

鉄道の安全・安心を支える映像解析技術

古畑貴司*
Takashi Furuhata
岸下整明*
Nariaki Kishishita
菅谷元典†
Motonori Sugaya

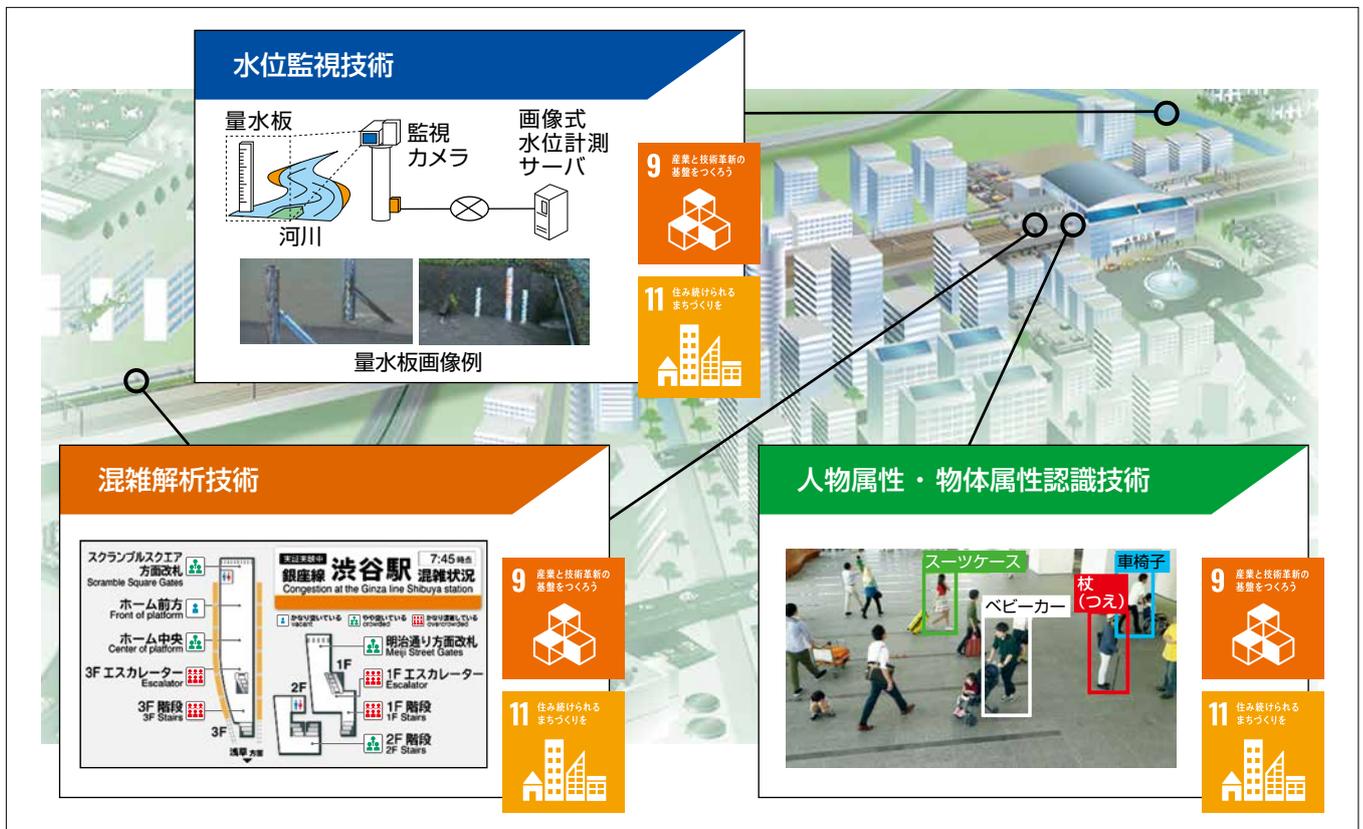
原田綾子†
Ayako Harada

Video Content Analysis Technologies Supporting Safety and Security of Railway

要旨

映像解析技術は、ディープラーニング(深層学習)技術を始めとした人工知能(AI)技術の革新と高精細化などの映像技術の進化に伴い、実用化レベルになっており、我々の生活の様々な場面で利用されている。三菱電機でもAIを用いた様々な映像解析技術を研究開発している。鉄道の安全・安心に有効と思われる技術は次の三つである。前景画像と背景画像を比較することで、複数の人物が重なってもそのエリアの人数や混雑度を高い精度で算出する“混雑解析技術”を用いて、人物を正面からとらえる撮影角度で設置される監視カメラでも混雑度の見える化を可能にしている。2020年1～4月には東京地下鉄(株)の銀座線渋谷駅ホーム移設による混雑度の見える化を目的とした実証実験を実施した。新型コロナウイルス問題に伴い、ますま

す社会に求められる技術である。近年増加傾向の豪雨による河川氾濫の被害に対しては、量水板を撮影した監視カメラの映像を画像相関法で解析する“水位監視技術”によって24時間365日の自動監視による氾濫の早期把握を可能にした。駅係員による鉄道利用者サポートの効率化を目的とした“人物属性・物体属性認識技術”は、ディープラーニング技術を用いて、車いす利用者、ベビーカー利用者といった様々な属性のパターン画像をAIに学習させ、従来の機械学習では定義が難しい曖昧な属性や、人が気づけないことの検知を可能にしている。これらの映像解析技術を活用し、鉄道の安全・安心に貢献し、さらに社会情勢や市場ニーズを踏まえた新たな映像解析技術の開発を進めていく。



鉄道の安全・安心を支える映像解析技術

監視カメラ映像を使用した映像解析技術によって鉄道の安全・安心を支える。“混雑解析技術”は駅ホームの混雑度見える化を行い、“水位監視技術”は24時間365日の自動監視による河川氾濫の早期把握が可能である。さらに“人物属性・物体属性認識技術”はディープラーニング技術を用いて駅係員による鉄道利用者サポートの効率化を図る。これらの映像解析技術を活用して鉄道の安全・安心に貢献し、国連SDGs (Sustainable Development Goals)の目標9と目標11が目指す誰もが安心して住み続けられる持続可能な街づくりに貢献する。

1. ま え が き

映像解析技術は、ディープラーニング技術を始めとしたAI技術の革新と高精細化などの映像技術の進化に伴い、我々の生活の身近なところから社会インフラに至るまで様々な場面で利用されている。当社でもAIを用いた様々な映像解析技術を日々研究開発している。

本稿では、鉄道の安全・安心の実現に有効と思われる、“混雑解析技術”、“水位監視技術”、“人物属性・物体属性認識技術”の三つの技術について述べる。

2. 混雑解析技術

鉄道の混雑緩和は、安全性の観点から長年の課題であり、以前から鉄道事業者は、混雑緩和に向けて様々な施策に取り組んでいる。今回、新型コロナウイルス問題に伴い、鉄道利用者の安全の観点から“人との距離を保つ”、“人混みを避ける”意味で、“混雑検知と把握”、そして“鉄道利用者に高精度な混雑情報を発信すること”は、ますます重要な施策になっている。この章では、それらの課題解決の助けになる技術として、カメラ映像から人数や混雑度(人密度)を高精度に計測する混雑解析技術を2020年1～4月に行った実証実験の結果を交えて述べる。

2.1 カメラ映像による混雑解析の課題

カメラ映像から人数や混雑度を計測する技術としては、人検出技術を用いて個々の人物をカウントする方式が一般的である。一方、人物を正面からとらえる撮影角度で設置される監視カメラの映像でこの従来方式を用いると、混雑時は人同士が重なり合ってしまうことによって人物を検出できず、正確に人数を計測できないという課題があった。したがって、監視カメラで混雑解析を行うためには、人物同士が重なり合う映像でも正確な人数や混雑度を計測する映像解析技術が必要である。

2.2 前景抽出に基づく混雑解析技術

2.1節で述べた課題に対して、当社は、映像の前景抽出を利用して映像内の人数や混雑度を計測する技術を開発している。この技術では、あらかじめ撮影した背景画像と対象画像を比較し、前景(背景に存在していない物体領域)を全て人物とみなし、前景の面積から人数を推定する群集モデルを用いて混雑度を計測する。この群集モデルは、人物同士の重なりや見え方を考慮したモデルになっており、混雑時でも正確な混雑度の計測が可能になる。

2.2.1 高精度な前景抽出

前景抽出に用いる背景画像は無人の必要があるため、夜間の営業時間外に撮影した画像を用いる。一方対象画像は、外光や照明の影響で、背景画像とは明るさが異なることが多い。一般的な前景抽出方式である輝度差分方式を用いると、明るさが変化した背景領域を誤って前景領域として抽出するおそれがある。

混雑度を高精度に計測するには、前景を正確に抽出する必要があり、今回、誤検出を低減するため、テクスチャ類似度に基づく前景抽出方式を採用した(図1)。テクスチャ類似度とは、画像内の局所的な濃淡構造(模様)の一致度を評価する尺度である。背景画像と対象画像で濃淡構造が一致していれば、明るさが異なっていても類似度が高い値になる。類似度が高い領域を背景、低い領域を前景と判定することで明るさの変化に頑強な前景の抽出を実現している。

2.2.2 群集モデルを用いた人数と混雑度の計測

人物一人当たりが画像内を占める面積を既知の情報として、前景の面積から人数及び混雑度を推定する手法を採用している。混雑度が高くなるにつれ、人物同士の重なりが増加するため、前景面積と人数の関係は線形にはならない。この方式では人物同士の重なりを考慮した前景面積と人数の関係式(以下“群集モデル”という。)を用いる。群集モデルのイメージを図2に示す。各エリアでの群集モデルの構築に当たっては、次の手順で行っている。様々な人数の群集画像を用意し(図2の①)、これらの群集画像の前景抽出結果を生成する。これらの前景抽出結果から前景面積を求めると、人数と前景面積の関係性を示すデータ分布が得られる(図2の②)。

撮影画角内の人数推定には、群集モデルから前景面積を人数に変換し、そこから、推定人数と計測範囲から混雑度を推定する。人物同士の重なりが発生している混雑度の群集画像を用いて群集モデルを作成しておくことで、混雑時

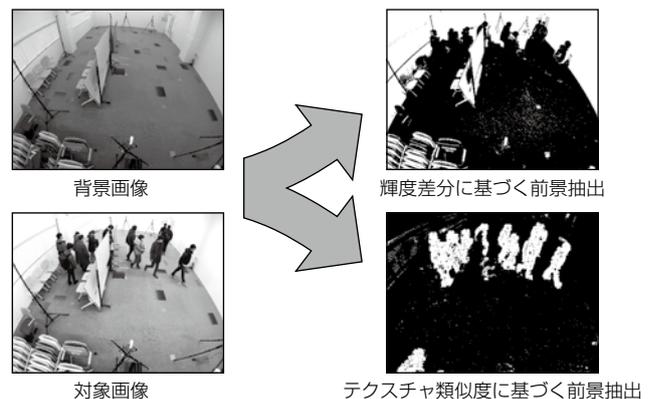


図1. 前景画像抽出結果(白:前景, 黒:背景)

① 様々な混雑度(人数)の前景画像を用意



② 人数と前景面積の関係式(群集モデル)を導出

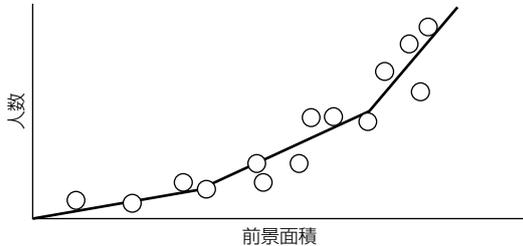


図2. 群集モデルの作成

でも高精度な人数と混雑度の推定を可能にした。この技術によって、混雑時でも駅の監視カメラ映像を用いて85%以上の精度での人数計測を実現した。

2.3 鉄道での実証実験

東京地下鉄(株)と共同で、この混雑解析技術を用いて銀座線渋谷駅の混雑度を計測し、銀座線車両の車内ディスプレイ(以下“トレインビジョン”という。)を用いて、列車内の鉄道利用者に混雑情報を提供する実験を2020年1月23日から同年4月30日までの約3か月間実施した⁽¹⁾(図3)。

混雑度の解析技術の精度評価、混雑情報の旅客案内への有効性の評価を目的にしている。

2.3.1 実証実験のシステム構成

渋谷駅構内の監視カメラ映像から混雑解析装置が混雑度を自動解析し、主要箇所の混雑度を“空いている(0.6人/m²未満)”, “混雑している(0.6人/m²以上~1.4人/m²未満)”, “かなり混雑している(1.4人/m²以上)”の3段階に分けて、リアルタイムな情報を配信している。図4は、実証実験のシステム構成を示す。なお、実証実験に当たり、監視カメラの映像データは、外部からアクセスが不可能な混雑解析装置で解析し、解析終了後には自動で映像データを削除することで個人情報の保護に万全を期している。

2.3.2 案内方法

スマートフォンのアプリケーションなどを用いた混雑情報を通知する取組みは、様々な鉄道事業者で行われている。アプリケーションはどこでも見ることができる一方、能動的な操作を要するため、鉄道利用者に自主的に確認してもらう必要がある。今回、乗車中に鉄道利用者がより容易に混雑情報を取得できるよう、トレインビジョンへの表示を

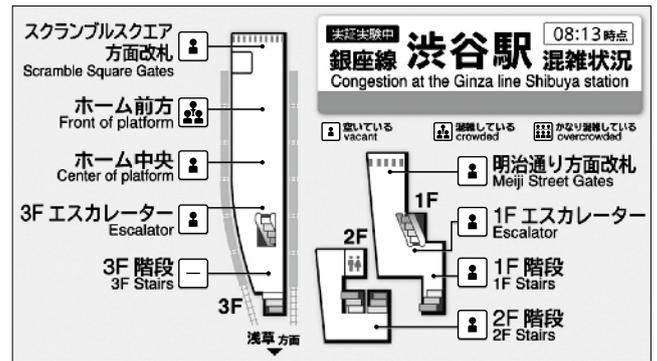


図3. トレインビジョンでの混雑情報表示の例

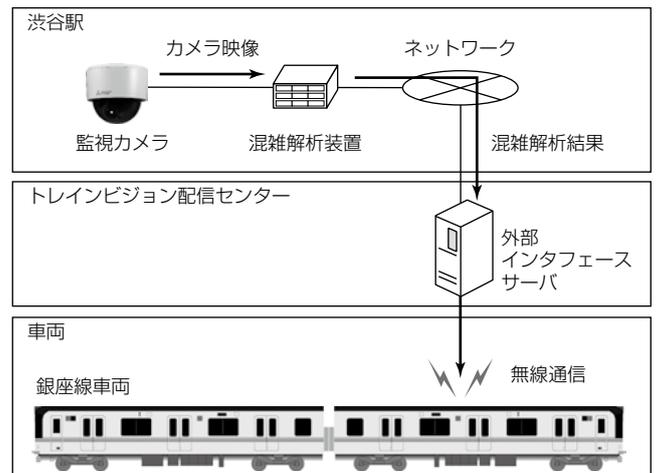


図4. 実証実験のシステム構成

行った。実証実験で乗車中の鉄道利用者が到着駅構内の混雑度を前もって確認することで空いている改札の選択、他路線の利用など行動選択が可能になることを評価している。

2.3.3 結果と考察

駅の既設の監視カメラと混雑解析装置を用いた混雑度情報、案内した“空いている”, “混雑している”, “かなり混雑している”という情報は実際の駅の混雑度に即した情報になっていることをサンプル画像から目視計測した人数の真値と照らし合わせる形で確認した。これによって、新たに混雑解析専用のカメラを設置することなく設備・工事コストを抑えて混雑度を正確に把握し、鉄道利用者に混雑情報として提供することが可能になった。また、鉄道利用者に行ったアンケートでは、混雑情報が誘導に有効である一方、鉄道利用者全てに情報が行きわたるように、アプリケーション、トレインビジョンだけでなく、商業施設や改札前サイネージ、音声放送など複数のチャンネルで案内する必要があることが示唆されている。今後、混雑解析技術の列車内適用、高精度な混雑予測技術の開発などを進めながら、利用目的などで鉄道利用者の行動パターンを整理し、複数手段での適切な案内方法を検討していく。

3. 水位監視技術

令和元年の台風19号が鉄道網にもたらした水害による甚大な被害は記憶に新しい。従来の水位監視では、フロート式や水圧式等の水と接触する水位センサを使用していたが、洪水時等で水位観測所局舎の倒壊や水位計の流出が懸念される。年々激甚化する水害に備え、人手に頼らず、24時間365日にわたって水位を監視できるよう、当社では、河川から比較的離れた場所に設置した監視カメラの映像からAIを用いて水位の変化を計測する画像式水位計測アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムを適用して監視員の業務負担を増やすことなく河川の増水を監視する水位観測システムの提供が可能である(図5)。今回、画像式水位計測アルゴリズム及び評価実験結果について述べる。

3.1 画像式水位計測アルゴリズム

河川の最低水位時に撮影した量水板の画像(基準画像)と水位計測対象画像との相関によって水面の位置を検出する。

3.1.1 方式

河川に設置されている水位の目視計測を目的とした量水板を被写体として、基準画像(量水板全体が水面上に露出した画像)と計測対象画像とを画像相関によって比較し、量水板上の水面の位置を検出する。画像相関法による画像の比較は、明度やコントラストの違い及び局所的な不一致に対して有効であり、環境の変化に頑強な水位計測の実現を可能にする。

3.1.2 処理フロー

画像式水位計測アルゴリズムの処理フローは次のとおりである(図6)。

- (1) 最低水位時(量水板が全て水面上に露出)の映像から量水板を示す領域(テンプレート)を設定し、水位高(上端/下端)を入力することで基準画像定義を行う(図6(a), 図7(a))。

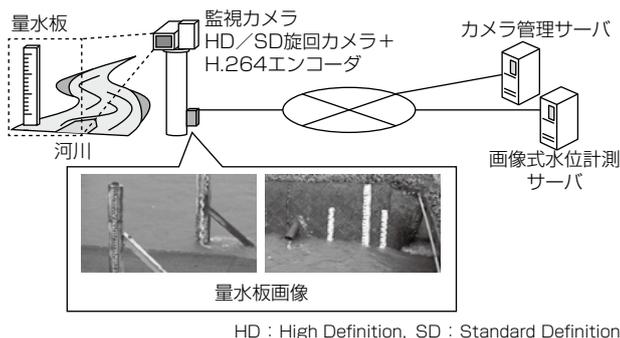
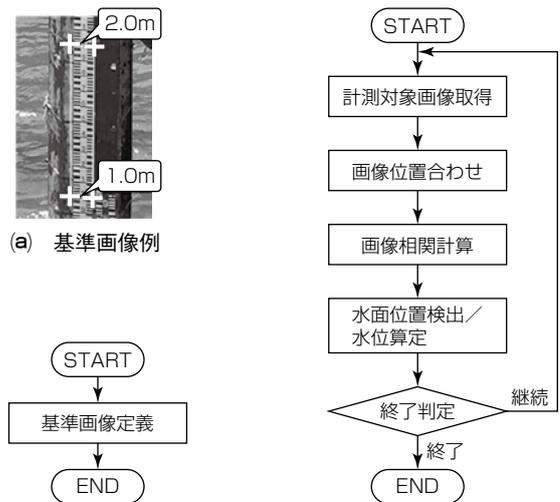


図5. 画像式水位計測システムの適用例

- (2) 計測対象画像(1 fps(frames per second))を取得する(図7(b))。
- (3) 基準画像と計測対象画像間の最大数十画素のずれ(カメラ位置決め精度, カメラ設置ポールの揺れ等)をテンプレートマッチングによって補正する(図7(c))。
- (4) 計測対象画像の量水板と量水板テンプレートの間で小領域ごとの相関係数を求め、マップ化する(図7(d))。
- (5) 相関係数マップを縦方向にスキャンして勾配を求め、(図7(e))勾配の最大位置を水面上領域と水面下領域の境界(水面の座標)として検出する(図7(f))。
- (6) 検出した水面の座標から量水板目盛りに対する平均位置を決定して量水板、テンプレート定義時に入力した画像座標と水位高値から水位に換算する(図7(g))。

3.2 評価実験

カメラ映像はフルHD(1920×1080)を使用した。2地点の量水板によって、設置条件や天候の異なる24時間の映像を評価対象とした(図8)。画像ごとの水位計測結果と目



(b) 基準画像定義処理フロー (c) 水位計測処理フロー

図6. 画像式水位計測アルゴリズムの処理フロー(2)

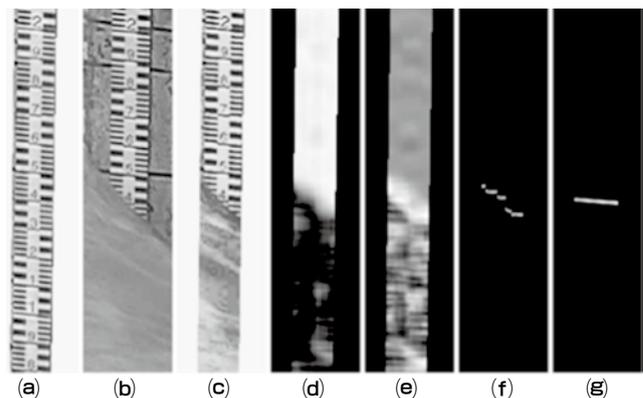
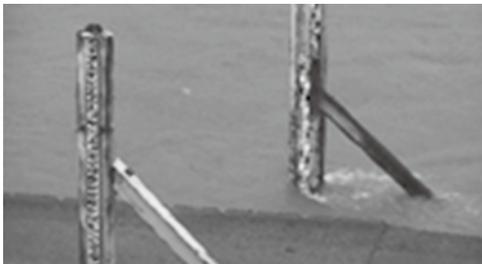
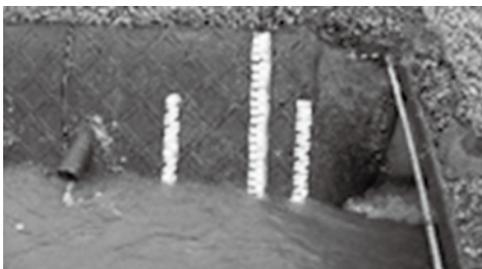


図7. アルゴリズムの動作結果の例(2)

視による水位読み取り値とを比較したグラフを図9に示す。目視読み取り値を真値とした場合の処理結果のRMSE(二乗平均平方根誤差)は地点Aでは1.6cm, 地点Bでは1.7cmであった。鉄道事業者の効率的な河川監視と早期対策への貢献が期待できる。

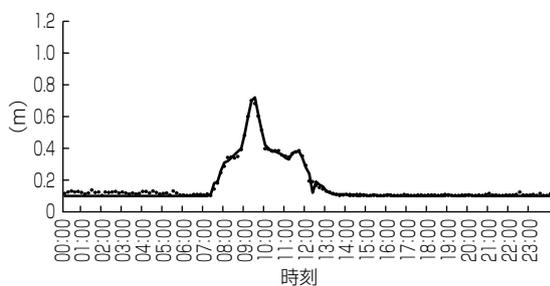


(a) 地点A

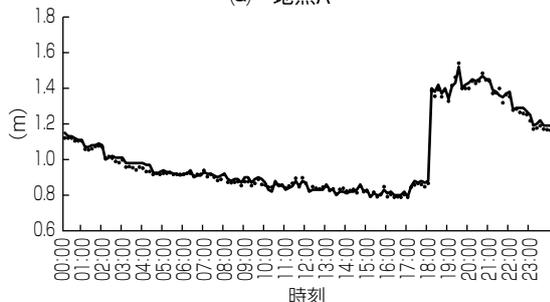


(b) 地点B

図8. 計測地点の撮影映像例⁽²⁾



(a) 地点A



(b) 地点B

図9. 計測結果⁽²⁾

4. 人物属性・物体属性認識技術

労働力人口が減少する中、AIの発達に伴い、技術革新が著しい機械警備は、様々な場面で利用され始めている。当社では、AIを用いて、監視カメラの映像から、その人物の属性を認識する“人物属性認識技術”と物体そのものの属性を認識する“物体属性認識技術”を開発した。今回、これらの技術を述べるとともに、鉄道の運用での技術適用(図10)への期待について述べる。

4.1 人物属性認識技術

4.1.1 ディープラーニング技術

従来の機械学習を活用した映像解析、例えば顔認証ではスキルのある技術者が顔の特徴量である目の中心や唇の端などの位置や距離から計算される値を定義し、それを検出する複雑なアルゴリズムを作りこむ必要があったが、ディープラーニング技術で画像認識を行うことによって、これまで人が定義していた特徴をAIがつかむことができる。

4.1.2 学習プロセスと精度

ディープラーニング技術で重要になる学習プロセスでは、どのような画像をどれほど用意できるかが重要であり、その学習後の検知結果を評価してチューニングするといったプロセスが検知結果の精度に大きな影響を与える。例えば、ベビーカーを押している人物を検知する場合、OK画像(ベビーカーを押している人物)とNG画像(ベビーカーを押していない人物)を大量に与えると、AIは2種類の画像群の異なる箇所を自動的に計算し、ベビーカーを押している人物の画像だけに現れる特徴を抽出してOK/NGを判定する。図11は学習データ数と精度及び人物画像のどこに特徴があるかを可視化したものである。図の左下の人物画像に対し、学習データが増加するほど対象物の特徴を

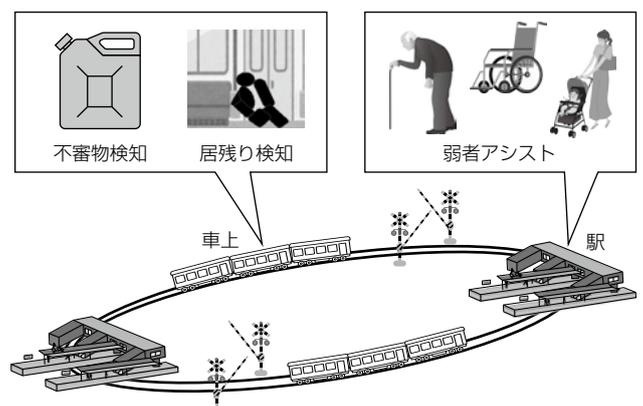


図10. 鉄道の運用での技術適用の例

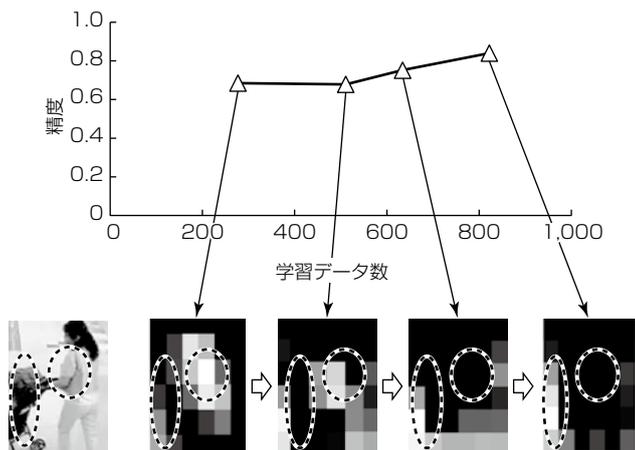


図11. 学習データ数による精度，特徴抽出の可視化

正しくとらえていることが分かる(白いほど強い特徴として判定する)。このデータを見ながら精度を確認して不足するデータを集める。

4.1.3 鉄道駅への適用例

当社のAI技術“Maisart”を活用した映像解析ソリューション“kizkia”⁽³⁾は、人物属性認識技術によって人物属性検知、置き去られた物体等の検知機能を備えており、従来の機械学習では定義が難しい曖昧な属性や、人が気づけないことの検知を可能にしている。kizkiaを用いて図12に示すようなシステムを構成することによって、駅構内で車いすや白杖(はくじょう)を使用する障がいのある人物をリアルタイムに検知することが可能である(図13)。検知し

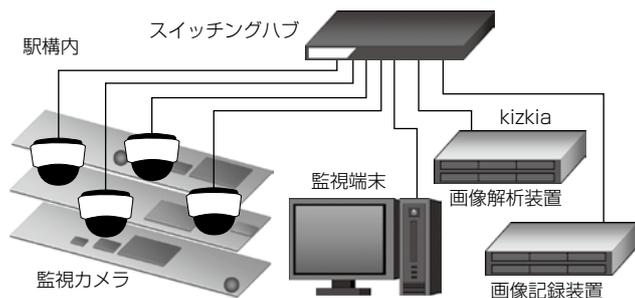


図12. 映像解析ソリューションkizkiaの駅システム構成例

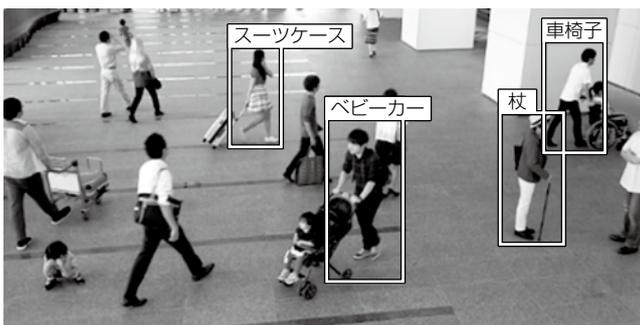


図13. 映像解析ソリューションkizkiaの検知例

た結果を駅係員に通知して事故を未然に防ぐなど、サポートが必要な鉄道利用者への早急な対応が可能な安全・安心を実現する監視カメラシステムを提供する。

4.2 物体属性認識技術

映像解析ソリューションkizkiaで使用しているMaisartで、物体の位置検知と識別を同時に学習することで高速かつ高精度な物体属性検知も可能である。従来技術では物体の領域ごとにニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network: CNN)で特徴量抽出するため処理時間が長かったが、シングルショットと呼ばれる手法によって物体の位置検知と識別を同時に学習して短時間処理を可能とするとともに、特徴量の抽出範囲を任意に変えることで、同じ画像に映りこむ大きさの異なる複数の物体を一つのCNNで検知可能にした。その結果複数の検知対象に対してCPUの高スペック化を抑え、解析装置の小型化を実現している。この技術を使用した画像解析装置を車両に設置し、居残り検知や不審物検知を行うことで、乗務員支援として終車点検の自動化、避難時の取り残し防止、不審な放置物の検知を実現する。

5. む す び

これまで、監視カメラを用いたセキュリティシステムはライブ映像監視及び記録映像の事後確認による“そのときと近い過去を見る”だけであったが、今後は映像解析技術を用いて人の目では気づけなかった事象をリアルタイムで検知し、リアルタイムに対応する等セキュリティ用途に限定されない応用展開が期待されている。加えて新型コロナウイルスの影響を契機に、3密回避等、混雑解析技術がもたらす混雑情報の提供価値は相対的に向上していくと考える。次に、水位監視技術は、気候変動によって水害が激甚化している日本で、効率的な河川監視と早期対策の面で安全な鉄道運行や水害の最小化に役立っていくと考える。人物属性・物体属性認識技術は、労働力人口が減少していく中、鉄道事業者のサポート、危険な事象に対する監視業務の効率化を実現し、誰もが安心して移動できる鉄道に貢献する。これらの映像解析技術を活用して鉄道の安全・安心に貢献し、さらに社会情勢や市場ニーズを踏まえた新たな映像解析技術の開発を進め、誰もが安心して住み続けられる持続可能な街づくりの実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 井上一成, ほか: 銀座線渋谷駅「混雑度見える化」実証実験, JREA, 63, No.8, 44300~44304 (2020)
- (2) 服部亮史, ほか: 画像処理を活用した水位観測システムの実現, 三菱電機技報, 91, No.6, 333~336 (2017)
- (3) 中尾堯理, ほか: AIを活用した映像解析ソリューション“kizkia”, 三菱電機技報, 92, No.8, 442~446 (2018)