

# 画像に基づく歩容解析 -個人認証及び属性推定-

村松 大吾\*<sup>1</sup>

## Image-based Gait Analysis Person Verification and Attribute Recognition

Daigo MURAMATSU\*<sup>1</sup>

**ABSTRACT** : Image-based gait analysis methods proposed by authors' group are described in this paper. Silhouette-based gait features are extracted from gait image sequences, and the extracted features are used for person verification tasks and person attribute estimation tasks such as age and gender. As the gait verification tasks, approaches for issues of view difference, belonging difference, and occlusion are explained. For the view issues, view transformation-based approaches and CNN-based view-invariant approaches are explained. For the issue of belonging difference, joint intensity and spatial metric learning method is briefly explained. And for occlusion issue, subspace-based gait regeneration methods and a WGAN-based silhouette image sequence reconstruction method are explained. And as an application for gait verification, gait verification system for criminal investigation is introduced.

**Keywords** : biometrics, gait, person recognition

(Received Dec. 21, 2020)

### 1. はじめに

人の身体的特徴や行動的特徴に基づき、自動的に人物を特定する技術は生体認証（バイオメトリクス）と呼ばれ、様々なモダリティが検討されている。最も身近なモダリティは顔であり、顔認証は今や様々なデバイスに搭載され、日常的に利用されている。顔以外のモダリティには、指紋や虹彩、静脈といったものが、身体的特徴に基づくバイオメトリクスである。行動的特徴としては、筆記動作に基づく署名や、歩行動作に基づく歩容などがある。

バイオメトリクスはこれまで、デバイスへのログイン、ATMでの現金引き出し、特定エリアへのアクセスなどにおける人物認証の目的で利用されており、認証に用いる特徴を適切に取得できるセンサでデータが取得されることが大前提であった。しかしながら、近年、必ずしも認

証目的で設置されたわけではないセンサから得られた情報を用いて認証等を行いたい、という需要が増えている。例えば街頭には、防犯カメラや見守りカメラといった呼称で多数のカメラが設置されている。これらのカメラは文字通り、犯罪が発生することを未然に防ぐためや、特定の地域の子供を見守る目的で設置されているが、犯罪が発生した際には、それらのカメラで撮影された映像が、犯罪捜査の対象となりうる。例えばカメラが犯行現場の映像をとらえていれば、その映像に映りこんでいる人物から犯人の特定や、犯人特定につながる情報の抽出がなされる。この際、利用候補となりうる技術は、防犯カメラなどのように遠距離から人物を撮影した場合であっても抽出可能な特徴を用いたものである。バイオメトリクスに着目すると、顔認証や歩容認証がその候補となりうる。対象となる映像上に顔画像が鮮明に映っている場合には、顔認証技術は非常に有効となりうるが、実際の映像では、対象人物が小さく十分な解像度の顔映像が得られない場合や、映像が暗すぎて顔情報が十分に得られな

\*<sup>1</sup> : 情報科学科教授 (muramatsu@st.seikei.ac.jp)

い場合が少なくなく、またマスクや帽子等で顔が隠されている場合や、後ろ姿しか映っていない場合には、顔認証技術の適用は困難となる。そのような場合でも歩容認証が適用できる可能性がある。歩容認証は、人の歩く姿を認証特徴として利用する技術であり、全身情報を利用するため、低解像度の人物であっても認証できる可能性がある。また、人物が後方から撮影されている場合や、マスクなどで顔が隠されている場合であっても認証できる可能性がある。実際英国では強盗事件の裁判証拠として歩容情報が利用されたケース<sup>1)</sup>があり、また日本においても歩容が犯人特定に利用され、裁判の証拠として利用されたケースが存在する<sup>2)</sup>。

また歩容は、人物特定のみならず、その人物の年齢や性別などの属性推定、健康状態推定にも利用可能であり、人流解析やマーケティング目的、見守りにおいて高い需要が存在する。著者はこれまで、映像に基づく歩容を対象とした人物認証<sup>3)~10)</sup>や属性推定<sup>11)~13)</sup>の研究を進めてきた。本稿では、それらの研究を簡単に紹介する。近年、映像解析技術においては、畳み込みニューラルネットワーク (CNN: Convolutional Neural Network) を用いた手法が主流となっており、著者の研究も現在はCNNを用いたものが中心となってきているが、本稿では、CNN適用以前に実施していた研究についても触れる。

## 2. カメラ映像を対象とした歩容特徴表現

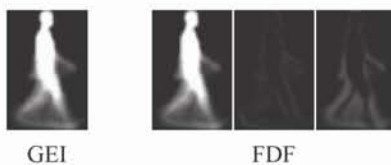


Fig. 1 Appearance-based gait feature

歩容情報を取得するための方法は大きく二つある。一つはカメラを用いて対象人物を離れた場所から観測し、映像として取得する方法であり、もう一つは、ウェアラブルセンサを対象人物に装着して、各種データを時系列信号として計測する方法である。本稿では前者の映像を用いた方法を対象とする。

映像を用いた歩容解析手法は、モデルベース手法とアピアランスベース手法に分類できる。モデルベースの手法は、人体モデル当てはめを行い、歩容を関節角などのパラメータなどで表現する方法である。一方でアピアランスベース手法は、映像の見えをそのまま利用する手法であり、人物領域をシルエットとして抽出して利用する機会が多い。シルエットが用いられるのは、着衣の色や

テクスチャの影響を抑えるためである。著者はこれまでアピアランスベースの手法を中心として研究を行ってきた。そのため、本稿ではアピアランスベースの手法を中心に記述をする。

Fig. 1 にアピアランスベースの手法でよく利用される歩容エネルギー画像 (GEI: Gait Energy Image)<sup>14)</sup> や周波数特徴 (FDF: Frequency Domain Feature)<sup>15)</sup> の例を示す。歩行動作は左右それぞれ一歩ずつの計二歩の周期運動とみなせる。GEIは、人物の歩行映像から抽出したシルエット画像列を、サイズ正規化をし、位置合わせをした上で、一歩行周期分を平均した特徴であり、体幹に対し、相対的動きのある部分と動きのない部分の違いが明確に表されている。一方FDFは、3チャンネルの画像から構成されている画像特徴であり、一番左はGEIであり、真ん中は一歩行周期中に一度現れる成分、つまり左右非対称の成分、一番右は、一歩行周期中に二度現れる成分、つまり左右対称の成分が表現されている。GEIやFDFは比較的簡単な特徴表現にもかかわらず、大規模データベースにおいて妥当な精度が達成できると報告されている<sup>16)</sup>。

## 3. 映像に基づく歩容認証における課題と対策

### 3. 1 アピアランスベース手法の流れと課題

2章で記載したように、アピアランスベースの手法では、GEIやFDFなどの画像歩容特徴を抽出した上で、抽出した特徴がどの程度似ているのか、異なるのかを類似度や相違度などを用いて定量化することで認証を行う。この方法では、同一人物の特徴が類似しており、他人の特徴は類似していない、ということが重要である。歩容は行動的な要因を含むため、同一人物の歩容特徴であっても全く同じにはならない。それ以外に、次にあげる要因により、映像から抽出された歩容特徴は大きく変わってしまうことがある。

- A) 視点の違い
- B) 服装や荷物所持の違い
- C) 隠蔽

実際は、A) ~C) は、仮に対象人物が全く同一の歩行をしていたとしても、取得される特徴が異なってしまうのである。これら以外にも、路面状況や歩行速度、歩行意図、体調など、対象人物の歩行自体を変えてしまう要因もあり、これらへの対応も、実環境の歩行映像解析の実用化に向け重要な課題である。

3. 2 視点の違いへの対応

Fig. 2 に、歩行人物を異なる多視点同期カメラから撮影した映像より抽出したある瞬間のシルエット画像を示す。図からわかるように、同一人物の歩行を同一タイミングで撮影しても、視点によりその画像が大きく異なることがわかる。そのため、異なる視点間での歩容認証は同一視点間での歩容認証と比較して認証精度が大幅に劣化してしまう。その劣化を防ぐ手法の一つが、歩容特徴の変換により同一視点の歩容特徴を作り出す手法である。この手法は、視点変換モデルと呼ばれる手法であり、変換元と変換先のそれぞれの視点からの歩容特徴セットを多数集め、それを学習データセットとしてモデルを学習する。



Fig.2 Silhouette images from different views  
© [2015] IEEE. Reprinted, with permission, from reference 3)

この手法の欠点は、現実的に集めることができる学習データセットの視点が離散的になってしまうことであった。この問題に対し、著者らは、3次元歩行モデルを構築し、その3次元歩行モデルを任意の視点に投影することで、任意視点の視点変換モデルを構築した<sup>3)</sup>。さらに、視点変換モデルにおいては、視点変換に関する品質尺度の導入による高精度化<sup>4)</sup>や、変換一貫性という概念の導入

による高精度化を実現した<sup>5)</sup>。視点変換モデルは、異なる視点の歩容特徴を作成した上で認証に用いる、いわゆる生成的手法と呼ばれるものである。

視点変換モデルとは異なるアプローチとして、深層学習に基づく識別的手法の研究も進めた。GEINet<sup>6)</sup>と呼ばれる、畳み込み層と全結合層を組み合わせたAlexNet<sup>17)</sup>を簡素化したモデルを構築し、異なる視点の歩容特徴を学習させることで、歩容特徴から視点に不変な特徴を抽出し、高精度化を実現した。さらに、ネットワーク構造などを問題設定に応じて工夫し (Fig. 3)、歩容認証の性質に応じてネットワークを使い分けることで、さらなる高精度化も実現している<sup>7)</sup>。

3. 3 荷物所持の違いへの対応



Fig.4 Examples of carrying status  
© [2017] IEEE. Reprinted, with permission, from reference 8)

Fig. 4 に荷物所持の影響による歩容の違いを示す。図からわかるように、荷物所持の影響を受ける場所は様々であるため、学習に基づき空間的にその場所を推定して対応する手法はうまくいかない。そこで、輝度共起に着目し、計量学習により精度改善を実現する手法を提案した<sup>8)</sup>。Fig. 5 にその概念図を示す。認証では歩容特徴間の相違度等を計算することを説明したが、相違度を計算する場合には、一般的な手法では対応する画素の輝度値

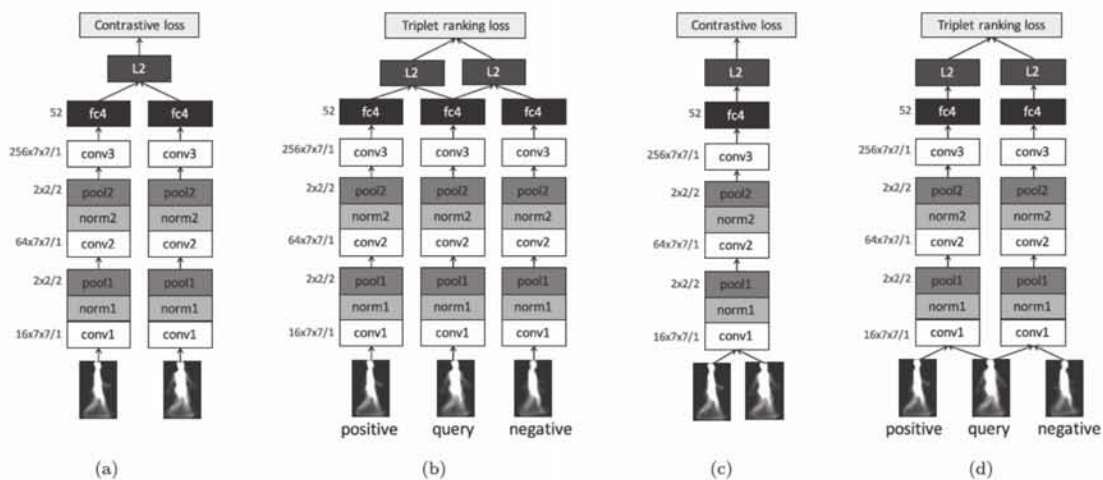


Fig. 3 Network architectures of CNN-based cross-view gait recognition  
© [2019] IEEE. Reprinted, with permission, from reference 7).

の単純差（例えば差の絶対値）を足し合わせていくことになる。しかし、提案手法では、比較する輝度の共起に着目し、同一人物の荷物所持違いにより生じる輝度共起と、人物の違いにより生じる輝度共起で、その差を異なるように学習できる枠組みを考えることで、荷物所持の違いに頑健な手法を構築した。

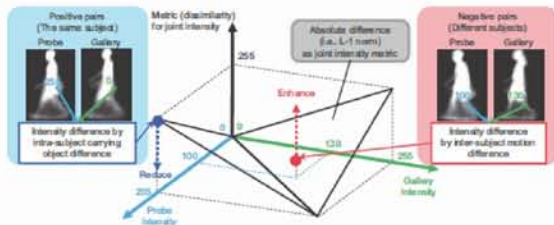


Fig.5 Concept of joint intensity metric learning  
© [2017] IEEE. Reprinted, with permission, from reference 8)

3. 4 隠蔽への対応

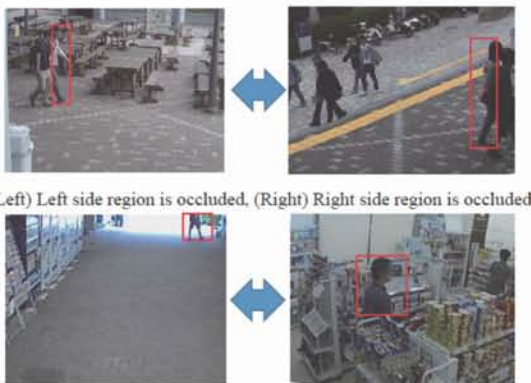


Fig.6 Examples of occlusion in real scene  
© [2015] IEEE. Reprinted, with permission, from reference 9)

実環境での歩容認証においては、様々な理由により隠蔽が生じ、全身歩容特徴が利用できない状況が生じる。Fig. 6は隠蔽が生じる例である。例えば認証において、隠蔽がある場合でも、比較する歩容特徴間で共通部分が観測されていれば、共通部分を用いた認証が可能となるが、Fig. 6の例のように共通部分が観測されないケースも生じる。このような場合でも認証できる手法として歩容再生 (Gait Regeneration) を提案している<sup>9),10)</sup>。提案手法では、隠蔽のある歩容特徴から全身歩容特徴を再生することで認証を実現している。文献<sup>9)</sup>においては部分空間法を用いた手法により歩容特徴を再生する方法を提案した。さらに、歩容らしさを考慮することで精度改善を

実現している。Fig. 7は、歩容再生に歩容らしさを考慮した上で、隠蔽のある歩容特徴から全身歩容特徴を再生したものである。この実験では、左半分のみが観測できる歩容特徴から、全身歩容特徴を再生したものである。

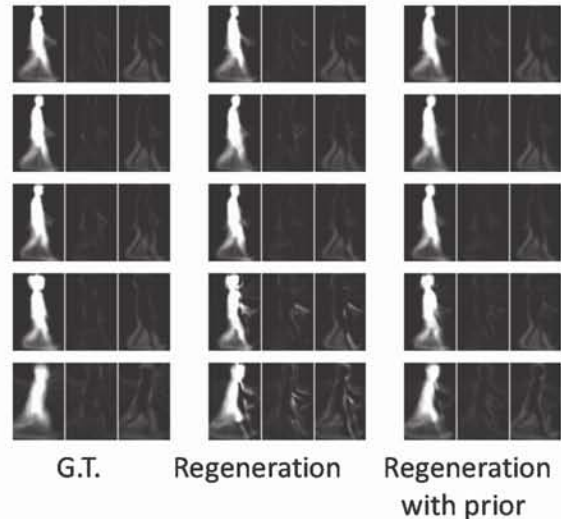


Fig.7 Examples of regenerated gait features from occluded gait features

その後、WGAN<sup>18)</sup>を導入し、歩容特徴を再生するのではなく、シルエット系列を再生する手法<sup>10)</sup>の提案も行っている。この手法では、シルエット系列の再生誤差に加え、同一人物のシルエット系列は類似し、他人のシルエット系列は類似しないような項も損失関数に加えることで、さらなる高精度化を実現している。また、隠蔽領域も人物に対して静的なもののみでなく、動的なものも検討し評価を行っている。

4. 歩容に基づく人物属性等の推定

歩容からの人物属性の研究としては、歩容からの年齢推定<sup>11),12)</sup>性別推定<sup>13)</sup>などがある。基本的には、GEIを入力とし、年齢などの属性ラベルを正解ラベルとして識別問題や回帰問題を解くことで推定を行っている。ただ、歩容における年齢推定の場合には、個人によりその推定年齢の幅や信頼度が異なるため、ラベル分布を考慮する枠組みを利用して高精度化を実現している<sup>12)</sup>。

性別推定においては、単なる識別問題を解くだけでなく、Siameseネットワーク<sup>19)</sup>を利用して特徴空間に制約を加えるなどの研究も実施している。また、年齢や性別とは異なる属性として、性格と歩容の関係解析も実施をした。こちらに関しては、現時点では有効な手法の確立には至っていない。なお、属性推定を個人認証と組み合わせ

せることで精度向上をはかる研究も進めており、その研究では、仮想ラベルを準備し、それを学習することで認証精度の向上を実現している<sup>20)</sup>。

## 5. 歩容認証の応用事例

歩容認証の応用事例として、歩容鑑定システム<sup>21)</sup>がある。歩容鑑定システムは、犯罪捜査支援向けのシステムとして開発されたものであり、二つの歩行映像から、その映像内の人物が同一人物なのかを鑑定するシステムであり、鑑定結果を本人事後確率の形で出力する。このシステムでは、映像からシルエットを生成する機能、シルエット系列から歩容特徴を作成する機能、視点変換や、認証に適さない部分をマスクングする機能、そして、歩容特徴の相違度から、観測視点、空間解像度、時間解像度、マスク領域を考慮して本人事後確率を計算する機能が実装されている。このシステムは2013年より科学警察研究所において試験的に運用が開始されている。

## 6. むすび

本稿では著者らがこれまで進めてきた画像に基づく歩容解析の研究を紹介した。画像に基づく手法は近年の深層学習の進展により今後益々精度が改善していくと考えられる。したがってここで紹介した手法はすでに少し古い手法となっている。そのため、より洗練された手法を開発することで、これまで以上に高精度の認証手法を構築していきたいと考えている。

また、歩容認証において、重要な課題である、歩行自身が変わってしまう問題にも取り組んでいく。この課題においては、影響を与える要因に不変な特徴を、敵対的学習のフレームワークにより生成する方法を検討しており、ほかにもいくつかのアイデアがあるのでそれらの有効性を検証していく。

さらに、著者自身は歩容のみに限らず、映像中の人物解析に興味を持っている。これまであまり研究がなされていない、例えば全力で走って逃げる人物の認証や、自転車に乗っている人物など、実環境において様々な形で移動している人物の認証手法についても研究を進めていく予定である。

近年多数の防犯カメラが設置され、それらの利用可能性が検討されているが、一方でカメラ映像には個人情報が含まれ、またプライバシー情報も含まれる。また、個人認証においては、認証精度のバイアス問題など、倫理的な問題に配慮する必要もあるし、カメラ設置や利用

に関しては、色々と議論すべき課題が多い。著者は大阪大学吹田キャンパスに多数のカメラを設置し、実験利用する研究も進めてきたが<sup>22)</sup>、それらを通して、解決すべき課題が多数あることを痛感している。防犯カメラの利用技術を研究するのみならず、カメラの利用や技術利用に関する倫理的・法的・社会的課題についても取り組んでいく予定である。

## 謝辞

本稿で紹介した研究はJSPS科研費 15K12037、17H02000、20H04188 の助成を受けて実施したものである。

## 参考文献

- 1) I. Bouchrika, M. Goffredo, J. Carter, and M. Nixon, "On using gait in forensic biometrics," *Journal of Forensic Sciences*, Vol.56, No.4, pp.882--889, 2011
- 2) 黒沢 健至, 「防犯カメラ映像の解析技術」セイフティエンジニアリング, Vol.185, pp.21--25, 2016年12月
- 3) D. Muramatsu, A. Shiraishi, Y. Makihara, Md. Z. Uddin, and Y. Yagi, "Gait-based person recognition using arbitrary view transformation model," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.24, Issue 1, pp.140--154, 2015
- 4) D. Muramatsu, Y. Makihara, and Y. Yagi, "View transformation model incorporating quality measures for cross-view gait recognition," *IEEE Trans. Cybernetics*, Vol.46, No.7, pp.1602--1615, 2016
- 5) D. Muramatsu, Y. Makihara, and Y. Yagi, "Cross-view gait recognition by fusion of multiple transformation consistency measures," *IET, Biometrics*, Vol.4, Issue 2, pp.62--73, 2015
- 6) K. Shiraga, Y. Makihara, D. Muramatsu, T. Echigo, Y. Yagi, "GEINet: view-invariant gait recognition using a convolutional neural network," *Proc. of the 8th IAPR Int. Conf. on Biometrics (ICB 2016)*, pp.1--8, Halmstad, Sweden, Jun. 2016
- 7) N. Takemura, Y. Makihara, D. Muramatsu, T. Echigo, and Y. Yagi, "On input/output architectures for convolutional neural network-based cross-view gait recognition," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.29, No.9, pp.2708--2719, Sep. 2019

- 8) Y. Makihara, A. Suzuki, D. Muramatsu, X. Li, and Y. Yagi, "Joint intensity and spatial metric learning for robust gait recognition," Proc. of the 30th IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern recognition (CVPR 2017), Jul. 2017
- 9) D. Muramatsu, Y. Makihara, Y. Yagi, "Gait regeneration for recognition," Proc. of the 7th IAPR Int. Conf. on Biometrics (ICB 2015), Paper ID 60, Phuket, Thailand, May 2015
- 10) Md. Z. Uddin, D. Muramatsu, N. Takemura, Md. A R. Ahad, and Y. Yagi, "Spatio-temporal silhouette sequence reconstruction for gait recognition against occlusion," IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications, Vol. 11, Article No.9, pp.1--18, 2019
- 11) A. Sakata, Y. Makihara, N. Takemura, D. Muramatsu, Y. Yagi, "Gait-based age estimation using a DenseNet," Proc. of the Int. Workshop on Attention/Intention Understanding (AIU 2018), pp. 55--63, Dec. 2018
- 12) A. Sakata, Y. Makihara, N. Takemura, D. Muramatsu, Y. Yagi, "How confident are you in your estimate of a human age? Uncertainty-aware gait-based age estimation by label distribution learning," Proc. of the 4th Int. Joint Conf. on Biometrics (IJCB 2020), Houston, TX, USA (online), pp.1--11, Sep. 2020
- 13) Y. Yang, D. Muramatsu, Y. Yagi, "Gait-based gender classification via Siamese network," IEICE Technical Report, BioX2020-36 (2020-11), pp.7--10, 2020
- 14) J. Han and B. Bhanu, "Individual recognition using gait energy image," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.28, No.2, pp.316--322, 2006
- 15) Y. Makihara, R. Sagawa, Y. Mukaigawa, T. Echigo, and Y. Yagi, "Gait recognition using a view transformation model in the frequency domain," Proc. of the 9th European Conf. on Computer Vision, pp.151--163, Graz, Austria, May 2006
- 16) H. Iwama, M. Okumura, Y. Makihara, and Y. Yagi, "The ou-isir gait database comprising the large population dataset and performance evaluation of gait recognition," IEEE Trans. on Information Forensics and Security, Vol.7, No.5, pp.1511--1521, Oct. 2012
- 17) A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G.E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks," Advances in Neural Information Processing Systems 25, eds. by F. Pereira, C.J.C. Burges, L. Bottou, and K.Q. Weinberger, pp.1097--1105, Curran Associates
- 18) I. Gulrajani, F. Ahmed, M. Arjovsky, V. Dumoulin, A. Courville, "Improved training of Wasserstein GANS," in Advances in Neural Information Processing Systems 30: Annual Conf. on Neural Information Processing Systems 2017, pp.5769--5779, 2017
- 19) J. Bromley, I.M. Guyon, Y. LeCun, E. Säcker and R. Shah, "Signature verification using a "siamese" time delay neural network," of the 6th Int. Conf. on Neural Information Processing Systems, pp.737--744, Nov. 1993
- 20) 守脇 幸佑, 村松 大吾, 武村 紀子, 八木 康史, 「追加ラベルを組み込んだ歩容特徴抽出器」, 信学技報, BioX2019-51, pp.31--35, 2019
- 21) H. Iwama, D. Muramatsu, Y. Makihara, and Y. Yagi, "Gait verification system for criminal investigation," IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications, Vol.5, pp.163--175, Oct. 2013
- 22) 村松 大吾, 横原 靖, 八木 康史, 「実環境下における映像に基づく人物行動解析技術実現に向けて -大阪大学における人物映像データ取得の取組み-」電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review 11 巻 2 号 pp.93--99, 2017