

AI（人工知能）技術を活用した河川監視の高度化に向けた取り組みについて（完了報告）

吉井 貴弘¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 調査課（〒573-1191 大阪府枚方市新町2-2-10）

淀川河川事務所管内の各河川では、多様な河川利用形態が見られる一方、一部利用者によるごみの投棄や車両侵入などの迷惑・不法行為が散見され、河川管理上の負担となっている。

淀川河川事務所では、令和2年度よりAI（人工知能）による画像認識技術を活用した河川管理の負担軽減や迷惑・不法行為の網羅的な把握に取り組んできた。本稿は、令和2年度に構築した迷惑・不法行為検知AIモデルを最新技術動向を踏まえたものに改良し、実際にシステムを稼働させての検証結果を報告するとともに、より高度な河川管理の実現に向け、車載カメラやドローンなどの移動カメラの検知結果についても報告するものである。

キーワード AI、河川監視、車載カメラ、ドローン、河川管理の高度化

1. 淀川河川事務所における河川管理上の課題

貴重な自然が残る河川空間は、自然との触れ合いの場や地域住民の憩いの場として重要な公共空間である。一方で、2020年の新型コロナウイルス感染拡大以降に増加しているキャンプごみの不法投棄¹⁾など、河川空間の利用を妨げる迷惑・不法行為が問題となっている。これらの取締り活動が河川管理の負担となっており、早期の現状復旧の実現と管理業務の省力化を図る必要がある。管理対象である淀川水系の4河川（淀川・宇治川・桂川・木津川）において、2017年4月～2020年8月に報告された迷惑・不法行為の件数を図-1に示す。淀川では約3年間で約2万件の迷惑・不法行為が報告されており、取締り活動の実施とその効率化は必須の課題である。



図-1 淀川管内の迷惑・不法行為件数(2017.4～2020.8)

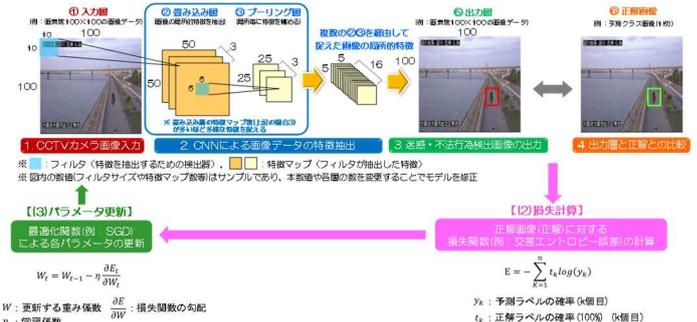


図-2 CNNを用いたモデルの概要

2. 迷惑・不法行為検知モデルの概要

(1) 昨年度構築した迷惑・不法行為の概要

a) 検知モデルの概要

上述の目的を達成するため、令和2年度より、深層学習の一種であり、高度な画像解析能力²⁾を持つ畳込みニューラルネットワーク(以下CNN)を活用し、迷惑・不法行為を検知するモデルを開発³⁾している。その概要を図-2に示す。

b) 検知対象とした迷惑・不法行為

河川管理者へのヒアリングを通じ、表-1に示す4種類の迷惑・不法行為をモデルの検知対象として選定した。

表-1 検知対象の迷惑・不法行為

No.	迷惑・不法行為	概要
1	ごみの不法投棄	ごみの不法投棄を行う人、及び道路橋から不法投棄された落下ごみ
2	ゴルフ行為	禁止場所においてゴルフクラブを持ってスイングする人
3	不法侵入車両	走行が禁止されている河道内を走行する車両
4	火	草地火災やキャンプ時のたき火など

c) 教師データ

モデルの教師データには、図-3のような、河川維持管理データベースシステム (RiMaDIS : River Management Data Intelligent System) (以下、RiMaDIS) に登録されている不法投棄ごみの画像、画像蓄積装置に保存されている CCTV カメラ映像、Web 上で公開されている人や車などのモデル教師用オープンデータを用いた。

d) 夜間映像鮮明化

画像処理技術のひとつである「ガンマ (γ) 補正」をモデルに組み込み、夜間における検知精度向上を図っている (図-4)。

e) 迷惑・不法行為の判定基準

カメラ映像内の各瞬間で迷惑・不法行為を検知する場合、ごみを持ち帰る人を誤検知するなどの問題が生じやすい。正確な検知のためには、ごみや人などの、検知対象の時系列特性を考慮することが重要となる。そこで、表-2に示すように、人間と同様の経験則に基づく判定基準を設定し、迷惑・不法行為の検知を実施する。

(2) 迷惑・不法行為検知モデルの改良内容

a) 最新モデルの適用

CNNモデルについては、世界中の企業や研究機関において次々と最新モデルが開発されている。昨年度構築



図-3 使用した教師データの一例



図-4 γ補正の効果 (左:補正前 右:補正後)

表-2 迷惑・不法行為の判定基準

No.	検知対象	着眼点	判定基準
1	ごみの不法投棄	ごみ放置後の人との距離	ごみを持って 1分 以上存在する人が、ごみを放置してその場から 5m 以上離れた場合
		粗大ごみの持ち運び	人と比較して 30~20% と大きなサイズのごみを、 1分 以上存在する場合
		夜間のごみ持ち歩き	深夜・早朝の時間帯 (2000~0600) にごみを持つ人が、 1分 以上存在する場合
		道路橋からの落下ごみ(松尾橋)	道路橋から不法投棄した落下ごみが、 1秒 以上存在する場合
2	不法侵入車両	滞在時間	不法侵入エリアに存在し、検知対象外車両ではない車両が、 5秒 以上存在した場合
3	ゴルフ行為	ゴルフスイングの回数	ゴルフスイングを 2回 以上行う人が存在した場合
4	火	検知時間	火が 3秒 以上存在した場合

した検知モデルは、2018年に開発されたYOLOv3を適用した。しかしながら、2020年後半には、より検知精度と計算速度が向上したYOLOv5が新たに誕生し、翌年にかけて画像解析技術開発の現場で利用され始めた。以上の点を背景に、実証実験に先立ち、YOLOv5をベースとした検知モデルを構築した。

昨年度検証に用いた映像データを用いて、新旧の検知モデルを検証した結果、新モデルの検知精度が5~8%向上し、計算時間も約1/5に短縮することができた。

b) ゴルフ行為誤検知抑制に向けたモデル改良

構築したモデルでは、「野球のバットスイング」や「屈んだ姿勢で犬を撫でる」などの行為をゴルフ行為と誤検知する事象が散見された。そのため、ゴルフ行為の明確な特徴である「スイングする腕の形状」と「ゴルフクラブ」をモデルに学習させ、検知精度の向上を図った。

c) 落下ごみの検知モデルの追加

松尾橋では、道路渋滞時などに橋の上からのごみの不法投棄が発生している。その検知も重要であるため、表-2に示す判定基準をモデルに実装し、図-5に示すように画面の上から下へと移動する物体を検知できるように改良した。

3. 迷惑・不法行為検知の実証実験

(1) 実験内容

2021年8月23日(月)~2022年2月28日(月)の約半年間において、構築したモデルによる迷惑・不法行為検知の実証実験を実施した。対象か所については、RiMaDIS登録情報

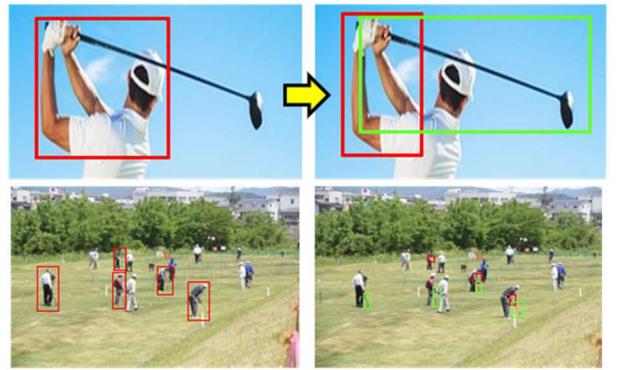


図-5 検知モデルに学習させたゴルフ行為の特徴 (改善前 (ゴルフポーズ (頭部含む)) (改善後 (ゴルフポーズ (頭部含まない) + ゴルフクラブ))

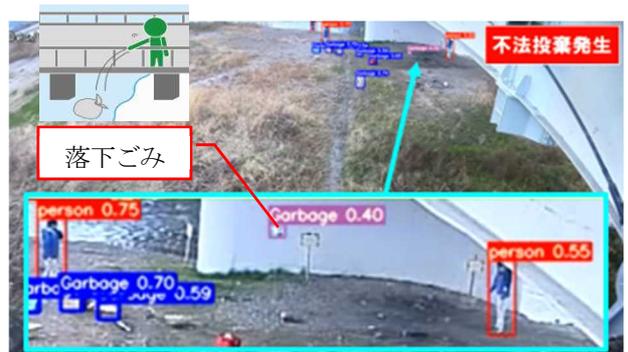


図-6 落下ごみの検知結果の例

報の分析や河川管理者へのヒアリングを通じ、迷惑・不法行為が特に問題となっている図-7に示す4か所を選定した。

なお、実験対象か所のうち、長柄中と岩田松原には、既設 CCTV カメラから国交省光回線を通じて淀川河川事務所へと伝送される映像での検知を実施した。また、松尾橋及び槇島については、迷惑・不法行為多発か所近傍に CCTV カメラ、映像伝送用の光ケーブル、カメラへの給電線が無い場所であった。そのため、表-3に示す市販のネットワークカメラや映像伝送のための携帯電話回線ルータ、太陽光発電パネルとバッテリーなどで構成される仮設型設備による迷惑・不法行為が可能であるかを検証すべく、必要な機器を調達、現地に設置(図-8)して実験を行った。

(2) カメラ映像解析・警告発報システム

図-9に示すように構築した実証実験システムにより、リアルタイムに4か所のカメラ映像を解析するシステムを淀川河川事務所に設置した。さらに、長柄中、岩田松原の2か所において、検知結果に基づく警告発報設備を設置した。ただし、モデルの誤検知による警告発報により、河川利用者に不快感を抱かせないようにするため、警告音声は「河川の適切な利用にご協力をお願いします。」のように、検知対象者を直接的に警告する内容とせず、日中(8:00~18:00)のみを対象に警告発報を実施した。

表-3 設置した仮設型設備

	
ネットワークカメラ(短距離用)	ネットワークカメラ(長距離用)
	
太陽光パネル	カメラ用バッテリー (1500Wh)
	
携帯電話事業者回線用ルータ (通信環境不安定な場所用)	携帯電話事業者回線用ルータ (通信環境が良好な場所用)



No.	対象箇所	河川	出張所名	検知対象の迷惑・不法行為
1	長柄中	淀川	毛馬出張所	ごみの不法投棄、ゴルフ行為、火
2	岩田松原	木津川	木津川出張所	不法侵入車両、火
3	松尾橋	桂川	桂川出張所	ごみの不法投棄、火
4	槇島	宇治川	伏見出張所	ごみの不法投棄、火

図-7 迷惑・不法行為検知の実証実験対象箇所



図-8 ネットワークカメラ設置状況(槇島)



No.	機能名称	No.	機能名称
(1)	検知結果画像の表示	(4)	検知結果ログの表示
(2)	検知件数の表示	(5)	検知結果の編集
(3)	検知結果のCSV出力	(6)	警告発報の緊急停止

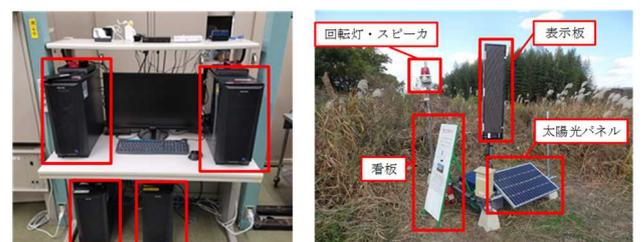


図-9 カメラ映像解析・警告発報システム

(4) 実証実験結果

a) 迷惑・不法行為検知モデルの精度

実証実験結果として、モデルの迷惑・不法行為検知精度と検知時のカメラ画像を表4、表5、図-10に示す。モデルの精度評価指標については、下記の(1)(2)式に示すように、適合率と再現率を使用した。なお、再現率については、大型連休(シルバーウィーク(以下、SW)・正月連休)、模擬実験(発生確率が低いごみの不法投棄を対象)実施日などの29日間のカメラ映像を目視確認した結果で検証した。

結果として、実証実験対象の全4か所において、未検知は少ないが誤検知が多い結果となった。特に、不法侵入車両、火については高精度に検知できているが、視認性が低いゴルフ行為とごみの不法投棄の誤検知が非常に多くなった。一方で、誤検知を含むがほとんどの迷惑・不法行為を見逃さず検知していることが確認できた。

$$\text{適合率} = \frac{\text{AIによる迷惑・不法行為検知数(正解のみ)}}{\text{AIによる迷惑・不法行為検知数(正解・不正解両方含む)}} \quad (1)$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{AIによる迷惑・不法行為検知数(正解のみ)}}{\text{実際の迷惑・不法行為数}} \quad (2)$$

表4 迷惑・不法行為検知モデルの検知結果_適合率

検知対象の迷惑・不法行為	1.長柄中	2.岩田松原	3.松尾橋	4.横島
ごみの不法投棄	13.8% (7/51)	-	13.1% (8/61)	33.3% (3/9)
ゴルフ行為	34.2% (156/456)	-	-	-
不法侵入車両	-*	97.9% (2,122/2,168)	86.7% (13/15)	-
火	- (事例なし)	89.5% (43/49)	86.7% (13/15)	31.0% (4/13)
ごみの不法投棄(落下ごみ)	-	-	0.02% (1/59)	-

* - : 検知対象外

表5 迷惑・不法行為検知モデルの検知結果_再現率

検知対象の迷惑・不法行為	1.長柄中	2.岩田松原	3.松尾橋	4.横島
ごみの不法投棄	77.8% (7/9)	-	100.0% (8/8)	100.0% (3/3)
ゴルフ行為	92.3% (121/131)	-	-	-
不法侵入車両	-	99.2% (557/562)	86.7% (13/15)	-
火	- (事例なし)	100.0% (43/43)	100.0% (13/13)	100.0% (4/4)
ごみの不法投棄(落下ごみ)	-	-	100.0% (1/1)	-

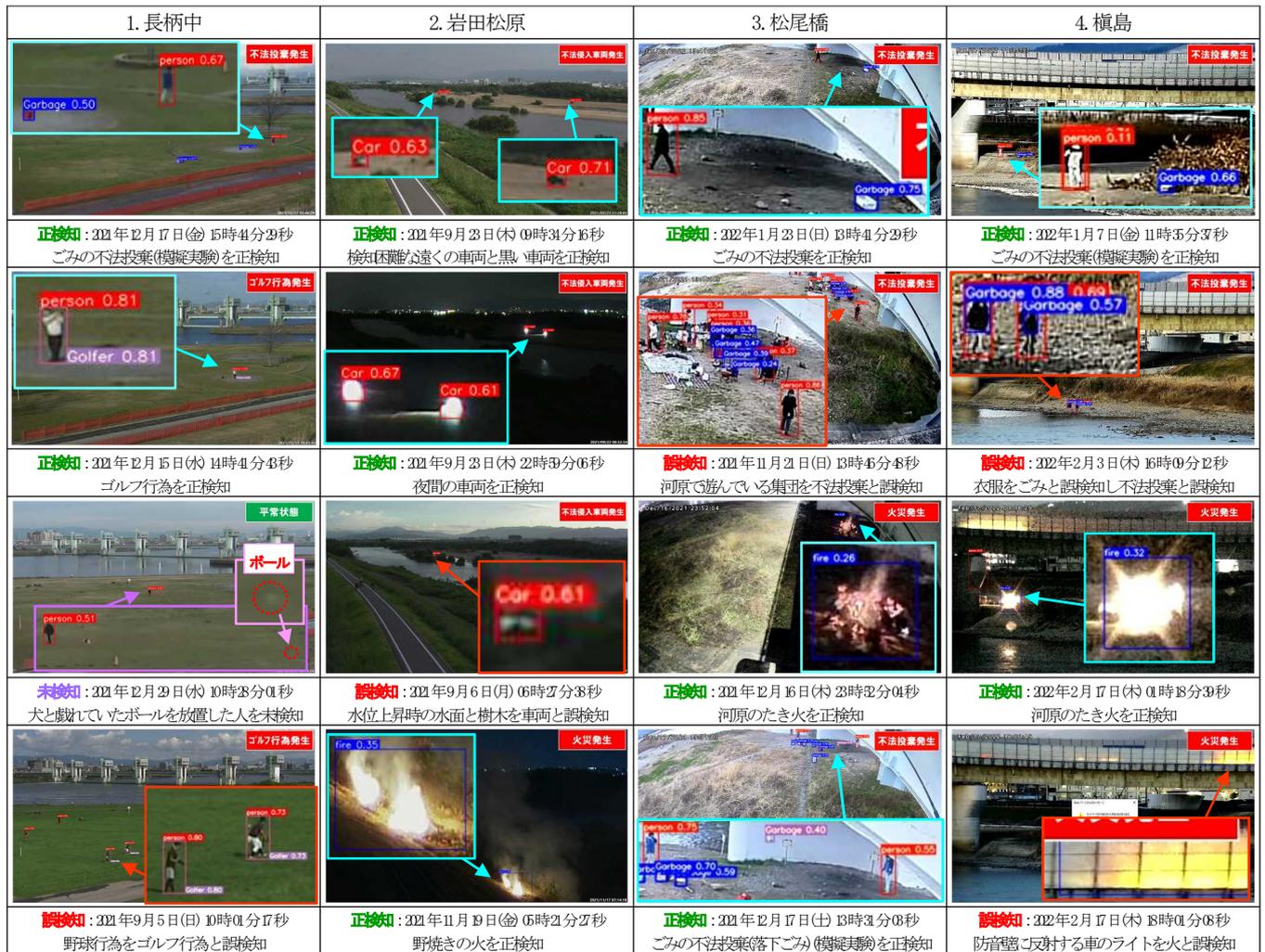


図-10 実証実験時における迷惑・不法行為検知結果の一例

b) 警告発報効果の検証

実証実験において、警告発報設備を設置した 2021 年 11 月 17 日(水)前後の迷惑・不法行為数の変化を比較し、警告発報効果を検証した。比較に当たり、SW(設備設置前の 9/18~9/20, 9/23)と正月連休(設備設置後の 12/25~翌 1/3)における迷惑・不法行為数の整理結果を表-6に示す。

結論として、長柄中のゴルフ行為にはほとんど効果が無かったと考えられる。また、岩田松原の不法侵入車両は減少しており、一定の効果があつたように見える。しかし、冬期で河川利用者数が減少した結果かもしれないため、今後は季節の影響も精査する必要がある。さらに、今後更なる効果を得るためには、警告発報装置の設置か所の精査・音量調整、放送内容変更、並びに警報局・河川情報板の設置などが必要と考える。

一方、モニタによる検証結果からは、検知した・記録した・禁止行為であるといった強い放送内容が有効であること、合成音声ではなく人の声のほうが効果があるといった有益な意見が得られた。

5. 移動カメラによる迷惑・不法行為の検知

(1) 検討の背景

実証実験を通じて、CCTV カメラ及び仮設カメラによる迷惑・不法行為の検知は、実現可能であることを確認した。しかし、固定カメラでの検知は、リアルタイム性は高いが、画角内のみが対象となり、面的な広がりには欠けるという欠点がある。

その解決策として、近年様々な場面で利用されている車載カメラとドローンによる移動カメラ映像についても、構築したモデルにより迷惑・不法行為を検知できるか検証した。

(2) 検討結果

a) 車載カメラより撮影した映像での検知結果

車両正面、左右側面 3 台の車載カメラで撮影した映像で検証した結果、図-11, 12 に示すとおり、ごみを精度よく検知できることが確認できた。

b) ドローンより撮影した映像での検知結果

図-13, 14 は、高度 30~50m で飛行しているドローンから撮影した映像での検知結果である。図に示すとおり、上空からの映像でもごみ及びゴルフ行為を検知できることがわかる。

表-6 実際の迷惑・不法行為数の比較結果(SWと正月連休)

No.	検知対象	1.長柄中		2.岩田松原	
		SW	正月連休	SW	正月連休
1	ごみの不法投棄	0	0	-	-
2	ゴルフ行為	0	26	-	-
3	不法侵入車両	-	-	98	29
4	火	0	0	1	0

6. まとめ

(1) 本取り組みの成果

AI モデルによる迷惑・不法行為の検知は、非常に小さく映っている迷惑・不法行為に対し、固定カメラ映像のみならず、移動カメラ映像でも実現できることを確認した。また、今回構築したモデルの教師データは、公開されているオープンデータを利用している。そのため、淀川水系特化型ではなく、他水系への展開も可能な汎用的なモデルとなっている。

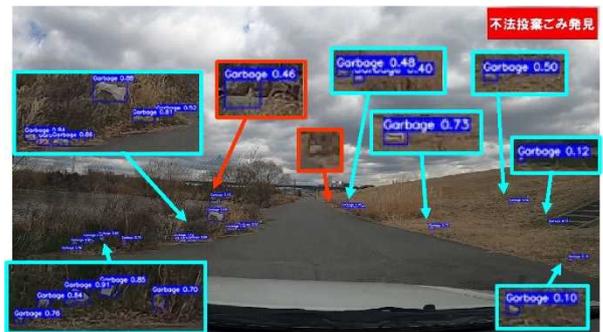


図-11 車載カメラ(正面)映像での検知結果例(不法投棄ごみ)



図-12 車載カメラ(側面)映像での検知結果例(不法投棄ごみ)



図-13 ドローン映像での検知結果の例(不法投棄ごみ)



図-14 ドローン映像での検知結果の例(ゴルフ行為)

さらに、ネットワークカメラや携帯事業者回線用ルータなどを用いた仮設型設備でも、CCTVカメラと同などの精度で検知可能であることを確認できた。これは、常時、迷惑・不法行為が多発する場所だけでなく、特定の時期にCCTVカメラが設置されていない場所で多発する迷惑・不法行為を検知し、警告発報が可能であることを示す結果となった。

加えて、車載カメラやドローンなどの移動カメラ映像による検知も可能であった。これまでは、迷惑・不法行為の発見と指導やRiMaDISへの登録などは、人的作業で行っている。パトロール車の自動運転やドローンの自律飛行が実現した暁には、すべて自動化され、河川管理業務の効率化が実現できる技術であると考えられる。また、迷惑・不法行為の検知だけでなく、ダム放流時における河川内立ち入り者への避難指示などにも適用可能な技術である（図-15）。

(2) 今後の課題

今後の取り組みに際して、さらなる検討が必要である課題は、以下のとおりである。

a) 迷惑・不法行為の未検知と誤検知のバランス

迷惑・不法行為の判定閾値を高くすると未検知が多発し、低くすると誤検知が増えるという、トレードオフの関係が存在する。今後、未検知と誤検知の両方を低下させる閾値調整が必要である。

b) 迷惑・不法行為検知に必要な機器

今回の実験では、対象か所ごとにモデルを実装した高性能PCを準備し、リアルタイムカメラ映像を対象に検知を実施した。今後は、より少ない設備で複数か所の検知が可能となるよう、大型モニタに映像を循環表示させる映像回覧装置の導入効果検証などが必要である。



図-15 ドローンと検知モデル（人）を用いた河川パトロールのイメージ

c) 警告発報システムの改良

本実験で設置した警告発報設備は、市販品や工事現場で使用されるレンタル機器を用いている。そのため、迷惑・不法行為の抑止、防止のためには、音量や表示する文字の大きさなどが不足していた。今後は、対応優先度の高い迷惑・不法行為多発か所について放流警報局や河川情報板に近い仕様の設備を設置する必要がある。

(3) さいごに

本取り組みの成果は、図-16に示すような、河川管理業務の高度化・省力化に向けた貴重な情報になるとともに、他の河川での適用に向けた重要な指針となるものと期待している。

また、本取り組みを通じて得られた知見が国土交通省が進める「インフラ分野のDXアクションプラン」実現の一助となれば幸いである。

謝辞：本取り組み及び本稿をまとめるにあたりご指導・ご協力頂いた全ての方に感謝致します。

参考文献

- 1) 京都新聞：川にレジャー客押し寄せキャンプやBBQ、ごみ放置や住民に暴言も_河川敷への市道を通行止め に , <https://www.kyoto-np.co.jp/articles/-/557194>, (2021.5.2).
- 2) 独立行政法人情報処理推進機構(IPA)：DX 白書 2021 日米比較調査にみる DX の戦略, 人材, 技術, pp. 249-275, 独立行政法人情報処理推進機構(IPA), 2021.
- 3) 漆谷晃樹, 中田隆史, 江尻佳弘, 山脇正嗣, 米森一貴, 平山岳弥, 木村颯希：深層学習による河川空間内での迷惑・不法行為の検知に関する研究, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol. 46, pp. 77-80, 2021.

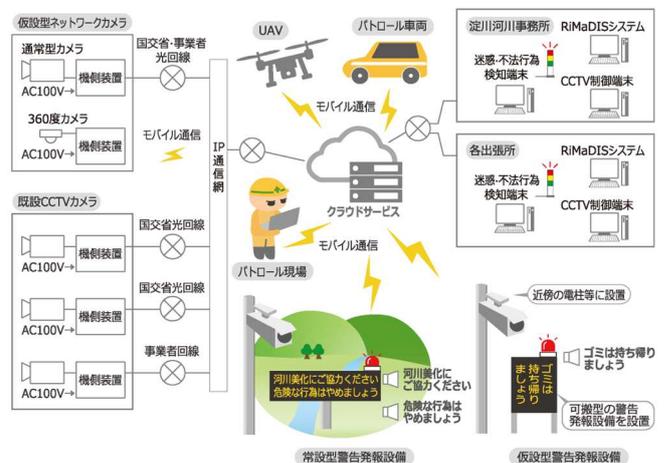


図-16 将来的な迷惑・不法行為システムの運用イメージ図