

河川CIMに貢献する3次元の 多自然川づくり支援ツールの開発と普及

THE DEVELOPMENT AND DISSEMINATION OF A 3D NATURE-ORIENTED
RIVER MANAGEMENT SUPPORT TOOL THAT CONTRIBUTE TO RIVER CIM

林田寿文¹・河野誉仁²・森照貴¹・中村圭吾³

Kazufumi HAYASHIDA, Takanori KONO, Terutaka Mori, and Keigo NAKAMURA

¹正会員 博士（環境科学）（国研）土木研究所 自然共生研究センター
（〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地）

²正会員 博士（工学）（国研）土木研究所 自然共生研究センター

³正会員 博士（工学）公益財団法人 リバーフロント研究所
（〒104-0033 東京都中央区新川1丁目17番24号）
（前：（国研）土木研究所 自然共生研究センター）

河道地形の3次元モデルを活用する河川CIMの普及が始まったが、現在、この技術が河道計画を検討する際に有効活用されているとは言いきれない。そのため、3次元モデルを使った一連の河道設計法を支援するツールの確立が重要な課題である。また、河道設計に利用されてきたソフトウェアは、主に洪水時における流れと河床変動に特化した解析手法であった。そのため、多自然川づくりで重要となる河川の自然環境や人の利用について、河道設計段階から検討するための支援ツールが不足していた。このような課題に対応するため、我々は「3次元の多自然川づくり支援ツール」の開発を進めている。本ツールは誰もが利用できるように無償で公開しており、河川管理者などに活用してもらうためセミナーなどを通じた普及活動を行ってきた。本報告は、以上の要点を紹介し、本ツールおよび河川CIMの推進に向けての活用について述べるものである。

Key Words: BIM/CIM, River-CIM, iRIC software, evaluation of river environmental impacts, DX

1. はじめに

国土交通省は、事業の各段階で3次元モデルの活用を促す河川CIMの活用を進めている。河川CIMの活用は、航空レーザ測深（以下「ALB」という）による3次元地形測量から3次元設計、ICT建設機械を使った3次元施工、そして3次元モデルを活用した河川維持管理の過程を経ることで、業務効率化や生産性向上などがもたらされる。しかし、現行の設計は3次元データを2次元図面に変換して設計した後、再度3次元モデルを作成するなど非効率な取り組み事例が多く、3次元データが有効に活用されているとは言いきれない。河川CIMの推進には、3次元モデルを使った河道設計を支援するツールの確立が重要な課題の1つとなる¹⁾。

既往の河道設計に利用されてきたソフトウェアは、主に洪水時における流れと河床変動の解析機能に特化したものが多かった。そのため、多自然川づくりで重要となる河川の自然環境や人の利用についても河道設計段階からの検討が可能となる支援ツールが必要とされてきた²⁾。

河道設計を支援しつつ積極的な多自然川づくりを推進するため、土木研究所自然共生研究センター（以下「共生C」という）では、「3次元の多自然川づくり支援ツール（以下「本ツール」という）」の開発をこれまで進めてきた。平成26年度には河川環境を簡易に評価できる「EvaTRiP（Evaluation Tools for River environmental Planning, エヴァトリップ）」を開発した^{1),2),3)}。令和元年度には柔軟に地形編集をすることで河川環境を検討しやすくする「RiTER Xsec（River Terrain EditoR X（Cross-section, ライタークロスセクション）」を開発した^{1),3)}。さらに、令和2年度にはEvaTRiPの機能を拡張した「EvaTRiP Pro」を開発⁴⁾し、令和3年度には仮想現実（VR）やバーチャルツアーなどを使った河川景観の評価実験を実施し、その実用性を確認した^{5),6)}。

本ツールの活用により、河道地形の3次元データは横断形状の抽出や河川の蛇行や瀬淵分布といった面的な情報の取り扱いができ、2次元の水理解析を用いた治水検討や生物の生息場評価などの環境検討がより正確に行えるようになる。つまり治水と環境の同時評価による両立

を目指すことができる。加えて本ツールは、誰もが利用できるように無償で公開しており、河川管理者などに活用してもらうためのセミナーや動画公開などを通じた普及活動を積極的に取り組んできた。

本報告は、以上の要点を紹介し、本ツールおよび河川CIMの推進に向けての活用について述べるものである。我々はこれまでEvaTRiP (Pro) やRiTER Xsecなどの各ツールについていくつか報告^{1)~6)}を行っており、本報告は、これまでの研究成果の総括、そして令和4年度に新たに開発した機能の報告を目的としている。

2. 「3次元の多自然川づくり支援ツール」とは

河川流況や河床変動のシミュレーションを可能にする計算技術は日進月歩で進化している。かつては限られた研究者・技術者のみが取り扱うことのできた河床変動計算も、特に本邦においてはiRICソフトウェア⁷⁾ (以下「iRIC」という)の登場により広く普及し、様々な業務で数多く活用されている。iRICは無料であるだけでなく、非常に操作がしやすい設計となっていることも大きな特長である。そこで、①計画地形の見直しやワンドの設置などの微細な工夫を反映しながら多自然川づくりを進めるための3次元地形を編集するツール「RiTER Xsec」、②2次元河床変動計算と同時に河川環境の定量評価を行う「EvaTRiP (Pro)」の機能を強化・追加することで、河川CIM支援ツールとして高度化することを進めている。RiTER XsecおよびEvaTRiP (Pro) は、我々が開発を行い、iRICに追加した機能である(図-1 緑枠)。これらの機能とともに、iRICの既存機能である2次元河床変動計算により治水評価が可能なNays2DHを組み合わせ、地形編集、治水評価、環境評価を可能にするものである。

また、景観評価システムと連携することで設計形状を立体視するだけでなく、設計した河川空間と周辺環境(背後地)との調和や用いられる材質の質感などと合わせて確認もできる(図-1)。このように治水と環境の両面から河道地形の検討を行うことで、河川環境に配慮しながら、治水安全度を満たした川づくりがより効率的に進められるようになりつつある。川づくりの1つである災害復旧事業においては、特に迅速な対応が求められ限られた時間の中で進められる。そうした状況下においても本ツールによって3次元で河道地形や河川内の瀬淵などを見ながら検討することは、河川の自然環境や人の利用についても治水と同時に考えるうえで、非常に役立つものである。

(1) 地形編集ツール

RiTER Xsecは、河道地形の3次元データの編集機能を有するツールであり、河川の瀬淵や水辺など環境保全を行う上で大事な箇所を、河道の横断面や3次元表示を確



図-1 多自然川づくり支援ツールを構成するツール群
(緑枠：土木研究所で開発しiRICに追加した機能)



図-2 川づくりにおける横断面の検討方法の一例

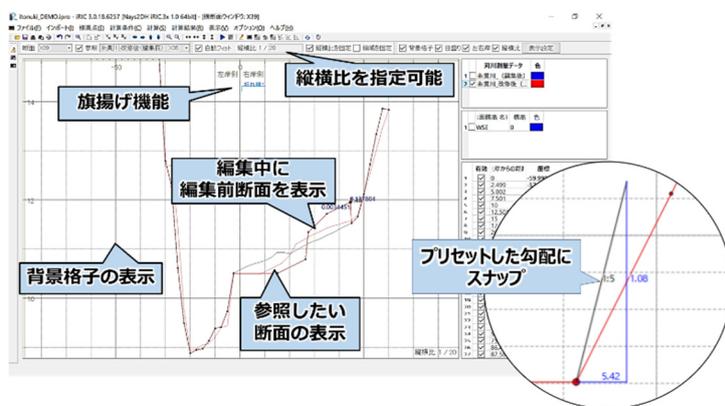


図-3 RiTER Xsec 横断面編集機能の強化¹⁾

認しながら検討することが可能である。RiTER Xsecの主な機能は、以下の通りである。多自然川づくりを行う場合、必要な流下能力(河積)や用地制約を踏まえつつ、自然環境や水辺利用に配慮した法面や空間づくりが求められる⁸⁾。図-2は、流下能力確保と多自然川づくりを概念的に示した例であり、用地ギリギリまで河道拡幅を行い、護岸の法勾配を立てることで川幅を最大限確保し、砂州を形成することで植生の繁茂を促している形状である。このように、平面図で河川空間として利用可能な場所を確認し、官民境界を確認しつつ断面を整え、治水・環境上、維持管理上の評価を繰り返し検討した上で、望ましい地形を探る作業が必要である。

RiTER Xsecではこうした作業を念頭に、①平面図に官民境界や道路などの線情報を記入することで、横断面図上

でその位置に旗揚げされる機能、②横断面図上で法勾配を確認しながら法面編集する機能、③平面図や航空写真の重ね合わせ機能、④横断面の編集機能強化として、背景格子・スケール、参照用断面の表示機能の追加で直感的にわかりやすい操作を可能にした(図-3)。その結果をiRICに連携させ、設計した河道地形に対して水理計算を行うことで、設定流量における治水の検討ができる³⁾。また、RiTER Xsecは横断面の編集が平面図と連動するため、編集状況が分かりやすく、これまでの横断面図面による設計の感覚で地形を編集できる特徴がある(図-2, 3)。さらに、編集した地形データは、i-Constructionで使用されるLand XML形式で出力できるため、ICT建機への入力が可能である。そのため、RiTER Xsecによる設計を速やかに施工へと活用することもできる。また、数値標高モデル(DEM)データから河道に沿って一連の横断面図を抽出する機能を有しており(図-4)、近年活用が広がる無人航空機(UAV)を使ったSfM写真測量や、ALBなどの面的な測量成果をそのまま活かして設計作業に進むことができる。なお、RiTER XsecはiRIC本体のGUI(グラフィカル・ユーザ・インターフェース)に組み込まれているため、様々な計算ソルバー(河床変動解析などの個別機能)で使用可能である。

RiTER Xsecの機能開発は継続しており、令和4年度中には、編集前のオリジナル地形とRiTER Xsecなどによる地形編集後の地形の2つを用いて土量を算出することができる機能を追加した(図-5)。これは、格子セルごとに切り盛りした土量を計算し、それらを合計して全体量を計算するものである。また、土量は鳥瞰図ウィンドウやプリプロセッサウィンドウなどで切り盛りの様子が分かるよう、セルごとの切り盛り土量をセルの格子属性として出力することもできる。格子属性の可視化は既存のiRICの機能により行い、例えば切り土は青、盛り土は赤で表示するなど視認性が高い形で可視化できる(図-5)。RiTER Xsecは、上述したようにiRICのGUI上で扱ってきたが、土量計算機能が加わることで1つのソルバーとしてRiTER Xsecの機能を最大限発揮できるようになった。編集前後や河床変動前後の土量が算出できる機能により、河道地形の設計、施工、維持管理について主にコスト面から検討を行いたいという、河川管理者(行政)のニーズに応えたものとなっている。

(2) 河川環境評価ツール

EvaTRiPは、河川環境を評価するためのツールである²⁾。EvaTRiPはiRICと連携させて用いるソルバーとして、iRICのNays2DH(平面2次元水理・河床変動計算)などで水理計算を行った結果を入力することで半自動的に河川環境の評価を行うことができる。機能¹⁾、2)としては、算出された流速や水深から、①護岸の要否箇所判定、②移動限界粒径の判定、③陸生植物の生育有無の判定、④魚類生息場の評価(PHABSIM法)を備えている。

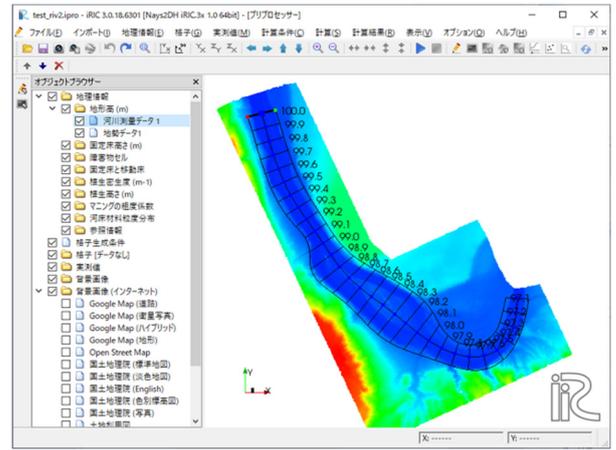


図-4 DEMデータからの河道断面(rivファイル)の抽出・作成機能(RiTER Xsecの機能の一つ)¹⁾

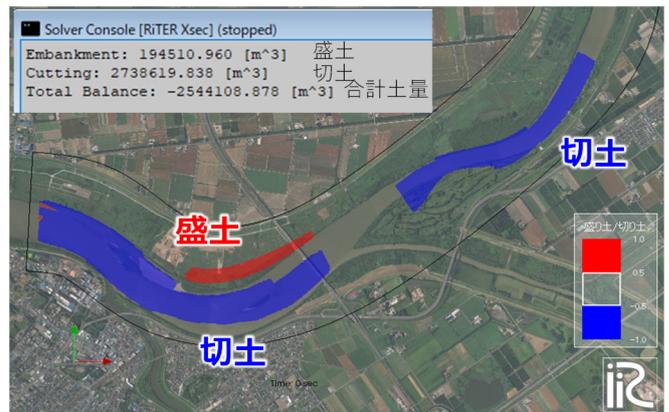


図-5 RiTER Xsecによる土量算出機能(北海道石狩川、ただし実際の計画ではない)

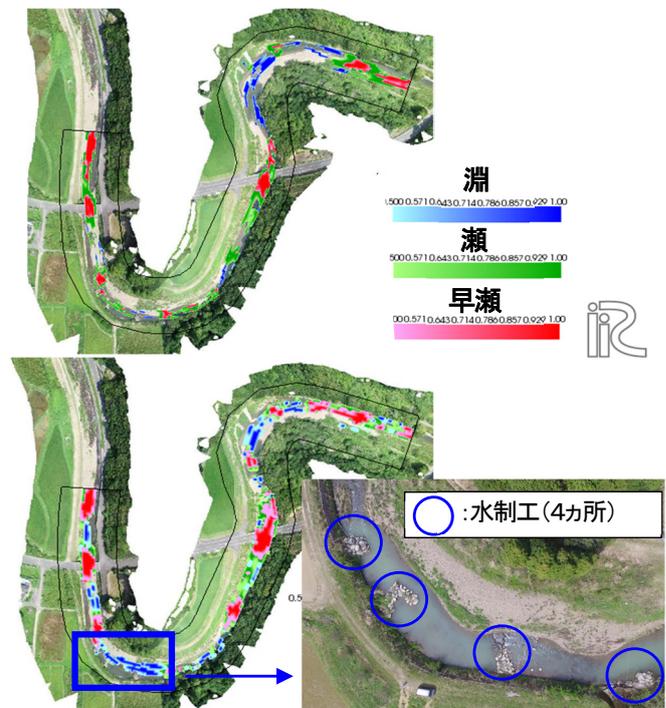


図-6 EvaTRiP Pro機能の一例(瀬淵判定機能) 水制工なし(上図)とありの場合(下図)の出水後の瀬淵分布の比較(高知県弘見川)¹⁾

EvaTRiP Proは、3次元データを活用してEvaTRiPをより広い目的で活用するため、柔軟に評価方法を設定でき

るようにしたツールである。EvaTRiPの上位互換版ともいえる。主な機能⁴⁾は、①瀬淵分析として、フルード数による分類⁹⁾としきい値を入力するマニュアル定義による2種類の解析が可能、②計算結果の統計分析として、ある格子点の時間的な統計量（任意期間統計量）とある瞬間の指定した領域内の統計量（領域別統計量）を算出する2つの機能があり、それぞれで最大値、最小値、平均値、標準偏差、変動係数の5つの統計量を算出できる。領域別統計量では、水深が閾値より浅い領域（非冠水領域）を計算の対象から外すことも可能、③変数の合成機能として、入力変数を用いて、フルード数、移動限界粒径、流体力などの任意の計算を行う機能を備えている。

瀬淵の分析機能の一例として、図-6を示す。図-6上図は水制工なし、図-6下図は水制工ありの場合の出水後の流況に対する瀬淵分布である。水制工なしの場合、瀬、早瀬、淵に当てはまらない流況があるが、水制工を設置したことにより、瀬、早瀬、淵のいずれかに当てはまる箇所が増加してメリハリのある流況を創出できると推定される⁹⁾。このように現況と計画などを比較することで、水制工をはじめとする設計の環境影響評価を簡易に行うことができ、現場での工夫や判断にも役に立つ。

EvaTRiPとの大きな違いとして、EvaTRiP Proはプログラム言語としてPythonを利用しており、ソースコードを公開している。そのため、利用者は最新研究から得られる分析方法の追加などを行うことができ、拡張性が高いものとなっている⁴⁾。また、EvaTRiP ProはPythonで動作するiRIC初のソルバーとなり、環境評価のみならず、水理解析と人工知能（AI：Artificial Intelligence）を組み合わせた新しい河川の評価技術のプラットフォームとして、幅広い活用が期待される。令和4年度中には、EvaTRiPで実行可能な機能はすべてEvaTRiP Proに移行し、1つのソルバーに統一することにより利便性を高める取り組みを行った。

なお、EvaTRiPおよびEvaTRiP Proの適地については、主にセグメント1～2-2の河川を対象としている。加えて、河川環境の評価にあたっては、河川環境管理シート、河川環境情報図、河川水辺の国勢調査などから、河床形態や植生状況、生物の生息環境、河川環境の特徴、注目すべき生物種、外来種などの状況を確認する必要がある。なお、樹木群の密生度は、水位上昇や河床変動に及ぼす重要な要素であるため、現地での確認が求められる。

3. 河川景観判定に活用するバーチャルツアーと仮想現実

国や地方自治体は、事業実施後の景観を住民などに伝えるために、スケッチパースやフォトモンタージュ、模型などを使用してきた。しかし、これらのツールには一長一短があり、固定された視点からしか確認できない、



図-7 バーチャルツアー+360度写真による改修前の状況（愛知県梅田川）⁵⁾



図-8 バーチャルツアー+仮想現実による改修後の状況（河道掘削の状況や桜並木を確認できる）（愛知県梅田川）⁵⁾

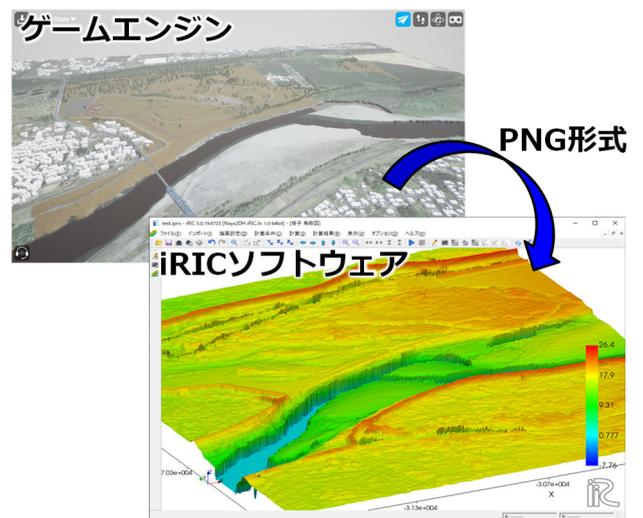


図-9 ゲームエンジンで作成した地形をiRICへ入力（岐阜県木曽川）

もしくは実際のサイズや規模感、周辺との関係が分かりづらいといった性質があった。そこで、近年、「バーチャルな空間」の景観への活用が注目されている。「現実」にある世界を「バーチャルな空間」に表現することで、その場所を訪れなくても景観を確認することができる⁹⁾。さらに、「現実」をベースに将来の変化を「仮想現実」として表現すれば、景観の変化を確認することができる。図-7, 8に示すように河川改修を予定している地域で360度写真を撮影して整備前の「現実」を確認するバーチャルツアーと、「仮想現実」として整備後を確認するバーチャルツアーを作成すれば、同じ地点（視点場）からの景観を整備前後で比較することができる⁹⁾。共生Cのホームページ¹⁰⁾では、2つの「バーチャルな空間」の事例とともに作成の手引きを公開している。仮想現実

の活用により、異なる場所にいる複数人が整備前の状況を確認しながら計画や設計について議論することができ、さらには整備後のイメージを共有することができる。

また、多自然川づくりを進める際、川の中だけではなく周辺の生活環境との調和も図る必要がある。そこで仮想現実の活用により、例えば公園と水辺緑地の関係を景観評価することも可能となる。この技術開発は、国土交通省九州地方整備局と研究連携して行っている。同省九州インフラDX推進室や九州技術事務所では、ゲームエンジンを使った仮想現実の地形モデルを構築しており、我々の多自然川づくり支援ツールにより作った河道設計案などを効果的に示すのにとっても有効である。

ゲームエンジンとは、文字通りゲーム業界で利用されてきた仮想現実を作成するためのソフトウェアである。この仮想現実で表現される世界の景観が現実の世界にかなり近づいたことで、映画といったメディアに始まり、今や建築や製造業、都市計画など様々な分野で活用されるようになってきた。ゲームエンジンには無償利用できるものがあり、ソフトにコストをかけることなく仮想現実の構築が可能となっている。

こうした河道地形編集に関して上述した手法の連携により、治水や環境、そして景観など様々な観点を取り入れた川づくりに役立つツールの開発を推進している。iRICでは、ゲームエンジンとiRICで地形データのやり取りを円滑に行うためのI/O（入出力）の機能も実装済みであり（図-9）、治水、環境、景観に配慮した3次元川づくりの実現を可能としつつある。

4. 「3次元の多自然川づくり支援ツール」の普及

共生Cは、3次元の多自然川づくり支援ツールを開発するとともに、オンラインセミナーやオンデマンド配信を通じて、操作方法などの解説を河川管理者、建設コンサルタント、大学の研究者を対象に行ってきた。オンラインセミナーはこれまでに3回開催したほか、解説動画を複数公開している（YouTubeにおいて関連動画8本（合計視聴回数 約7,400回（R5.3末 現在）））。加えて、本技術の普及を目的として、iRICやバーチャルツアーの操作や作成技術の習得を目的とした河川管理者向けの講習会の実施、各種建設展示会、土研新技術ショーケースなどでの展示・説明を重点的に行っている。また、本ツールを導入するきっかけとなるように、講習会で用いた資料や解析に用いたデータは共生Cのホームページで公開している¹⁰⁾。

令和3年度に国土交通省から発出された事務連絡「多自然川づくりの高度化を目指した河道の三次元設計の実施について」では、本ツールが河川環境評価を行う上での主たるツールとして示されている。また、公益財団法人リバーフロント研究所から発出された「多自然川づくりの高度化を目指した河道の3次元設計ツール導入手引き（素案）」（令和5年3月）を作成する際にも、共生Cの成果が活用された。また、国土交通省では令和5年度までに小規模を除く全ての公共工事でBIM/CIM原則適用の方針が示されており、令和3年度には直轄3河川、令和4年度には直轄2河川の計5河川（沙流川、最上川、阿武隈川、雲出川、川内川）でRiTER XsecやEvaTRiP Proを

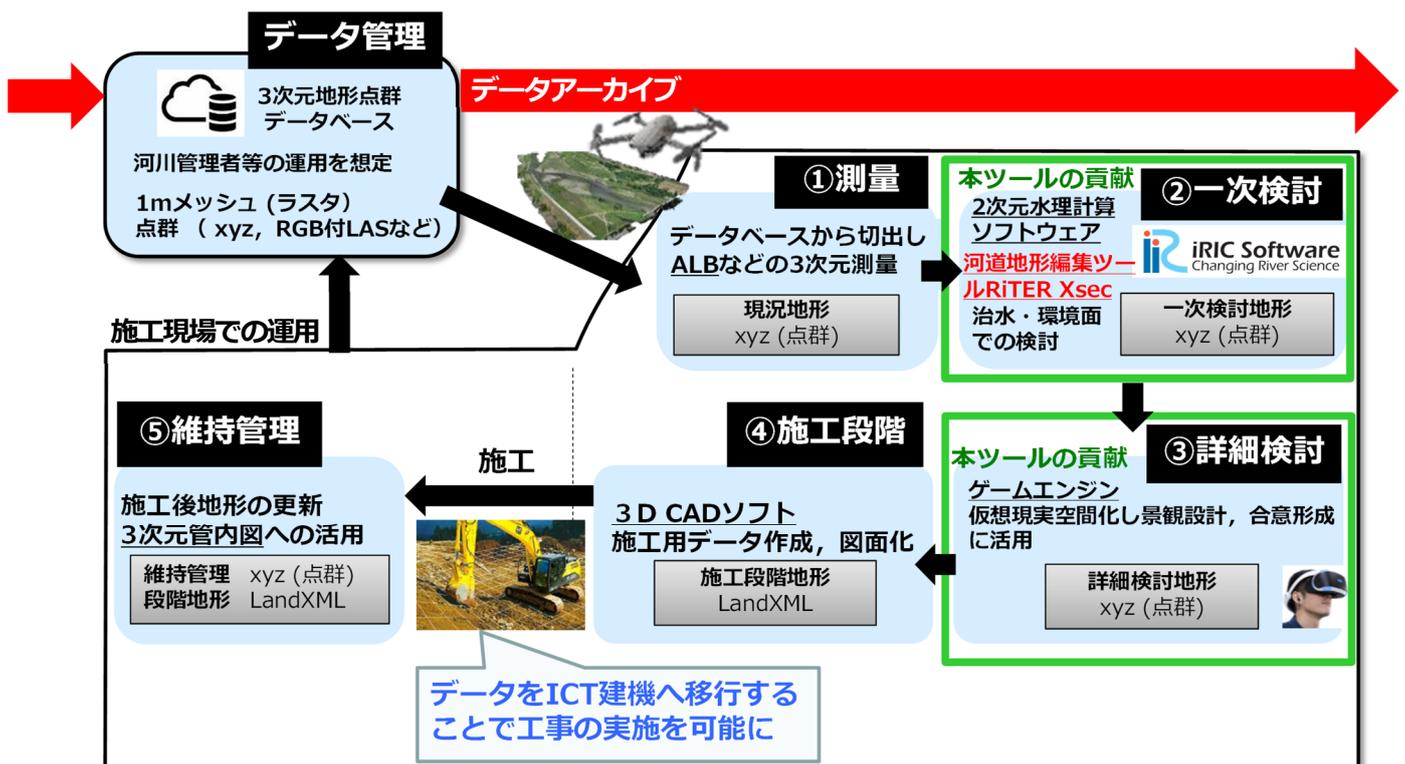


図-10 新たに提案する河道計画・設計プロセス（中村ら¹¹⁾より引用し一部改変）

緑枠は「3次元の多自然川づくり支援ツール」が貢献する部分

用いた「3次元の多自然川づくり」が試行されている。共生Cは本ツールの導入に伴い、各河川の検討において技術支援を行っている。試行河川の1つである雲出川（三重県）では、平均年最大流量および整備計画流量を対象に、EvaTRiP Proによる瀬淵やアユの産卵場の面積や樹林化の程度の把握、さらには景観に注目した評価が行われている¹²⁾。このようにALBデータを使用して作成した地形に対し、本ツールを用いることで治水と環境を一体で予測評価することができている。また、大河川（直轄）で本ツールを活用するにあたり、地形などの条件設定の留意点や現地調査結果の精度や中長期的な植生動態に関する課題が整理できている¹²⁾。今後も様々な河川の試行を行うことで、本ツールの有効性確認や課題の抽出を行い、機能の拡充を引き続き検討する予定である。

5. 河川CIMへの貢献

CIMとは、測量・調査、設計段階から3次元モデルを導入し、その後の施工、検査、維持管理・更新の各段階においても3次元モデルを連携・発展させ、併せて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図るものである¹³⁾。これを河川管理に当てはめたものが河川CIMである。河川CIMの導入により、例えば従来の横断面図や縦断面図などでは捉えにくかった連続する瀬淵の形状や水際の細部形状などを立体的に把握できるため、治水と環境保全の要件を満たす河道改修形状の検討に高度化をもたらすと考えられる。

共生Cが参加する河川CIM標準化検討小委員会¹⁾では、河川CIMを進める上でデータをアーカイブする部分と施工現場での運用に分けて、相互のやり取りを想定したプロセスを提案している（図-10）¹¹⁾。このプロセスは、本ツール活用による河川CIMの推進と新たな河道計画・設計を示す提案となる。共生Cで開発を進めた本ツールは、このプロセスの②一次検討や③詳細検討に貢献できるものである。

6. まとめ

本ツールを活用することで、設計した河道地形について治水と環境の両面から検討することができ、洪水災害を防ぎつつ良好な環境を有する川づくりを効率的に進めることができる。なお、上述した様に河川環境評価ツール自体の適地設定はあるものの、本ツール活用については、大河川、中小河川ともに概ね対応が可能である。以下には、河道設計の支援として徐々に普及が進みつつある本ツールが貢献できうる項目を示す。

- (1) 土砂撤去が目的だった河道の維持掘削などを行う際にも環境対策としての検討が可能

- (2) 川づくりに対する創意工夫を横断面編集ですぐに反映でき、住民など関係者との共通理解の下での事業推進が可能
- (3) 災害復旧の時間的余裕がない場合においても、きめ細やかな川づくりの実現
- (4) 技術革新が著しい3次元地形測量技術、ICT施工とも親和性が高く、業務効率化の実現
- (5) 河川管理の調査、計画、設計、積算、施工、維持管理という各プロセスに3次元データを活用した河川CIMによる生産性向上が可能

このように本ツールの使用が広く実現することにより、3次元データの推進を進める河川CIMの普及と相まって、我が国の河川管理に格段の進歩をもたらすと考えている。

謝辞：本研究遂行にあたり、清水康行教授（北海道大学、現 北海学園大学）、吉村伸一氏（（株）吉村伸一流域計画室）、大槻順朗氏（山梨大学）、麓博史氏（リバーフロント研究所）、福嶋克武氏（リバーフロント研究所）、佐藤隆洋氏（日本工営（株））、河川CIM標準化検討小委員会（小委員長：小林一郎 特任教授（熊本大学））、iRIC UC、国土交通省九州地方整備局九州インフラDX推進室・九州技術事務所より多大なる有益なアドバイスをいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 河川CIM標準化検討小委員会報告書：<https://www.jaic.or.jp/hyojun/2019shouininkai-03.html>
- 2) 大槻順朗ら：中小河川研究と多自然川づくりの深化、土木技術資料、第60巻11号、pp8~13、2018。
- 3) 林田寿文ら：中小河川における河川CIM支援ツールの開発、土木技術資料、第62巻、第8号、pp30~33、2020。
- 4) 河野誉仁ら：河川環境評価ツール EvaTRiP Pro の解説、土木技術資料、第65巻、第2号、pp48-49、2023。
- 5) 林田寿文ら：バーチャルツアーと仮想現実を活用した河川改修時における河川景観評価手法の提案、河川技術論文集、第28巻、pp445~450、2022。
- 6) 林田寿文ら：景観の評価に活用するバーチャルツアーと仮想現実、土木技術資料、第64巻、第10号、pp55~56、2022。
- 7) iRICホームページ：<https://i-ric.org/ja/>
- 8) 多自然川づくりポイントブックⅢ、日本河川協会、2011。
- 9) Entwistle N., Heritage G., Milan D.: Ecohydra modelling of anabranching rivers, River Res Appl, Vol.35, 353-364, 2019。
- 10) 自然共生研究センターホームページ：https://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/research/m3_05.htm
- 11) 中村圭吾ら：河川CIM（3次元川づくり）の考え方と標準化に向けた取り組み・課題、河川、（公社）日本河川協会No.884、pp41~45、2020。
- 12) 周月霞ら：3次元河道設計ツールを用いた治水・環境の一体検討の施行～雲出川直轄区間を例として～、河川技術論文集第28巻、pp205~210、2022。
- 13) CIM導入ガイドライン（案）、国土交通省、2020。

(2023. 3. 24受付)