

衛星画像を用いた河川維持管理の効率化

吉田 智貴

中部地方整備局 木曽川上流河川事務所 管理課 (〒500-8801 岐阜県岐阜市忠節町5丁目1番地)

木曽川上流河川事務所では、長年にわたる堤防整備や河道掘削などにより、洪水の流下能力を拡大してきた一方で、植生の繁茂等による河道の二極化が顕在化しており、河川管理施設等への影響が懸念されている。本稿では、刻々と変化する河道の状態を迅速に把握し、適時に対策判断が実施できるよう、従来の河道状態把握手法に加え、衛星画像のAI画像解析等を活用した維持管理の効率化について検討を行った。

キーワード 河川維持管理, AI画像解析, 衛星画像, 航空写真, UAV, スクリーニング

1. はじめに

近年の気候変動に伴う災害の頻発化・激甚化に対応するため、河道の即時的な維持管理が急務となっている。

木曽三川では、砂州上に細かい土砂が堆積する一方で、滞筋の深掘れが進み、砂州と滞筋の河床の高低差が過度に大きくなる『河道の二極化』が顕在化しており、流下能力低下、洗堀・侵食による河川管理施設等への影響が懸念されている(図-1)。現状、樹木伐採や河道掘削にて対応しているが、刻々と変化する河道に対し、対策時点の状態を踏まえた適時・適切な対策が従来の状態把握手法のみでは困難といった課題がある。

木曽川上流河川事務所では、河川の最新状況の効率的・定量的な把握、河川管理施設の担い手不足、増大し続ける維持管理費の抑制などの社会的課題を解決するため、コスト縮減に配慮しつつ効率的・効果的な木曽三川の維持管理体制の構築を目指し、画像解析を活用した土砂管理・樹木管理を対象とした新しい河川の維持管理方針の検討を進めている。今回は、河道の二極化が特に顕著な木曽川を対象に、従来の状態把握手法に加え、衛星画像のAI画像解析等を活用して樹木繁茂や河道掘削等の対策候補箇所を定量的・効率的に抽出し、対策する仕組みを検討した。

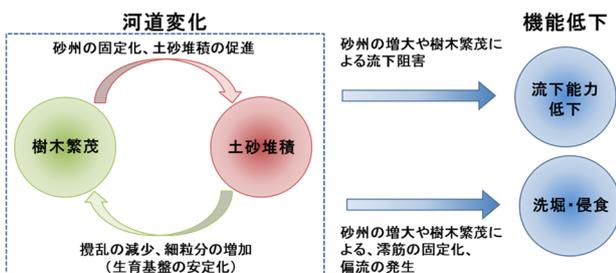


図-1 河道変化と機能低下の関係性イメージ

2. 河道の二極化の顕在化

図-2は木曽川の2006年から2020年までにおける河道の状態の変遷を示したものである。特に、2010年から2015年の5年間で砂州が発達しているのがわかる。さらに、その5年後の2020年では砂州は形を変えず滞筋が固定化され、対岸において洗堀・深掘れが起こり、2006年の同箇所と比べるとその洗堀幅は歴然である。



図-2 木曽川の二極化事例

河道の二極化が進行すると主に以下のような問題が考えられ、現在当事務所では、悪影響を少しでも減らすため、二極化の緩和に向けた取組みの試行を進めている。

- ① 州の冠水頻度の減少に伴い、砂州の樹林化が進行し、流下能力が減少する恐れ
- ② 深掘れが堤防側へ拡大した場合、河岸侵食や護岸基礎の崩壊の恐れ
- ③ 橋脚部などで河床低下が進行した場合、橋脚が不安定化する恐れ
- ④ 河床の砂・玉石が流失するなど、多様性に富んだ水辺環境が失われ、動植物の生息・生育環境が悪化する恐れ

3. 河道変化・樹木繁茂速度に応じた状態把握

最新の河道形状を把握するとともに長期的な河道変化を把握するため、従来手法では、5年に1回の定期縦横断測量や航空写真撮影、植生調査等の状態把握結果を基に評価し、河道掘削や樹木伐開等の対策必要箇所を抽出している。この手法では、評価時と対策実施時で河道状況に乖離が生じる場合あり、現況に適した対策が困難であるという課題がある。

本検討手法では、定期縦横断測量、航空写真撮影等を補完し、高頻度に状態把握を行うため、状態把握・対策判断に必要な各種画像の一元管理と解析機能を有した支援ツールを構築し、広域を対象に河道全体の経年変化の把握により対策候補箇所を抽出する「一次スクリーニング」と、抽出された箇所の詳細把握・分析を行う「詳細把握」の2段階で状態把握を行った(図-3)。

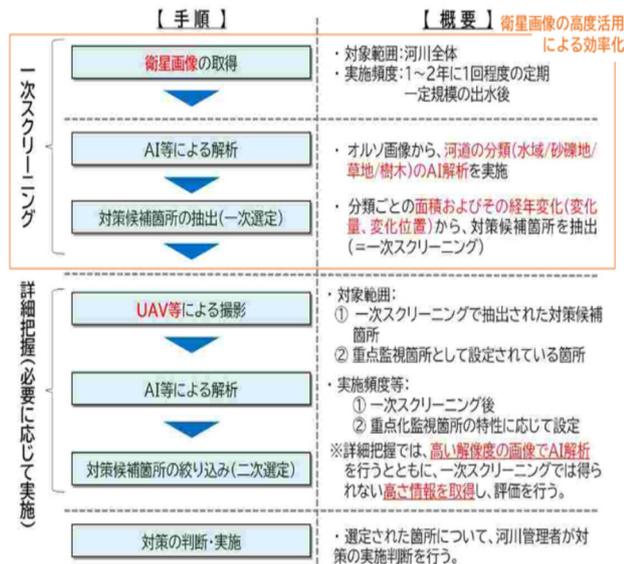


図-3 AI画像解析を活用した河川の維持管理の方策の流れ

これらに使用する画像は、撮影手法の違いによる解像度・撮影範囲・撮影頻度等の特性を踏まえて採用する必要がある。撮影手法別の特徴を表-1に示す。広域の一次スクリーニングでは、河道全体の広域の変化を把握し、従来手法と比べ高頻度に状態把握を実施するため、以下条件を満たす衛星画像を用いた。

- ・地上解像度0.5~1.0m以下
- ・年1回以上撮影されている
- ・同一の光学衛星によって、撮影範囲が単年で木曽川上流区間の全体を網羅している頻度が高い

衛星画像は、蓄積された過去の画像データを河川管理者(職員)自らが容易に入手することが可能であり、これらを活用することで過去からの経年変化の分析も可能

となる。なお、詳細把握では、狭域を高解像度(0.1m以下、可視光)で取得可能なUAV画像を用いた。本稿では、一次スクリーニングを主に報告する。

表-1 撮影手法別の特徴

| 特性項目 | 撮影手法 | | |
|------|------|-----------------|------|
| | UAV | 航空 | 衛星 |
| 解像度 | 高 | | 低 |
| 撮影範囲 | 狭域 | | 広域 |
| 3D | あり | あり | なし |
| | 任意 | 定期測量 (1回/5年) | 1回/年 |

(1) AI画像解析による河道変化の把握

定量的かつ効率的に河道の状態を把握するため、AI画像解析を活用して、取得した位置情報を持った衛星画像のオルソ画像を「水域」「砂礫地」「草地」「樹木」に自動分類(セグメンテーション)できるAI解析モデル(以下、本モデル)を構築した(図-4)。本モデルにより分類することで、どこで、どのような変化が、どの程度生じたかの可視化が可能である。

本モデルは複数の他河川で学習したモデル(セマンティックセグメンテーション:画像データに含まれる全画素に対して、画素レベルで自動分類を行う技術)をもとに、木曽川上流域の衛星画像を追加学習させることによって、人による目視判読結果との整合度8割以上まで精度向上を図った。なお、本解析手法によるAIは、画像の解像度や色味、撮影時期等によって対象物の見え方が影響されるため、草地や樹木の見え方が大きく変わる冬季の衛星画像は適用対象外とした。

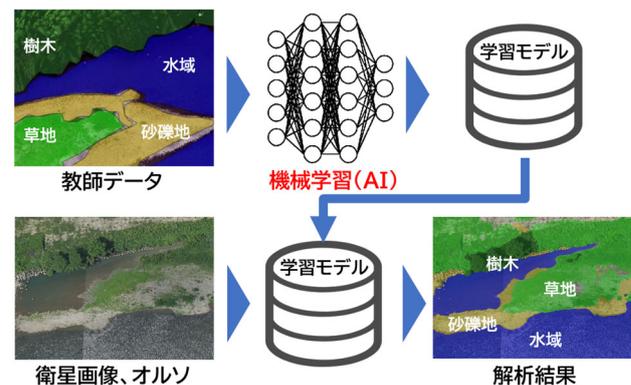
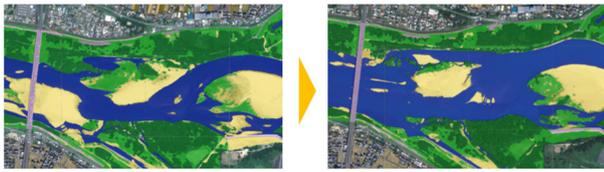


図-4 AI解析手順

本検討では、河道の経年変化を複数年把握するため、2012年、2016年、2018年、2020年の四ヶ年の衛星画像を用いてAI解析を実施した(図-5)。解析結果は距離標別等により可視化した。本結果より、対策必要候補箇所の抽出に必要な評価指標やアラートを検討した。アラートとして検出される箇所が一次スクリーニングでの対策候補箇所として選定される。



分類結果に基づき、
2時期の分類別面積を定量比較

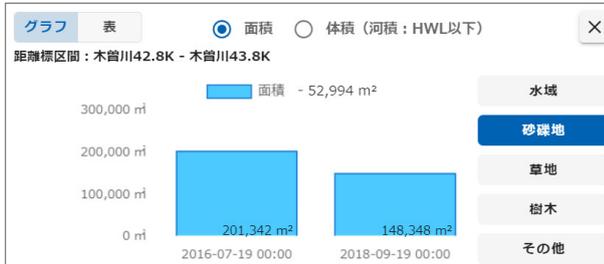


図-5 AIによる画像解析結果

(2) 対策候補箇所の抽出 (一次スクリーニング)

一次スクリーニングでは、河道内で経年的に変化している箇所に着目し留意すべき箇所(≒対策候補箇所)を抽出する。距離標区間単位での把握に加え、さらに細かく距離標区間を10m(河道中心)で分割した距離標分割ラインと堤防防護ライン等で区切られた評価領域を設定し、変化箇所や変化の遷移を把握することとした(図-6)。評価領域は、以下の境界線によって設定した。

- ・距離標分割ライン：距離標を10mピッチで分割
- ・堤防法線：堤防の川表法肩位置もしくは地形変化点(無堤部・掘込区間)で設定
- ・堤防防護ライン：河川整備計画に基づき設定
- ・低水路河岸ライン：低水路(概ね平均年最大流量程度が流下)の河岸位置で設定

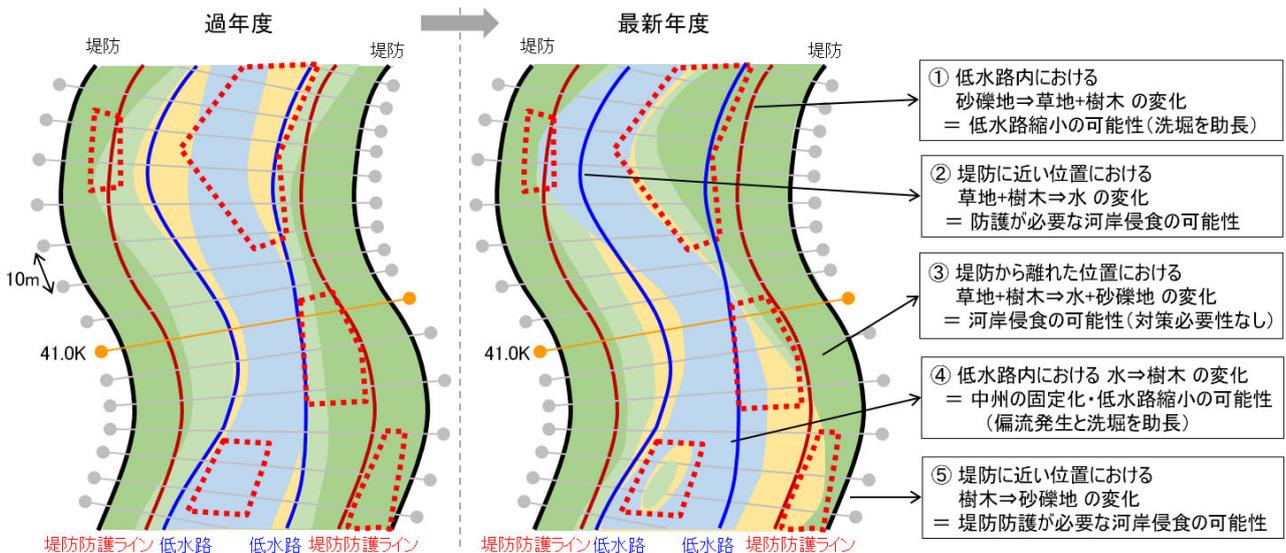


図-6 変化箇所の解析イメージ

(3) 留意すべき時系列変化と評価フロー

河道の維持管理において評価すべき観点として、「河岸侵食」「河床洗掘」「流下能力低下」「河川管理施設への樹木侵入」等が挙げられる。しかし、河床洗掘、流下能力低下など機能低下状況を上空から撮影する画像では直接的に把握することが困難な変化も考えられる。そのため、直接的な把握が困難な機能低下についてもできる限り抽出することを目指し、以下の手順でスクリーニングを行った。

- ① 過去に見られた機能低下につながる河道変化と、その際の河道地表面被覆の分類の変化状況を分析することにより、留意すべき分類パターンの時系列変化(変化パターン)を設定(図-7)。
- ② 複数年(3年以上)のAI画像解析結果を用いて、設定した変化パターンに該当する箇所を抽出。具体的には、土砂堆積では、植生の遷移が進み、かつ数年にわたって維持されている箇所を抽出。

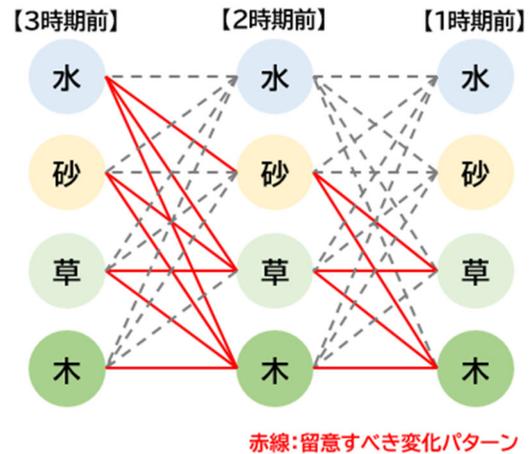


図-7 留意すべき変化パターン

上記の変化パターンの考え方にに基づき、土砂堆積箇所及び樹木繁茂箇所の一次スクリーニングの評価フローを検討した。図-8に土砂堆積箇所に対する評価フローを示す。土砂堆積が懸念される箇所は、河道の平面形状に大きく左右されるため、低水路幅の縦断的な拡張に着目し、当該箇所の低水路幅とセグメント区間ごとの平均低水路幅を比較し、低水路幅が相対的に狭い区間を評価対象とした。評価対象の変化パターン及び現況流下能力により、留意すべき箇所として注意箇所Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・Ⅳを抽出した。なお、これらの箇所は対策を必須とするものではなく、現地確認状況や予算等を踏まえ、対策候補箇所として優先度を判断するものとする。

- ・急縮部：当該区間では流速増大により侵食・洗堀を助長し、上流側では流速低下を招く（堆積を助長）
- ・急拡部：流速の低下により堆積が助長され、上流区間からの流れが偏流となって側方侵食を招く

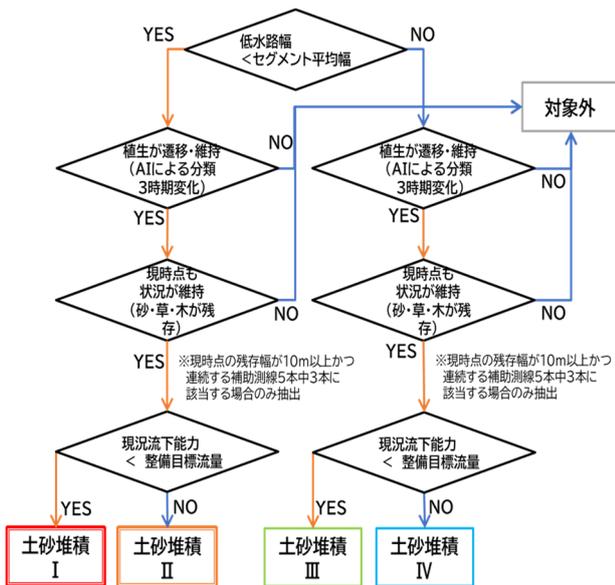


図-8 一次スクリーニングの評価フロー

(4) 対策判別支援ツールの構築

前述したAI画像解析結果と合わせて、解析の元画像（衛星画像、航空写真、UAV画像等）や任意の撮影画像（デジカメ画像含む）、3D点群データ等を一元管理し、対策判断を支援するクラウドツールを構築した。

対策判別支援ツールは、クラウドサービスのため、河川管理者のアカウントを作成し、ログインID・パスワードを入力することにより簡単に使用が可能である。

対策判別支援ツールの主な機能一覧を表-2に示す。各種撮影画像の位置情報から地図上に複数時期・複数種類の画像を経年的に確認することができる。また、オルソ画像がある範囲においては、横断図の生成とcsvファイル

によるダウンロードが可能で、平面的・横断的な形状を把握できる。

これらの画像を用いたAI解析機能とアラート表示機能により、経年変化から留意すべき箇所、対策候補箇所を可視化した。

表-2 対策判別支援ツールの主な機能一覧

| 機能 | 概要 |
|---------------|-----------------------------------------------------------|
| 撮影画像登録 | 各種画像等を位置情報に基づいて登録 |
| 検索機能 | 登録した撮影データを日付、距離標、タグ（キーワード）などで簡単に検索できる。 |
| オルソ生成 | オルソ用画像をドラック&ドロップで簡単にオルソ画像を生成できる。 |
| オルソ複数時期比較 | 登録したオルソ画像を複数時期の横並びで、比較することができる。 |
| 3D表示、DSM | 三次元データをボタン切替で閲覧できる。 |
| 距離標表示 | 距離標を登録し、表示・検索できる |
| 単画像の複数時期比較 | UAV等で撮影した単画像を横並びにして、比較することができる。 |
| 横断図のCSVダウンロード | オルソ画像が登録されている範囲で任意の横断図を生成し、CSVダウンロードが可能。 |
| 報告様式出力 | 登録した撮影データ等にコメントなど記入し、所定の様式を出力できる。 |
| AI解析機能 | 水域・草地・樹木・砂礫を自動判読して分類するAI解析機能。複数時期の解析を実施することで、経年的な差分表示が可能。 |
| アラート機能 | AI解析結果をもとに、河道の変化パターンごとの面積変化等からアラートする機能。 |
| 分類の面積算出機能 | AI解析結果をもとに、AI分類ごとの面積を算出する機能。任意の距離標区間で変化量を算出可能である。 |

(5) 詳細把握の試行（UAV撮影による詳細化）

詳細把握では、一次スクリーニングで選定された場所をUAVなどで撮影し、高さ情報を持つ画像で再度AI解析を行い候補箇所の絞り込みを行う。

また、UAVにて撮影した画像だけでなく、衛星画像や航空写真等もあわせて対策判別支援ツールに取り込んでいるため、複数時期の比較や高解像度での確認が可能である（図-9）。

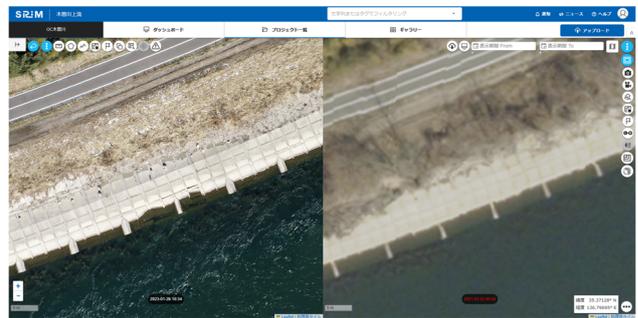


図-9 複数時期比較による低水護岸状況

さらに、測量成果・点群データより、複数時期の横断図を作成し、重ね合わせたり（図-10）、三次元モデルとして表示（図-11）することができるため、高さ関係や位置関係を確認することができる。

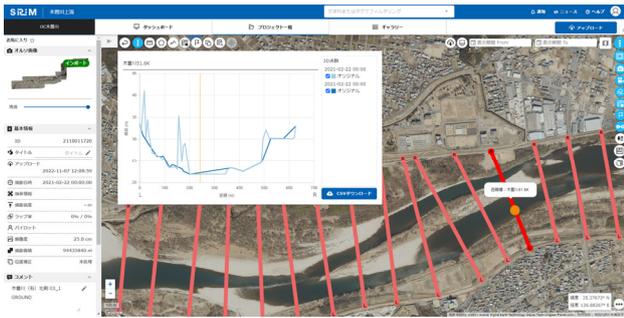


図-10 距離標箇所の横断面重ね合わせ

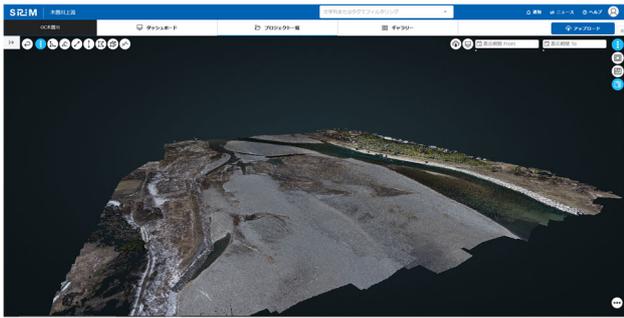


図-11 点群表示による三次元モデル

4. 本取組みの効果と今後の展望

本稿で紹介した手法では、アラート箇所を確認し、対策箇所の絞り込みを河川管理者（職員）自らが主体的に実施できるほか、従来手法では年単位のタイムラグが生じる河道の状態把握～対策候補箇所の抽出までを一ストップで実施するため、業務の効率化や適時・適切な対策判断が可能になる。

今後の展望として、対象範囲を長良川、揖斐川にも展開するほか、河道変化の予兆を早期に把握するため、水域・砂礫地・草地・樹木の4種類ある分類を可視光波長以外の多波長帯（8波長）の衛星データを用いて、砂礫地の粒径、草地や樹木の植種等について細別化し、さらなるAI画像分析の抽出精度の向上を図っていく。

また、衛星画像を活用したAI画像分析のみならず、国土交通省にて推進しているUAV巡視を視野に入れ、これらで撮影した画像や、CCTVカメラ画像等の活用についても検討していくとともに、衛星画像では判読できない詳細部分の画像解析による河川構造物点検への適用可否についても検証していきたい。