

AI やクラウド環境等の新技術を活用したダム管理 DX の推進方策の検討

株式会社 建設技術研究所 ○ 倉田 侑征
株式会社 建設技術研究所 守谷 将史
株式会社 建設技術研究所 坂井 広正
株式会社 建設技術研究所 土居 正和

論文要旨

四国地方整備局及び水資源機構が管理する 12 ダムを対象に、ダム管理 DX を推進するための具体的方策として、「ダム巡視・点検の DX 化」及び「情報共有プラットフォームの開発」を検討した。ダム巡視・点検の DX 化では、AI 画像解析を適用した異常検知モデルを構築し、実ダムでの適用性を検証した。情報共有プラットフォームの開発では、過年度に構築された、水害リスクライン予測モデル、AI 流入量予測モデル、AI 最適操作モデル等のダム操作判断に利用される各種情報を一元化し、クラウド環境で稼働する情報共有・操作支援システムを開発した。

キーワード：ダム管理、DX、操作支援、クラウド、AI、巡視、画像解析、ドローン

まえがき

国土交通省は R4.3.30 に「インフラ分野の DX アクションプラン¹⁾」を策定し、「行政手続のデジタル化」、「情報の高度化とその活用」、「現場作業の遠隔化・自動化・自律化」を取り組みの柱として挙げている。ダム管理分野においても DX 化に向けた取り組みが推進されており、本検討では DX 化を優先的に検討すべき事項として「ダム巡視・点検の支援」、「ダム操作の支援」を選定し、具体的な推進方策を検討した。

「ダム巡視・点検の支援」では、これまで現場作業員が実施していた巡視の一部をドローン・CCTV により効率化することで、作業員の負担を軽減できる新たな巡視方法及び体制を検討した。ドローンについては、将来的にはドローンポート等の技術を使用して、ドローンの飛行～撮影～異常検知までを完全自動化することを想定している。また、ドローン・CCTV で取得した画像から、異常や不具合を判定する方法として、AI 等による異常検知モデルを構築し、検知精度や実用性等の現地適用性を検証した。

「ダム操作の支援」では、対象 12 ダムの水文情報、操作状況、ダム流入量・最適操作予測等の情報を一元的に表示・確認でき、かつシミュレーション機能、メール配信機能等の多様な機能を随時追加できる、拡張性のある情報共有プラットフォームを構築した。対象 12 ダムでは AI によるダム流入量予測モデルを構築し、今後のダム管理に適用することを想定している。このため、国土交通省が運用する水害リスクライン(物理モデル)の予測結果と AI による予測結果、過去の実績流入量を比較表示し、検証可能なものとした。なお、本プラットフォームは、将来的な機能拡張性に鑑み、クラウド環境上に構成し、構築・運用することとした。

表-1 DX 化優先検討項目の選定

分類	目的・機能	適用が想定される技術	管理者要望 ^{※1}	汎用性 ^{※2}	実現可能性 ^{※3}	DX化優先度
ダム操作支援	洪水時 流入量予測の高精度化 予測雨量の誤差に対する対応	AI 流入量予測モデル	13	○	◎	高
		アンサンブル予測	6	△	◎	
	詳細な雨量分布の予測	予測雨量のダウンスケール	6	△	◎	
	流入量予測システム利便性向上	システムの自動化・共通化 クラウドサーバ	20	◎	◎	高
	洪水被害の最小化	AI 最適操作予測	20	○	△	高
低水時	流入量・貯水位予測の高精度化 利水補給の最適化	AI 流入量予測モデル	2	○	◎	
		AI 最適操作予測	3	○	△	
巡視点検支援	巡視点検作業の支援	ドローン・CCTV 画像解析(異常検知)	13	◎	○	高
維持管理支援	点検データの確認作業省力化 劣化・故障時期の予測 点検データの利便性向上	AI 異常検知	5	○	○	
		AI 劣化・故障予測	4	△	○	
		クラウドサーバ	2	◎	○	
その他	各種手続きの支援(手引き・マニュアルの管理等) 電話の一次対応	データベース化 クラウドサーバ AI チャットボット	9	◎	○	
		IVR、AI 電話応答	10	◎	○	

※1: ダム管理者へのヒアリング結果を得点化したもの。
「優先度が特に高い(3点)」、「優先度が高い(2点)」、「要望あり(1点)」×左記の意見を挙げたダム数
※2: ◎全ダムに適用可能、○全ダムに適用可能(個別にモデル構築等が必要)、△適用するダム・対象に限られる
※3: ◎ダムでの適用事例あり、○他分野での適用事例あり、△研究開発段階
■: DX化優先度が高い(管理者要望が11点以上で、汎用性・実現可能性が○以上のもの。
ただし、洪水被害の最小化(AI 最適操作予測)については管理者要望が大きい優先度高とした。)

1. DX 化を優先的に推進すべき事項の検討

ダム以外の事例も含めた DX に関する最新の情報から、各技術の現在の技術レベルやダム管理への適用性を整理した。また、四国管内のダム管理者を対象にダム管理の実態や課題等をふまえた DX 化の要望についてヒアリングを行った。

これらをもとに管理者要望や汎用性、実現可能性を整理し、ダム管理において DX 化を優先的に検討すべき事項として「ダム巡視・点検の支援」、「ダム操作の支援(洪水時)」を選定した(表-1)。

2. ダム巡視・点検支援

(1) ドローン・CCTV を活用した巡視体制の検討

将来的な巡視体制として、作業員が現地で実施する巡視と、ドローン・CCTV による巡視を組み合わせる巡視方法を検討した(表-2)。

ドローンによる巡視方法については、①ドローンポートによる離発着の自動化、②LTE ネットワークによる広範囲の自動飛行、③ドローン巡視支援システムによる運航支援・画像整理、④AI 画像解析による自動異常検知等を組み合わせることで、完全自動化することを想定した(図- 1)。これにより、現場負担を軽減するとともに、従来よりも広域・高頻度の巡視を迅速に実施することが可能となる。

「AI 画像解析による自動異常検知」では、深層学習(CNN)による画像解析を適用することにより、画像判読を自動化し、作業員の確認作業の負担軽減、及び異常・不具合の見逃し防止を図った。また、現状、作業員の目視確認に委ねられる CCTV による監視に対しては、異常を自動検知し、アラート通知することにより、常時監視が可能となることが期待される。

(2) 画像解析モデルの構築・適用性検証

(a) 適用する画像解析モデルの選定

ダム巡視の対象のうち、AI の学習画像を取得できる事象に対しては、精度の高い個別検知モデル(異常を AI が検知)を適用する。今回は「ごみ・車の検知」、「アオコレベルの判定」を自動化する画像解析モデルを構築したが、今後、ドローン等の運用を開始し画像が蓄積されれば、これ以外の事象を検知するモデルを追加構築することも想定している。

上記の個別検知モデルは精度よく対象物を検知できるが、「検知対象ごとにモデル構築が必要」、「モデル構築には大量の学習画像が必要」等の課題があり、ダムにおける巡視対象すべてを網羅したモデルを構築することは現実的ではない。このため、上記2項目以外(例えば流木、護岸損傷等)に対しては汎用性の高い差分検知モデル(2枚の画像の差分から異常を検知)で検知することとした。今後、実管理に適用していく際には、差分検知モデルにより様々な巡視対象に対する汎用性を確保しながら、各ダムで重要視する対象や学習画像の取得状況をふまえて、個別検知モデルを構築・適用していくことを想定する。

(b) 個別検知モデル(ごみ・車)

ごみ・車を検知するモデルには、AI が検知した画像中の対象物をハイライトして示す「物体検知」の手法を適用した(図- 2)。学習画像にはオープンデータ(ごみ:約 2,000 枚、車:約 10,000 枚)を使用し、本検討でドローンにより取得した画像を追加して精度向上を図った。

精度検証にあたっては、精度確保に必要な撮影条件を把握するため、撮影角度や高度を変えた検証画像に対し、適合率・再現率の指標で精度を評価した(図- 3)。

その結果、ごみについては、高度 30m(解像度 0.8cm/pixel 程度)であれば十分な精度が得られた。車については、垂直写真の精度が高く、高度 100m(解像度 2.7cm/pixel 程度)でも高い精度が得られた。

表- 2 将来のダム巡視体制(案)

種別	巡視方法	頻度	目的等
通常時	ドローン(自動飛行)	高頻度(毎日等)	定点、継続監視対象の高頻度監視 人・CCTVで確認しにくい箇所も含めた全域の状況確認
	CCTV	常時	定点、継続監視対象の常時監視* ※異常時(出水後等)含む
	現地目視確認(車・船舶等)	低頻度	詳細な現地状況の確認
異常時	ドローン(自動飛行)	異常時(出水後等)	ドローンにより全域の状況を早期に把握
	ドローン(手動飛行)		通報やドローン全域巡視により把握した異常発生箇所の詳細状況・全体像を把握
	現地目視確認(車・船舶等)		全域の詳細な状況を把握 通報やドローン全域巡視により把握した異常発生箇所の詳細状況を把握

※: 画像解析による自動異常検知の対象

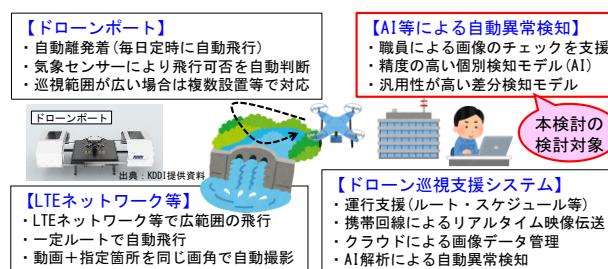


図- 1 将来的なドローンによる巡視支援のイメージ



※画像中のごみは本検討で設置した模擬ごみ

図- 2 物体検知 AI による個別検知(ごみ・車)の例

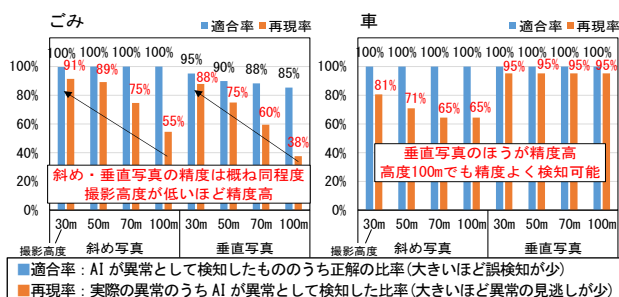


図- 3 ごみ・車検知モデルの精度検証結果

(c) 個別検知モデル(アオコ)

ダム巡視では、アオコ発生の程度(アオコレベル)を確認・記録する必要があるため、「画像分類」の手法を用いて画像中のアオコレベル(クラス)を判定する画像解析モデルを構築した(図- 4)。モデル構築にあたって、クラスによっては画像数を十分に確保できなかったこと、アオコ(水面)以外の映りこみによる精度低下が確認されたことから、不要部分をトリミングするとともに、画像数が少ないクラスは1枚の画像から複数枚を切り出し、反転等により画像数を確保した(表- 3、図- 5)。

上記の精度向上方策の結果、全クラスにおいて適合率・再現率とも概ね良好な結果が得られた(図- 6)。

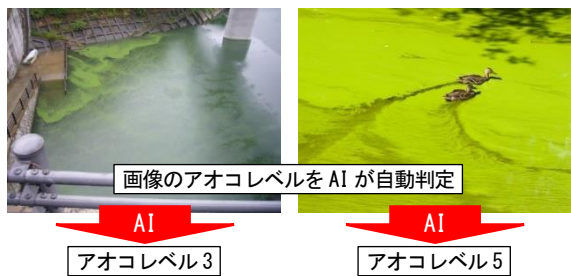


図-4 画像分類AIによる個別検知(アオコ)の例

表-3 アオコ検知モデルの学習画像枚数

クラス (アオコレベル)	アオコレベルの基準	元画像数	加工後画像数 (精度向上) ^{※1}
対象外	アオコが水面下に沈降し アオコレベルの判定が不可	928枚	200枚
レベル0 ^{※2}	発生が認められない	83枚	200枚
レベル1	肉眼で確認できない	23枚	156枚
レベル2	うっすらとすじ状	593枚	200枚
レベル3	膜状に広がり所々パッチ状	94枚	200枚
レベル4	厚くマット状	78枚	200枚
レベル5	スカム状	3枚	50枚
合計		1,802枚	1,206枚

※1: 画像数が少ないクラスは1枚の画像から複数枚の画像切り出し、反転等により水増しし、画像数が多いクラスはバランスをとるため間引いた。
※2: レベル0と1は画像から目視で判別できないため同クラスとした。

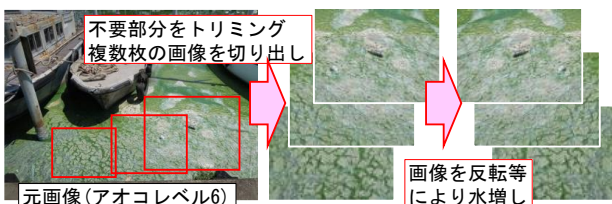


図-5 アオコ検知モデルの精度向上方法

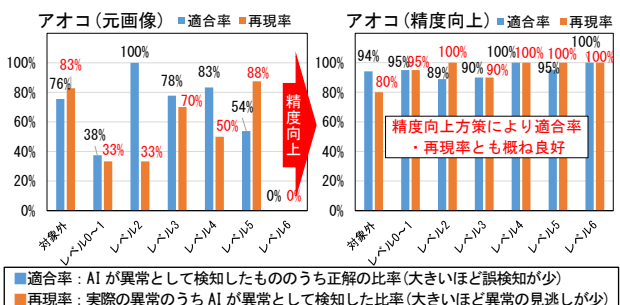


図-6 アオコ検知モデルの精度検証結果

(d) 差分検知モデル

個別検知モデルによる検知対象以外の異常も検知するため、汎用性が高い差分検知モデルを構築した。

差分検知モデルは2枚の画像の差分が大きい箇所を着色するため、画角が固定された CCTV 画像等に対しては適用性が高い。しかし、ドローンで撮影した画像は、同一画角で撮影したとしても GPS の誤差や風の影響等により画角のズレが生じる。また、風による樹木の揺れなどの影響が差分検知におけるノイズとなる。

表-4 差分検知に用いた手法

項目	手法の例(赤字は本検討で採用した手法)
特徴点の抽出	SIFT、KAZE、AKAZE等
特徴点マッチング	総当たり法、高速近似近傍探索法等
画像変換	射影変換、アフィン変換、線形変換、ユークリッド変換等
ぼかし処理	移動平均フィルタ、ガウシアンフィルタ等

※良好な結果が得られるようにトライアルにより採用する手法を決定

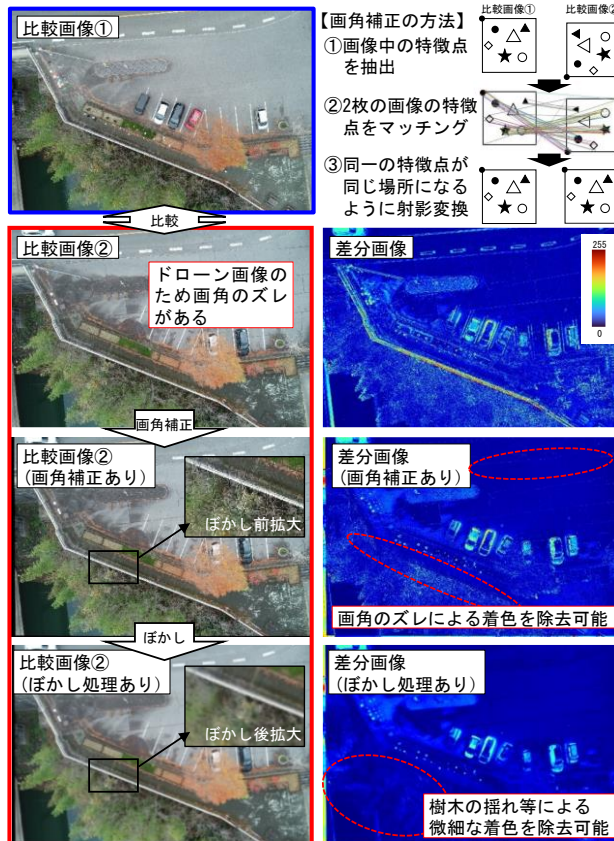


図-7 ドローン画像による異常抽出(差分検知)の例

このため、本検討では、画角補正やぼかし処理を加えた差分検知の手法を検討した。画角補正における特徴点の検出にはPythonのライブラリOpenCV²⁾で使用可能なAKAZE(Accelerated KAZE)を、特徴点のマッチングには総当たり法(Brute Force)を適用し、画像の変換には射影変換を用いた。ぼかし処理には、ガウシアンフィルタを適用した。各手法は複数手法をトライアルし、良好な結果が得られる手法を選定した(表-4)。

その結果、差分画像に現れる画角のズレや樹木の揺れ等によるノイズが除去され、画像内の検知したい箇所(ごみ、車の有無等)が強調されて表示できるようになった(図-7)。

ただし、差分検知においては、天候や季節、時間によって異なる影も差分として検知される(図-8)。薄い影は差分値が一定以上の値のみを表示する処理により、その影響を除去することができるが、濃い影の影響を取り除くのは難しい。このため、差分検知用の画像は、濃い影ができてくにくい午前中の早い時間帯に取得することが望ましい。

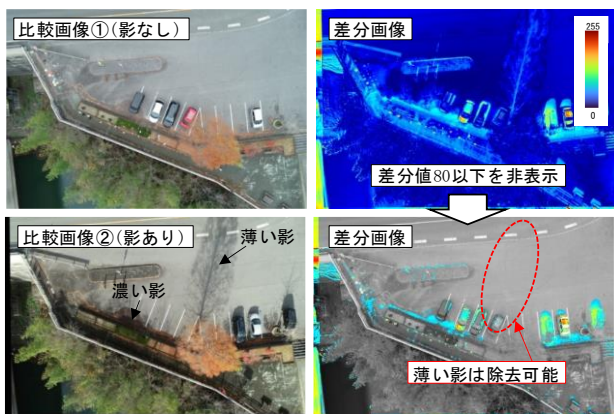


図-8 差分検知における影の影響

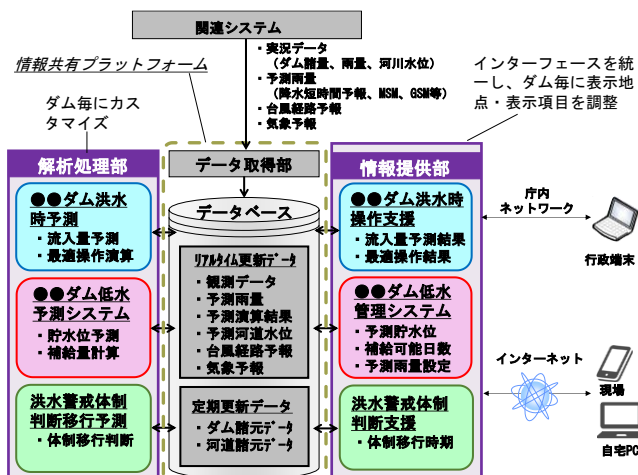


図-9 情報共有プラットフォームのシステム構成

3. ダム操作の支援

(1) 情報共有プラットフォームの概要

現状のダム操作支援システムは、ダム管理所ごとにシステム環境(サーバ、通信系統等)を構築し、リアルタイム稼働のための観測データ、予測データを取得して運用・管理されている。また、システムインターフェース(表示・操作画面)や操作方法は、各々のシステムで統一されておらず、ダム管理所の職員がシステムを利用する際に、その都度、システムの操作方法を習得する必要があった。

本検討では、対象12ダムのシステムインターフェース(表示機能)、システムの操作方法を統一させ、観測・予測データの取得方法、バックエンドで稼働するデータベース等を一元化、統合化して、情報共有プラットフォームとして構築した(図-9)。

また、本プラットフォームは、将来的な機能の拡張性、観測・予測データの取得効率化、四国地方整備局内でのクラウド試行要望などを考慮し、クラウド環境上で運用することとした。プラットフォーム化による利点は以下のとおりである。

- ・システムのインターフェースと操作方法を統一することにより、職員がより利用しやすい環境を提供
- ・管内全ダムの管理・操作状況を一元的に確認でき、災害時には、効率的に現状把握が可能
- ・データ取得機能やデータベースを一元化することにより、システムの構築・維持管理費用を軽減
- ・各ダムシステムで共通のデータベースを適用することにより、容易なシステム機能拡張が可能
- ・クラウド環境上で稼働させることにより、機能拡張や稼働状況に応じてサーバスペックの変更が容易となり維持管理コストを縮減
- ・クラウド環境で運用するため、稼働状況の監視や障害発生時の復旧対応を受注者が容易に実施

(2) 情報共有プラットフォームに実装する機能

現行システムの機能や、水害リスクライン、AI予測等の新技術動向を考慮し、プラットフォームに実装するダム管理支援機能を選定した。なお、機能構築に必要な期間や予算面から、全ての機能を短期間で整備することは困難であるため、ダム毎の要望や必要性を踏まえて段階的に機能拡張する方針とした(表-5)。

将来的には、前述「2. ダム巡視・点検支援」の各種支援機能もプラットフォームに実装する予定である。

表-5 情報共有プラットフォームの機能実装予定

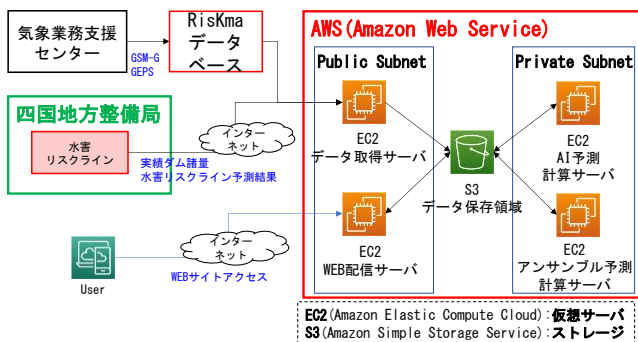
機能	対象ダム							
	野村	鹿野川長安口	手石川	大渡	中筋川横瀬川	早明浦池田	富郷新宮	柳瀬
72時間高水予測システム	リスクライン結果表示	●	●	●	●	■	■	■
	AI流入量予測	●	●	△	●	■	△	■
	操作支援	●	△	△	△	△	△	■
	AI最適操作予測(試行運用)	●	●	△	△	△	△	△
72時間高水予測システム	手動シミュレーション	△	△	△	△	●	△	△
	アンサンブル予測雨量表示	●	●	●	●	●	△	△
	流入量予測	△	△	△	△	△	△	△
操作支援	△	△	△	△	△	△	△	
平水時操作支援システム	△	△	△	△	△	△	△	
スマホ画面対応	△	△	△	△	△	△	△	

●: 構築済、■: 2023年度追加、△: 2024年度以降拡張

(3) 導入した機能の概要

(a) 水害リスクラインの表示

水害リスクラインの洪水予測演算は、四国地方整備局内の専用サーバで実施されている。この出力データをクラウド環境へ伝送することにより、水害リスクラインで演算されているダム地点の予測結果を表示することとした。また、水害リスクラインで取得していない、長期予測雨量データ(GSMガイダンス雨量、週間アンサンブル雨量(GEPS)等)については、当社のRiskma開発環境に構築しているデータベースから自動取得する構成とした(図-10)。



図一 10 クラウド環境で実現したシステム構成

(b) より高度なダム操作のための長期高水予測

事前放流や異常洪水時防災操作、特別防災操作等を支援することを目的として、長期予測雨量を用いた以下の2つのシステムを導入した。

- ①「72時間高水予測システム」: 水害リスクラインの予測結果とAI流入量予測結果、AI最適操作予測結果をWEBブラウザ上に比較表示し、ダム管理者が防災操作が必要となる支援情報を提供するシステム(図一 11)
- ②「アンサンブル高水予測システム」: 気象庁から配信される週間アンサンブル数値予報を用いて、11日先までの51メンバーの流域平均雨量(時間雨量と累加雨量)と、下記基準による上位, 中位, 下位の予測雨量情報を表示するシステム
 - 上位: 累加雨量ランクの上位3位
 - 中位: 累加雨量ランクの21位(平均メンバー)
 - 下位: 累加雨量ランクの下位5位のメンバー

あとがき

本検討では、ダム管理において DX 推進を優先的に推進すべき「ダム巡視・点検の支援」、「ダム操作の支援」について、具体的な推進方法を検討した。

「ダム巡視・点検の支援」では、ドローン・CCTV と画像解析を組み合わせることで、現場負担を軽減するとともに、高頻度で見逃しが少なく、異常を早期発見できる巡視体制を提案した。異常検知モデルについては、今回はごみ・車、アオコを対象としたモデルと、汎用性が高い差分検知モデルを構築したが、今後、ドローン等の運用を開始し画像が蓄積されれば、これ以外の事象を検知するモデルを追加構築することも想定している。また、これらの知見は、ダム以外の分野における巡視・点検等にも展開可能である。現状の CCTV システムの状況、ダム管理者の要望等をふまえたシステム化の方法の検討や、ドローン技術の進捗に合わせた段階的な導入計画の検討等が今後の課題である。

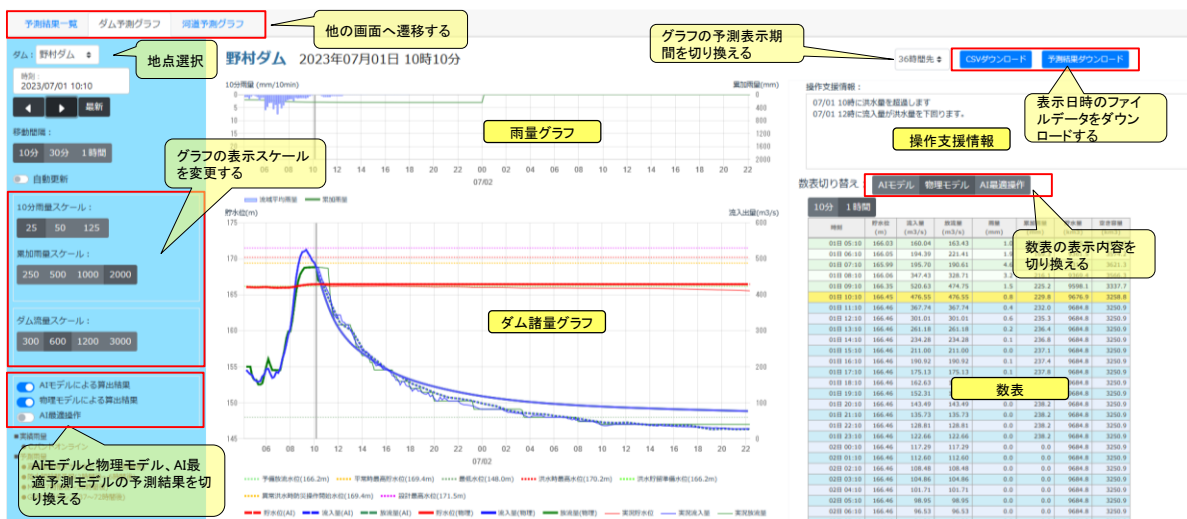
「ダム操作の支援」では、中小洪水の再現性が高い AI 流入量予測モデル、未経験の大規模洪水を予測可能な物理モデルの予測結果を併用し、洪水規模に対応した予測精度の高い流入量予測結果を用いたダム操作支援システムを構築することが可能となる。また、共通プラットフォームとして、システムを構築しているため、データ入力や演算部分を改良することにより、他ダムへの反映を容易に実施することが可能となる。クラウド環境でシステムを導入する際には、防災 LAN からのデータ取得方法の調整、システムの冗長性確保、経年的な予算確保の調整等が今後の課題である。

ダム管理の人材不足が懸念される中、既存ダムの効率的な管理・運用、激甚洪水時の高度な操作が要求されており、持続可能なダム管理に向け DX 推進が必須課題である。本検討で構築・開発した技術は全国ダムでの適用が可能と考える。

最後に、本検討では四国地方整備局四国技術事務所から多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献(または引用文献)

- 1) インフラ分野の DX アクションプラン, 国土交通省, 2022
- 2) OpenCV, (<https://opencv.org/>)



図一 11 72時間高水予測システム画面例