

中小河川研究と多自然川づくりの深化

大槻順朗・林田寿文・中村圭吾・萱場祐一

1. はじめに

中小河川は全国の河川総延長のおよそ90%を占めており、我が国の河川環境保全上重要な位置づけにある一方、環境面の配慮が十分でない改修も多数行われてきた。これに対する中小河川における川づくりの環境保全の施策としては、平成2年の「多自然型川づくりの推進について」の通達にはじまり、平成18年「多自然川づくり基本指針」、平成19年「中小河川に関する河道計画の技術基準」（以下「中小河川技術基準」という。）等、継続的に推進されている。また、災害復旧の場面に関連しては「美しい山河を守る災害復旧基本方針」（以下「美山河」という。）における多自然川づくりに関する項目が都度改定されてきている。自然共生研究センター（以下「共生センター」という。）は現地調査や大規模な実験河川を活用した研究を実施し、その成果が中小河川に係る基準類に反映され、全国の多自然づくりに活かされてきた。しかし、最近の中小河川を巡る災害においては、土砂、流木、水と災害の外力が多面化し、多自然川づくりを進める上で新たな課題も浮き彫りになってきている。

本報では、共生センターが平成30年11月に開所20周年となることを踏まえ、中小河川の多自然川づくりの動向と共生センターの研究内容の変遷をふり返り、代表的な研究成果を紹介する。最後に、新たな課題に対応するために実施すべき研究の方向性について触れる。

2. 中小河川における多自然川づくりの展開

2.1 中小河川に関わる社会的背景の変遷

我が国における中小河川の多自然川づくりと共生センターでの研究の経緯を図-1にまとめた。水管理・国土保全局（旧河川局）は平成2年に「多自然型川づくり」実施要領を定めたが、多自然型川づくりが十分実践されていないとの反省から平

成18年に「多自然川づくり基本方針」を通知し、川の営力を活かした川づくりを推進するとともに、平成19年には中小河川の具体的な河道計画の技術基準となる中小河川技術基準を通知した。さらに、平成22年には中小河川技術基準に河岸・水際部の計画・設計上の留意事項等を追加して改定を図るとともに、翌平成23年には本基準の解説書として「多自然川づくりポイントブックⅢ」（以下「PBⅢ」という。）が刊行された。中小河川技術基準等では、流下能力の向上にあたって河道の安定・環境の保全の観点から川幅拡幅を原則とすること、拡幅は片岸のみとし相対的に環境が良好な河岸を保全すること、河岸・水際部については護岸の露出を出来る限り避け、露出する場合には必要な環境機能を護岸に付加すること等が示された。さらに、本基準の災害復旧の現場への適用を図るため平成26年に美山河が改定された。ここでは、護岸が露出する場合に求められる景観上の要件を具体的に示している。平成30年には大規模災害の頻発に鑑み、改良復旧事業等における多自然川づくりの具体的な留意事項を追加している。

2.2 共生センターでの中小河川研究の変遷

共生センター開所当初から約10年間においては、実験河川を活用した、瀬・淵や水際植物、水際の石礫などの生息場としての機能の解明のための実験的研究が主体となっていた。その成果は中小河川技術基準やPBⅢに反映されている。

ここ10年については、中小河川で護岸整備に多用されるコンクリート護岸ブロック（以下「護岸ブロック」という。）について、景観・自然環境の保全の観点から護岸ブロックに必要な要件を検討、景観に関する具体的な評価方法を提案、製品の認証制度として運用されている。また、過去に改修により、河床、河岸・水際部が単調になった河川に対しては、環境修復工法（バープ工等）の機能評価と基本的な設計論の確立を図ってきた。このような河岸・水際部の評価手法、工法開発に関する研究を進める一方、平成23年からは河道

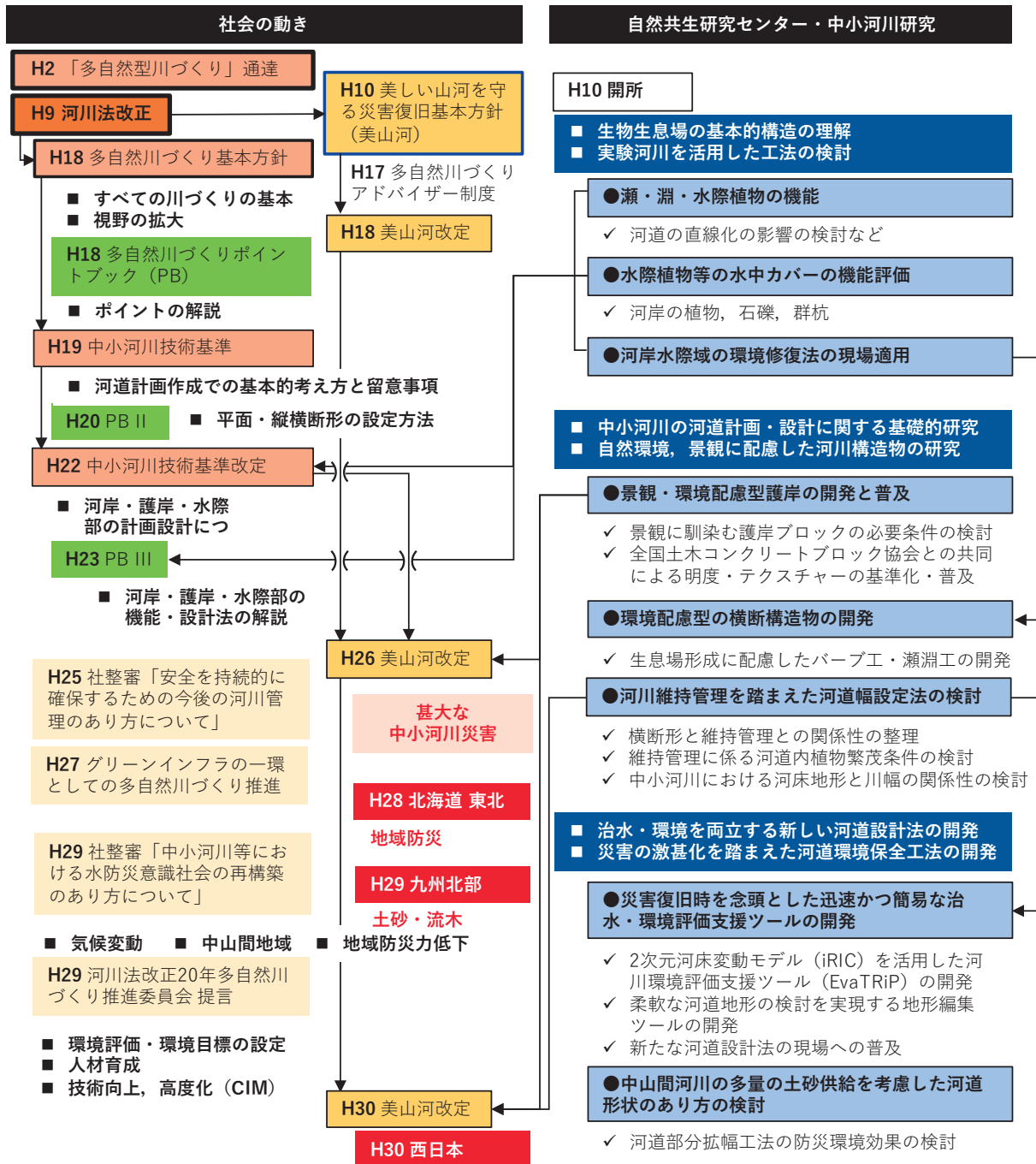


図-1 中小河川を取り巻く社会的動向と自然共生研究センターでの取組み

計画・設計に関わる研究も重点的に実施している。中小河川の河道計画について中小河川技術基準では拡幅の原則が示されているが川幅の設定に関する具体的な指針がなかった。河川地形は川幅と水深の比によって形態が変化し、それに応じて植物の繁茂状況等も変化するため、拡幅により河積確保はできても維持管理では問題が生じる場合がありうる。そのため、治水に加えて環境・維持管理も含めた総合的視点から川幅を設定する方法論の確立が求められている。共生センターでは、中小

河川の川幅水深比と河道内の地形、環境、維持管理の関係について検討を進め、その成果は平成30年改定の美山河に反映されている。

現在、河道計画・設計に関わる知見を実務者が効率的に活用できるよう、汎用2次元河床変動モデルをベースとする河道計画・設計支援ツールおよび簡易環境評価ツールの開発を推進している。一部は既に公開され実務に反映されつつある。

以下では上述の研究成果のうち代表的なものを選定して概略を説明する。

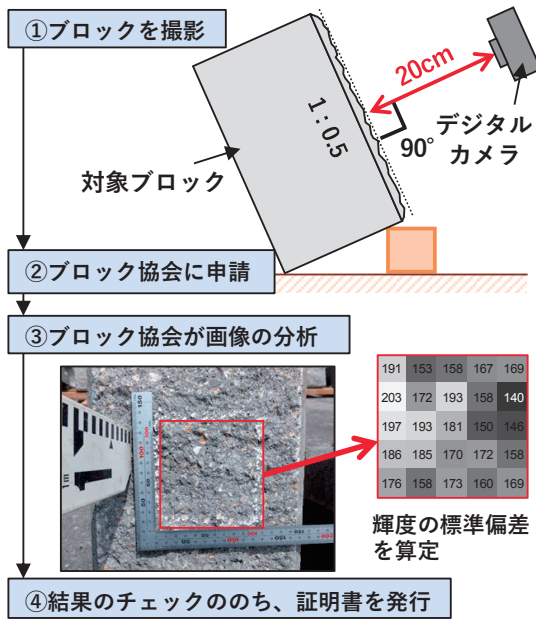


図-2 コンクリート護岸ブロックのテクスチャーに関する認証手順

3. 共生センターでの中小河川研究

3.1 景観に配慮した護岸の評価基準の整備

護岸ブロックは河川改修、災害復旧において多用される資材である。しかし、自然的要素から構成される河川景観の中にあっては明るく平滑で目立ちやすく景観と調和しにくいことが難点である。前述のPBⅢでは、周辺との明度の差が大きいこと（明度）、表面の質感が滑らかすぎること（テクスチャー）、ブロックの形、サイズ、積み方（景観パターン）等に課題があるとされており、これらの要素を定量評価する方法、また、課題がある要素を改善するための具体的方法を検討してきた。これについては、（公社）全国土木コンクリートブロック協会（以下「ブロック協会」という。）と共同研究にて実施し、開発した明度、テクスチャーの評価方法や満たすべき値の目安についてはそれぞれ、平成26年および平成30年の改定において美山河に記載された。加えて、ブロック協会では認証制度の運用を開始し認証を受けるための具体的な方法を記載したマニュアルを整備した。例えば、テクスチャーについては図-2に示すように、①メーカーが照度等の撮影条件をそろえた上でデジタルカメラによりブロックを撮影、②これをブロック協会に申請、③ブロック協会がこのデジタル画像（10cm×10cm）を分析しRGB

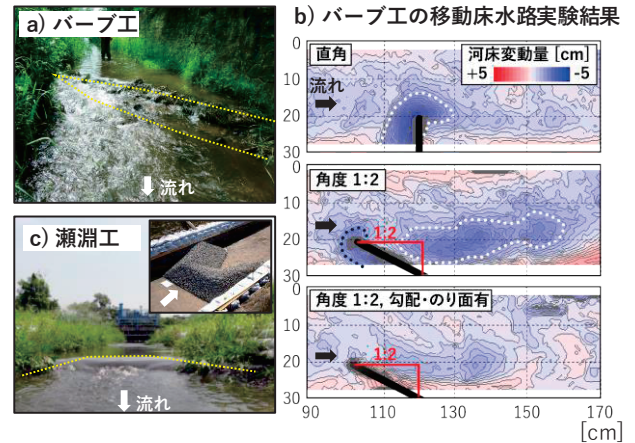


図-3 バーブ工、瀬淵工およびバーブ工の移動床実験結果

画素値から輝度（具体にはYUV色空間における輝度信号Yであり、単位無）の標準偏差を算定、④分析結果が妥当かどうかを判定し評価値に認証を与える、という手続きを行なっている。美山河では、護岸ブロックの選定にあたっては滑面を避けるため、輝度の標準偏差11以上という、検証実験から得られた値を目安とすることとされている。先行して明度についても同様の方法により1,500件を超える認証が与えられており、明度6以下を満たした製品の普及が進んでいるところである。

3.2 単調化した河川における自然復元工法

多自然型川づくり以前の河川改修により、中小河川の多くは直線的で狭く深い水路状の断面に改変されている。この場合、洪水時の掃流力が大きく河床低下を生じやすいこと、流路が平坦化し生物生息場となる瀬や淵、水際植物帯が形成されにくいこと、河床低下対策の帯工等の横断工作物が生物の移動を阻害することなどが問題となる。一方、改修済みの河川では様々な制約で拡幅が難しいことも多く技術的解決を必要としている。共生センターでは、これに応える工法として、「バーブ工」および「瀬淵工」に関する研究を実施してきた。

バーブ（barb）工（図-3 a）とは高さの低い水制を流れに逆らって伸ばし、土砂堆積を促す工法である。バーブ工の水理・土砂堆積特性を把握するため、水路実験や実験河川を用いた移動床実験を実施した²⁾。実験では、バーブ工の設置角度、長さ、法勾配、縦断勾配を持たせた場合など構造を変えて行った。実験結果の一例を図-3 b)に示す。これより、バーブ工の設置角度を上流側に傾

けると、設置角が直角である場合（通常の水制）と比較し洗掘深さは大きく変わらないが洗掘面積が大きく変わることや、バープに勾配をつけ先端を下げ、流れを受け流す構造とすると寄り州が付きやすくなることが分かった。中小河川に設置するバープ工は比較的規模が小さいため、市民参加型の「小さな自然再生」として実施されるケースも多い。

また、バープ工の知見を生かした帯工に替わる構造物として瀬淵工（図-3 c）の開発を行った。瀬淵工は、ハの字型のバープの入り口を閉じた構造で、河床安定機能を持たせつつ、瀬淵の形成や流れの分断化を避ける機能を有するものである。実験河川での検討の後、福岡県樋井川において現場適用を実施した。継続的なモニタリングの結果、施工5年後にはシロウオの産卵範囲が旧潮止堰を超えて上流まで拡大したことが確認されている³⁾。

3.3 中小河川における川幅設定法に関する研究

治水・環境・維持管理が調和した川づくりを実現するためには、河道の法線、横断形状を改変した際に生じる河道の応答を予測する技術が必要となる。一般に、川幅が狭められていると同一流量に対する川幅水深比 (Bi/H) が小さくなり、掃流力が大きいことで砂州が発生できない条件となる⁴⁾。こうした河道は治水・環境両面で問題が多いので拡幅が推奨される。一方、川幅を拡大すると、掃流力の低減とともに砂州が発生できる条件となる。砂州はみお筋を蛇行させ多様な流れの形成に寄与する一方、過度に河道が安定化した場合は河道内の植物の繁茂を促進し、場合によっては維持管理の難しい河道となる可能性もある。

そのため共生センターでは、中小河川における合理的な横断形状の設定方法の確立に向けて、岐阜県・三重県の中小河川74河川95箇所において河道特性と河道に形成される地形（以下「河道景観」という。）を調査し関係性を整理した。その結果、河道景観が大きく4タイプ（Step&Pool・礫列、砂州、岩盤、平坦河床）に分類できること、また、分類した4タイプの河道景観が平均年最大相当流量のフルード数 (Fr) と川幅水深比*勾配^{0.2} ($Bi^{0.2}/H$) によって大まかに分類できることを明らかにした。それらを図-4にまとめる。この図より $Bi^{0.2}/H$ が7以下であると、瀬・淵構造、水際部が単調となる河道景観（【岩盤】【平坦河床】）

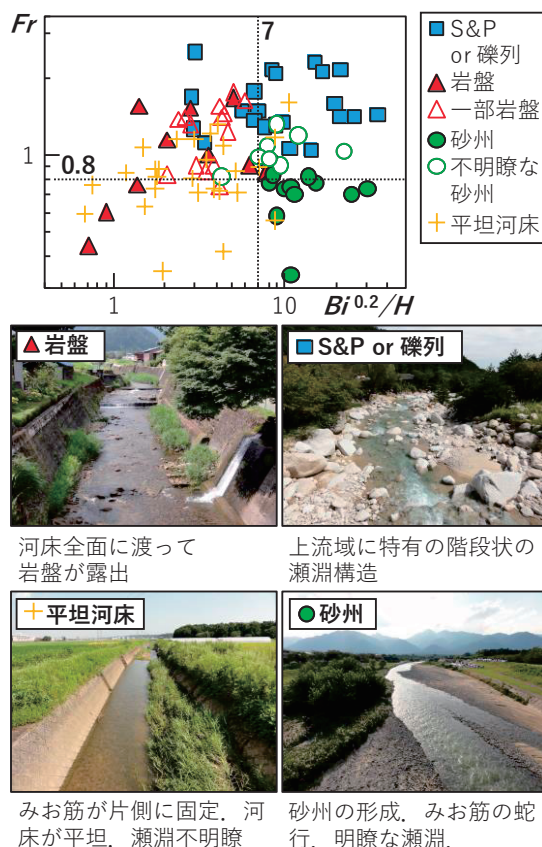


図-4 河道の幅と河道景観の関係性

が現れている。このとき河床に作用する掃流力は相対的に大きく、河床低下が懸念されるなど、改善を要する状態であると言える。一方、 $Bi^{0.2}/H$ が7以上であると、河床は比較的安定し、瀬・淵構造、水際域が多様となる河道景観である【砂州】、 Fr が0.8より大きい場合は遷移領域の【不明瞭な砂州】から【Step&Pool・礫列】を呈する。また、河川管理者へのアンケート調査から“維持管理が円滑である”との回答が多かった河川は砂州やテラス上の堆積部を有する河川であった。河道景観の分類では【砂州】や【不明瞭な砂州】が該当する。これは、河道内の砂州が人の利用しやすい空間となっていること、結果として、維持管理が実施しやすいことが要因であると推察される。このように川幅と河川環境、維持管理は密接な関係性を持っていることから、法線や一次断面の検討を行う計画初期段階で上記の関係性を用い、多角的な川幅検討を行うことが推奨される。これにより持続的で質の高い川づくりの大きな手助けになるものと考えている。

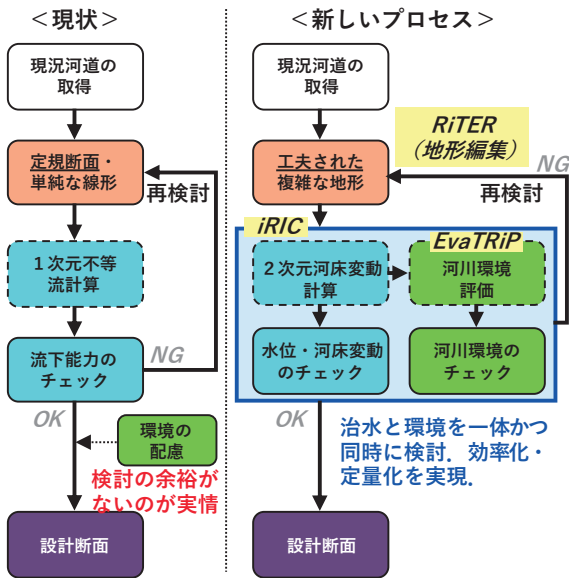


図-5 災害復旧等における河道計画立案の手順と新たに提案するプロセス

4. 新しい河道計画・設計支援ツールの開発

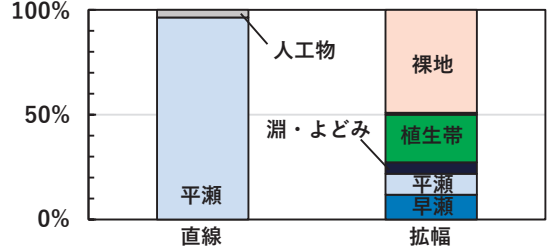
共生センターでは、災害後の改良復旧等大規模に河道を改変する際の河道計画・設計をより迅速に実施するプロセスの検討とそれを支援するツールの開発を行っている。図-5は河道計画立案の大まかなプロセスを示している。改良復旧等においては、非常に短い期間で河道計画を立案する必要があることから、河川環境への配慮が不十分となる恐れがある。また、定量的な検討は1次元不等流計算による流下能力の評価に留まっており、生息場の良否等の環境面の評価は実施されていない。

そこで、簡易環境評価ツール「EvaTRiP (Evaluation Tools for River environmental Planning)」の開発を行った。EvaTRiPは、無料の水理河床変動計算ソフトウェアであるiRIC (Version 3.0) ⁵⁾上で動作するソルバ (計算部分) として開発・実装されており、iRIC本体に同梱されてiRICのウェブサイト上に公開されている。EvaTRiPは、iRICの別のソルバで計算された時々刻々の水深・流速の計算結果を取り込んで水深と流速に対応付けられた種々の評価値を算出する。具体的には、河道内の植物の繁茂の可能性および魚類の生息場好適度が出力されるほか、河岸の環境保全に資する護岸の要不要の判定や河床材料の安定性についても評価値が出力される。図-6は現場適用の一例であり、それぞれ同一河川に近

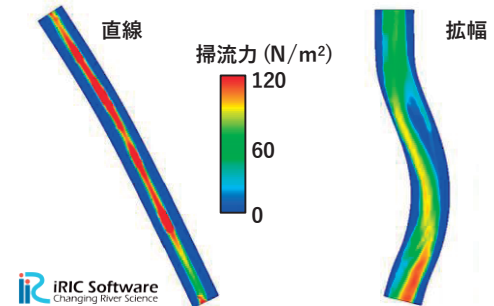
a) 計算対象区間



b) ハビタットタイプの面積割合



c) 掃流力の分布



d) 魚類生息適地ポテンシャル (オイカワ成魚, 平水時)

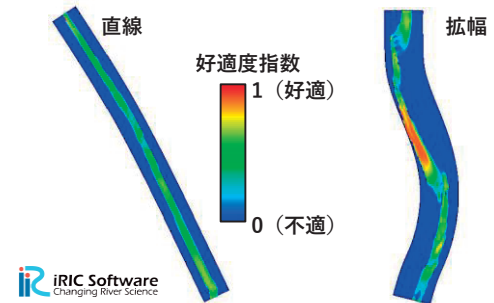


図-6 EvaTRiP の現場適用の一例 (対象区間は同一河川上の近傍)

接する過去の改修により直線化している区間 (直線区間) と拡幅区間とを対象とした (同図a))。直線区間では、ほぼ全域が平瀬で、拡幅区間では砂州が定着し生息場が多様になっている (同図b))。この区間の河床変動計算結果から、掃流力分布を示したのが同図c)、さらにEvaTRiPを用いてオイカワ成魚の生息適地ポテンシャルを示した同図d)である。これらより、拡幅区間に対して直線区間では掃流力が全域で大きく、生息場の好適度についても低いことが視覚的に確認でき、河道改変の効果を治水・環境の両面から簡易かつ定量的に評価することが可能になりつつある。

ところで、上記のプロセスを実践するためには、河道法線等を少しずつ、きめ細かく変えながら治水・環境上、維持管理上の良否を繰り返し検討し、最適な河道を探索する必要がある。このためには、河道の法線・川幅等の河道地形を自在に編集し、この結果を河床変動計算、EvaTRiPへとシームレスに引き継ぎ、治水と環境を統合したプロセスを開発する必要がある（図-5右）。共生センターでは地形編集ツールの開発、このツールを組み込んだ河道計画・設計プロセスの構築を図っており、今後、中小河川におけるCIM（Construction Information Modeling）の導入に向けた取り組みを加速させることとしている。

5. 中小河川研究これからの展望

平成28年の東北・北海道における災害、平成29年九州北部豪雨災害、そして平成30年7月豪雨に見られるように、中小河川において大量の土砂と流木を伴う激甚災害が相次いでおり、中小河川における防災の考え方は大きな転換点を迎えている。平成29年の「中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について」では、気候変動による災害の激甚化や増加に対し、特に中山間地域の地域防災力が低下している中小河川に対策が求められ、洪水警報の危険度分布や危機管理型水位計の設置といった新たな防災対策が推進されている。平成29年九州北部豪雨災害で最も甚大な被害を生じた赤谷川流域では、流域からの極めて多量の土砂により河道が埋塞し、流路が谷幅一杯に拡大した。こうした現象は現行の河道計画検討法では基本的には考慮されない形態の外力であり、流域住民の人命、財産を守るためには何らかの対応が必要である。その際には、治水上の安全

性のみならず、そこに形成される環境や利用といった平時のあり方についても同時に検討されるべきである。共生センターでもこうした新しい課題に対応するため、過剰な土砂供給を考慮した際の河道の拡幅手法について技術的な検討をスタートさせたところであり、防災・環境・利用をどう合理的にバランスさせるかといった側面からも研究を進めたいと考えている。近年、自然の機能を活かした社会資本をGreen Infrastructure、同様に生態系機能を活用した防災・減災をEco-DRR（Ecosystem-based Disaster Risk Reduction）と呼び、世界的に推進が図られている。我が国の中小河川についてもこの概念に沿うよう、新しい技術が生み出されることを目指し、研究を進めたい。

謝 辞

本報告における一連の研究は過去の自然共生研究センター所属の職員、特に大石哲也氏（現、寒地土木研究所）、原田守啓氏（現、岐阜大学）、高岡広樹氏（現、八千代エンジニアリング（株））、尾崎正樹氏、櫻井玄紀氏、藤森琢氏、手代木賢治氏（共和コンクリート工業株式会社）の貢献によるものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 中小河川計画の手引き（案）、p.4、1999
- 2) 原田守啓、高岡広樹、大石哲也、萱場祐一：水際に寄り洲を形成するバンプ工法、土木技術資料、第55巻、第7号、pp.44～47、2013
- 3) 伊豫岡宏樹、皆川朋子：樋井川改修後のシロウオ産卵状況、応用生態工学会研究発表会講演集、20th、p.54、2016
- 4) 黒木幹男、岸 力：中規模河床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、342、pp.87～96、1984
- 5) iRIC Homepage: <http://i-ric.org/ja/>

大槻順朗



土木研究所水環境研究グループ自然共生研究センター 専門研究員、博士（工学）
Dr.Kazuaki OHTSUKI

林田寿文



土木研究所水環境研究グループ自然共生研究センター 主任研究員、博士（環境科学）
Dr.Kazufumi HAYASHIDA

中村圭吾



土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム上席研究員、兼 自然共生研究センター長、博士（工学）
Dr.Keigo NAKAMURA

萱場祐一



土木研究所水環境研究グループ長、博士（工学）
Dr.Yuichi KAYABA