

河川砂防技術研究開発

【成果概要】

①研究代表者		氏 名 (ふりがな)	所 属	役 職					
		小川 貴弘 (おがわ たかひろ)	北海道大学大学院情報科学研究院	准教授					
②技術研究 開発テーマ	名称	河川管理を支援するCCTV映像自動解析技術に関する研究							
③研究経費 (単位: 万円)		平成29年度	平成30年度	令和元年度	総 合 計				
※端数切り捨て。		182 万円	175 万円	140 万円	498 万円				
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、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2年3月31日現在)							
吉田 壮		関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科 助教							
原川 良介		長岡技術科学大学 電気電子情報工学専攻 助教							
⑤研究の目的・目標									
河川管理区域の利用頻度が高い河川においては、利用者による違法行為・危険行為等が頻発しており、これらを早期に発見するとともに、予防策を講じることが必要とされている。この対策として、市民参加型の取り組みによる情報収集の枠組みに加え、CCTV映像の自動解析による支援が望まれる。 本研究では、河川管理区域のCCTV映像を用いた利用者の異常行為検出・予測技術の構築を目指している。具体的に、近年成長の著しい機械学習、特に深層学習を用いることで、高い実現性の下、利用者が「どこで」、「なにを」を行っているかを自動で認識し、さらに、それらの異常行為を事前に予測可能とする技術の実現を試みる。本研究は、3つのフェーズに分けて実施され、「利用者の自動追跡」・「利用者の個人/集団行動解析」・「異常行為予測」に関する技術の構築を各フェーズの目標とする。上記3つのフェーズは、3年度間の各年度に実施し、その技術の実現を目指す。河川管理区域のCCTV映像に対して機械学習により上記を実現する試みはこれまでに行われておらず、本研究の新規点である。 以上の研究成果により、河川巡視員が異常行為等に関する情報を迅速かつ容易に入手することが可能となるだけでなく、これまで困難であったリアルタイムでの注意喚起が可能になる。また、自動で取得されたデータを蓄積することにより、それらの統計情報の取得が可能となり、河川管理者による効率的なパトロール計画の策定が可能になることから、今後人員を増やすことが困難な河川管理において大きな役割を果たすことが期待できる。									

⑥研究成果

平成29年度には、河川管理区域における利用者の自動検出・追跡技術の構築を行った。具体的に、低解像度・低画質のCCTV映像に対して、背景差分法と深層学習を協調的に適用することで、変化し続ける環境下においても頑健な利用者検出・追跡を可能にする新たな技術を実現した。平成30年度には、平成29年度の研究を発展させ、河川管理区域において検出・追跡された利用者について、その行動解析を可能とする技術の構築を行った。これにより、利用者が「どこで」、「なにを」行っているかを自動で分類可能とした。さらに、それらの行動の中から、危険行為等の異常行為を自動で検出可能とした。令和元年度は、河川利用者に関する統計情報取得する手法を構築し、異常検知に基づき異常行動を予測する手法を構築した。本年度における主な研究成果は、以下の2項目である。

【研究成果1】河川利用者に関する統計情報取得手法の構築

【研究成果2】異常検知に基づく危険行為予測手法の構築

以下では、それぞれの研究成果について具体的な説明を行う。

【研究成果1】河川利用者に関する統計情報取得手法の構築

本研究では、CCTV映像から河川管理区域における利用者に関する統計情報取得手法を構築した。利用者に関する統計情報を取得するためには、データの用意、および映像内から人や物などの意味内容を含む領域を検出し、追跡することが必要となる。以下では、本年度の研究成果について、《データ取得実験》および《手法の構築》について説明する。

《データ取得実験》

河川利用者の危険行為としては多様な行動を想定すべきである。一方で、このようなデータの取得は容易ではない。そこで、本年度では、検証用のデータを取得するため、実際の河川敷にてデータ取得実験を行った。具体的に本実験では、北海道開発局のご協力の下、北海道札幌市を貫流する豊平川の豊平橋を撮影するCCTVカメラを用いて、安全環境であることを確認したうえで、模擬的に危険行動と思われる活動のデータを取得した。ただし、本データ取得実験における異常行為は、札幌河川事務所の許可を取得し、その管理下において実施されたものである。図2に本実験において撮影した危険行為の例を示す。本実験では、実際に生じる可能性が高く、行動発生予測が必要とされる「ごみの不法投棄」、「自転車の高速走行」、「スポーツ（本実験においてはテニスラケットおよびゴルフクラブの利用とした）」、「バーベキュー」、「テント設置」、「河川への入水」に関するデータ取得を行った。図2に示すように、CCTV映像からモデル構築のためのデータ取得に成功した。



図2：データ取得実験により取得した危険行為を模擬的に記録したデータの例

《手法の構築》

本手法は、(1) 利用者の検出・追跡処理、(2) 利用者の速さと位置に基づいた統計情報の取得、の二点の処理から構成される。以降では、それぞれの手法について説明する。

(1) 利用者の検出・追跡処理

本手法は、平成30年度の研究成果の応用により実現した。CCTV映

像は、一般の映像と比較して低解像度であり、人や物体を検出するためには、前処理が必要となること、平成29年度の研究成果より明らかになっている。そこで提案手法では、CCTV映像が固定カメラであることに注目し、背景差分法 [1] を用いることで、利用者の候補領域を抽出した。上記に述べた危険行為は人および物体が映像中で動くことが想定されるため、背景差分法により、利用者の検出が可能となった。続いて、得られた利用者の検出結果から、利用者をそれぞれ区別しながら、映像の複数フレームにわたって追跡手法を構築した。本手法においては、平成30年度に構築した追跡技術 [2] (カルマンフィルタ [3] による「利用者の進行方向の推定」およびハンガリアン法 [4] による「フレーム間の利用者の対応付け」に基づく技術) の改良手法を適用した (図3)。具体的には、文献[5]で提案されているMultiple Hypothesis Tracking based on Discriminative on-line Appearance Modeling (MHT-DAM) と呼ばれる追跡技術を従来技術に組み合わせることで、本データの性質に沿った追跡手法を構築した。

(2) 利用者の速さと位置に基づいた統計情報の取得

平成30年度では、検出・追跡された利用者が「どこで」、「なにを」行っているかを自動で分類可能とする技術を構築した。具体的に、CCTV映像中の座標によって、高水敷、堤防、水際、水面といった利用者の位置を完全に特定可能とする手法を構築した。さらに、CCTV映像の撮像方向を考慮して利用者の位置と移動の速さを算出することで、国土交通省『河川空間利用実態調査』で定義されている「散策」、「スポーツ」、「釣り」、「水遊び」の行動に分類可能とした。また、このとき、図3に示すように各フレームに対する分類結果の補正方法を導入し、精度向上を実現した。平成30年度に構築した本技術は、令和元年度における研究目標である危険行為予測手法を構築するための行動の特徴を捉える方法として有効であると考えられる。そこで、令和元年度では、平成30年度に構築した手法に基づき統計情報の取得手法を構築した。

CCTV映像では、映像中の座標によって、高水敷、堤防、水際、水面といった利用者の位置は完全に特定可能であるという映像的性質を有する。そこで本研究では、(1) により構築した利用者の検出・追跡処理の結果に基づき、CCTV映像中の河川利用者の移動速度を映像中から算出可能とした。具体的には、利用者のCCTV映像中の「水平方向の位置、垂直方向の位置、水平方向の移動の速さ、垂直方向の移動の速さ」の変化を表す特徴量を算出した。ただし、CCTVから離れた場所に位置する利用者やCCTVの撮像方向と水平に進む利用者の移動速度は、実際よりも小さく映る。この問題を解決するために、利用者の位置と進行方向を考慮する補正係数を導出し、移動速度の補正を可能とする手法を構築した。これにより、広域な空間を撮影しているCCTV映像から、正確な移動速度の算出が可能となる。

以上のように、(1) 利用者の検出・追跡処理および(2) 利用者の速さと位置に基づいた統計情報の取得にもとづき、河川利用者の行動に基づく統計情報の取得に成功した。

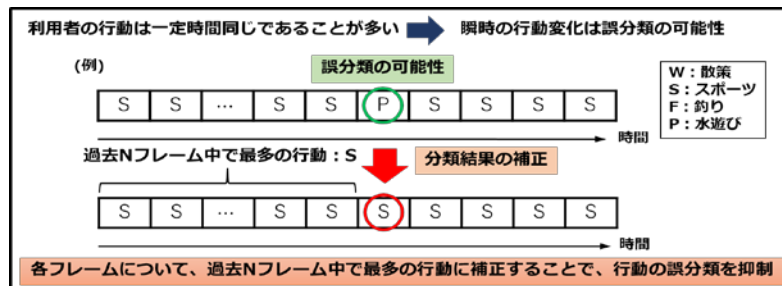


図3：各フレームに対する分類結果の補正方法
(平成30年度の研究成果)

【研究成果2】異常検知に基づく危険行為予測手法の構築

令和元年度では、河川利用者の危険行為等の異常行為を自動で検出し、識別に活用可能とする手法を

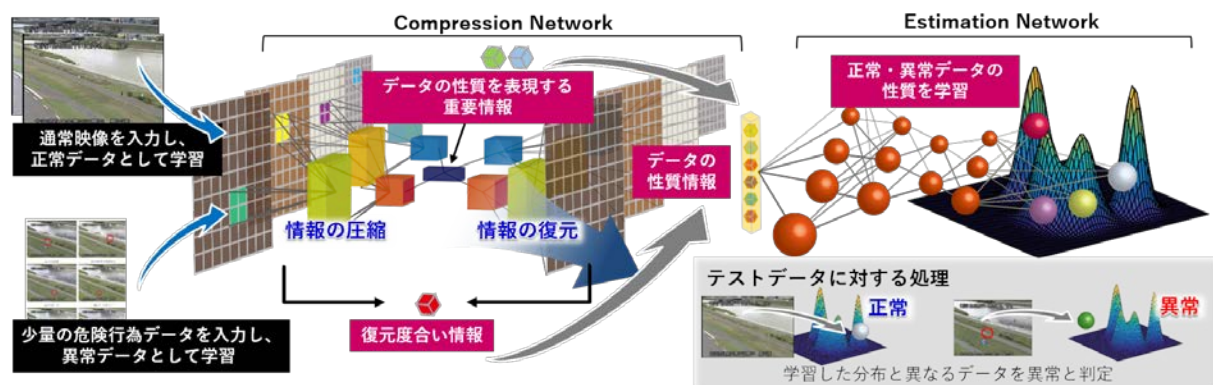


図4：異常検知に基づく危険行為検出手法の概要

構築した。一般に機械学習により行動を識別する際には、大量の学習データが必要となる。しかしながら、河川監視用のCCTV映像においては、危険行為等の自動検出が求められる一方で、危険行為に関する大量データの取得は困難であるという問題が存在した。そこで、平成30年度では、One-Class Support Vector Machine (OCSVM) [6] に基づき利用者の異常行動の検出を試みた。これにより、異常データを用いずに異常行動の検出を可能とした。令和元年度では、異常行動の性質がある程度限定される（不法投棄、高速走行、スポーツ、バーベキュー、テント設置、河川入水等）ことに注目し、少量の異常行動データを学習に組み込むことで、異常検知の高精度化を試みた。提案手法は、《特徴抽出》および《モデルの学習》の2手順により構築される。その詳細について以下で説明する。

《特徴抽出》

河川利用者の行動特徴を識別し、危険行為を予測するためには、表現能力の高い行動に関する特徴を獲得する必要がある。提案手法ではまず、CCTV映像から、背景差分法により、利用者の軌跡を取得した。具体的には、時刻 $t-1$ から時刻 t において河川利用者が進行したピクセル数を映像から取得した。さらに、広域な空間を撮像対象とする河川CCTV映像の性質を考慮し、平成30年度の研究成果を用いてCCTV カメラから離れた場所に位置する河川利用者の速さやCCTV カメラの撮像方向と水平に進む河川利用者の速さを補正する式を導出した。

《モデルの学習》

提案手法では、Deep Autoencoding Gaussian Mixture Model (DAGMM) [7] を異常検知手法のベースとして用いる。尚、図4に異常検知に基づく危険行為予測手法の概要を示す。DAGMM はCompression Network、Estimation Network の2つのネットワークから構成されている。一般に、多次元データの異常検知手法では、次元削減を行い、続いて密度推定を行う。従来手法では、この次元削減と密度推定が独立的に行われてきたため、局所最適解に陥ることや、モデルの表現力に課題があった。DAGMMでは、Compression Network と呼ばれるAutoencoder により次元削減を行うが、このときの低次元表現と、入力サンプルとデコードされた再構築サンプルとの再構築誤差を同時に用いる。これにより、データの性質を特徴として取り出すことが可能になる。つまり、より表現能力の高い河川利用者に関する特徴を得ることが可能になる。

次に、得られた特徴をEstimation Networkへ入力し、Gaussian Mixture Model (GMM) の各分布への帰属確率を算出する。ここで、Estimation Networkは、本研究においてこれまで成果が認められている多層ニューラルネットワークにより構成されている。以上で述べたDAGMMでは、Compression NetworkとEstimation Networkを同時に最適化することで、GMMの帰属確率値をもとに異常度を算出可能になる。提案手法では、河川利用者の危険行為データが限られていることから、異常行動の学習データに対し、異常度が高くなるよう、目的関数を拡張した。これにより、危険行為と思われるデータがモデルに入力された際に、正しく異常データとして検出可能とした。

提案手法の有効性を確認するための実験では、2018 年7月4日から8月31日05:00-17:00における豊平橋の河川CCTV映像から取得した、252本の河川利用者の軌跡を学習データとし、100本の河川利用者の軌

跡を評価データとした。尚、学習データのうち247本を正常データ、5本を異常データとし、評価データのうち90本を正常データ、10本を異常データとした。比較手法として、DAGMMおよび平成30年度に構築した異常行動検知手法を用いた。

本実験における評価指標について以下で説明する。上述のとおり、本実験では、100本の映像中に異常行動データが10本含まれるデータセットを用いた。評価用データに対し、構築したモデルにより異常度を算出したとき、上位10件に異常データが含まれる割合を精度とした。実験閣下を表1に示す。表1より、提案手法の精度は0.7となった。これは、異常データ10件中7件について異常度が高く検出が可能であったことを示している。また、比較手法との精度比較により、令和元年度に構築した手法の有効性が確認された。ただし、平成30年度の成果報告書における精度評価である「正解率」とは精度指標が異なっていることに注意されたい。(平成30年度の評価指標はフレーム単位の正解率であり、より実用に近い評価をするためには映像単位での比較の必要があったため、令和元年度では、上記の評価指標で評価を行っている。)

表1：各手法による異常行動検出精度

手法	異常データが上位に占める割合
提案手法	0.7
DAGMM [7]	0.6
平成30年度に構築した手法	0.5

参考文献

- [1] A. Sobral and A. Vacavant, "A comprehensive review of background subtraction algorithms evaluated with synthetic and real videos," Computer Vision and Image Understanding, vol. 122, pp. 4-21, 2014.
- [2] 川本舜, 石原賢太, 小川貴弘, 長谷山美紀, "背景差分法と深層学習による歩行者検出を用いた河川CCTV映像における歩行者追跡に関する検討," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 42, no. 4, pp. 179-183, 2018.
- [3] R. E. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems," Journal of Basic Engineering, vol. 82, no. Series D, pp. 35-45, 1960.
- [4] H. W. Kuhn, "The Hungarian method for the assignment problem," Naval Research Logistics, vol. 2, no. 1-2, pp. 83-97, 1955.
- [5] C. Kim, F. Li, A. Ciptadi, and J. M. Rehg, "Multiple hypothesis tracking revisited," in Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2015, pp. 4696-4704.
- [6] C. Cortes and V. Vapnik, "Support-vector networks," Machine Learning, vol.20, no.3, pp.273-297, 1995.
- [7] B. Zong, Q. Song, M.M. Renqiang, W. Cheng, C. Lumezanu, D. Cho, and H. Chen, "Deep autoencoding gaussian mixture model for unsupervised anomaly detection," in Proceedings of International Conference on Learning Representations (ICLR), pp.1-19, 2018.

⑦研究成果の発表状況・予定

- [1] 川本 舜, 石原 賢太, 小川 貴弘, 長谷山 美紀, “背景差分法と深層学習による歩行者検出を用いた河川CCTV映像における歩行者追跡に関する検討,” 映像情報メディア学会技術報告, vol. 42, no. 4, pp. 179-183, 2018.
- [2] 川本舜, 原川良介, 小川貴弘, 長谷山美紀, “CCTVカメラにより撮影された映像からの河川利用者の検出および行動分類に関する検討,” 映像情報メディア学会技術報告, vol. 43, no. 5, pp. 365-369, 2019.
- [3] 川本舜, 原川良介, 小川貴弘, 長谷山美紀, “CCTVカメラにより撮影された映像を用いた河川利用者の異常検出に関する検討,” 映像情報メディア学会技術報告, vol. 43, no. 5, pp. 371-374, 2019.
- [4] 渡邊はるな, 藤後廉, 小川貴弘, 長谷山美紀, “弱異常検知アルゴリズムに基づくCCTV 映像を用いた河川利用者の異常行動の検出に関する検討,” 映像情報メディア学会技術報告, vol. 44, no. 6, pp. 367-370, 2020.

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

- [1] ウェブサイト : <https://www-lmd.ist.hokudai.ac.jp/future/cctv/>
- [2] 本研究成果により得られた深層学習のフレームワークを用いた情報推薦AI技術の展示実績
※ 2018年12月5日～12月11日(札幌駅前通地下歩行空間 北2条広場にてAI技術 (KANADE-ICS) の出展を実施。本研究で開発した利用者の行動分類に関する技術を活用したAI技術を展示。
- [3] 本研究成果により得られる深層学習のフレームワークを用いた情報推薦AI技術の展示実績
※ 2019年2月4日～2月11日(さっぽろ雪まつり期間)に札幌駅前通地下歩行空間で札幌市との共同によるAI技術 (KANADE-ICSの改良版) を出展。本研究で開発した利用者の行動分類に関する技術を利用したAI技術を展示。
- [4] 本研究成果により得られる深層学習のフレームワークを用いた情報推薦AI技術の展示実績
※ 2019年12月11日～2月13日に札幌駅前通地下歩行空間で札幌市との共同によるAI技術 (KANADE-ICSの改良版) を出展。本研究で開発した利用者の行動分類に関する技術を利用したAI技術を展示。
- [5] 本研究成果により得られる深層学習のフレームワークを用いた情報推薦AI技術の展示実績
※ 2020年2月4日～2月11日(さっぽろ雪まつり期間)に札幌駅前通地下歩行空間で札幌市との共同によるAI技術 (KANADE-III) を出展。本研究で開発した利用者の行動分類に関する技術を利用したAI技術を展示。
- ※ [2-5]において、本研究の横展開の可能性が示されている。

⑨表彰、受賞歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

該当無し

⑩研究の今後の課題・展望等

平成29年度および平成30年度では、深層学習に基づく自動追跡技術を活用し、河川管理区域において検出・追跡された利用者が「どこで」、「なにを」行っているかを自動で分類可能とする技術の構築を行った。さらに、それらの行動の中から、危険行為等の異常行為を自動で検出可能とする技術の構築を行った。これらの手法では、利用者の行動解析について、国土交通省『河川空間利用実態調査』で定義された行動に限定して解析を行うことで、個人の行動解析を実現した。

令和元年度では、実際にデータ取得実験を行い、利用者の行動に関する統計情報の取得手法を構築した。また、DAGMM に基づく新たな異常検知手法を構築し、河川利用者の行動データにおける危険行為の検出・予測に応用可能であることを実験により示した。今後の課題として、令和元年度に取得したデータに基づくより詳細な実験の実施が挙げられる。異常検知モデルをあらゆるデータで検証することで、手法の汎用性や実社会応用の可能性について検討を行うことが必要となると考えられる。

以上の研究の成果により、河川巡視員が異常行為等に関する情報を迅速かつ容易に入手することが可能となるだけでなく、これまで困難であったリアルタイムでの注意喚起が可能になる。また、現場のCCTV 設備と連動したシステムが構築されれば、取得されたデータを蓄積することにより、それらの統計情報を自動的に取得することが可能となり、河川管理者による効率的なパトロール計画の策定が可能になると考えられる。したがって、以上の研究は、今後人員を増やすことが困難な河川管理において大きな役割を果たす技術として期待できる。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

石狩川水系豊平川河川整備計画においては、地域の自然環境、都市の発展、第3次産業が大部分を占めている産業、風土・文化等を踏まえて、魅力的で活力溢れる地域づくりの軸となる豊平川の整備、管理を着実に実施する必要があることが述べられており、その方策として、情報技術の活用が挙げられている。本研究では、情報技術を活用し、利用者を対象としたCCTV映像の自動解析に注目しており、その際の実現技術を応用することで、河川砂防行政への多様な貢献が期待できる。

具体的に、本研究で実現された要素技術として、河川管理区域で発生した異常行為の検出が挙げられる。この要素技術によって、危険行為や違法行為等の河川の安全を守る上で重要な情報をCCTV映像より、リアルタイムで取得可能となる。したがって、人手で河川管理区域を監視することが前提であった対応の自動化を、既存の設備により実現することが期待できる。

また、本研究で構築された利用者の行動分類技術を基にして、いつ、どこで、どの程度の人数が利用しているかの統計情報の取得、すなわち、河川環境の利用者に注目したモニタリングを自動で行うことが可能になると考えられる。したがって、国土交通省『河川空間利用実態調査』の一部自動化など作業支援への活用が期待できる。また、豊平川における河川維持管理計画では、地域連携の取組が挙げられており、地域の住民に対する河川の情報の発信を行うことが検討されていることから、本研究の技術により集計されたデータに基づいて利用者数等を中心とする統計情報の発信を行うことに貢献できる。また、河川管理者による効率的なパトロール計画の策定だけでなく、河川管理区域を利用したイベントの策案等において、情報を活用することも期待できる。