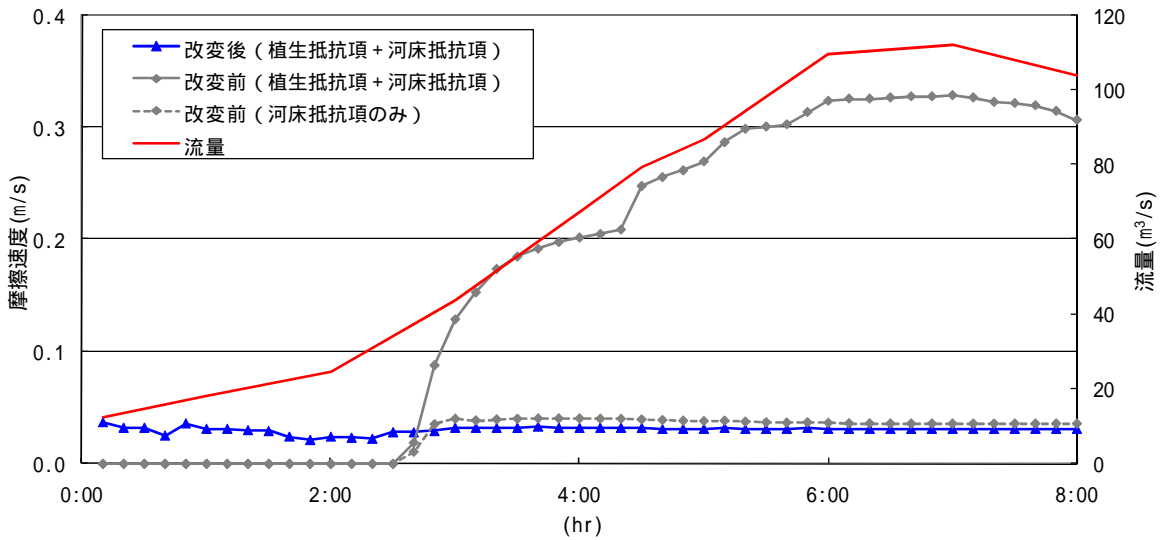


図-5.6 たまり部における試験施工による変更前後での摩擦速度 (計算値，m/s) の比較



写真-5.2 たまりの状況．変更前(2006年11月)・変更直後(2007年3月)・変更後(2007年6月)

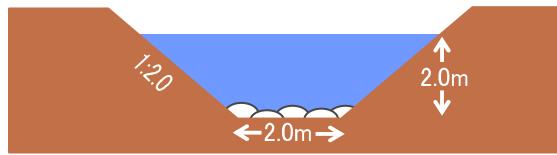


図-5.7 大型淵の施工断面(横断方向のイメージ図, No.18付近)

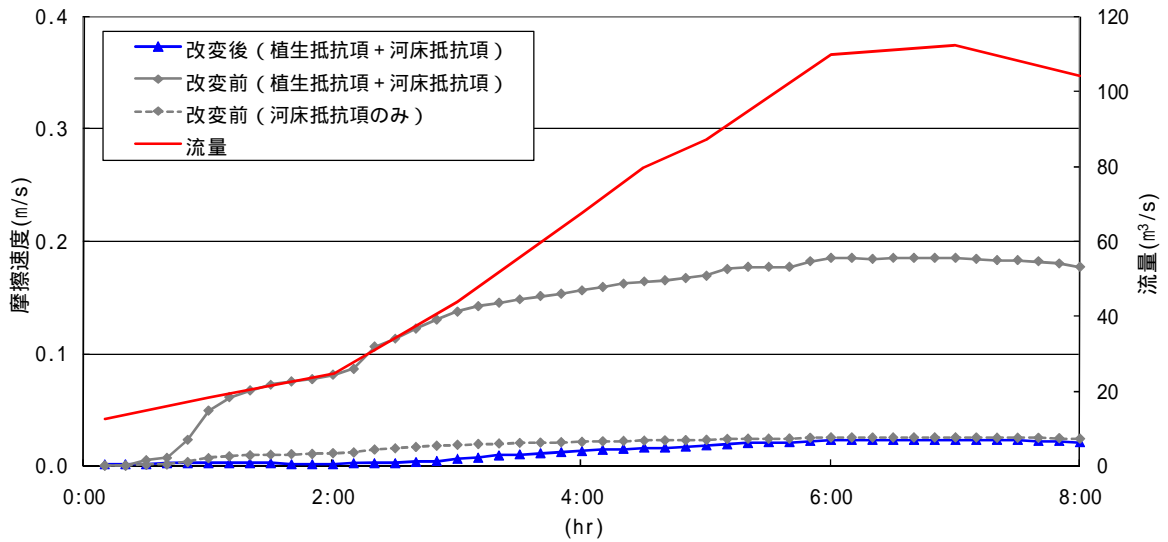


図-5.8 大型淵部における試験施工による改変前後での摩擦速度(計算値, m/s)の比較



写真-5.3 大型淵の状況・改変前(2006年11月)・改変直後(2007年3月)・改変後(2007年6月)



写真-5.4 平常時の山側支川の状況(大型淵から上流側を望む, 図-5.2参照)

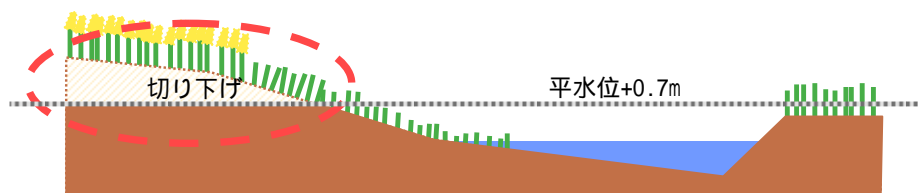


図-5.9 砂州切り下げ施工断面（横断方向のイメージ図，例えばNo.16付近）

繁茂した場合を想定して，二次元解析により洪水時に大型淵の河床面に作用する摩擦速度を確認した．図-5.8には，大型淵部における変更前後の摩擦速度(計算値)の時間変化を示す．図-5.4，図-5.5，及び図-5.8から，大型淵部についても変更後は，摩擦速度(植生抵抗項+河床抵抗項)が低下することが確認される．

また，大型淵の河床面に作用する最大摩擦速度(0.023m/s，水理モデルの計算値)が付近の移動限界摩擦速度(0.089m/s，岩垣公式³⁾より算定)よりも小さく，大型淵の河床部が大洪水時にも攪乱されにくいことが確認される．さらに，たまり部と同様に，周辺の高茎草本群落により大型淵への堆積がある程度抑制され，大型淵の形状も比較的長く維持されると考えられる．

(2) 試験施工

平成19年(2007年)3月には，上記の設計に基づき試験的に大型淵の再生を実施した(写真-5.5)．施工後の同年6月の現地調査では，目視及び水温観測により，大型淵からの湧水が確認されたが，9月には，山側支川からの土砂流入により大型淵が埋没した．図-5.2には山側支川の平面位置を，写真-5.6には大型淵から支川の上流方向を観察した状況を示しておく．

設計時には，平常時の様子から，山側支川の流量は殆ど無視できる程度と判断し，土砂流入も想定しなかった．今後，山側支川からの土砂が大型淵に流れ込まないように支川流路の付け替えを検討する必要がある．あるいは将来的に大型淵が本川の一部になる場合には，水制工などで大型淵に流れを集中させるなど，本川の流れを利用した埋没対策を検討する必要がある．

5.3.4 砂州の切り下げによる外来植物の侵入抑制

(1) 砂州の切り下げの設計

5.2.2で定めた「(2)良好な水辺植生の維持条件」及び「(3)治水安全度の条件」を満たす計画砂州高を設定した．まず，図-5.9で示すとおり，「(2)良好な水辺植生の維持条件」を満足するように平水位+0.7m以上を掘削し，次に，「(3)治水安全度の条件」を満足するように計画高水流量に対し河道断面が不足する箇所については，これを確保するように砂州の切り下げ高を大きく設定した．以上のように設定した計画砂州高の縦断図を図-5.10に示す．

ここで，河道形状の持続性を確認するため，準二次元解析により，平均年最大流量(80m³/s)時の各断面の平均摩擦速度を算定し縦断的に比較した．その結果，図-5.11に示すように，変更前後の平均摩擦速度の増減は，流路の不可逆的な変化が起こりにくいとされる±15%以下であった⁴⁾．また当該区間は，蛇行形状の変化が少ない湾曲部であることなどから，設定した計画砂州高に変更した場合でも，年間を通じて現況河道が維持される見込みが高いと考えられる．

(2) 試験施工

たまりや大型淵と同様に，試験施工を平成19年(2007年)3月に実施した．通常，掘削土の処分量を極力減らすため，計画砂州高以下を埋め戻すことが多いが，今回の試験施工では，次の理由

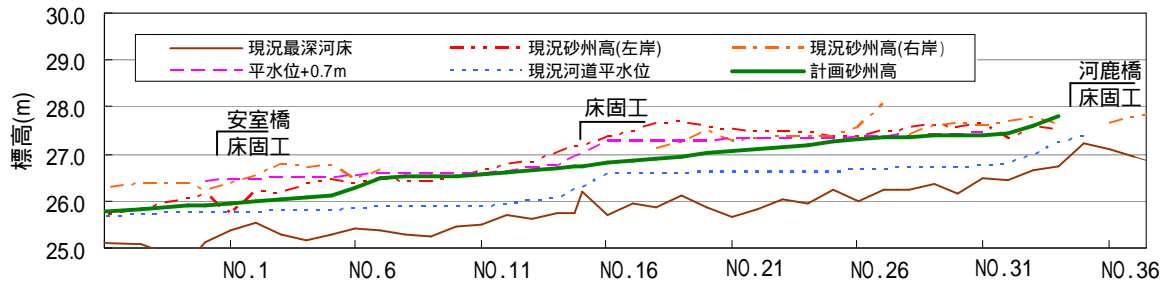


図-5.10 計画砂州高の設定(縦断面図)

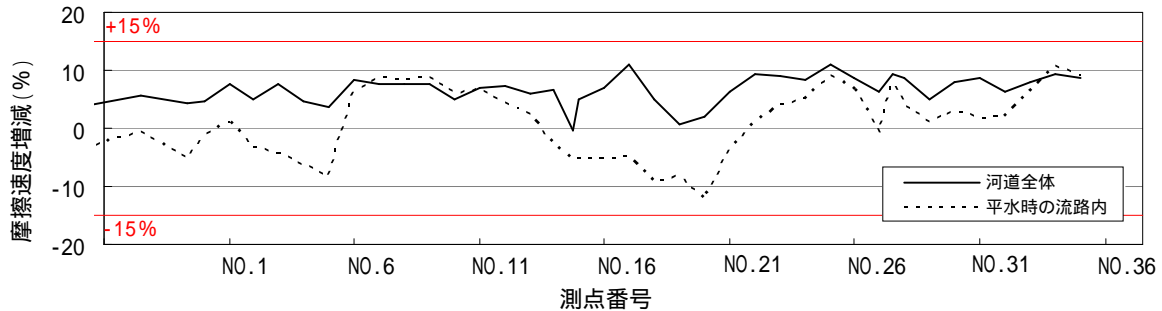


図-5.11 変更前後の摩擦速度の変化量



写真-5.5 砂州切り下げ, 変更直後(2007年3月)・変更後(2007年5月)・変更後(2007年9月)

から、掘削土は埋め戻さなかった。

- ・ 平水位+0.7m以上の砂州からの掘削土は、陸生外来植物の根茎が混入されている可能性が高く、埋め戻した場合に陸生外来植物の再侵入を助長する可能性がある。
- ・ 既存の窪地(凹型地形)のいくつかは、浸透水が供給されてたまりになっており、アブラボテ等のタナゴ類が数多く見られるなど良好な魚類相が確認されている。また、周辺には流れが緩やかな水辺に生育するタコノアシ、ゴキヅル等の希少植物が確認されている。

試験施工後、平成19年(2007年)年9月には砂州上にセイタカアワダチソウの再侵入は見られず、流路内でも瀬・淵が移動・成長を続けるなど良好な遷移の継続が確認された(写真-5.5)。また、既存のたまりも維持され、タナゴ類が生育していることが確認された。この結果から、本章で示した方法での砂州の切り下げによって、外来植物の侵入抑制策は効果的であると考えられ、同様の河道特性を持つ区間への適用が期待される。

また、本章で実施した試験施工では、チスジノリ生育箇所、貴重植生の生息箇所、砂州上に点在する窪地(たまり)の保護など、通常の土砂撤去工事に比べて非常に繊細な対応が必要であり、

かなりの手間を要した。幸いにも施工業者の理解と企業努力を得て、仕様よりも小型重機による丁寧な施工がなされた。ただし、発注そのものは、通常の土砂撤去としての取り扱いであったため、環境改善を考慮した綿密な施工計画がなく、試行錯誤を繰り返しながらの非効率な施工であった。したがって、今後の施工にあたっては、重機の仕様、搬入経路や掘削順など、河川環境の保全と整備の立場に立った施工計画の策定手法の確立が望まれる。

5.4 結語

本章では、安室川における河川環境の保全・再生を目的とした順応的な河道改変プロセス(設計条件の設定、設計、試験施工など)を示した。本章で得られた成果を以下に要約しておく。

- 1) 安室川にチスジノリが多く生育した年代と現在との河道形状を比較し、瀬・淵、湧水など具体的な物理環境の再生を目標に設定した。チスジノリという対象種・シンボル単体の再生ではなく、チスジノリに代表される安室川の望ましい河川環境を再生するための目標設定の方法を示した。
- 2) 第3章で示した方法による河道設計を試みたが、縦断勾配を維持するとの制約条件下では、どのような横断形状の工夫でも設計条件を満たすことはできなかった。これにより、床固め等により縦断勾配が緩和された河道では、自然の営力のみで瀬・淵、砂礫河原を継続的に維持することが難しい場合があることが明らかとなった。
- 3) 2)の結果を踏まえ、局所的に良好な環境(大型淵やたまり)を復元することを試みた。第4章で構築した解析モデルを用いて、改変前後の河床抵抗の変動量を求め、これらの差が小さいことを確認しながら、改変後も持続されるようなたまり・大型淵等の位置・形状を設定した。
- 4) 治水安全度の確保、侵略的外来植物の再侵入の防止、チスジノリ生育環境の保護を目的とした河道の設計条件を示した。具体的には、侵略的外来種の再侵入防止の観点から、平水位と地盤高との比高差により、在来植物(平水位+1.0m以下)と外来植物(平水位+1.0m以上)との生育範囲を分類し、この結果と根の深さの特性から目標砂州高(平水位+0.7m)を設定した。また、チスジノリ保護の観点から、出水時の劇的な河道攪乱を防ぐために、砂州切り下げ後の掃流力変化が15%以下となるように切り下げ高の上限を設定した。
- 5) 3)4)での設計に従い、河道形状の改変を実施した。その結果、一部(大型淵)を除いて、想定した通りの良好な河川環境が再生された。

今回の試験施工では、施工後3ヶ月で大型淵が埋没した。これは、設計時に想定しなかった山側支川からの土砂流入によるものであった。今後は、大型淵の埋没対策を検討する必要がある。

また今回の試験施工は、河積拡大という点で治水と目的が一致していたため、流下能力維持・向上のための治水工事の枠内で実施された。すなわち、治水と環境を統合的に考えることで、治水目的の予算執行でも、環境改善が可能であることが実証されたと言える。この方法は、環境整備・自然再生のための予算確保に苦しむ全国の中小河川に適した事業の進め方と考えられる。

参考文献

- 1) 兵庫県：安室川自然再生計画，第3章，pp.13-16，2004.
- 2) 財団法人リバーフロント整備センター：千種川水系安室川 安室川自然再生計画検討業務(その3)報告書，兵庫県西播磨県民局，2005.
- 3) 社団法人土木学会，水理公式集平成11年度版，丸善，pp.158-159，1999.
- 4) 財団法人国土技術研究センター編：河道計画検討の手引き，山海堂，pp.153-154，2002.

第6章

安室川における希少藻類チスジノリの 生育適地の推定

6.1 概説

安室川自然再生計画¹⁾には、重点実施施策として、人工的な河床攪乱と、流れの多様性(瀬・淵、湧水等)を有する河道の再生、が位置付けられている。平成17年(2005年)度には農業用井堰群の連続転倒によるフラッシュ放流や手作業による河床攪乱(通称「川を耕す」施策)を実験的に実施してその効果が確認され、以降の継続実施が決定されている(第2章参照)。また平成18年(2006年)度には、流れの多様性を有する河道の再生に向け、環境改善を目的とした河道設計とこれに基づく試験施工を実施したところ、河川環境の良好な推移が確認されている。

本章では、これまでの成果を踏まえて、今後、安室川の環境改善を本格的に実施するにあたり、チスジノリの好適環境の再生をさらに効率的に検討するため、二次元解析で得られた水理諸量や水温や日照時間などの物理環境を表すデータとチスジノリ分布を比較することで、チスジノリの適地条件に関する仮説の検証を行う。また、チスジノリの生育環境の適地判定及び環境変化後の適地面積の推定手法について考察する。

6.2 チスジノリの適地条件に関する仮説の検証

6.2.1 チスジノリの適地条件に関する仮説

チスジノリの好適生育環境については、既往調査・研究及び検討会による悉皆調査の結果などを集約し、次の4つの仮説を設定した²⁾³⁾⁴⁾(第2章参照)。

仮説1) 普段からある程度の深さ(0.34 ± SE0.09m)と流れがある場所、

仮説2) 川底がきれいな場所(競合する付着藻類や微細粒分の堆積が少ない河床)

仮説3) 日陰など日光が届きにくい場所、

仮説4) 湧水付近(周辺よりも冬期に水温が高く、夏期に水温が低い場所)

これらの条件は、チスジノリと競合関係にある付着藻類の一次生産が抑制されやすく、また、生育や孢子体の着床を妨げるシルトなどの堆積が生じ難い条件であると考えられる。

表-6.1 チスジノリの有無に対応したメッシュ数

個体の有無	メッシュ数	備考
あり	93	配偶体
(うち、配偶体)	16	配偶体
(うち、シャントランシア体)	80	シャ
なし	1,728	個体なし

(評価対象メッシュ数 1,821)

6.2.2 調査区間の設定とメッシュ分割

調査区間は、チスジノリの生育が確認され、測量データ等の基礎情報が充実している中流域約700m(河鹿橋～安室橋：千種川合流点から約3.0km付近)とした(写真-4.1, 二次元水理解析の対象範囲と同じ)。

また、チスジノリ分布と物理環境特性(水理量・水温・日照時間など)を定量的に比較できるように、第4章で二次元水理解析のために分割されたメッシュ上に、チスジノリの有無と物理環境特性に関する情報を整理することとした。河道は一般座標系で分割されており、流下方向には2m間隔で分割され、横断方向には平水時(0.8m³/s)の水際線で流路と陸上部とを区分し、流路内を7分割(概ね2m間隔)、陸上部では左右岸ともに9分割(0.1m～4m)されている(図-4.1)。

ただし、チスジノリは水生藻類であることから、平水時(0.8m³/s)に冠水しているメッシュのみを航空写真から判読して抽出し、解析対象とした。

6.2.3 チスジノリの分布情報

チスジノリの分布情報については、生活環のうち視認可能な配偶体とシャントランシア体について、平成18年(2006年)4月から平成19年(2007年)2月までの悉皆調査(2ヶ月毎)時に小型座標計測装置(GPS)を用いて詳細な位置情報を把握し、各メッシュに有無情報を与えた。その結果、評価対象の全1,821個のメッシュのうち、「配偶体あり」の情報を持つのは16個、「シャントランシア体あり」の情報を持つのは80個、共に「なし」は1,728個となった(表-6.1)。

6.2.4 仮説を検証するための評価指標(物理環境の特性値)

仮説を検証するための評価指標としては、適地条件に関する仮説を代表できる指標であることだけでなく、チスジノリの分布情報と比較できる指標であること、既存調査データや水理解析により調達可能な指標であること、などが求められる。これらの要求条件を満たすよう、次の物理環境の特性を示す値を評価指標として選定した。

(1) 水理諸量(水深・流速・摩擦速度)

仮説1)を検証するための評価指標として水深と流速を選定した。また、仮説2)を検証するため河床に作用する摩擦速度を選定した。摩擦速度は、堆積する微細粒分の流下や競合藻類の剥離を評価できる諸元として、チスジノリの立場からみた川底のきれいさを代表させた。

これらの水理諸元には、第4章で開発した二次元水理モデルにより平成18年(2006年)7月19日の洪水(ピーク流量140m³/s)を再現した計算値を用いた。計算結果については、平水時(0.8m³/s)、砂州冠水開始時(20m³/s)、平均年最大流量時(80m³/s)ごとに計算値を抽出し、チスジノリの分布情報と合わせて平面的な傾向を視覚的に把握できるように、市販のGISソフト(ESRI社製ArcGIS)を用い図示した。計算結果の一部(調査区間中流部)を図-6.1.1から図-6.9.1に図示する。各諸元

表-6.2 比較検討の対象とした水理諸元の一覧

対象諸元	流量 (m ³ /s)	対応図番号	備考
水深 (m/s)	0.8	図-6.1.1	平水時
	20	図-6.2.1	砂州冠水開始時
	80	図-6.3.1	平均年最大流量時
流速 (m/s)	0.8	図-6.4.1	平水時
	20	図-6.5.1	砂州冠水開始時
	80	図-6.6.1	平均年最大流量時
摩擦速度 (m/s)	0.8	図-6.7.1	平水時
	20	図-6.8.1	砂州冠水開始時
	80	図-6.9.1	平均年最大流量時

と図番号との対応を表-6.2に示す。

(2) 日照時間

仮説3)を検証するため、チスジノリの分布情報と比較する物理環境の特性値として日照時間を選定した。個体が実際に経験する照度(の積算値)は、日照時間の他、天候、水深、にごり等の影響を受けると考えられる。しかしここでは、同時期に生育する(同じような天候やにごりを経験した)個体間の相対的な傾向を確認できれば仮説3)の検証として十分であることや現場での実用性(データ取得の容易さ)などを考慮し、個体が実際に経験する照度(の積算値)に支配的と考えられる日照時間での比較とした。周辺地形と太陽高度から、夏至、冬至及び春分・秋分の計3パターンで水面の日照時間を算定し、各メッシュに与えた。周辺地形については、国土地理院の1/25,000地形図から地盤標高データを作成し、水面の日照時間に影響を与える橋梁や河畔林等の微地形については現地にあわせて補正した。

日照時間についても水理諸量と同様の方法で図化した。結果の一部(調査区間中流部)を図-6.10.1(冬至)、図-6.11.1(夏至)、図-6.12.1(春分・秋分)に例示する。

(3) 表面水温

湧水付近は年間を通じて水温が安定し冬期は周辺より高水温となるため、湧水の影響を冬期の表面水温に代表させ、仮説4)を検証することとした。ここでは、平成16年(2004年)1月21日(午前7時)に小型ヘリコプターにより上空約150mから空撮した熱赤外線画像を処理して、表面水温(最大値・最小値・平均値)を各メッシュに与えた。1メッシュの大きさが約2m×2m(図-4.1参照)であるのに対して、この熱赤外線画像の解像度は約50cmであるため、ここではメッシュ内の水温観測値の最大値、最小値、平均値を代表値として与えている。

表面水温の分布も水理諸量や日照時間と同様の方法で図化した。結果の一部(調査区間中流部)を図-6.13.1(最大値)、図-6.14.1(最小値)、図-6.15.1(平均値)に例示する。

6.2.5 仮説の検証結果と考察

(1) チスジノリ分布と物理環境特性との比較方法

チスジノリ分布と物理環境特性との関係を整理するため、チスジノリの有無で分類したメッシュ群ごとに、各物理環境を表す特性値の平均及び標準偏差を算定した。

算定した結果を図-6.1.2から図-6.15.2に示す。なお、図中の軸項目は表-6.1の備考欄の表記に準じており、「配orシャン」は配偶体またはシャントランシア体のいずれかが確認されたメッシュ、「配偶体」は配偶体を確認されたメッシュ、「シャン」はシャントランシア体を確認されたメッシュ、「全地点」は全てのメッシュを意味する。

以下に、物理環境特性ごとに確認された傾向を詳述し考察する。

(2) 水理諸量(水深・流速・摩擦速度)

図-6.1.2に示すように、平水時($0.8\text{m}^3/\text{s}$)場合には、配偶体は水深が比較的深い箇所に分布する傾向が見られるが、シャントランシア体には明瞭な傾向が見られない。砂州冠水開始時($20\text{m}^3/\text{s}$)、平均年最大流量時($80\text{m}^3/\text{s}$)の場合には、配偶体だけでなくシャントランシア体も、水深が比較的深い箇所に分布する傾向が見られた(図-6.2.2, 6.3.2)。また、図-6.4.2に示すように、配偶体・シャントランシア体ともに、平水時($0.8\text{m}^3/\text{s}$)に流速が比較的早い箇所に分布する傾向が見られた。その傾向はシャントランシア体でより明瞭であった。また、砂州冠水開始時($20\text{m}^3/\text{s}$)、平均年最大流量時($80\text{m}^3/\text{s}$)にも同様の傾向が見られた(図-6.5.2, 図-6.6.2)。

以上の結果は、配偶体には「普段ある程度の水深と流速が必要である」という仮説1)に合致する。各メッシュの平水時($0.8\text{m}^3/\text{s}$)の水深と流速を散布図にしたものを図-6.16に示す。図-6.16からも、水深と流速が高い範囲に、配偶体・シャントランシア体が分布していることがよく分かる。

摩擦速度とチスジノリの分布関係については、図-6.7.2, 図-6.8.2, 図-6.9.2に示すように、いずれの流量においても、配偶体・シャントランシア体ともに摩擦速度が大きい箇所に分布する傾向が見られた(傾向)。また、シャントランシア体は配偶体に比べ、さらに平水時($0.8\text{m}^3/\text{s}$)の摩擦速度の大きい箇所で分布する傾向が確認された(傾向)。前者(傾向)は、チスジノリはきれいな川底を好むという仮説2)に合致する。また後者(傾向)の要因については、配偶体は大きく広がりがある形状をしているため(写真-2.7左)、小型のシャントランシア体よりも、流水抵抗を受けやすく流失しやすいことが原因であると考えられる。悉皆調査時にも、小さな力で配偶体が切れて流失する場面がしばしば見られた。また、農業用井堰の連続転倒によるフラッシュ放流(平成17年(2005年)9月実施)で発生させた $10\text{m}^3/\text{s}$ 程度の小洪水で、16株の配偶体のうち3株が流失している。

(3) 日照時間

推定日照時間とチスジノリ分布との関係を図-6.10.2(冬至)、図-6.11.2(夏至)、図-6.12.2(春分・秋分)のように整理した。夏至、春分・秋分については、推定日照時間の短い箇所に配偶体・シャントランシア体ともに分布する傾向が見られた。また、その傾向は配偶体でより顕著に見られる。冬至については明瞭な傾向は見られなかった。以上の結果から、配偶体・シャントランシア体ともに、日陰など日光が届きにくい場所を好むとの仮説3)と合致することが確認される。

ところで一般に、競合藻類(カエトフォラ(*Chaetophorales*), ディアトマ(*Diatoma*)等の緑藻類や珪藻類)の一次生産は、(光合成しやすい)夏期には活性化し冬期には沈静化する。すなわち、“チスジノリは日照時間の短い箇所に分布する”という傾向が、夏期に強く見られ、冬期に見られなかったことは、競合藻類との関係から合理的であると考えられる。

(4) 表面水温

表面水温とチスジノリ分布との関係を図-6.13.2(最大値)、図-6.14.2(最小値)、図-6.15.2(平均値)に示す。配偶体の分布については、最大値、最小値、平均値ともに表面水温の低い箇所に分布する傾向が見られたが、シャントランシア体の分布には明瞭な傾向が見られなかった。

以上の結果は、冬期の水温が高い場所、すなわち湧水付近をチスジノリが好むとの仮説4)に否定的であった。これは仮説そのものが誤っているか、偶然に特異な結果が得られたか、湧水の影響を冬期の表面水温に代表させることが誤っている可能性が考えられる。今後も継続して調査を進める必要がある。

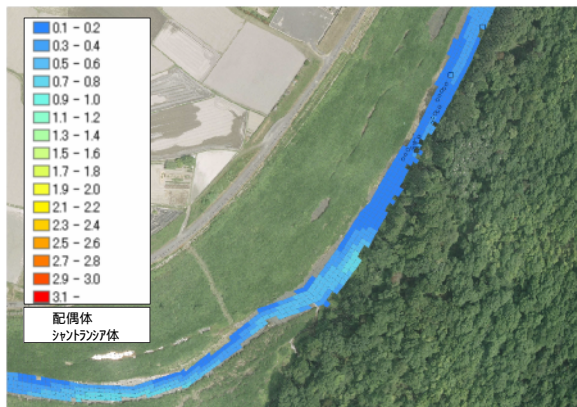


図-6.1.1 平水時(0.8m³/s)の水深分布(m)，調査区間中流部

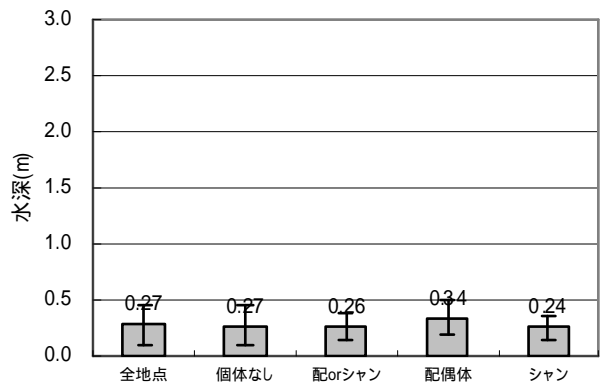


図-6.1.2 平水時(0.8m³/s)の水深(m)とチスジノリ分布との関係

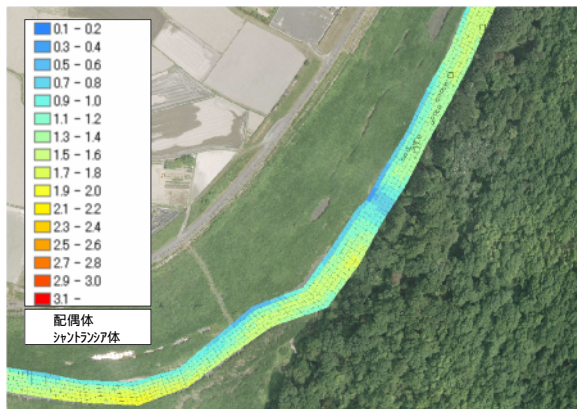


図-6.2.1 砂州冠水開始時(20m³/s)の水深分布(m)，調査区間中流部，平水時の流路部のみ表示

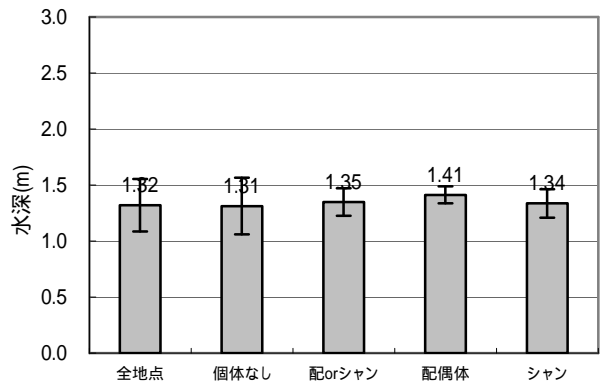


図-6.2.2 砂州冠水開始時(20m³/s)の水深(m)とチスジノリ分布との関係

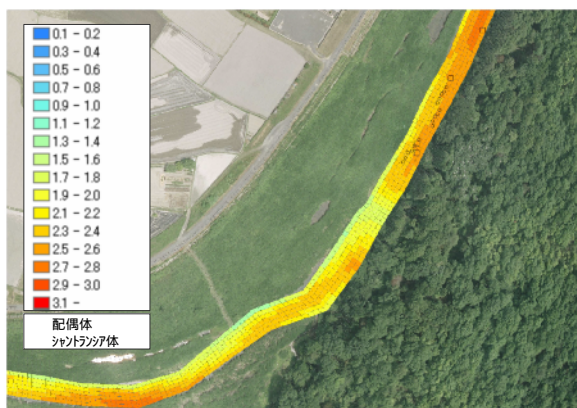


図-6.3.1 平均年最大流量時(80m³/s)の水深分布(m)，調査区間中流部，平水時の流路部のみ表示

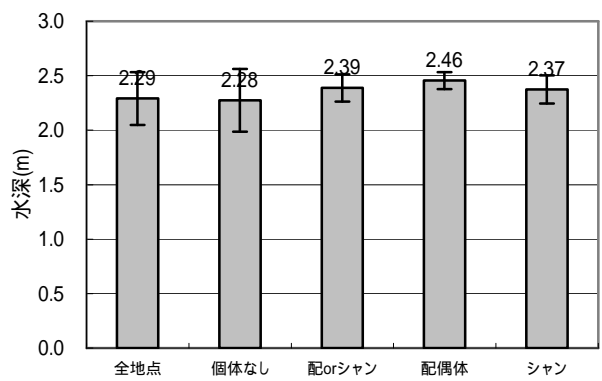


図-6.3.2 平均年最大流量時(80m³/s)の水深(m)とチスジノリ分布との関係

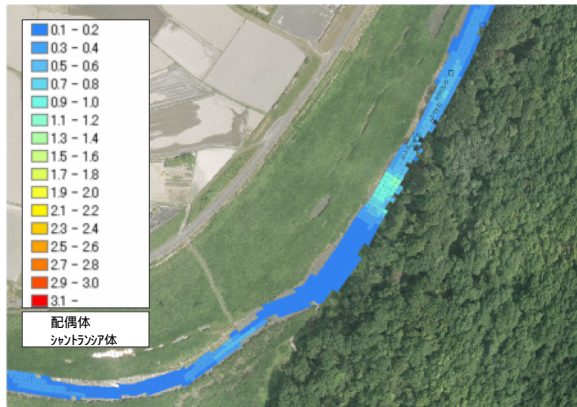


図-6.4.1 平水時(0.8m³/s)の流速分布(m/s)，調査区間中流部

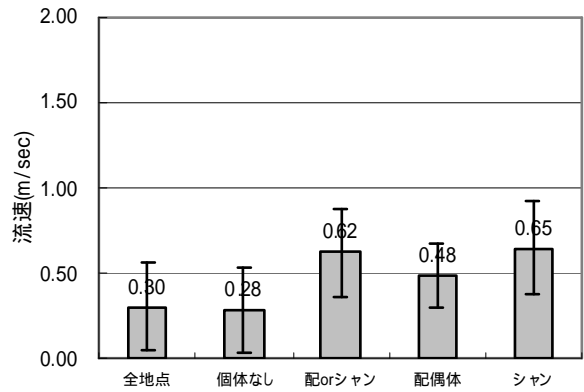


図-6.4.2 平水時(0.8m³/s)の流速(m/s)とチスジノリ分布との関係

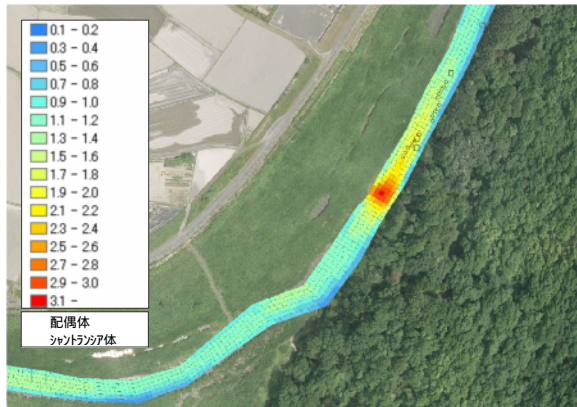


図-6.5.1 砂州冠水開始時(20m³/s)の流速分布(m/s)，調査区間中流部，平水時の流路部のみ表示

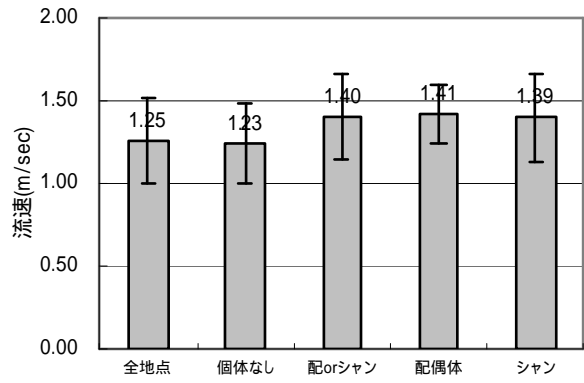


図-6.5.2 砂州冠水開始時(20m³/s)の流速(m/s)とチスジノリ分布との関係

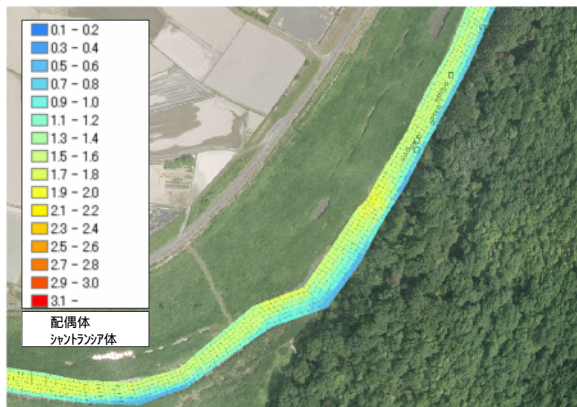


図-6.6.1 平均年最大流量時(80m³/s)の流速分布(m/s)，調査区間中流部，平水時の流路部のみ表示

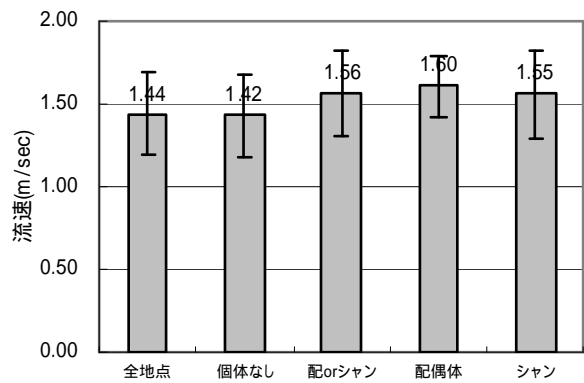


図-6.6.2 平均年最大流量時(80m³/s)の流速(m/s)とチスジノリ分布との関係

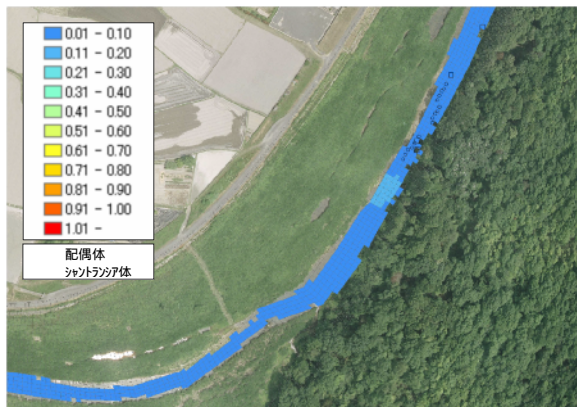


図-6.7.1 平水時(0.8m³/s)の摩擦速度分布(m/s) , 調査区間中流部

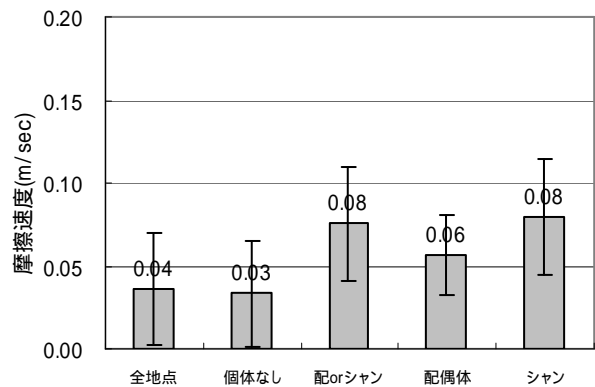


図-6.7.2 平水時(0.8m³/s)の摩擦速度(m/s)とチスジノリ分布との関係

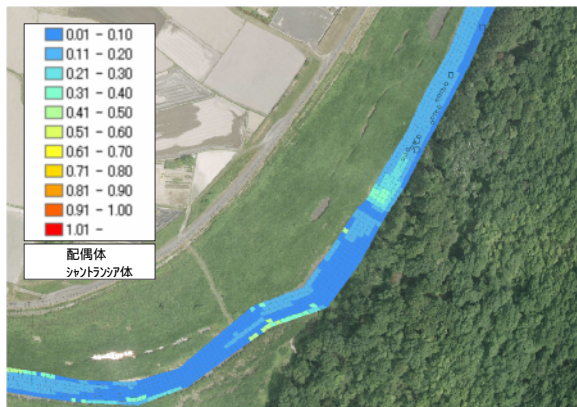


図-6.8.1 砂州冠水開始時(20m³/s)の摩擦速度分布(m/s) , 調査区間中流部, 平水時の流路部のみ表示

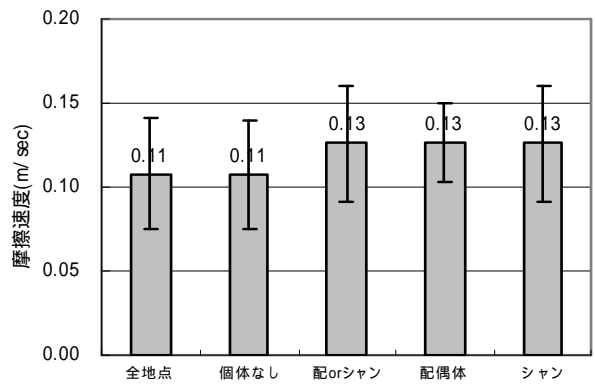


図-6.8.2 砂州冠水開始時(20m³/s)の摩擦速度(m/s)とチスジノリ分布との関係

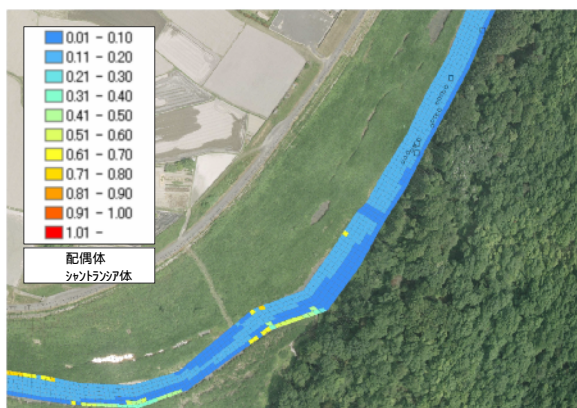


図-6.9.1 平均年最大流量時(80m³/s)の摩擦速度分布(m/s) , 調査区間中流部, 平水時の流路部のみ表示

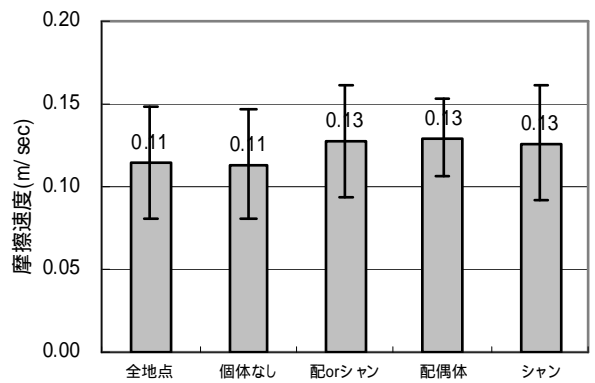


図-6.9.2 平均年最大流量時(80m³/s)の摩擦速度(m/s)とチスジノリ分布との関係

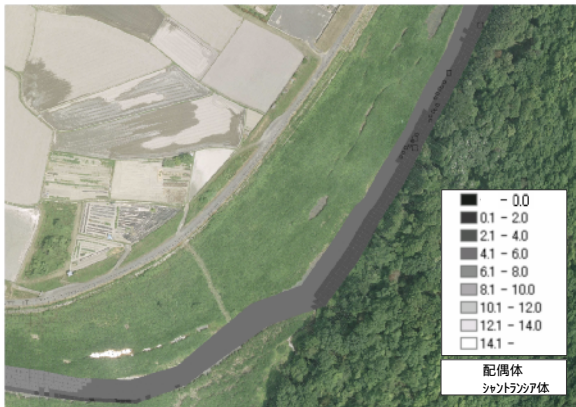


図-6.10.1 冬至の推定日照時間(hr)

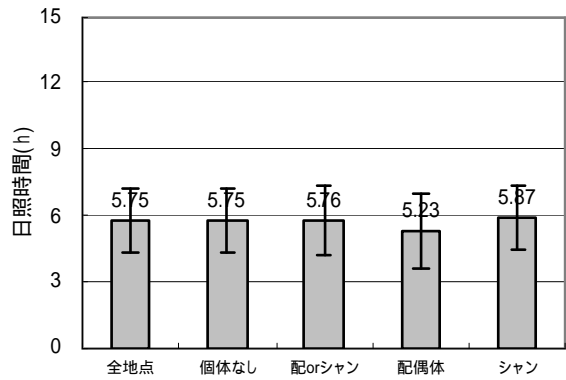


図-6.10.2 冬至の推定日照時間(hr)とチスジノリ分布との関係

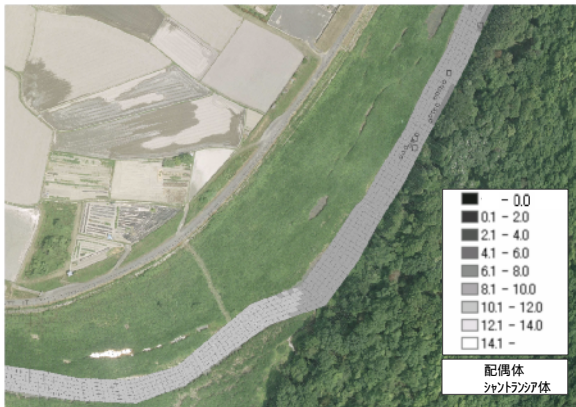


図-6.11.1 夏至の推定日照時間(hr)

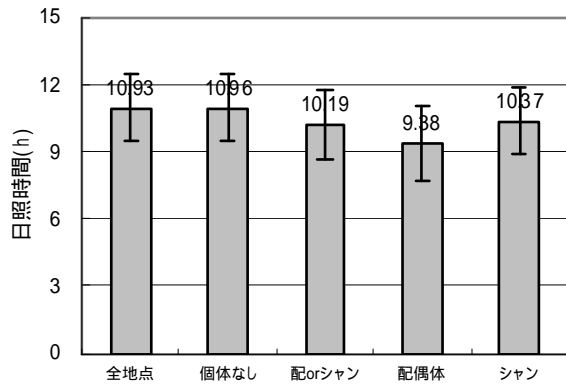


図-6.11.2 夏至の推定日照時間(hr)とチスジノリ分布との関係



図-6.12.1 春分・秋分の推定日照時間(hr)

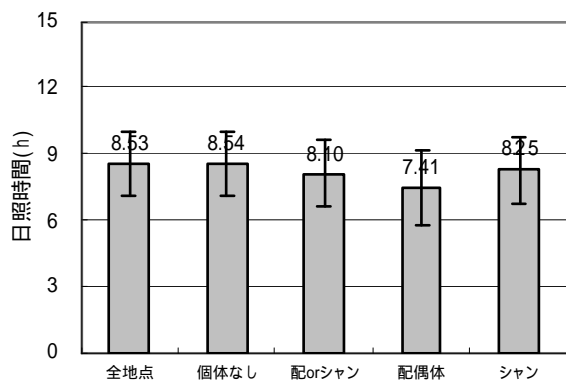


図-6.12.2 春分・秋分の推定日照時間(hr)とチスジノリ分布との関係

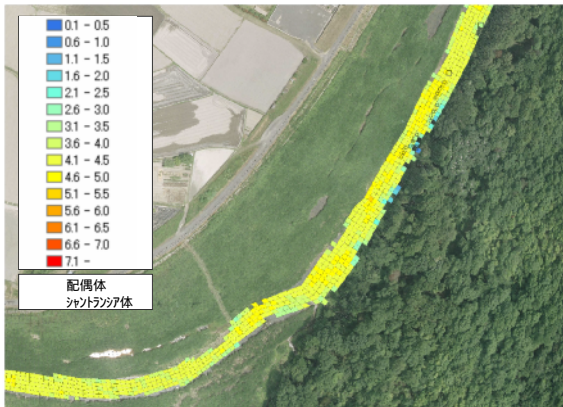


図-6.13.1 (メッシュごとの)表面水温の最大値(°C)

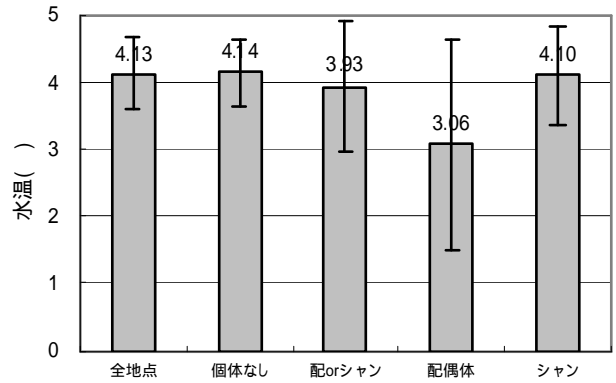


図-6.13.2 (メッシュごとの)表面水温(°C)の最大値とチスジノリ分布との関係

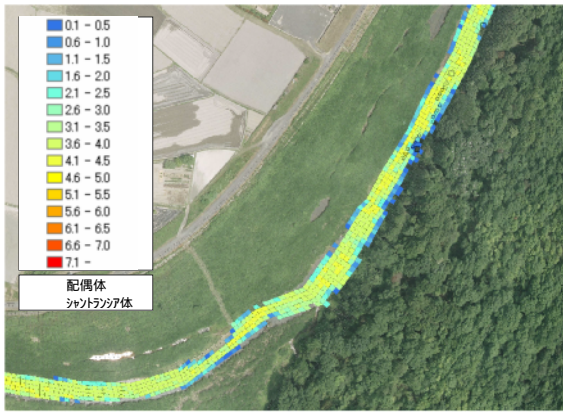


図-6.14.1 (メッシュごとの)表面水温の最小値(°C)

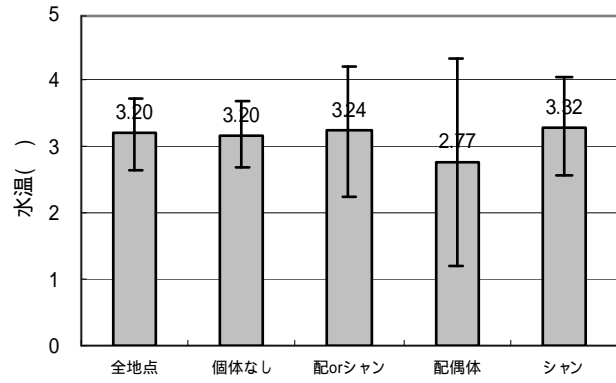


図-6.14.2 (メッシュごとの)表面水温(°C)の最小値とチスジノリ分布との関係

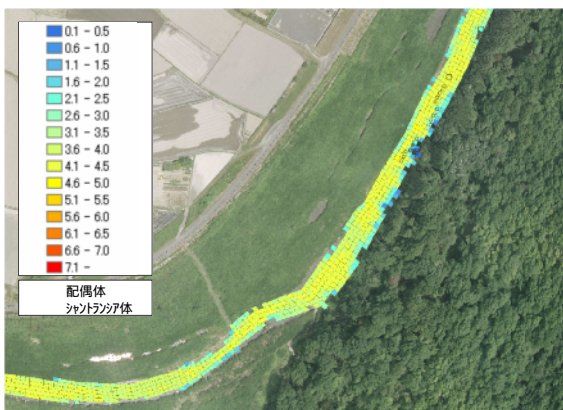


図-6.15.1 (メッシュごとの)表面水温の平均値(°C)

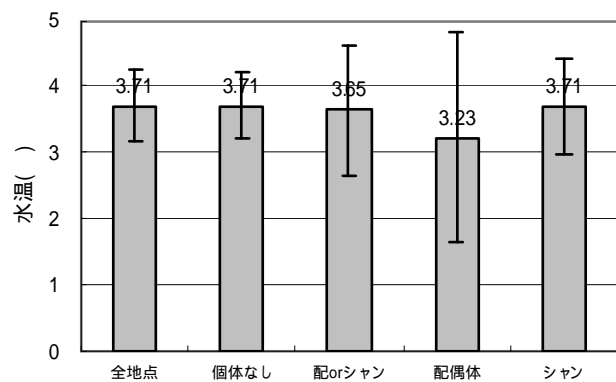


図-6.15.2 (メッシュごとの)表面水温(°C)の平均値とチスジノリ分布との関係

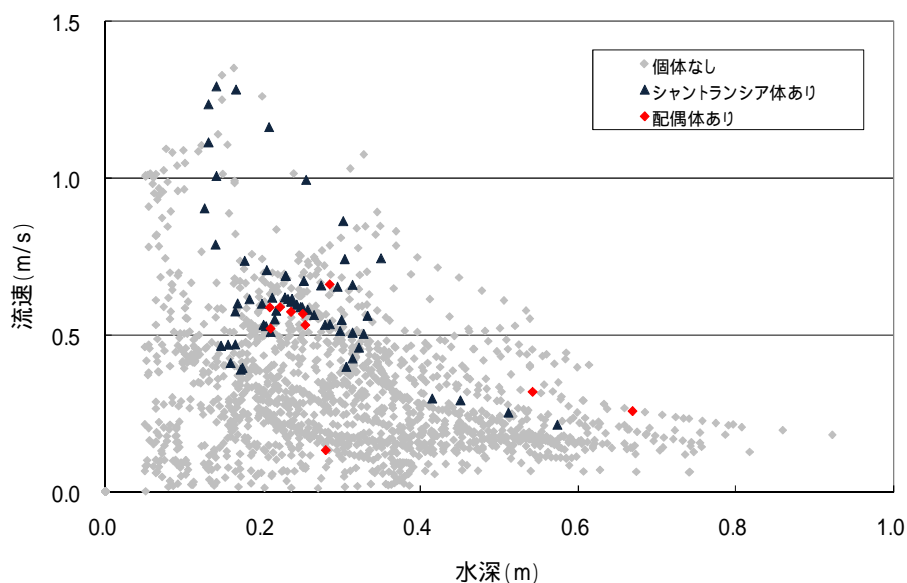


図-6.16 平水時(0.8m³/s)の水深・流速とチスジノリ分布の関係

以上のように、チスジノリの有無で分類されたメッシュ群ごとに、物理環境特性の平均値・標準偏差を算定し比較することで、仮説1)から3)と一致する傾向が確認された。ただし、いずれの結果においても、統計的な有意差を確認するには至らなかった。

この要因のひとつとして、個体の有りのメッシュ数と無しのメッシュ数に偏りがあるままで平均値・標準偏差が算定されたことが考えられる。物理環境特性別に各項目の平均値・標準偏差を比較してみると、どの物理環境特性についても、「全地点(1,821個)」の値は「個体なし(1,728個)」の値に、「配偶体(93個)」の値は「シヤ(80個)」の値に大きく影響されている(()内は該当メッシュ数)。個体なしのメッシュの中には、個体ありのメッシュと各物理環境特性値が酷似し、チスジノリの適地と言えるメッシュも数多く含まれる(例えば、個体ありのメッシュ近傍のメッシュなど)。すなわち、個体なしのメッシュ群の各物理環境特性の平均値・標準偏差は、必ずしもチスジノリの不適地を代表する数値ではないと言える。そのため、個体なしのメッシュと個体ありのメッシュの統計値に有意差が認められるほどの明確な違いが見られなかったと考えられる。

また、シヤトランシア体は配偶体に比べ、平水時の水深が小さい箇所や、流速や摩擦速度が大きい箇所にも分布する傾向、さらに、日照時間の影響を受けにくい傾向が確認されており、シヤトランシア体は配偶体に比べより広範囲に分布している可能性が示唆される。

安室川では、平成7年(1995年)3月から平成16年(2004年)1月までの約9年間は配偶体が確認されなかった。また当時、シヤトランシア体を識別して確認する調査技術はなく、この間のシヤトランシア体の生育の有無は不明である。しかし、周年にわたり生育できるシヤトランシア体が配偶体よりも広範囲に生育できるとすれば、配偶体が確認されなかった約9年間については、チスジノリはシヤトランシア体として生き続けたと考えるのが合理的である。したがって、チスジノリの再生を考える場合には、配偶体よりもむしろシヤトランシア体に着目した計画を立案することが効果的であると言える。

6.3 . チスジノリの適地推定

6.3.1 適地推定モデルの設計

次に、メッシュ毎に与えられる物理環境特性値とチスジノリ分布の情報から、チスジノリの適地をメッシュ単位で推定する。適地判定には、回帰式が式(6.1)で与えられるロジスティック回帰分析モデル⁵⁾を用いた。従属変数はチスジノリありと判断される確率(適地確率)とし、独立変数として、各物理環境特性値(表面水温(最大)、日照時間(夏至)、平水時(0.8m³/s)の平均流速、摩擦速度、水深)を採用した。

$$\text{logit}(p) = \frac{p}{1-p} = \alpha X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3 \cdots + d \quad (6.1)$$

ここに、 p : 従属変数(適地確率、チスジノリありと判定される確率)、 X_i : 独立変数(表面水温(最大)、日照時間(夏至)、平水時(0.8m³/s)の平均流速、摩擦速度、水深)、 $\alpha, \beta, \gamma, \dots$: 回帰係数である。

解析対象は、配偶体に比べ標本数の多いシャントランシア体とした。ここで取り扱うデータは、表-6.1で示すとおり、個体ありのメッシュ数に比べ個体なしのメッシュ数が大半を占めるデータ(zero-inflated data)である。一般に貴重種の分布情報は不確実性を伴い、たとえ適地であっても、調査時の見落としや他の様々な要因により個体がたまたま存在しない場合もある。前節(6.2)では、個体の有無によるメッシュ数の差は考慮せず、各メッシュの物理環境特性を単純平均値して比較し各仮説の検証を行った。その結果、仮説と一致する傾向は確認されたが、統計上の有意差までは確認できなかった。これは貴重種の分布情報の不確実性がその一因と考えられる。

そこで、上記のような zero-inflated data から信頼性の高い適地判定を行うため、次のような手順で適地推定モデルを構築することとした。この過程で必要となる統計処理については、フリーソフトウェアの言語環境である R⁶⁾を用いた。

- 1) bootstrap⁷⁾法により、個体なしのメッシュ群から80メッシュ(個体ありのメッシュ数と同数)をランダムに10,000回繰り返して抽出(復元抽出、リサンプリング)して、個体ありのメッシュ群と合わせた10,000組のデータを作成(図-6.17)。
- 2) 10,000組のデータについてロジスティック回帰分析を行い、統計モデルの回帰係数を決定。
- 3) 10,000個の統計モデルのAIC(赤池情報量規準: Akaike's Information Criterion)⁸⁾⁹⁾値のヒストグラムを作成(図-6.18)。
- 4) AIC最頻値(AIC=110~115)を与える統計モデル群を抽出。抽出したモデル群の回帰係数の平均値を算定し、これらの値を回帰係数とした適地判定モデルを構築(表-6.3)。

なお、上記3)に示すAIC(赤池情報量規準: Akaike's Information Criterion)は、独立変数の個数が異なるモデル間でのモデルの良し悪しを比較する指標として一般に用いられており、AIC値が小さほど良いモデルとして評価される。

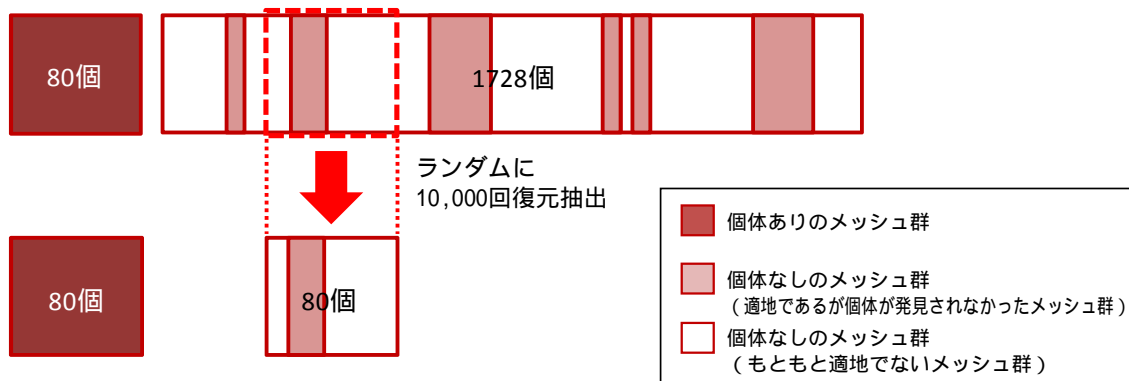


図-6.17 bootstrap法⁵⁾による標本のリサンプリング

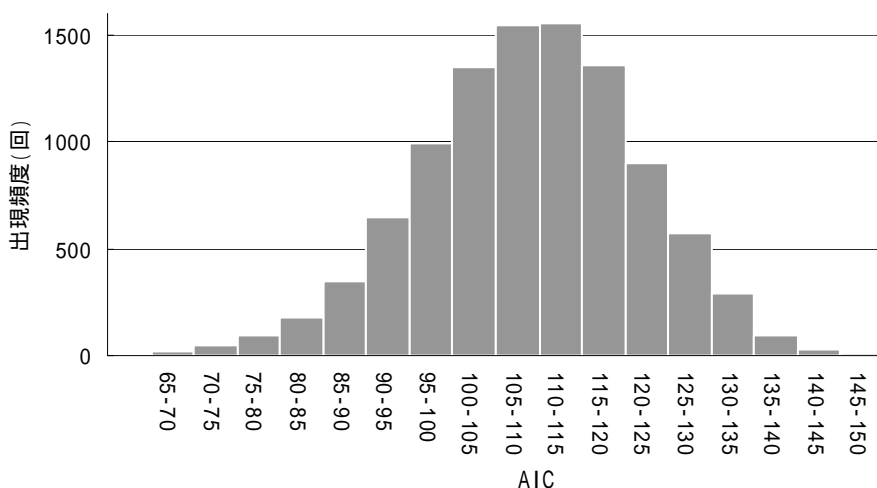


図-6.18 統計モデル群のAIC(赤池情報量規準)のヒストグラム

表-6.3 ロジスティック回帰分析による適地判定モデルの評価結果

リサンプリング	AIC ⁽⁶⁾⁷⁾	ROC分析 ⁹⁾¹⁰⁾			回帰係数					
		AUC	感度	特異度	切片 <i>d</i>	表面水温 <i>a</i>	日照時間 <i>β</i>	平均流速 <i>γ</i>	摩擦速度 <i>δ</i>	水深 <i>η</i>
なし	427	0.891	85.5	82.8	-3.284	0.374	-0.376	8.483	-27.210	0.889
Bootstrap法	45.4	0.895	83.9	81.7	-10.686	1.315	-1.301	18.680	149.539	21.197
	100-105	0.896	88.7	81.9	-0.373	0.200	-0.498	11.887	-18.126	2.439
	105-100	0.895	88.7	82.5	0.113	0.176	-0.498	12.208	-27.165	2.023
	110-115	0.895	88.7	82.7	0.183	0.194	-0.480	11.607	-27.931	1.837
	115-120	0.895	8.7	82.8	0.305	0.195	-0.465	10.644	-25.285	1.662

AICは、式(6.2)のように定義される。

$$AIC = \underbrace{-2\ln(L)}_{\text{モデルのあてはまりの良さ}} + \underbrace{k}_{\text{モデルの複雑さ}} \quad (6.2)$$

ここに、*L*：最大尤度、*k*：独立変数の個数である。

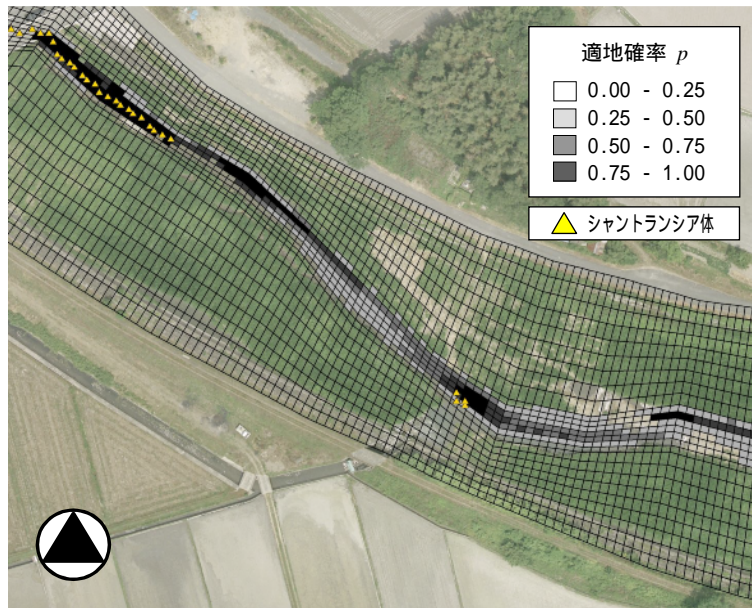


図-6.19 適地確率 p とチスジノリの分布(No.10-15付近)

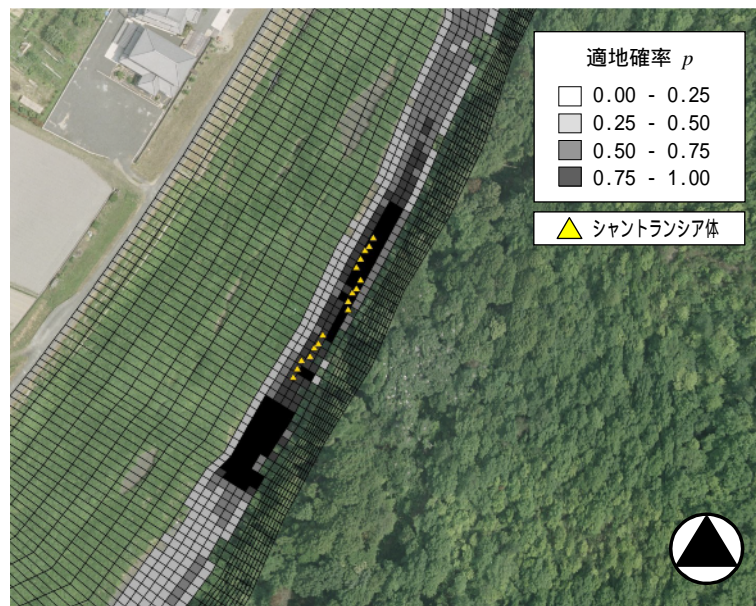


図-6.20 適地確率 p とチスジノリの分布(No.30-35付近)

6.3.2 適地推定モデルの適用と考察

構築した統計モデルを適用し、メッシュ毎に適地確率を推定した。結果は、図-6.19(No.10-15付近)及び図-6.20(No.30-35付近)に示すように、市販のGISソフトを用いて、適地確率とチスジノリ(シャントランシア体)の分布を重ね合わせて表現した。ここから、推定した適地確率の高い箇所にシャントランシア体の分布が集中し、モデルの適合性が高いことを視覚的にも確認できる。

次に、構築した統計モデルの適合性を定量的に検証するため、疫学分野などで多く用いられるROC分析(Receiver Operating Characteristic Analysis)¹⁰⁾¹¹⁾による評価を行った。ここでは表-6.3に示すように、AIC値の範囲別に適地判定モデルの感度(Sensitivity)、特異度(Specificity)、AUC(Area Under the Curve)値を求め、モデルの信頼性を評価した。

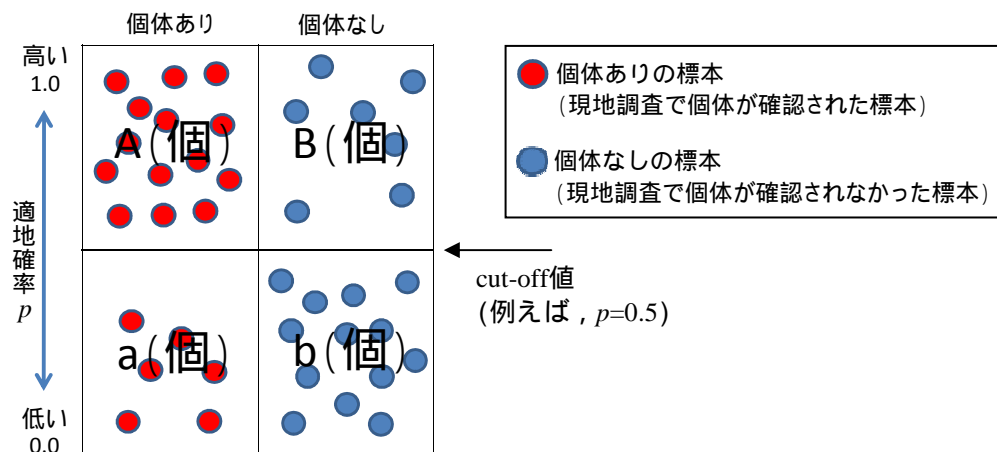


図-6.21 適地確率と個体あり・なしとの関係

感度(Sensitivity)及び特異度(Specificity)は，図-6.21に示すような適地判定と観測された個体の有無との関係から，式(6.3)及び式(6.4)のように定式化される．

$$\text{感度 (Sensitivity)} = \frac{A}{A + a} \times 100 (\%) \quad (6.3)$$

$$\text{特異度 (Specificity)} = \frac{b}{B + b} \times 100 (\%) \quad (6.4)$$

ここに，A：個体ありで適地であると判定される標本数(真陽性の標本数)，a：個体ありであるが適地でないと判定される標本数(偽陰性の標本数)，B：個体なしであるが適地と判定される標本数(偽陽性の標本数)，b：個体なしで適地でないと判定される標本数(真陰性の標本数)である．

感度及び特異度が高い統計モデルが誤判定の少ないモデルとなる．なお，感度及び特異度は，適地と判定する確率の与え方で変化する．例えば， $p \geq 0.5$ で適地と判定する場合と $p \geq 0.7$ で適地と判定する場合とでは，感度及び特異度は異なる値となる．また，適地判定の基準となる適地確率 p の値をcut-off値という．

AUC(Area Under the Curve)は，図-6.22に示すように，縦軸に感度，横軸に1-特異度を取り，cut-off値を変化させた場合に描かれる曲線(ROC曲線)の下側面積として定義される．AUCが最小となるモデルが最も正解率の高いモデルとされる．

ROC分析の結果，構築した統計モデル(表-6.3，AIC=110～115)をAIC値が最小となるモデルと比較すると，AUC値は同等であるものの感度及び特異度がより高く評価されており，前節(6.3.1)で示した適地判定モデルの構築方法が有効であることが確認される．表-6.3に示す感度及び特異度は，適地確率 $p=0.5$ をcut-off値とした場合の値である．

また，判定結果に対する各独立変数の影響の強さを比較するため，構築したモデルのAkaike weight¹²⁾を求め，各独立変数の重要性(IOV: relative Importance of Variables)¹³⁾を評価した．各独立変数の重要性(IOV)を比較した結果を表-6.4に示す．独立変数のうち日照時間と流速の2変数のIOV値が大きく評価されており，ここから構築した統計モデルによる適地判定は，水温や水深に比べ，日照時間と流速の影響が比較的大きいことが確認される．

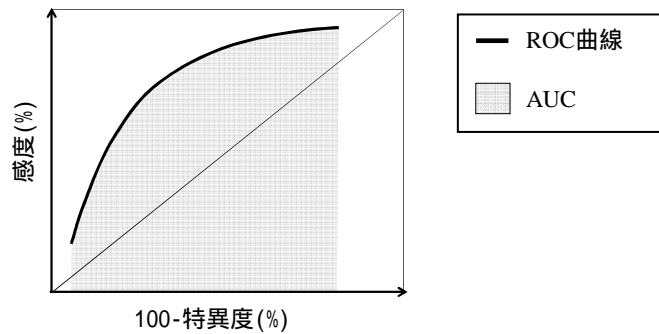


図-6.22 ROC曲線及びAUC(Area Under the Curve)

表-6.4 独立変数の重要性(IOV)

独立変数	重要性(IOV)
表面水温	0.385
日照時間	0.867
流速(平水時)	0.871
摩擦速度	0.625
水深(平水時)	0.416

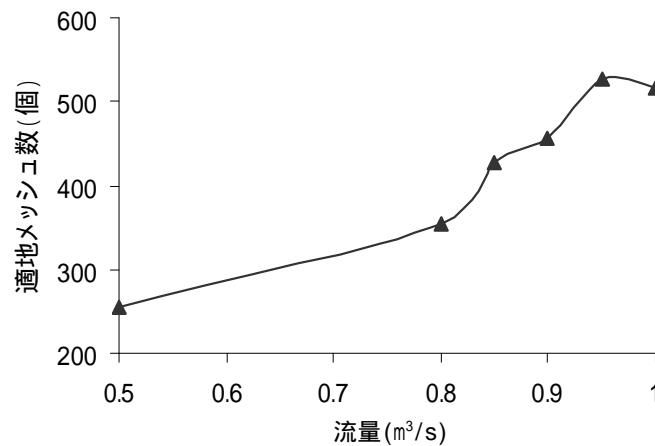


図-6.23 流量ごとの適地メッシュ数の変化

次に、構築した統計モデルを用いて、流量ごとの適地メッシュの数を算定し比較した。ここでは、適地確率 p が0.5を超えるメッシュを適地メッシュと定義する。また、与える流量は一定量で、 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ ・ $0.8\text{m}^3/\text{s}$ ・ $0.85\text{m}^3/\text{s}$ ・ $0.9\text{m}^3/\text{s}$ ・ $0.95\text{m}^3/\text{s}$ ・ $1.0\text{m}^3/\text{s}$ の6段階とし、独立変数である流速、摩擦速度、及び、水深を流量ごとに二次元解析により再計算し、各メッシュの適地確率 p を算定した。図-6.23に各流量別に集計した適地メッシュ数を示す。この結果から、平水時の流量である $0.8\text{m}^3/\text{s}$ を超えると適地メッシュ数が増加し $0.95\text{m}^3/\text{s}$ で最大となり、その後減少していくことが確認される。このことから、適地メッシュ数が最大となる $0.95\text{m}^3/\text{s}$ という流量は、チスジノリ保全という視点からみた適正流量になると考えられる。

また、適地確率 p は、水深・流速・摩擦速度の関数であり、河道形状の改變後の水深・流速・摩擦速度の分布を与えれば、河道改變後の適地メッシュ数の増減を予測できる。したがって、本

章で示した適地判定方法は、流量管理だけではなく河道管理(浚渫や草木伐採などの河道改変を伴う維持管理)時にも有効に活用できると考えられる。

6.4 結語

本章では、チスジノリの分布情報と平面二次元解析から得た流量ごとの水深・流速・摩擦速度などの水理諸量、日照時間、表面水温などの物理環境特性とを詳細に比較することにより、チスジノリの配偶体及びシャントランシア体の好適生育条件に関する仮説の検証を行うとともに、これまで十分に知られていないシャントランシア体の適地に関する新たな知見も得ることができた。

本章で得られた成果を以下に要約しておく。

- 1) チスジノリ分布情報と水理諸量、日照時間、水温分布などの物理環境特性の分布を、平面二次元解析用に分割したメッシュ上に整理することで、チスジノリの好適生育条件に関する統計処理が可能となった。また、これらの情報を重ね合わせることで視覚的にチスジノリ分布と物理環境特性との関係性を観察することができた。
- 2) メッシュ群をチスジノリ(配偶体・シャントランシア体)の有無で分類し、各物理環境特性値の平均値と比較した結果、好適生育条件に関する仮説のうち、普段からある程度の深さと流れがある場所(仮説1))、川底がきれいな場所(仮説2))、日陰など日光が届きにくい場所(仮説3))を愛好するという3つの仮説が定量的に検証された。
- 3) 配偶体ありのメッシュ群とシャントランシア体ありのメッシュ群を詳細に比較した結果、配偶体に比べシャントランシア体の方が、比較的水深の小さい場所や日照時間の長い場所(競合藻類の一次生産が抑制されにくい場所)や、流速・摩擦速度が大きい場所(表面積の大きい配偶体が流失しやすい場所)など、より広範な条件下で生育できる可能性が新たに確認された。
- 4) シャントランシア体なしの属性を持つメッシュ群から、bootstrap法により、シャントランシア体ありの属性を持つメッシュ群と同数のメッシュを繰り返しサンプリングし、抽出回数分のロジスティック回帰モデルを作成して、AIC最頻値のモデルを抽出することで、個体なし情報の多いデータ(zero-inflated data)から、予測精度の高い適地推定が可能となった。
- 5) 得られた統計モデルの各独立変数(物理環境特性)の重要性(IOV)を比較した結果、シャントランシア体の生育には、水深・水温に比べて日照時間・流速が大きく影響することが示唆された。
- 6) 流量別の水理諸量(独立変数)を適地判定モデルに与え、流量変化が適地メッシュ数に及ぼす影響を評価した。その結果、制御因子である水理諸量を変化させた場合の適地推定も可能で、例えば、維持流量の設定や河道計画の検討でも適用可能であることが示唆された。

本章で示したデータの整理方法や評価方法は、定住型の希少種(例えば、水生植物や底生動物、魚類の産卵床など)であれば同様に適用できるため、他の河川においても幅広く適用されることが期待される。

参考文献

- 1) 兵庫県：安室川自然再生計画，第3章，pp.13-16，2004．
- 2) 佐藤裕司，横山正，真殿克麿，辻光浩，水野雅光，魚留卓，妹尾嘉之，杉野伸義，永野正之，三橋弘宗，浅見佳世，道奥康治，原田一二三：兵庫県上郡町・安室川における淡水産紅藻チスジノリ配偶体の出現—特に河川の流量変化との関係について—，陸水学雑誌，67，pp.127-133，2006.
- 3) 東山真也，瀧健太郎，杉野伸義，横山正，三橋弘宗，上郡中学校科学部員：上郡中学校科学部員による安室川の淡水産紅藻チスジノリ (*Thorea okadae*) を復活させる試み，人と自然，No.17，pp.73-78，2007．
- 4) 杉野伸義，宮田祥史，関基，瀧健太郎，三橋弘宗，佐藤裕司，兵庫県安室川におけるチスジノリの発生と光環境の関係，藻類，vol.55，No.1，p.83，2007．
- 5) 例えば，丹後俊郎，山岡和枝，高木晴良：ロジスティック回帰分析，朝倉書店，1996．
- 6) Richard A. Becker, John M. Chambers, Allan R. Wilks：The R Project for Statistical Computing Web ページ，<http://www.r-project.org/>，2008．
- 7) 例えば，小西貞則：ブートストラップ法と信頼性区間の構成，応用統計学，19，pp.137-162，1990．
- 8) 例えば，小西貞則，北川源四郎：情報量規準，朝倉書店，2004．
- 9) 例えば，丹後俊郎：統計モデル入門(医学統計学シリーズ)，朝倉書店，2000．
- 10) Metz CE: ROC methodology in radiologic imaging. Invest Radiol, 21, pp.720-733, 1986.
- 11) Manel S, Williams HC, Ormerod SJ: Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. Journal of Applied Ecology, 38, pp.921-931, 2001．
- 12) Burnham, K. P. and D. R. Anderson: *Model Selection and Multimodel Inference*. Springer, New York, 2003.
- 13) 吉田志保子，百瀬浩，山口恭弘：農村地域におけるハシボソガラスとハシブトガラスの繁殖成績とそれに影響する要因，日本鳥学会誌，vol.55(2)，pp.56-66，2006．

第7章

住民協働型の河川管理体制を構築するための 実践技術

7.1 序論

安室川では、安室川自然再生計画¹⁾に基づき、平成17年(2005年)度から平成18年(2006年)度にかけて、手作業での研磨・転石、農業用井堰を活用したフラッシュ放流、瀬・淵、たまりの再生の試験施工が実施された。その後、いくつかの箇所ですスジノリの再生・増加が確認されるなど、良好な遷移が続いている。

これらの施策は、大規模な土木工事を伴わないため事業費をあまり必要としないが、農業者、漁業者、河川管理者、学識経験者、学校、自治会等の連携・協働が前提となる。例えば、フラッシュ放流を実施する期間には、農業用水の利用を制限せざるを得ないし、漁業も中止せざるを得ない。施策の実施までには難しい利害調整が必要である。

安室川ではこのような課題を乗り越え、関係者間の協働体制が構築されている。利害関係者が、河川の再生に向けて協働しながら、しかも主体的に施策を実施している事例は全国的にもあまり多くない。そこで本章では、兵庫県安室川での成功事例を振り返り、協働型管理体制を効率的に構築するための実践的な技術について考察する。

7.1.1 河川管理における諸課題の整理 - 特に中小河川に着目して -

(1) 河川管理体制の歴史的変遷

明治時代以前、河川工事は江戸幕府の統制下で実施されており、費用は幕府・藩・村等で負担され、公儀・国役・領主普請、自普請といった工事の規模に応じて分担が定められていた。また、工事の主目的は、灌漑や舟運であったとされている。この時代の治水方式は、連続堤防方式ではなく、地先の局所的な防災を主体とするもので、左右岸や上下流で敢えて堤防の高さを変えたり、地域住民自ら堤防を集落の近くに設けたり、はん濫水の流勢を削ぐため水害防備林を設けたり、地先の重要度や地形等に対応した治水方式がとられていた。

明治29年(1896年)に河川法が制定され、河川が国の営造物となり、管理は国の機関としての地方行政庁が行うこととなった。同法では、河川工事の影響が他府県に及ぶもの、工事費が地方財政の負担能力を超える場合などには、国が工事を行うこととされた。

昭和20～30年代には、関東地方でのカスリン台風(昭和22年(1947年))、近畿地方での昭和28年(1953年)13号台風・伊勢湾台風(昭和34年(1959年))など、日本各地で大規模な台風による水害が頻発した。また、第二次大戦後の経済・社会の発展及び(知事公選制の導入など)行政制度改革

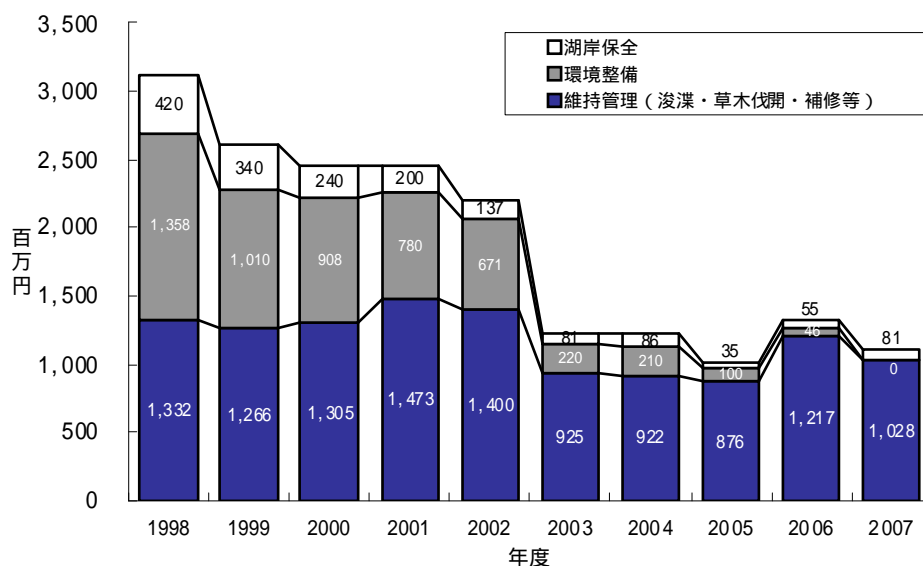


図-7.1 滋賀県における河川の維持管理費の変遷，滋賀県資料³⁾に一部加筆・修正

正に合わせて，昭和 39 年(1964 年)に河川法が全面改正され，利水が法の目的に追加されるとともに，都道府県単位による区間主義の管理体系が見直され，水系一貫した河川管理体系が位置付けられた．これを契機に全国各地で一級河川化が加速し，わが国の多くの河川は河川法で定められた河川管理者(行政)により公費で管理されることとなった．

この結果，地域住民が河川管理に関わる必要性が減少し，さらに，河川管理者の努力により，治水安全度・利水安全度が向上したことで高度経済成長を支えた一方で，ますます人々の河川への関心の希薄化が進行したことも指摘されている²⁾．

(2) 中小河川での河川管理に関する課題

現在，中小河川では十分な維持管理が困難な状況となっている．特に近年，多くの自治体で財政状況が逼迫し，河川管理施設の維持管理費は減少か横ばいの傾向にある．例として，図-7.1 に滋賀県における維持管理費(県単独予算)の経年変化を示す．図中の湖岸保全・環境整備で分類される費用は主として河川の環境機能の維持に充てられ，維持管理(草木抜開・浚渫・補修等)に分類される費用は河川の治水機能の維持に充てられる．ここからも，環境機能の維持費は減少し，治水機能の維持費もほぼ横ばいとなっていることが分かる．

河川管理の義務的責任範囲については，一般に，整備途上の河川にあつては大東水害訴訟の最高裁判決(昭和 59 年(1984 年))，整備済みの河川にあつては多摩川水害訴訟の最高裁判決(平成 2 年(1990 年))が主要な判例となっている．大東水害訴訟の最高裁判決(最 1 判昭 59・1・26 民集 2 号 53 頁)では，河川管理者の義務的責任範囲について次のように述べられている．「我が国における河川管理の特質に由来する財政的，技術的及び社会的諸制約によって，いまだ通常予測される災害に対応する安全性を備えるに至らない現段階においては，当該河川の管理についての瑕疵の有無は，過去に発生した水害の規模，発生の頻度，発生原因，被害の性質，降雨状況，流域の地形その他の自然的条件，土地の利用状況その他の社会的条件，改修を要する緊急性の有無及びその程度等諸般の事情を総合的に考慮し，前記諸制約のもとでの同種・同規模の河川の管理の一般水準及び社会通念に照らして是認しうる安全性を備えていると認められるかどうかを基準として

判断すべきである。」

このように、治水に関する義務的責任範囲は明確化されている一方で、河川環境の保全・再生に関する義務的責任範囲を明確に定めた判例は見受けられない。このため行政の行動規範では、どうしても責任範囲が明確な治水を優先する傾向になると推察される。

ところで、現況保有施設の維持管理には一般財源を用いることが財政の原則である。しかし近年の地方自治体の財政状況では、一般財源の確保は非常に困難な状況にある。例えば、図-7.3で示すように、滋賀県の平成19年(2007年)度の維持管理費は約10億円であるが、平成13年(2001年)度は約14億円である。ここで仮に、この差額約4億円を補助事業費(国庫補助を受ける一般的な河川改修事業)から流用すること考えよう。補助事業の場合は、事業費のうち50%が国庫補助で、更に残りの90%が起債で賄えるため、必要とする一般財源は5%分となる⁴⁾。すなわち、1億円の一般財源を確保するためには、20億円の補助改修事業を休止する必要がある。したがって、平成13年(2001年)度と平成19年(2007年)度との差額の4億円を一般財源として確保するためには、80億円分の事業を休止することになる。実際には80億円もの補助事業はなく、全事業を休止しても維持管理費の不足分を補填できない計算となる。この試算からも、事実上、河川管理者だけの十分な維持管理は非現実的であることが分かる。

しかしこの一方で、環境保全の意識が高まり、河川管理には治水機能だけではなく河川環境保全も含めた多様な機能の確保が求められるようになってきている。最近では、セイタカアワダチソウ(*Solidago canadensis* ver. *scabra*)、アレチウリ(*Sicyos angalatus*)、シナダレスズメガヤ(*Eragrostis curvula*)など外来植物の侵入が大きな環境問題となっており、これらの駆除も維持管理の大きな比重を占めるようになってきている。更に、ダイオキシン問題を契機とした全国的な野焼きの自粛に伴い、荻草や伐採木の処分には一般廃棄物としての処分費が発生し、維持管理費の高騰をより深刻化させている。

このように、河川管理者のみでの維持管理は限界に近づいており、河川に求められる必要な諸機能を適切に確保するためには、住民協働型の河川管理を展開することが急務となっている。

7.1.2 河川管理に関わる市民活動の現状

これまで述べたように、公費による河川管理制度の確立やライフスタイルの変化の中で、人々と河川との関わりは希薄化していったが、高度経済成長期の水質問題を契機に、河川環境保全の重要性が認識されるようになり、河川環境保全を求める市民運動が展開されるようになった。当時の市民主体の活動として、合成洗剤の使用をやめ石鹸を使うことを呼びかけた滋賀県の「石けん運動」は有名である。この運動は、昭和54年(1979年)の滋賀県琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例の制定、昭和57年(1982年)の環境基準への全窒素と全リンの項目追加、昭和59年(1984年)の湖沼水質保全特別措置法の制定へ繋がった⁵⁾。

昭和40年代(1965年-)にはオープンスペースとしての利用、昭和50年代(1975年-)には親水性の向上、昭和60年代(1985年-)には河川とまちづくりの一体化が河川環境の主な課題として注目された。さらに、自然生態系や景観などが重視され、平成2年(1990年)には、建設省(当時)の通達「『多自然型川づくり』の推進について」⁶⁾により、河川が本来有している生物の良好な成育環境に配慮し、あわせて美しい自然景観を保全あるいは創出する河川整備の実施が位置付けられた。平成7年(1995年)には、建設省(当時)の諮問機関である河川審議会から「21世紀の社会を展望した今後の河川行政のあり方について」²⁾が答申され、今後の河川環境行政においては、生物の多様

な生息・生育環境の確保，河川と地域の関係の再構築を基本方針とすることが示された．このような河川環境保全への関心と高まりと合せて，近年，市民活動の参加意欲も高まり，全国各地で河川環境の保全活動を中心とした多くの市民活動が展開されている⁷⁾⁸⁾⁹⁾．安室川や流入する千種川においても，千種川圏域清流づくり委員会が，行政とも連携を図りながら，地域住民が主体となって様々な活動を展開している¹⁰⁾．

しかしながら，良好な協働管理体制を構築するための技術の体系化はあまり進んでおらず，研究事例も少ない(例えば，山道ら¹¹⁾，流域懇談会¹²⁾，滋賀県¹³⁾など)．このため実務レベルでは，組織としての知見が蓄積され難く，事例ごとに試行錯誤を繰り返さざるを得ない場合が多い．特に都道府県では技術職員の部局間の異動も頻繁で，技術者個人としての知見の蓄積もかなり困難な状況にあり，協働体制を構築のための実践的技術を体系化することが重要な課題となっている．

7.2 安室川における協働型管理体制

7.2.1 安室川自然再生計画検討会・技術部会の構成

兵庫県西播磨県民局は，平成14年(2002年)12月に安室川自然再生計画検討会(以下，「検討会」という)を設置し，劣化が進行する安室川の河川環境の改善方策を諮問した．平成16年(2004年)10月には，希少藻類チスジノリを再生のシンボルとした「安室川自然再生計画」を策定した．

検討会は，河川工学や生態学，植物，藻類の専門家をはじめ，地域の環境保全団体(千種川圏域清流づくり委員会)のメンバーや内水面漁業組合，土地改良区(利水者)，教育関係者，連合自治会長，町役場など16名の多様な関係者で構成されている．また，計画策定後は，専門家7名による技術部会を設置し，実施に向けた詳細な技術検討を行いながら，本検討会には計画の進捗及び次年度の実施内容を毎年報告する体制に移行した．

自然再生を進める際に想定される利害関係者が，計画の構想段階から参画していることが検討会の特徴である．最低限，事業目的に各利害関係者の共感を得られ，かつ，合意事項に沿った計画決定がある程度(行政的に)許容できる場合には，事業実施に功奏する最も望ましい構成であると考えられる．すなわち，事業実施段階で既に関係者の合意が得られている状況を生み出すことで，円滑な進捗を図れるだけに留まらず，計画策定に関与した利害関係者が主体的に事業に参画することも期待できる．言わば，検討会そのものが協働型事業のプラットフォームとなっている．

現在，環境保全は国民的なニーズとなっており，事業目的への共感はやさしい状況にある．また，治水事業と異なり，河川管理者の義務的責任範囲が明確でないこともあり，かえって合意事項に柔軟に対応しやすい．そのため，選択範囲に多様性のある自然再生事業を進める場合には，安室川自然再生計画検討会のような構成をとることが望ましいと考えられる．

7.2.2 重点実施施策の協働実施体制の構築プロセス

(1) フラッシュ放流の実証実験

1) 事前協議 - 実施の可否，実施時期及び方法の合意形成

農業用井堰の連続転倒によるフラッシュ放流実験を実施するにあたり，利水者(堰管理者)及び内水面漁業協同組合に実施の同意を得ると共に，実施時期や具体的な方法・役割分担について調

整するための協議を行った。フラッシュ放流実験では、5基の既設農業用井堰を連続転倒させるため、堰管理者に堰操作(転倒及び回復)を依頼する必要もあった。また、内水面漁業協働組合には、漁業資源や既設漁具等への影響の有無などを確認する必要があった。

堰管理者4名(うち一人は2基を管理)との協議では以下の点に配慮した。

上記と同様に、協議に河川管理者(県)が同席する場合にも、検討会事務局(筆者、財団法人リバーフロント整備センター担当者)が極力主体的に対応した。

フラッシュ放流実験の実施そのものは検討会で承認されているため、4名の堰管理者のうち、はじめに検討会委員(利水者代表)から具体的な実施計画への了解を得た。

残りの3名の堰管理者には、フラッシュ放流実験で期待される効果を明瞭かつ丁寧に説明し、はじめに趣旨に理解を得た。この時、フラッシュ放流実験はチスジノリ生態や安室川の健全性の回復を促すことに加え、チスジノリの保全活動に参加する地元の学童らも期待を寄せるイベントであること、利水者代表の検討会委員の同意を得ていることも伝えた。趣旨への理解が得られた後にはじめて、実施可能な時期、堰の構造(門数など)や転倒時間などの聞き取りを行った。

また、内水面漁業協働組合(漁業者の代表)との協議では以下の点に配慮した。

堰管理者への説明と同様に、協議の目的を明確化するため(議論の発散を極力回避するため)、協議に河川管理者(県)が同席する場合でも、検討会事務局(筆者、財団法人リバーフロント整備センター担当者)が極力主体的に対応した。

内水面漁業協働組合理事長は検討会委員として計画立案に参加しており、自然再生の趣旨及びチスジノリ生態に対するフラッシュ放流で期待される効果については予め理解が得られていた。そのため、フラッシュ放流実験により、他の漁業資源に資する多面的な効果(河床攪乱に伴うバイオマスの向上の可能性など)について重点的に説明した。

フラッシュ放流実験での懸念事項も全て報告した。例えば、連続転倒後、5基の井堰が再堪水する場合に、流水を全量カットすることから一時的に瀬切れが生じる恐れがあり、漁業資源に影響を与えることが懸念される。現地調査により支川流入量や湧水を確認し瀬切れが生じる可能性は少ないことは確認されたが、支川流入や湧水の状況は、調査時と実験実施時で一致するとは限らないため、必ずしも問題なしとは言えないことなどを説明した。

このような懸念事項も交えた具体的な説明の結果、瀬切れに関しては経験的に生じる可能性は低いとの助言を得るとともに、堰転倒により堰による堪水域に生息するオオクチバス・ブルーギル等の外来魚を一時的に駆除できるなど、漁業者の立場から見た付加的な効果についての情報を得るに至った。いずれもフラッシュ放流実験の実施を後押しする助言であった。

上記のような配慮をしながら協議を重ね、利水者(堰管理者)及び内水面漁業協働組合共に理解を得るとともに、フラッシュ放流実験の実施への合意を得られた。合意事項を以下に示す。

- ・米の収穫作業をできるだけ早め、9月20日までに給水が不要となる状況にする。また、堰転倒のタイミングは、事務局メンバーが現場に立会い直接指示を出す(堰管理者)。
- ・安室川のモクズガニ漁の解禁日は9月20日であるが、フラッシュ放流実験の期間中(21日～

23日)は漁具設置を待つように、内水面漁業協同組合から各漁業者に呼びかける(内水面漁業協同組合)。

これらの合意を踏まえ、9月21日及び22日を実施日(23日を予備日)とした。この実施時期については、チスジノリ生態への効果の点からも、孢子体の着床が期待でき、配偶体が発生する直前の時期であり、妥当であった(第2章参照)。

2) 当日の体制

実験当日には、堰管理者らの努力により実験に利用する全ての堰が転倒できる状況(用水補給は必要ない状況)になっており、また、内水面漁業協同組合の呼びかけによりモクズガニ等の漁具の設置は見られなかった。

また安全上の配慮から、フラッシュ放流実験時に河道内に入らないよう注意を促すため、上郡町役場の協力のもと周辺自治会を通じて、事前に各戸に案内チラシを配布した。ここでは、河道内への侵入を一時的に禁止するだけでなく、これを機会に自然再生に関する取り組みに対して地域住民が興味を持てるように、チスジノリの価値や実験趣旨について一般向けに分かりやすい解説を付けた。(図-7.2, 図-7.3)

また、安全管理に万全を期すため、堤防上を見通せる間隔で警備員を配置するとともに、河川管理者が公用車でのパトロールを行い監視した。特に通学時の学童が河道内に入らないように監視を徹底した。なお警備員については、地元の精通度を考慮し、最寄りの警備会社に派遣を依頼した。さらに、河道内にアクセスできる箇所には、フラッシュ放流時刻を明示し、その期間中には河道内に入らないよう注意を呼びかける看板・バリケードを設置した。あわせて実験趣旨が分かる解説を必ず付けた。

その他、早期に発生した配偶体がフラッシュ放流により流失することを避けるため、運び出し可能な個体については、上郡町役場の玄関に設置されている展示用水槽に一時的に避難させた。上郡町役場からも検討会委員が選出されており当該委員を通じて協力を得た。

このような準備を整え実験当日を迎えた。そして当日、事務局からの補助員の合図に合わせ、堰管理者によって定刻どおりに転倒・復元の操作がなされ、フラッシュ放流実験は計画どおりに実施された。

3) 事後の報告

フラッシュ放流実験後には、結果を確実に伝えることで地域の理解が深まると考え、後日、一般向けに分かりやすく表現した結果報告を各戸に配布した(図-7.4)。また今回は、運良くチスジノリが再生・増加したため、今回の実験を地域全体で成功体験として共有することができた。この頃から筆者らは、調査時に現地に入った際、近隣住民から声をかけられることが多くなっている。成功体験が地域の中でチスジノリ保全への機運を高めたものと考えられる。

(2) 川を耕す・磨く施策

1) 実験実施体制の構築

河床材料の研磨・転石は、重機等を伴わず手作業で実施できる施策であるため、地域住民等の参加が期待できる。言わば、誰にでもできる小さな自然再生である。そこで、検討会事務局による調査としてだけでなく、多様な主体による協働型の実験体制をとることを試みた。

まず、上郡町立上郡中学校科学部に研磨・転石実験への参加を依頼した。上郡中学校科学部は、近郊の千種川や安室川の自然観察を中心に活動しており、検討会による再発見以来、チスジノリの生育環境も調査していた。また、顧問教諭は検討会委員で、趣旨を共有しており、調査協力

安室川自然再生計画に基づく『フラッシュ放流実験』のお知らせ

9月21日(水)～22日(金)〔23日(祝日)〕にかけて、安室川自然再生計画に基づく『フラッシュ放流実験』を実施します。この間、下記区間では河川水位が上昇したいへん危険です。このため、実験の間中は**絶対に川に入らないようにしてください。**

河川水位が上昇する区間



フラッシュ放流実験とは

安室ダムや取水堰を利用して人工的に洪水を起こし、川底を削り、石についでいる藻類や粗かな土砂などを流します。こうして、川底をきれいにするによってチスジノリをはじめとする生物の生育・生態環境を改善します。

安室川自然再生計画 ～地域の宝 安室川のチスジノリをよみがえらせよう～

〔目標〕①チスジノリがよみがえる河川環境の再生
②人々が川をふれあえる魅力的な川の食出

- 重点施策1 川底をきれいにします
- 重点施策2 湖・淵・湧き水を再生します
- 重点施策3 中洲を自然化し、魚道を設けます
- 重点施策4 地域生気の勉強会を開催しています

フラッシュ放流実験は、安室川自然再生計画のうちの**重点施策1**に基づく取り組みです。

お問い合わせ先：

兵庫県西播磨県民局 景土整備部 上部土木事務所 河川部総務課 (電話：58-2243)
上部河川課 建設課 (電話：52-1117)

図-7.2：各戸配布用のフラッシュ放流実験の広報(表面)

地域の宝『安室川のチスジノリ』をよみがえらせよう！

～チスジノリは安室川の環境を映す鏡です。～

チスジノリは日本固有の絶滅危惧種

チスジノリは世界でも日本にだけ生息する川藻の一種。色や形が血管(血筋)に似ているところから名付けられました。葉の長さは30～100センチメートル程度で淡水の高潮では最大級で、冬から春にかけて成長します。



県内で絶滅とされていた藻
チスジノリが確認された河川
上部の安室川

現在は環境省のレッドデータブックで絶滅危惧Ⅱ類に指定されており、数十ヶ所でしか生えていません。豊原川内川と熊本県菊池川では、チスジノリの生育地が国の天然記念物に指定されています。

約9年ぶりに確認されたチスジノリ
(神戸新聞 H16.2.10記事)

湧き水のあるきれいな川底が好き

チスジノリが安定して生育するには、川底がきれいな状態であることが望ましいと考えられています。水量が増えるが、洪水や湧き水によって川底にしまった泥やゴミが溜り環境が悪化します。湧き水のある箇所はチスジノリの胞子の着床に適していると考えられます。

チスジノリのある川は誰にとってもよい環境



チスジノリが育つのは自然できれいな水質の川。これは他の生物をはじめ私たち人間にもうれしい環境です。チスジノリは環境のバロメーター。チスジノリがよみがえるということは、自然で美しい川を取り戻すことなのです。

H16.1 安室川で確認されたチスジノリ
(きれいな石に付着していた胞体)

図-7.3：各戸配布用のフラッシュ放流実験の広報(裏面)

地域の宝『安室川のチスジノリ』をよみがえらせる活動の報告

安室川自然再生計画 ～地域の宝 安室川のチスジノリをよみがえらせよう～

〔目標〕①チスジノリがよみがえる河川環境の再生
②人々が川をふれあえる魅力的な川の食出

川底をきれいにすることで、チスジノリをはじめとする生物の生育・生態環境を改善することができると考えられています。今年度は「川底をきれいにします」取り組み〔重点施策1〕を行ないました。

チスジノリは安室川の絶滅危惧種

チスジノリは日本固有の絶滅危惧種。チスジノリは世界でも日本にだけ生息する川藻の一種。色や形が血管(血筋)に似ているところから名付けられました。葉の長さは30～100センチメートル程度で淡水の高潮では最大級で、冬から春にかけて成長します。現在は環境省のレッドデータブックで絶滅危惧Ⅱ類に指定されており、数十ヶ所でしか生えていません。豊原川内川と熊本県菊池川では、チスジノリの生育地が国の天然記念物に指定されています。



フラッシュ放流実験を実施しました(9月21日～22日)

地盤の崩壊などのため、安室ダム取水堰を利用して人工的に洪水を起こし、川底を削り、石についでいる藻類や粗かな土砂などを流しました。



山形県などで活動した子どもたちが川を耕しました(9月10日)

山形県などで活動した子どもたちが、活動の一環として、安室川上部(清水不動態)で、川底の石をひっくり返し、天竺石や黒岩をみがいたり、川底をきれいにしてくれました。



チスジノリが確認されました

この数年、チスジノリの発生が確認されてきたクリーンセンター下流部のほか、今年度安室川上部(清水不動態)でもチスジノリの復活を確認することができました。これには、子どもたちが川を耕したところがあります。また、安室橋下流(上部駅側)でも、上部中学校科学部の児童によりたくさんシャントランシア体(チスジノリの卵形体)が確認されました。



「フラッシュ放流」で川を耕す・磨く作業のやり方とチスジノリ生育の条件については、まだ決定事項が多くあり、どのようなやり方が最も効果的なのかについては、さらに実験を重ねていく必要があると見られます。9月2日現在で、同河川付近、安室川上部(清水不動態)、クリーンセンター下流で胞体が発見されており、これから観察にかけてチスジノリを見ることが出来ます。ぜひ、チスジノリに会いに来てみてください。



お問い合わせ先：
兵庫県西播磨県民局 景土整備部 上部土木事務所 河川部総務課 (電話：58-2243)
上部河川課 建設課 (電話：52-1117)

図-7.4：一般配布用のフラッシュ放流実験，川を耕す・磨く施策の結果報告



写真-7.1：上郡中学校科学部の活動，研磨・転石
によるチスジノリの生態調査



写真-7.2：「山野里なんでも体験隊」の活動，水中
の岩を金属ブラシで研磨

を依頼することが可能であった．ここにもプラットフォームとしての検討会の価値が見られる．

また，安室川のチスジノリ生育箇所に近接する山野里区では，山野里小学校の1年生から4年生までの学童による「山野里なんでも体験隊」が，山野里公民館の事業として盛んに地域活動を行っている．この「山野里なんでも体験隊」への協力依頼は，河川管理者からではなく，地元で活動する検討会委員を通じて行った．公民館長をはじめ「山野里なんでも体験隊」の指導者は，幼少の頃に安室川で遊んだ原体験を持ち，近年の安室川の環境劣化を懸念していたこともあって，趣旨への共感と実施への賛同が得られた．

上郡中学校科学部には，最も再生が期待できる箇所(安室橋～上郡駅裏)での調査を任せるとした(写真-7.1)．定期モニタリングを含む生態調査は，多くの河川を同時に管理し，予算・人員に制約のある河川管理者では効率が悪く持続性も期待できないことから，現実的には地域が主体となることが望ましい．一方で，チスジノリの生態に精通した専門的な知見も重要となってくる．そのため，最も再生が期待できる箇所での高度な調査を彼らに任せるとして，責任感とモチベーションを持ってもらうとともに，専門家として養成することを試みた．

彼らが実施した研磨・転石実験(第2章参照)の結果，チスジノリの再生こそ達成しなかったが，調査概要は検討会において発表され，学术论文としても取りまとめられた¹⁴⁾．さらにこれらの活動は，環境省及び財団法人日本鳥類保護連盟主催の第41回全国野生生物保護実績発表大会において，財団法人日本鳥類保護連盟会長褒状を獲得し，各紙地方版で報道されるなど町内で脚光を浴びた．この経験が更なるモチベーションとなり，現在では，彼らがチスジノリ再生の中心的な担い手となっている．例えば，チスジノリが生育する安室川の価値を広めようと，子供たちを含む近隣の住民向けの現地見学会などを主催している．このような学習会は，安室川自然再生計画で示す重点実施施策の一つとしても位置付けられており，河川管理者が主催するのではなく，地域主導で重点実施施策が展開される状況が既に構築されていることになる．

また，「山野里なんでも体験隊」の持ち場としては，学童らの安全を確保でき，川とのふれあいの楽しさを体験できる場所(清水付近，写真-7.2)を選定した．この付近は，魚類も比較的高密度に生息しており，水辺の植物も在来種を中心に多様性に富んでいる．また，流れが緩やかで水深



写真-7.3 : 「山野里なんでも体験隊」の活動，検討
会委員がチスジノリや魚類の生態を講
義



写真-7.4 : 「山野里なんでも体験隊」の活動，検討
会委員が水辺植物の生態を講義

も浅く，また見通しもよいため，安全管理面からも有利である．もちろん，チスジノリが過去に生育していた箇所であり，再生の可能性が高い箇所の一つでもある．

「山野里なんでも体験隊」による研磨・転石は，9月上旬から中旬にかけての実施を依頼した．これは，チスジノリの胞子の着床が期待できる期間であるとともに，学童らが川で遊ぶ季節(気温・水温等)からも適当だからである．また，「山野里なんでも体験隊」による活動では，参加層は小学校低学年が中心であることや継続したモニタリングが困難であることなどから，緻密な調査は行わないこととした．

また実際の活動日には，研磨・転石を行う前に簡単なチスジノリの生態学習を行った．その際には，チスジノリ生態の学習用に，検討会で得られた知見をもとに子ども版テキストを作成し配布した．作成したテキストの一部を図-7.5，図-7.6に示す．このテキストは主として小学校4年生程度を想定し，正確性は確保しつつ，河川工学や生態学の専門用語や行政用語の使用を避け，できるだけ日常的に用いられる言葉，実感できる言葉を意識的に用いた．現地では，テキストを読み込むことはせず，要点だけを簡潔明瞭に説明することとした．これは，持ち帰ったテキストを保護者が見て，子どもらの活動内容を知ること，さらには自然再生の取り組みに納得を得ることが，テキストの主要な役割と考えたためである．子育て世代の参画は，様々な分野の活動の課題となっており，今回の手法はひとつの有効な解決策と考えられる．

ところで，活動の持続性を考える場合，学童らが現地で楽しむことが第一ではなかろうか．川遊びの楽しさや成功体験から興味が湧き，真剣な学習や活動へと発展することが望まれる．そのため，「山野里なんでも体験隊」での活動では，チスジノリ生態の学習，河床材料の研磨・転石作業だけではなく，魚つかみや水辺の植物の学習などもあわせて実施した(写真-7.3, 7.4)．これらの学習では，検討会委員に講師として協力をお願いした「山野里なんでも体験隊」の活動後には，アンケート調査を実施しており，平成17年(2005年)度と平成18年(2006年)度の調査結果を図-7.9から図-7.13に示す．この結果から，今回のように魚取りなどの学童らがその場で楽しさを感じられる取り組みと合せて研磨・転石を行う方法は，活動の継続性を考える上で非常に有効であることが確認された．

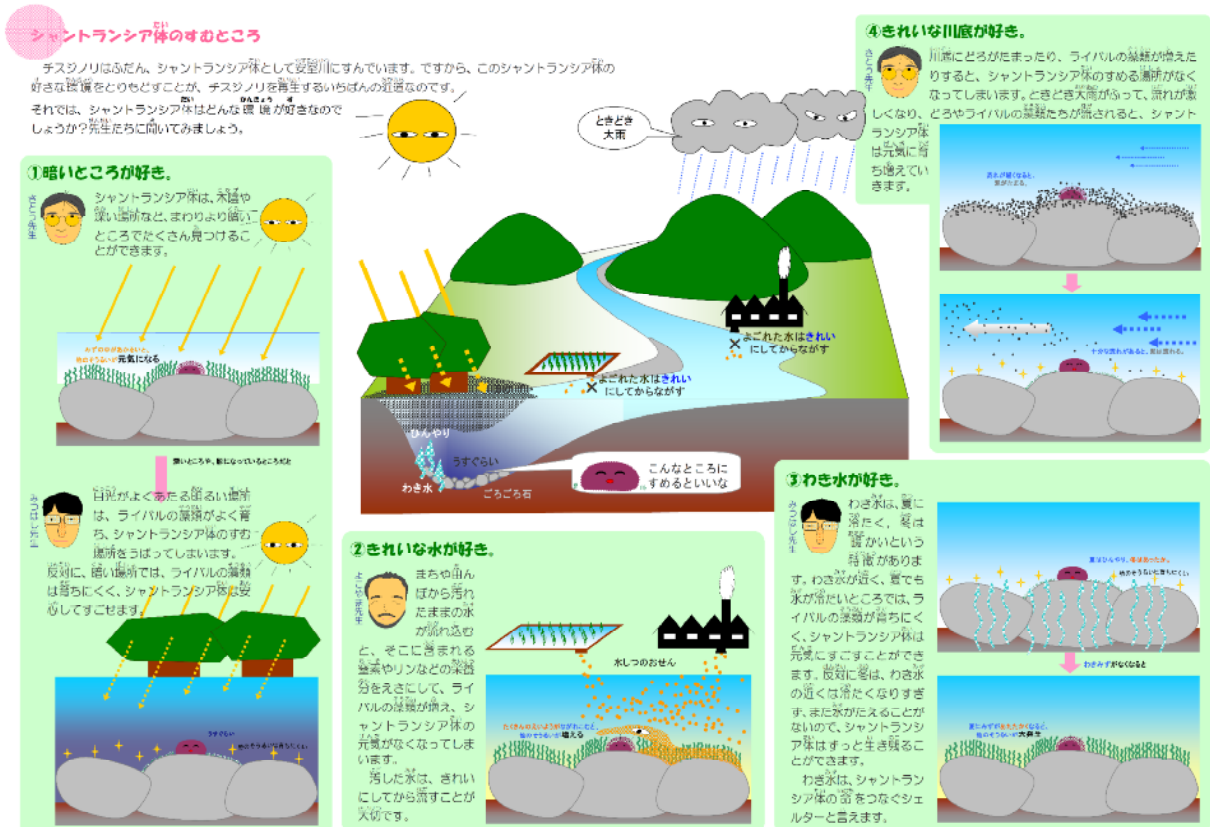


図-7.5：子ども配布用のリーフレット（一部抜粋，チスジノリの生態）



図-7.6：子ども配布用リーフレット(一部抜粋，チスジノリの減少要因)

Q1 チスジノリのお話はよくわかりましたか？

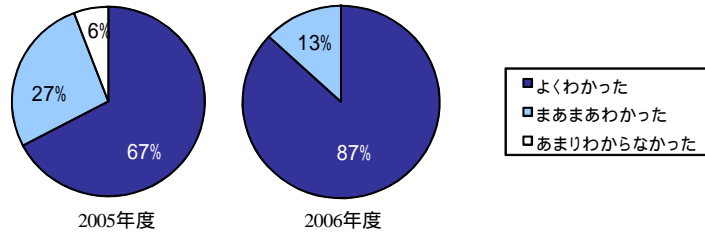


図-7.7：アンケート結果(Q1)

Q2 川の植物のお話はよくわかりましたか？

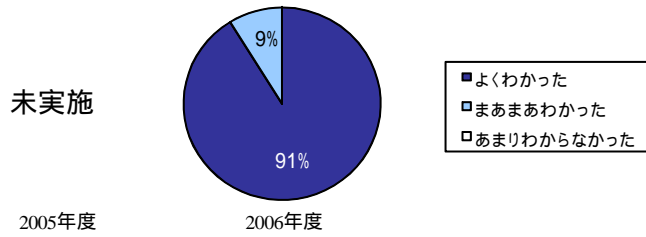


図-7.8：アンケート結果(Q2)

Q3 川を耕したり、(植物や)魚を観察したり楽しかったですか？

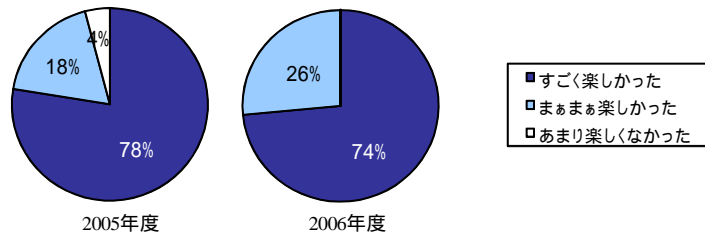


図-7.9：アンケート結果(Q3)

Q4 チスジノリが生えているかどうか、来年の春に見に来たいですか？

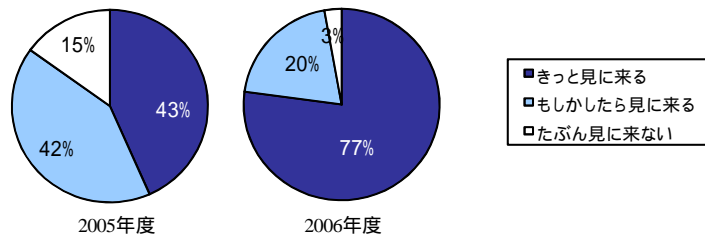


図-7.10：アンケート結果(Q4)

Q5 また、川を耕したり、磨いたりしたいと思いますか？

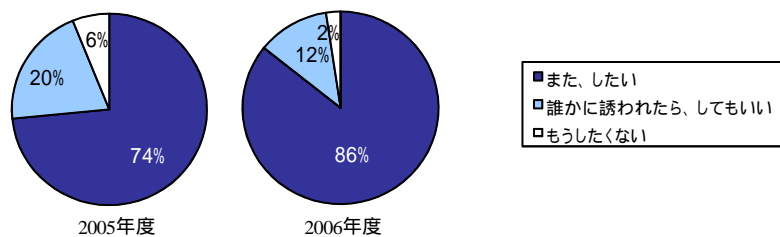


図-7.11：アンケート結果(Q5)

(3) 試験施工

平成18年(2007年)3月には、安室川自然再生計画に位置付けられている重点実施施策のひとつ、「流れの多様性(瀬・淵、湧水等)を有する河道の再生」のための試験施工を実施した(第5章参照)。この試験施工は、河川環境整備の予算確保が困難な中、流可能力維持・向上のための土砂撤去工事として予算が確保され、河川管理者である兵庫県西播磨県民局から発注された。これは、どの施工メニューも砂州の切り下げを伴うため、河積拡大という面で治水と目的が一致していたため可能な対応であった。

また今回の試験施工は、土砂撤去工事としての発注であったが、チスジノリ生育箇所、希少植物の生息箇所、砂州上に点在する窪地(たまり)の保護など、通常の土砂撤去工事に比べて非常に繊細な対応が必要であった。発注段階では具体的な対応まで仕様書に明記できなかったため、検討会事務局(筆者ら)は、河川管理者同席のもと、現地にて施工請負業者の現場責任者(以下、「現場代理人」という。)と具体的な施工方法について協議を行った。協議時には、施工業者の理解と共感を得るため、これまでの検討会での審議経過やチスジノリの価値を伝えるとともに、上郡中学校や「山野里なんでも体験隊」などの保全活動を紹介した。また、カワジシャ(*Veronica undulate wall*)、タコノアシ(*Penthorum chinensis*)、ゴキヅル(*Actinostemma lobatum*)などの希少植物やチスジノリの詳しい分布図も提供した。協議の結果、現場代理人の善処により、以下のような努力目標について合意を得た。現場代理人が山野里区の住民であり、かつ、事務局の説明により安室川の価値の再認識に至ったこと、何より地域の児童らの関与があることが、共感を生み、採算や効率性を度外視した合意に繋がったと考えられる。

既存の窪地(特に水たまり)は、タナゴ類の貴重な生育環境となっており、掘削土で埋め戻さないこと。

現況で比高差の小さい箇所は、希少在来植物(カワジシャ、タコノアシ、ゴキヅルなど)が多く分布しており、重機での侵入・攪乱は行わないこと。

水際の掘削時に生じる土砂流出(濁り水)は、河床に微細粒分を供給し(冬期であるため出水によるフラッシュ作用は期待できず)、チスジノリ生態に悪影響を与えるため水際周辺は掘削せず彫り残すこと。

また、施工過程において環境への影響が懸念される事態が発見された場合には、河川管理者である上郡土木事務所か検討会事務局(財団法人リバーフロント整備センター)に連絡が入るよう、現地調査担当者や上郡中学校科学部にも依頼しておき情報収集体制を整えた。

現場には、企業努力により仕様よりも小型の重機が持ち込まれ、丁寧な施工がなされた(写真-7.5)。しかし、綿密な施工計画がなく試行錯誤を繰り返しながらの非常に非効率な施工であったし、仕方なく重機で流路を横断したケースも散見された。また、重機では対応できない細部の調整は、筆者らがスコップ等を持ち込んで直接作業を行った(写真-7.6)。

第5章でも述べたとおり、今後の施工あたっては、重機の仕様、搬入経路や掘削順など、河川環境の保全と整備の立場に立った施工計画の策定手法を確立することが望まれるものの、共感を通じて得られた協力関係により自然再生事業としての目的は何とか達成された。同時に、試験施工の目的・趣旨への十分な理解があれば、場面に応じた対処法をある程度的確に判断できることも確認された。このように仕様書で網羅されない臨機応変で適切な対応を求める場合には、細か



写真-7.5：小型の重機による掘削作業



写真-7.6：筆者らによる調整作業

なマニュアルを作成するのではなく、事業の目的・趣旨に対する理解・共感を得ることが肝要と考えられる。

7.3 成功要因の分析と考察

7.3.1 成功要因の分析

これまでに述べた安室川での成功事例を踏まえ、考えられる成功要因について以下に列挙する。

(1) 事業推進のプラットフォームとしての検討会の存在

1) 計画段階から利害関係者の参画

安室川自然再生計画の目的や方向性、具体的な実施方法は、検討会及び同技術部会において議論された。検討会には、学識経験者に加え、農業者、漁業者、自治体、学校、自治会の代表者が委員として参画しており、様々な審議を通じて、共通の認識が得られた。計画実施段階での利害調整・合意形成は比較的円滑に行えた。

このことから、計画の検討体制の中に可能な限り多様な利害関係者の参画を促すことの重要性が示唆される。ただ、現況の治水機能の維持を前提とした自然再生事業のように、事業目的に対する対立軸が少なく、審議が隘路に入り難いと想定される場合に限った考え方であろう。

2) 地域の実情に詳しい専門家の参画

検討会には地元で活躍する学識経験者が多く参画している。各委員は専門知識を持ちながら、地域の実情にも詳しく、学校や地域との協働体制を構築する様々な場面で橋渡しとなった。

このように、地域の実情に詳しい専門家が計画策定段階から検討に参画することで、地域の協働体制の構築が円滑化することが示唆される。

3) 学際的な技術検討体制、的確な実験計画の提供

検討会には、河川工学、藻類、魚類、植物、保全生態学の専門家が参画している。このような

専門家の議論を踏まえ、数年間かけてチスジノリの悉皆調査や物理環境の変遷をモニタリングし、チスジノリ生態に関する作業仮説を検証しながら、詳細な水理解析を駆使して、人為的インパクトと河川の物理環境や生物相の応答関係を調査研究した。

このように安室川の自然再生には、検討会による基礎研究に多くの予算と時間が割かれた。その結果、大規模な土木工事を実施する計画には至らなかったが、地域住民でも実施可能な施策が次々と導き出された。更に、的確な実施計画が与えられ目に見える成果を得るに至った。一見、過剰にも思える基礎研究は、結果として、最も安価に自然を再生し、住民協働型の河川管理体制を実現する基礎になったと考えられる。

(2) 身近な水辺であること、再生のシンボルの存在

安室川では、フラッシュ放流や川を耕す施策、河道改変(試験施工)に合せて、チスジノリが再生・増加し良好な植生の回復が見られた。このように安室川のような中小河川では直轄管理の大河川に比べて、住民の働きかけに対する自然の応答プロセスが明快に現れる。大きな土木工事を伴わない小さな人為的なインパクト(河床攪乱や改変)でも、河川環境に与える影響は相対的に大きく、また、少ない調査でも応答の全容を把握できる。また、安室川の自然再生のシンボルであるチスジノリは、適度な河床攪乱や、普段の多様な流れなど、河川の環境の健全性を的確に代表している。

種を撒いても中々芽が出ないと次第に興味が薄れていくものであるが、安室川は人々の働きかけにすぐに応答しチスジノリを再生・増加させた。このような即効性と分かりやすいバロメータの存在は、人々の関心を維持させ、保全活動の機運を一層盛り上げたと考えられる。

(3) 学校(上郡中学校、「山野里なんでも体験隊」)との連携

検討会委員による働きかけを通じて、環境教育に関心のある学校との連携が構築された。ひとつは上郡町立上郡中学校科学部であり、ひとつは山野里小学校の学童を中心とする「山野里なんでも体験隊」である。

彼らは利害関係団体(農業者や漁業者など)の長にとって孫の世代である。孫の世代が、チスジノリの再生の保全活動を中心になって取り組んでいるという実態は、計画の実施に対して、利害関係者の協力を得ることを容易にした。また、彼らは社会経済を中心になって支えるいわゆる現役世代にとっての子どもらである。特に現役世代は、子どもへの関心は高いものの、河川環境への関心が必ずしも高いとは言えない。そういった中でも、山野里なんでも体験体の活動や、上郡中学校主催のチスジノリの現地説明会には、子育て世代が多く参加しており、子どもらを通じて現役世代にチスジノリに代表される安室川の価値を伝えることできたと言える。

(4) 治水機能の維持・回復と環境保全・再生を両立した施策

河川が通常有すべき機能には治水のみならず環境も含まれている。しかし、先にも述べたように、近年の厳しい財政事情から、生命・財産に直結する治水機能の維持を優先せざるを得ない状況にあり、全国の中小河川で同様の問題を抱えている。

安室川における環境改善のための試験施工は、治水目的の工事として河川管理者により発注された。試験施工のメニュー全ては大小様々ながらも基本的には砂州を切り下げる内容となっており、河積を確保しようとする洪水防御との方向性が一致していたためである。治水機能の維持を目的とした単なる土砂撤去工事と本事業が異なるのは、掘削手順と出来型が若干複雑という点のみである。堆積土砂撤去等の維持管理工事を利用するという臨機応変な対応により、目に見える形で河川環境の保全・再生を図ることができたと言える。

7.3.2 河川技術・河川技術者の担う役割

安室川での一連の取り組みの中で、河川技術が担った主要な役割は、詳細な現地調査を積み重ねながら、生態学の知見と関連付けながら様々な水理計算を駆使して、人為的なインパクトが河川の物理環境及び生物相に与える影響を予測し、その結果を踏まえた的確な実施計画を提供した、という点である。地道な基礎調査・技術的検討から導かれたこれらの実験計画が、地域住民の手で絶滅したチスジノリを甦らせるという“奇跡”に至らしめた主要因であること言うまでもない。

また、河川技術者は、これらの実施計画を取り組みの担い手(堰管理者や小学生・中学生など)に説明し理解を得るといった役割を担った。

絶滅したチスジノリを地域住民自身の手で甦らせたという成功体験は、一度は遠ざかってしまった安室川と地域住民との距離を再接近させたと考えられる。すなわち、安室川と地域住民との新しい関係が再構築されたと言える。今後、安室川の環境は、チスジノリが媒体となり地域住民から常に注視される。治水・利水は、直接的に目に見えて生活に影響を与えるため、地域住民が河川そのものに関心を持たなくても、治水・利水は当然のニーズとして存在し得る。しかし、身近な河川の環境保全・再生の必要性については、実生活に直結した説明をすることが難しく、普段からの関わりがない中でニーズとして現れにくい。人々が河川に関心を持つことが、河川環境の保全・再生にとって重要な要件と考えられる。

平成9年(1997年)の河川法改正により、治水・利水に加えて、河川環境の保全・再生が法の目的として加わり、河川整備計画の策定過程では地域住民の意見を聴くプロセスが位置付けられた。この改正は、「河川法の制定以来、効率化を求めて遠ざけた川・遠ざかった川について、河川管理者だけではなく、地域のありようと繋がりの中で、治水・利水だけではなく河川環境を含めた総合的な視点から地域住民も一緒に考え、全国一律の方法ではなく地域独自の方法で、地域がはぐくむ川を取り戻す」という趣旨であると筆者は理解している。「地域から愛される河川」であるということは「地域の緩やかな合意のもと、治水・利水・環境といった河川に求められる諸機能のバランスが最適化された河川である」と言って差し支えないのではなかろうか。

安室川では、物言わぬ小さなチスジノリが媒体となり、川は子どもらに愛され、住民と川との新しい関係と河川管理の体制が築かれた。この意味では、安室川での一連の取り組みは、河川法改正の趣旨を具現化したひとつの事例であると言える。

以上のような安室川の成功事例から、河川環境の保全・再生を一層進め、地域住民から再び愛される河川を取り戻すために、河川技術・河川技術者に望まれる技術は、次のとおり抽出される。

- ・生態学の知見を組み込んだ河川工学を駆使し、関連する分野の専門家と目標を共有し協働しながら、基礎調査から実施計画策定を進める技術
- ・実施計画を地域主体の行動へと繋げる企画技術・コーディネート技術
- ・大規模な土木工事を伴わない、住民の手でも河川環境を改善できる技術(「小さな再生技術」)
- ・実感できる言葉・図表、小さな実体験の積み重ねを織り込んだ、実感を伴う納得を導くため分かりやすい説明技術

今後は、河川環境の保全・再生をより促進させるため、これらの技術を河川技術・土木技術の一つ捉え充実化することが望まれる。

7.4 結語

安室川では関係者の利害調整を乗り越え、行政、専門家、地域が協働しながら、次々と施策が実施され、チスジノリの再生・増加など効果が発現している。本章では、兵庫県安室川での成功事例を振り返り、河川技術・河川技術者の担うべき役割を意識しながら、協働型管理体制を着実に構築するための実践技術について考察した。本章で得られた成果を以下に要約しておく。

- ・ 安室川での成功要因は以下のように整理された。
 - 1) 利害関係者や地元で詳しい専門家の参画があり、更には学際的な技術検討体制により的確な実験計画の提供が可能で、安室川自然再生検討会というプラットフォームが存在したこと
 - 2) 安室川が身近な水辺であり、チスジノリという再生のシンボルが存在したこと
 - 3) 学校(「山野里なんでも体験隊」、上郡中学校)との連携があったこと
 - 4) 治水機能の維持・回復と環境保全・再生を両立した施策を提案できたこと
- ・ さらに、河川環境の保全・再生を目的とした協働型管理体制の構築するため、今後、充実化を計るべき実践技術として、以下の事項が抽出された。
 - 1) 生態学の知見を組み込んだ河川工学を駆使し、関連する分野の専門家と目標を共有し協働しながら、基礎調査から実施計画策定を進める技術
 - 2) 実施計画を地域主体の行動へと繋げる企画技術・コーディネート技術
 - 3) 大規模な土木工事を伴わない、住民の手でも河川環境を改善できる技術(「小さな再生技術」)
 - 4) 実感できる言葉・図表、小さな実体験の積み重ねを織り込んだ、実感を伴う納得を導くため分かりやすい説明技術

ここで、整理された実践技術は、“健全な河川環境”という社会資本を国民に効率的に提供するために欠かせない技術であり、すなわち、Civil Engineering たる土木工学に欠かせない技術と言える。今後は、わが国の次世代の河川技術者にとっての必須の技術として認識され、研鑽が進められることを望みたい。

参考文献

- 1) 兵庫県：安室川自然再生計画，2004
- 2) 河川審議会：21世紀の社会を展望した今後の河川整備の基本的方向について，河川審議会答申，1996．
- 3) 滋賀県土木交通部流域治水政策室：これからの公助の方向性について，滋賀県流域治水検討委員会第6回住民会議，資料-2，p.15，2008
- 4) 河川関係補助事業研究会(編)：河川局所管補助事業事務提要平成19年度版，大成出版社，pp.212-213，312-313，2007．
- 5) 琵琶湖ハンドブック編集委員会編：琵琶湖ハンドブック，pp.152-153，2007．
- 6) 建設省通達：「多自然型川づくり」の推進について，河治発第56号・河都発第27号・河防発第144号，1990．
- 7) 「いい川・いい川づくり」研究会：私たちの「いい川・いい川づくり」最前線，学芸出版社，pp.195-236，2004．
- 8) FRONT 編集部編：川からはじまる人づくりまちづくり，財団法人リバーフロント整備センター，2006．
- 9) 社団法人日本河川協会：川や水の活動団体名簿 - 調査結果の概要(平成18年(2006年)12月現在)，社団法人日本河川協会 web ページ，<http://www.japanriver.or.jp/index.htm>，2006．
- 10) 千種川圏域清流づくり委員会：千種川圏域清流づくり委員会 web ページ，http://homepage3.nifty.com/ytadashi/sakusaku/1_1.htm，2008．
- 11) 山道省三，森清和：多摩川をモデルとした「河川環境」の保全に関する住民参加型の手法，制度についての調査・研究，多摩川環境調査助成集，Vol.22，No.119，1997．
- 12) 流域交流懇談会：パートナーシップはじめる<いい川>づくり，1996．
- 13) 滋賀県，第3回世界水フォーラム分科会「流域管理と住民参加」開催報告，滋賀県土木交通部河港課，2003．
- 14) 東山真也，瀧健太郎，杉野伸義，横山正，三橋弘宗，上郡中学校科学部員：上郡中学校科学部員による安室川の淡水産紅藻チスジノリ(*Thorea okadae*)を復活させる試み，人と自然，No.17，pp.73-78，2007．

第8章

結論

本論文では、兵庫県安室川を対象に、希少藻類チスジノリに代表される河川環境を改善するための調査、計画・設計、実施、モニタリングといった一連の河川管理手法について、他の中小河川への適用も念頭に置きながら、総合的に考察した。

第2章では、既存の(物的・人的)資源を活用した人為的な河床攪乱により河川環境を改善する方法について考察した。具体的には、チスジノリの孢子体の放出・着床が期待される9月中旬に、手作業による河床材料の研磨・転石、及び、農業用井堰群の連続転倒によるフラッシュ放流を実験的に行い、チスジノリ生態に与える効果を検証した。さらに検証結果を踏まえて人為的な河床攪乱の実施計画を検討した。

研磨・転石の効果を検証するため、実験区(研磨または転石をする区間)と対照区(何もしない)に分け、実験区と対照区とのチスジノリの発生状況を比較した。その結果、実験区でシャントランシア体の顕著な増加傾向が確認された。また、小学生が(環境学習の一環として)研磨・転石した範囲で配偶体数株が新たに発見され、研磨・転石がチスジノリの再生に効果的であることが示された。

農業用井堰群の連続転倒によるフラッシュ放流の効果を検証するため、置石調査や強熱減量調査などを実施した結果、チスジノリの生育の阻害要因となる微細粒分・付着藻類が除去されたことが確認された。また、準二次元非定常流解析により、微細粒分・付着藻類の除去に必要とされる掃流力が作用したことが広範囲に確認され、研磨・転石と同様に、フラッシュ放流もチスジノリの再生に効果的であることが示された。

以上の検証結果に加えて、地域の社会活動(農業・漁業など)による制約条件を考慮することにより、地域の実情に応じた、研磨・転石及びフラッシュ放流の具体的な実施時期や手順、モニタリングの方法などが体系化された。

第3章から第5章までは、河道形状の改変により河川環境を改善する方法について考察した。

第3章では、中小河川での適用を念頭におきながら、所要の治水安全度を確保しつつ環境改善を図るための具体的な河道設計手法を提案した。具体的には、まず、自然営力により良好な環境が持続するように低水路部分の横断形状を設定し、次に、設定した低水路部分の横断形状を保持しながら、治水上必要とされる河積が確保されるように、高水敷を含む全断面の横断形状を設定する手順を示した。また、低水路部分の横断形状の設計条件を次のように定めた。

- ・自己流区間では、持続的に砂礫河原、瀬・淵が形成される状態を目標とし、平均年最大流量に対応する無次元掃流力と川幅水深比とが砂州形成条件を満足すること
- ・背水区間(感潮区間)では、湖岸(海岸)侵食を回避するため、上流からの供給土砂が河口付近で堆積せず海岸(湖岸)域へ持続的に供給されることを目標とし、平均年最大流量時の掃流力

が限界掃流力を超えること

また、用地幅(河川敷幅)が制約される場合であっても、上記の環境面の設計条件を満たしつつ、所要の河積が確保されるように、全断面の横断形状を設定する方法を例示した。

以上により実河川の河道設計を行った結果、環境面と治水面から要求される設計条件を共に満たすような、用地幅の異なる複数の河道形状が提案され、本手法の有効性が示された。

第4章では、河川環境の改善方策を検討するために効果的な水理モデルの開発を行った。

瀬・淵、たまりなどの河道内微地形への流水の影響を把握するため、二次元非定常流モデルを基本として用いた。さらに、河川環境に卓越した影響を及ぼす平均年最大流量以下の洪水群の再現性を高めるため、植生密度の空間分布や倒伏度の時間変化を透過係数の変化により反映させ、植生の流水抵抗の時空間変化をモデル化した。また、詳細な地形測量を実施し、解析用のメッシュ分割を極力細かくすることにより、モデルの空間分解能を向上させた。

開発したモデルによる実績洪水の再現計算の結果、ピーク水位だけではなく、砂州が冠水し始める程度の流量から平均年最大流量までの水位変動や、植生の流水抵抗の変化について高い再現性が得られた。また、計算結果(水深・流速)の空間分布とチスジノリの分布とを重ね合わせて比較すると、チスジノリの好適生育条件に関する仮説を裏付ける流速の分布傾向が確認され、開発したモデルはチスジノリの分布特性を分析できるレベルの空間分解能を持つことも示された。

第5章では、安室川の良好な河川環境を再生するための順応的な河道管理(計画・設計、試験施工、モニタリングなど)の方法について考察した。

まず、チスジノリが多く生育した年代と現在との河川形状を比較し、瀬・淵、たまり、湧水など具体的な物理環境の復元を目標として設定した。次に、第3章で示した河道計画手法を安室川(安室橋～河鹿橋付近)に適用し試行錯誤した結果、設計条件を満足する横断面形状は得られなかった。これにより、床固め等により縦断勾配が緩和された河道では、自然営力のみで瀬・淵、砂礫河原の維持が困難であることが明らかにされた。

また、局所的な改変として、周辺に固有種の植生やタナゴ類の生育環境を再生するための「たまり」や、チスジノリの生育環境を再生するための「大型淵(湧水)」の設計を行った。これらの配置や形状については、植生や既存たまりの分布、旧河道の形状などを考慮して設定した。ここで第4章で開発した二次元水理モデルを用いて、「たまり」や「大型淵(湧水)」部付近での改変前後の河床抵抗を算出し比較すると、改変後にも河床抵抗に大きな変化は見られなかったことから、「たまり」や「大型淵(湧水)」の形状は長く維持されると判断した。

次に、治水安全度の確保、侵略的外来植物の再侵入の防止、チスジノリ生育環境の保護の観点を踏まえ、設計河道の砂州高を設定した。具体的には、治水安全度の確保のため、治水上必要な河積が確保される砂州高の上限値を設定した。また、侵略的外来種の再侵入防止のため、外来植物との生育範囲(平水位+1.0m以上)と根の深さを考慮し、目標砂州高(平水位+0.7m)を設定した。さらに、チスジノリ保護の観点から、出水時の劇的な河道攪乱を防ぐために、改変前後の掃流力変化が15%以下となるように砂州高の下限値を設定した。

これらの諸条件を満たすように河道形状(たまり・大型淵の位置・形状、計画砂州高)を設定し、試験的に改変を行った結果、一部(大型淵)を除き想定通りの良好な遷移が確認され、上記の設計手順の妥当性が示された。

第6章では、今後の効果的な河道管理に寄与するため、チスジノリの悉皆調査の結果と第4章で開発した二次元水理モデルによる計算結果など、本研究を通じて蓄積された物理環境情報を活用し、チスジノリの好適生育条件を推定した。

まず、チスジノリ分布情報と水理諸量、日照時間、水温分布などの物理特性を、解析用に分割したメッシュ上に整理した。チスジノリの有無で分類したメッシュ群ごとに、物理特性の平均値をとり比較した結果、配偶体・シャントランシア体ともに、普段からある程度の深さと流れがある場所、川底がきれいな場所、日陰など日光が届きにくい場所を選好する傾向が検証された。

また、「配偶体あり」のメッシュ群と「シャントランシア体あり」のメッシュ群を比較した結果、配偶体に比べシャントランシア体の方が、比較的水深の小さい場所や日照時間の長い場所(付着藻類の一次生産が活発な場所)や、流速・摩擦速度が大きい場所(表面積の大きい配偶体が流失しやすい場所)など、より広範囲に生育可能であることが新たに確認された。

次に、物理環境の値からメッシュごとにシャントランシア体の適地判定を行うためのロジスティック回帰モデルを作成した。シャントランシア体なしの属性を持つメッシュ群から、Bootstrap法によりシャントランシア体ありの属性を持つメッシュ群と同数のメッシュを繰り返し抽出し、抽出回数分のロジスティック回帰モデル群を作成した。さらに、モデル群の中からAIC(赤池情報量基準)が最頻値となるモデルを抽出した。

ここで得たモデルを用いて適地判定を行い、ROC分析を用いて判定結果を評価したところ、最も正解率の高いモデルが抽出されたことが確認された。その結果、シャントランシア体なしの情報が大半を占めるデータ(zero-inflated data)からシャントランシア体の適地判定する場合に、得られたモデルが有効であることが示された。また、同モデルの独立変数(物理特性)の重要性(IOV)を比較した結果、シャントランシア体の適地としては、水深・水温に比べて日照時間・流速が大きく影響することが示唆された。

第7章では、近年、河川環境の保全・再生を進めるうえで前提条件とされている、多様な関係者による河川の協働型管理体制を構築するための実践的な手法について提案した。

安室川では河川管理者・学識経験者・地元小中学校・利害関係者を含めた幅広い主体による協働体制が構築されており、この構築過程を再整理し成功要因を分析した結果、計画段階からの利害関係者及び地域の実情に詳しい専門家の参画、学際的な技術検討体制の整備、再生のシンボルの存在、学校との連携、治水・環境が両立した施策の提案、が抽出された。

さらに、良好な協働関係の構築に要する「技術」を抽出したところ、基礎調査から実施計画、地域主体の行動へと繋げる企画技術・コーディネート技術、住民の手でも河川環境を再生させる技術(「小さな再生技術」)、実感を伴う納得を導く分かりやすい説明技術、が挙げられ、これらは、河川環境の保全・再生を進めるために河川技術・河川技術者の担うべき技術であることが示唆された。

さて、ここまで述べてきたように、安室川では、「研磨・転石」や「フラッシュ放流」による人為的な河床攪乱や、瀬・淵、たまりの試験再生を行なったあと、いくつかの箇所ではチスジノリが蘇った。とは言え、各施策とチスジノリ生態との明確な因果関係は、今なお不明で、解明への努

力を続ける必要はある。

「研磨・転石」も「フラッシュ放流」も、大きな土木工事を伴わないため事業費をほとんど必要としない施策であるが、農業者、漁業者、河川管理者、学識経験者、学校、自治会等の連携・協働が前提となる。フラッシュ放流期間は、農業用水の利用を制限せざるを得ないし、漁業も中止せざるをえない。難しい利害調整が必要である。

安室川ではこのような利害調整を乗り越え、協働関係が構築されている。これらの利害関係者が、河川環境改善の目的に向かって協働している事例は非常に稀であろう。では、なぜ安室川でそれが可能であったのか。安室川では、詳細な現地調査と生態学の知見、河川技術を駆使した基礎的な検討がしっかりとなされ、さらに、安室川自然再生計画検討会に利害関係者が参画していること、チスジノリという再生のシンボルが存在すること、そして何より子どもたちの参画があること、などが架け橋となり、利害関係者の連携が促進されたと言える。人々の心を動かすのに、子どもたちの笑顔に勝るものがないことは、古今東西、普遍の事実のようだ。

実のところ、今回の安室川での自然再生の取り組みは、「チスジノリの再生」そのものが目的ではなく、チスジノリが生育できるような「健全な河川環境の再生」が目的である。ところが、“河川環境の健全性”なる概念は非常に抽象的で、その再生の意義を一般に浸透させることは難しい。それどころか、毎日一緒に仕事をしている同僚にさえ伝えることは難しい。

自然再生を進める際、以前の景観や失われた動植物の再生といった分かりやすい目標を掲げることが多いのは、こういったことが原因のように思われる。例えば、この安室川での事例は、分かりやすい目標であるチスジノリを指標種とし、チスジノリを復活させることで、川のシステム全体の健全性を取り戻そうとする取り組みといえる。これで一歩でも前に進めるのだから、今はそういったアプローチでいいのだと思う。

さておき、利害関係者の協働とチスジノリの復活という奇跡を経て、小さな安室川は日本で最も幸せな河川のひとつとなった。小さな安室川とそこに生育する小さなチスジノリは、地域の繋がりとありようをしっかりと育んでいる。ここに、わたしたちの身近な水辺を再生するためのヒントがあるのではないだろうか。

わたしたちの身近な水辺が、地域の人々から愛され、豊かで生き生きとした輝きをとり戻せるよう、本研究の成果が寄与することを願って本論文の結びとしたい。

謝辞

神戸大学大学院工学研究科道奥康治教授，兵庫県立人と自然の博物館佐藤裕司主任研究員(兵庫県立大学教授兼任)，三橋弘宗主任研究員(兵庫県立大学講師兼任)，兵庫県立西はりま特別支援学校横山正教諭，株式会社里と水辺の研究所浅見佳世氏(兵庫県立大学客員准教授兼任)，上郡町立上郡中学校東山真也教諭をはじめとする安室川自然再生計画検討会の皆さまは，安室川の再生を成功に導くため労を惜しむことなくいつも丁寧に指導してくださいました。

立命館大学理工学部江頭進治教授(当時，現・株式会社ニュージェック)，龍谷大学理工学部遊磨正秀教授は，環境改善を前提とした河道計画手法を開発するにあたり，厳しい議論を通じて基本的な方向性を示してくださいました。

本研究を通じて提案された数々のアイデアはこの先生方のご指導によるものです。

兵庫県西播磨県民局上郡土木事務所荒柴所長(当時，現・淡路県民局県土整備部)，浜野河川砂防課長(当時，現・東播磨県民局県土整備部)，津田主任をはじめとするスタッフの皆さまには，どこまでも前向きに研究する機会と場を与えていただきました。兵庫県河川計画課松尾主査はあらゆる場面において陰に陽にと支えてくださいました。

また，安室川を愛する上郡町役場の皆さま，地域にお住まいの皆さまには，あたたかいご理解とご協力をいただきました。上郡中学校科学部の皆さんは，日頃苦勞して観測した貴重なデータを提供してくださいました。どんなに寒い日にも，チスジノリの再生のために一生懸命に取り組む彼らの姿は，私たちに勇気を与えてくれました。

八千代エンジニアリング株式会社眞間修一氏，関基氏(当時，現・財団法人リバーフロント整備センター)，山下健作氏，堀江史生氏，株式会社環境総合テクノス杉野伸義氏は，常に傍らにいて共に悩み，時には夜を徹して研究を支えてくださいました。神戸大学発達科学部大沢剛士氏は，チスジノリの好適環境の推定にあたり大量のデータを使った統計処理作業を担ってくださいました。彼らがまさに本研究の原動力です。

そして，財団法人リバーフロント整備センター竹村公太郎理事長，砂川孝志専務理事，渡部秀之研究第一部長(当時，現国土交通省国土交通大学校建設部)，坂之井和之研究第三部長は，受託業務を通じて得られた研究成果を私が学位論文として取りまとめることに対し，心からのあたたかい激励を下さいました。

1987年(昭和62年)の設立以来、日本の豊かな水辺を守り育ててきた“リバフロ”に、本論文が少しでも貢献でき、恩返しができるればそれに余る幸せはありません。

最後に、神戸大学大学院工学研究科道奥康治教授は、安室川での一連の研究成果を学位論文として取りまとめるきっかけを与えて下さるとともに、ご自身が大変ご多忙であるにもかかわらず、論文を執筆するためのあらゆる環境を整えて下さいました。先生のあたたかなご指導ご鞭撻があってこそ、ここまでたどり着くことができました。また、神戸大学大学院工学研究科藤田一郎教授、塩崎賢明教授は、論文の取りまとめにあたり有益なご助言を下さいました。

このすばらしい皆さまに、心からの感謝を捧げます。

平成 21 年(2009 年)1 月

瀧 健太郎