

## 河川砂防技術研究開発【開発成果概要】

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                               |                          |                  |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|------------|
| <b>①開発事業者</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>組 織 名</b> (ふりがな)           |                          | <b>開発代表者名</b>    | <b>役 職</b> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | こくさいこうぎょうかぶしきがいしゃ<br>国際航業株式会社 |                          | ちぎら たつや<br>千金良達哉 | 執行役員       |
| <b>②開発経費</b> (単位: 万円)<br>※端数切り捨て。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 令和元年度                         | 令和2年度                    | —                | 総 合 計      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 997 万円                        | 2,196.7万円                | —                | 3,193.7 万円 |
| <b>③共同開発者氏名</b> (開発代表者以外の開発者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                               |                          |                  |            |
| 氏 名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                               | 所属機関・役職 (※令和3年3月1日現在)    |                  |            |
| 下野 友裕                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               | 国際航業株式会社 公共コンサルタント事業部 課長 |                  |            |
| 藤木 三智成                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                               | 国際航業株式会社 公共コンサルタント事業部 課長 |                  |            |
| 吉岡 小百合                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                               | 国際航業株式会社 公共コンサルタント事業部 技師 |                  |            |
| 西山 哲                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               | 岡山大学大学院 教授               |                  |            |
| 能美 享                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               | 日本工営株式会社 流域水管理事業部 課長     |                  |            |
| 清水 隆博                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               | 日本工営株式会社 流域水管理事業部 課長     |                  |            |
| 野間口 芳希                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                               | 日本工営株式会社 流域水管理事業部 技師     |                  |            |
| 西川 啓一                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               | i システムサーチ株式会社 代表取締役社長    |                  |            |
| 安川 郁夫                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               | i システムサーチ株式会社 代表取締役会長    |                  |            |
| 柚木 健                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               | 株式会社ふるさと創生研究開発機構 代表取締役社長 |                  |            |
| 大石 善一                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               | 株式会社ふるさと創生研究開発機構 事業部長    |                  |            |
| 高見 均                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               | 株式会社ふるさと創生研究開発機構 技師      |                  |            |
| <b>④開発の目的・目標</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                               |                          |                  |            |
| <p>本開発では、ドローンにより効率的且つ効果的に河川情報（撮影画像）を大量に取得し、取得した河川情報から、河川の異常・変状の自動検出に関する研究・技術開発を行い、中小河川含め全国の河川に広く適用できる、汎用性の高い河川監視手法の確立を目的とした。</p> <p>河川監視手法確立の第一段階として、異常・変状に最適な飛行方法（対地高度、撮影アングル等）の設定を第一目標とした。第二段階として、取得画像から人工知能（Artificial Intelligence : AI）による異常検出の自動化を検証し、自動抽出に適した画像仕様また学習データ仕様の設定を第二目標とした。同様に、取得画像から異常・変状を確認する手法として、現在の AI 技術レベルでは自動検出が不適な項目・対象に対し、画像閲覧ツールの構築を第三目標とした。最終段階として、各データ（ドローン撮影画像、異常抽出結果等）を蓄積・運用していくためのデータの標準化及びデータベースの仕組み立案を第四目標として、本研究開発を実施した。</p> <p>本開発成果を受け、巡視車両や巡視・点検者の立入困難区域、船舶による監視が必要な区域に対し、状態把握をドローンと三次元モデル化技術（SfM 解析技術）、AI による異常・変状等のデータが蓄積されていけば、河川の不可視箇所の削減、巡視員の負担軽減・安全性向上、巡視結果の品質の統一が図られ、河川監視全体としてコスト削減も期待できる。</p> |                               |                          |                  |            |
| <b>⑤開発成果</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                               |                          |                  |            |
| <b>ドローンによる河川情報の取得</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               |                          |                  |            |
| <p>ドローン撮影画像から河川の異常・変状を確認する方法（①単写真の視認性、②AI による自動抽出率、③三次元データ生成）の観点から、最適な撮影画像を取得するための飛行・撮影方法を検証した。検証のため、天竜川水系三峰川（R1）、荒川水系荒川（下流）（R2）において現地実証した。</p> <p>実証結果より、対地高度や飛行ルート設定の留意点を設定し、「ドローンによる河川監視ガイドライン（案）」の「3.河川情報の取得」にとりまとめた。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                               |                          |                  |            |
| <b>(1) 対地高度の設定</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                          |                  |            |
| <p>航空法の規制を踏まえ、対地高度幅は 30m 以上 150m 未満とした上で、視認可能または AI による異常自動抽出に適した地上解像度（対地高度）を検証した。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                               |                          |                  |            |

①AI によるゴミ等不法投棄や天端等舗装箇所の亀裂等の異常自動抽出は、地上解像度 3cm 以下の画像が望ましい。

②AI による不法行為（土地占用、盗掘、伐採、土砂等仮置き、土地形状変更等）の兆しの自動抽出（領域分割）は、地上解像度 25cm 以下の画像で可能であり、ドローンその他、航空機による空中写真の解像度に対しても適用可能である。

③単写真での河川状態把握の視認性は、撮影アングルに因らず地上解像度 4cm 程度で問題無い。

④ドローン飛行により機体から発生する環境騒音の観点（環境配慮事項）では、利用者が多い区域での飛行・計測時は、対地高度 40m 以上が望ましいが、都市部を流れる河川は、これに限らない。

⑤河川上空を物流ドローンルートとしての活用は、対地高度 150m 以上の空域にて検討が進んでいるが、事前に「ドローン情報基盤システム」への飛行計画の登録を徹底することにより、必要に応じて飛行時間帯を調整する。

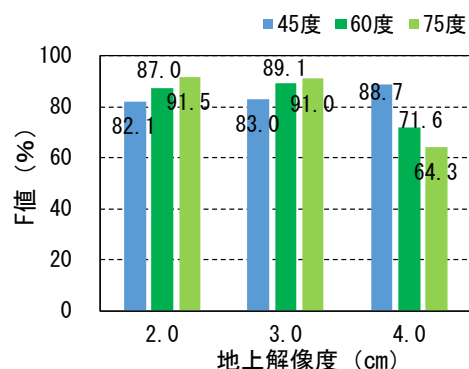


図-1 地上解像度別のゴミ自動抽出率 (F 値)

## (2) 飛行ルート・計測仕様の設定

ドローンの飛行ルートは、各機種に推奨された飛行ルート設定アプリケーションへの諸条件（撮影範囲、対地高度、撮影アングル、ラップ率等）の入力により自動設定される。安全な飛行と、三次元データ生成のための飛行・撮影仕様を検証するために、複数条件で取得したドローン画像と、複数条件で作成した三次元データについて、取得情報及び飛行安全性、三次元データの精度の観点から検証した。

①河川利用者の多い区域での安全飛行や、陸からのアクセス・視認困難な河岸や植生繁茂部の状態把握には、斜め写真が有用である。

②オルソ画像作成・三次元データ取得する場合、オーバーラップ率は 60%以上必要である。

## (3) 撮影時間

航空法の規制を踏まえ、日中（日の出から日没まで）の撮影時間帯で、センサー別に河川情報を効果的に取得可能な時間帯等の条件を確認した。

①自動抽出精度の観点から、可視光カメラでの撮影は、太陽高度が全体的に低くなる冬季を中心に、太陽高度が 15 度以上となる時間帯を目安に実施することが望ましい。（図-2、図-3 参照）

②赤外線カメラでの撮影は、外気温差がある時間帯が望ましい。

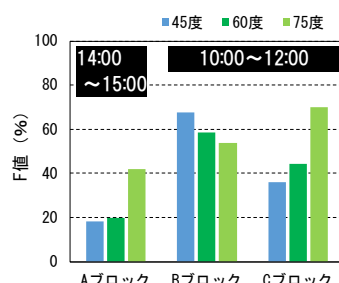


図-2 時間帯別ゴミ自動抽出率 (F 値)

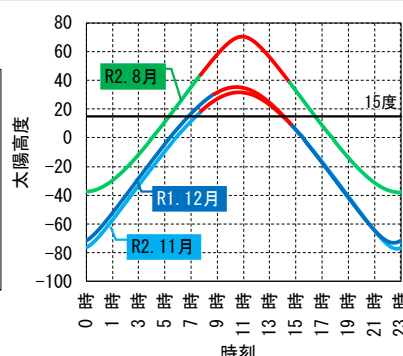


図-3 撮影時太陽高度

## (4) 調整用基準点

ドローン撮影写真より三次元データを精度良く作成するためには、実測時に地上に調整用基準点を設置・VRS 測量を実施し、三次元データ生成時に位置を調整することが望ましい。公共測量で規定されている「調整用基準点」とは要求精度等が異なるため、効率性を考慮した上で、三次元データを生成できる必要調整用基準点数を検証した。

①0.4km<sup>2</sup>あたり、撮影範囲端部の計 4 点を最低数量とする。

## (5) 飛行監視体制・安全監理方法

現地実証を通じて、飛行監視体制及び許可申請・連絡について、必須事項を確認した。

①操縦者以外の補助員として、飛行中の機体状態の監視・操縦者への報告・助言を行う者 1 名、飛行範囲の縦断方向及び横断方向に各 1 名以上の監視者を配置する。監視者は飛行経路全体を見渡せる位置に配置する。

②航空法等の法規制や、条例等を事前に確認し必要な手続きを行う他、沿川自治体や河川敷の占用自治体に事前にドローン飛行計画について連絡し、指示に従い書類作成・提出を行う。

③沿川を所管する警察署に、事前に必ずドローン飛行計画を連絡する。

## 異常箇所自動抽出技術の開発

河川監視の対象は、人工物、自然物、河川利用・行為等に大別される。AI による異常箇所自動抽出技術では、膨大な数の学習データの作成が必要であることから、学習データ作成が可能なゴミ等の不法投棄や、不法な土地改変（掘削、仮土砂仮置き、土地占用等）等を対象に研究開発を実施した。

AI による不法投棄や不法な土地改変の自動抽出手法について、不法投棄は「物体検出（object detection）」、不法な土地改変は「領域分割（semantic segmentation）」を活用した。

異常箇所を自動抽出する検証データは、ドローン撮影画像を基本とするが、現時点では不足しているドローン撮影画像での「異常」に関する学習データ画像を補完するため、一定の精度確保のために RiMaDIS に蓄積されている地上撮影写真を活用する方針とした。

これらについて、「ドローンによる河川監視ガイドライン（案）」の「4.AI による異常箇所の自動抽出」にとりまとめた。

### （1）機械学習と深層学習での精度差

画像認識において深層学習の有用性は各種研究で検証されている。本研究開発では画像からの「物体検出」を対象に、機械学習と深層学習での精度差を検証した。

①機械学習は、画像解像度に反比例で検出精度が低下するのに対し、深層学習は解像度に因らず、高精度でビニルゴミ等の小規模のゴミを自動抽出が可能である。

②全国の河川に広く適用するためには、様々な地上解像度（対地高度）に適用可能な深層学習が有効である。

### （2）物体検出モデル（ゴミ・亀裂の自動抽出）

深層学習におけるゴミ等不法投棄の早期確認のための「物体検出」モデルとして、ドローン撮影画像と地上撮影写真の双方に学習させ、ドローン撮影画像に適用する最適なモデルを確認するため、DetNet と RetinaNet を検証した。評価は、モデルによる計算速度の差、複数条件（撮影アングル、地上解像度）のドローン撮影画像について、学習と検証、プログラム改良を繰り返し、画像仕様別の抽出精度の差により実施した。

①学習データに地上撮影写真の活用も念頭に置いた本研究開発においては、速い計算速度と容易な計算環境構築、また検出精度の観点から RetinaNet を活用。

②複数の河川のドローン撮影画像での「異常」の学習により、各河川の抽出精度は向上（図-4）。

③地上撮影写真の学習データへの活用は、ドローン撮影画像のみで学習したモデルよりも誤検出抑制の面で有効（図-5）。

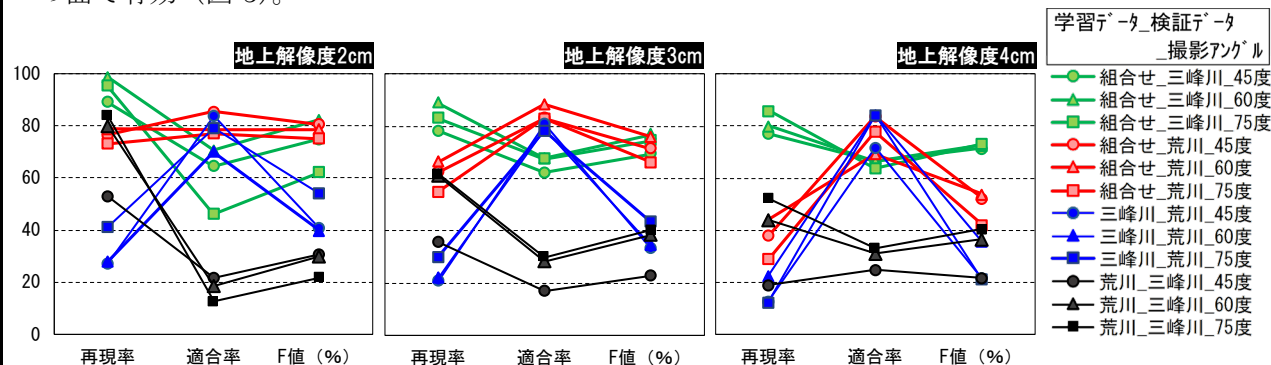


図-4 学習データ別再現率・適合率・F（ドローン写真組合せ）

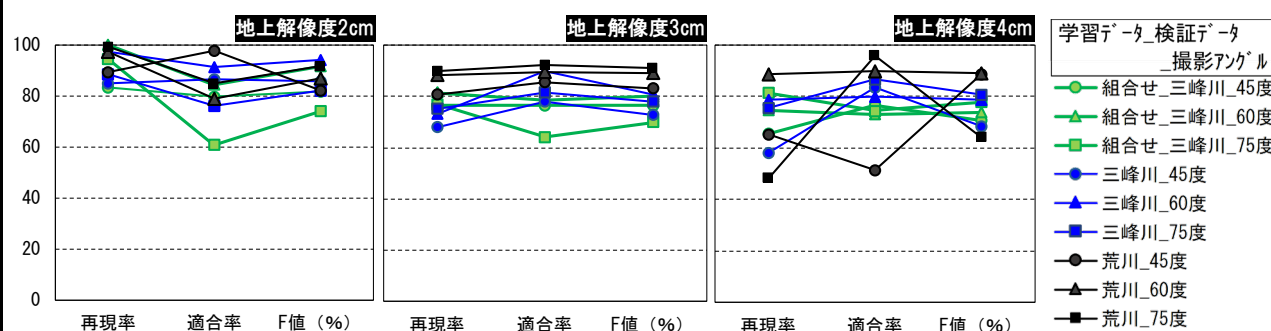


図-5 学習データ別再現率・適合率・F 値（ドローン撮影写真+地上撮影写真）

### (3) 領域分割モデル（土地改変等の不法行為の抽出）

領域分割は、不法行為（土地占用、盗掘、伐採、土砂等置き、土地形状変更等）の兆しの早期検出が目的である。河川区域外のデータ検出を回避するため、河岸維持管理法線（防護ライン）データを範囲境界として使用する。ただし、防護ラインデータが整備されていない中小河川等への適用を念頭に、第一ステップとして河川区域の領域分割、第二ステップとして不法行為の区域の領域分割の 2 ステップとして検証した。

①本研究開発では異なる解像度画像の特長マップから情報を抽出することにより認識精度が向上する GSCNN にてモデルを構築した。

②河川区域の推定は、航空機による空中写真（地上解像度 25cm）でも可能である。

②不法行為区域の抽出は、他河川間の画像を学習データとしたモデルでは、検出漏れが多いことから、多様且つ多量の学習データ作成及びドメイン適応が必要。【今後の検討課題】

### (4) 学習用データ仕様

#### 【物体検出モデル】

学習データ（ドローン撮影画像）内のゴミと亀裂（線状・亀甲）に矩形のアノテーションを付加することで学習データを作成した。検証結果から設定した学習データ仕様及びアノテーション留意事項を下記に示す。

①対象物の背景を極力少なく丁度囲むようにアノテーション付与。

②様々な明暗・濃淡条件の画像仕様にて作成

③天端舗装の亀裂は、線状亀裂と亀甲亀裂を区分し、形状に合わせてアノテーション付与。

④アノテーションのアスペクト（高さ/幅）は、0.25(1/4)～4 が最適。

⑤ドローン撮影画像：画像を 1200×1200 pixel に分割し、アノテーション付与。

⑥地上写真は、ドローン撮影画像のアノテーションのサイズ比に基づきリサイズ。

#### 【領域分割モデル】

想定される不法な土地の改変の学習データ条件として、地表面が露出していることと、重機活用による地表面（テクスチャ）であることを念頭に、河川区域及び河川区域外の土木施工現場、耕作地（畝無し）、グラウンドの学習データを作成し、検証した。

検証の結果、学習データ仕様及び作成時の留意点として下記の 4 点があげられる。

①オルソ画像、マスク画像双方を学習データとする。（人工裸地をポリゴン化・RGB 形式のマスク画像として出力）

②計算効率化のため、画像を 500×500 pixel に分割。

③学習データ数確保のため、画像の回転・彩度調整による学習データ拡張（data augmentation）。

④河川区域の領域分割は、空中写真のみでは誤検出が発生する山付区間や堀込区間等について標高傾斜図の併用が望ましい。

### 自動抽出以外の異常・変状確認技術の開発

AI による、河川監視における異常箇所自動抽出は、人工物の異常・人為的異常を対象としている。その他の、教師データ作成が不適である自然物、河川利用・行為等の監視方法として、①二時期の撮影画像の目視確認、②三次元地形データでの変状確認方法を開発した。

これらについて、「ドローンによる河川監視ガイドライン（案）」の「5.その他の異常・変状箇所確認手法」にとりまとめた。

#### (1) 二時期の撮影画像閲覧ツール

飛行計画に基づき一定のコース、高度、角度で撮影された単写真は概ね同じ画角となる。それらを目視比較することにより、自然物や河川利用の変化を把握するための閲覧ツールを開発した。

- ・ドローン撮影画像を撮影日別のフォルダをアップロードするだけで、自動的に国土地理院地図上に撮影位置のマッピングが可能
- ・撮影位置、ファイル名、画像が同一画面で閲覧でき、情報管理・提供が容易
- ・表示画像は、拡大・縮小、回転・反転が可能で、用途に応じた活用が可能
- ・Web システムのため、インターネットを活用した情報共有が可能

#### (2) 三次元地形データでの変状確認

空中写真の活用により自然物の変状として樹林の繁茂、砂州動態等では面積の他、大凡の体積（材積、土砂移動量、堆積量等）の把握が可能である。ドローン撮影画像からオルソ画像や三次元点群データ作成は、広く流通している SfM 解析ソフトにより可能である。

二時期の三次元データから動態解析が可能なことは既往実績より証明されている。本開発では、測量ではなく河川監視を目的とした三次元地形データ取得での適切な飛行・計測手法を確認した。（「ドローンによる河川情報の取得」参照）

#### 情報蓄積技術(データプラットフォーム)の検討

ドローン撮影画像、AIに活用する学習用データ・検証結果データの他、SfM解析によるオルソ画像や三次元データ等、ドローンによる河川監視では、情報量・データ容量が大きいいため、効率的な運用に向けた環境構築とデータ仕様を検討した。

- ①データ仕様は、ドローン撮影画像、AI関連データ、SfM解析データ等各情報について、データ形式、ファイル命名規則を設定し、geotag等を元に、メタデータ(csv)による一元管理手法を検討した。
  - ②データ運用の環境構築として、クラウド型の環境構築案を検討した。環境構築項目として、ドローン撮影画像を蓄積・保管要素と、AIによる異常・変状抽出環境要素を設定した。
- これらについて、ドローンによる河川監視ガイドライン(案)の「6.データ管理」にとりまとめた。

#### ドローンを活用した河川監視ガイドライン(案)の作成

開発成果(表-1)を踏まえ、ドローンを活用した河川監視方法を整理したガイドライン(案)を作成した。作成にあたっては、河川管理者が従来の河川巡視、点検、詳細調査等の河川監視行為においてドローンの活用により、効率的・効果的な河川管理に寄与することを目的に、現場条件や目的に応じた情報を取得できる手法を容易に選定・選択できる手順書としてとりまとめた。

表-1 監視項目に応じた画像及びAI自動抽出の適用性(現場実証からの目安)

| 大分類    | 小分類                     | 地上解像度 |       |       |
|--------|-------------------------|-------|-------|-------|
|        |                         | 約 2cm | 約 3cm | 約 4cm |
| 違法行為   | 不法占用                    | ◇     | ◇     | ◇     |
|        | 不法盗掘、不法伐採、土砂等仮置き、汚濁水排出等 | ◇     | ◇     | ◇     |
|        | 不法形状変更、土地の形状変更          | ◇     | ◇     | ◇     |
|        | 不法工作物                   | ◎     | ◎     | ▽     |
|        | 河川損傷、ゴミ等投棄、車両乗入れ等       | ◎     | ◎     | ▽     |
| 構造物の状態 | 堤防の損傷(亀裂)               | ◎     | ◎     | ▽     |
|        | 堤防の損傷(不陸、わだち、法面変状等)     | ◇     | ◇     | ◇     |
|        | 水際の構造物(護岸、根固め、水制等)      | ◇     | ◇     | ◇     |
|        | 河道状況(河岸、砂州、樹木群等)        | ◇     | ◇     | ◇     |
|        | 車止め、標識、距離標等             | ◇     | ◇     | ◇     |
| 空間利用   | 危険行為                    | ◇     | ◇     | ◇     |

◎：視認可能でありAIによる自動抽出に適用、▽：視認可能だが、AIによる自動抽出に不適(抽出精度が劣る)  
◇：視認可能だが、AIによる自動抽出に不適(人工物でないため教師データ作成が困難)

作成した「ドローンを活用した河川監視ガイドライン(案)」の目次構成を右表に示す。

各河川管理者が、対象河川の課題に対し、ドローン活用による解決方法を検索できるよう「第3章 河川情報の取得」の目的の設定において、AIによる異常箇所の自動抽出や閲覧ツール、三次元データの活用それぞれの特長と、それに対するドローン活用方法・目的を整理した。

ただし、AIに関しては現時点の技術レベルであり、自動抽出不適・不可な対象・事象もあるため、一次フィルタリングとしての活用という旨を「第2章 適用範囲」に明記し、技術的限界を示している。

また「第3章 河川情報の取得」は、現地作業にあたるため、留意点のみでなく作業仕様書の位置付けとして整理した。

| 章  | 大項目             | 中項目                    |
|----|-----------------|------------------------|
| 1章 | 総則              | 目的                     |
|    |                 | 本ガイドラインの構成             |
|    |                 | ドローンとAI等による河川監視の仕組みと特徴 |
|    |                 | 関連する法令・規制              |
| 2章 | 適用範囲            | 対象河川                   |
|    |                 | 河川監視項目                 |
|    |                 | ドローン活用による効果的な監視行為      |
| 3章 | 河川情報の取得         | 目的の設定                  |
|    |                 | 飛行計画の策定                |
|    |                 | 調整用基準点                 |
|    |                 | テストフライト                |
| 4章 | AIによる異常箇所の自動抽出  | 安全管理と監視体制              |
|    |                 | AIでの自動抽出               |
|    |                 | 学習用データ仕様               |
| 5章 | その他の異常・変状箇所確認手法 | その他、異常・変状確認方法          |
|    |                 | 画像の目視による二時期間の異常・変状確認   |
|    |                 | 三次元地形データを活用した状態把握      |
| 6章 | データ管理           | データ仕様、管理方法             |