大規模歩行映像データベースの構築に向けて

横原 靖^{1†}, 大倉 史生¹, 満上 育久¹, 丹羽 真隆¹, 村松 大吾¹, 八木 康史¹¹ 大阪大学産業科学研究所

要旨：歩行映像解析は、歩き方の個性に基づく個人認証による科学捜査への応用など、様々な利用が期待される技術であり、その基盤として、大量の歩行映像データを収集することが重要となる。一般的に歩行映像データベースは、募集した被験者の歩行映像を、収集者が撮影することで構築される。この場合、被験者募集の手間や収集者の作業量が大きいことから、データベースの大規模化が困難であった。そこで我々は、大規模歩行データベース構築に向けて、体験型の自動歩行計測・データ撮影システムを開発した。開発したシステムは、歩行映像解析の体験型デモを楽しむ傍らで、研究目的データ利用に関する同意を参加者から電子的に取りつつ、15度刻みの14方向からの歩行データを撮影することができ、1年弱の展示期間で数万人規模のデータが収集可能であると予測される。

キーワード：歩行映像データベース、歩容認証、自動収集、体験型デモ

1. はじめに

我々人間は、人の歩き姿（歩容）から様々な情報を知覚することができる。例えば、生体運動学¹⁾の分野では、暗室中で手足の関節などに点光源をつけて歩行した映像から、その人物の性別や年代を知覚できることが報告されている^{2,3)}。また、遠方にいる家族や知人をその歩容から認識できたという経験を持つ人も少なくないことから、コンピュータビジョンの分野では、歩容を行動的な生体情報の一つとみなして、歩行映像からの個人認証（歩容認証）に関する可能性が示され⁴⁾、その後も多くの研究例が報告されている⁵⁾。また、指紋や虹彩と言った生体情報とは異なり、歩容はカメラから離れた場所でも利用可能なため、防犯カメラ映像を用いた科学捜査手法として注目されている⁶⁻⁸⁾。

科学捜査応用を考えると、歩容認証を高い信頼性でもって評価することが望ましく、そのためには多様な被験者を含む大規模な歩行映像データベースが必要となる。また、歩容認証は、観測方向の変化、歩行速度の変化、服装の変化、荷物の有無といった様々な要因の影響を受けることから^{9,10)}、それらの状況変化を含む歩行映像データベースを用いて、頑健性に対する評価を行うことも必要である。

そこで、本稿では、歩容認証の研究や性能評価にとって必要不可欠な歩行映像データベースについて概説するとともに

に、著者らが実施している大規模歩行映像データベース構築の取り組みについて紹介し、今後の展望を述べる。

2. 既存の歩行映像データベース

歩容認証の性能評価などを目的とした歩行映像データベースが、これまでに数多く公開されている（表1）。これらは、被験者の多様性、被験者ごとの歩行状況（服装、歩行速度、荷物の有無）や撮影状況（観測方向、照明条件）の多様性を備えており、利用場面を想定して使い分けがなされる。例えば、部屋の前の廊下を歩く登録者を本人認証するといったような、屋内でのアクセスコントロールを考えた場合、歩行位置や照明条件などがある程度制御される。そのため、撮影状況の多様性よりも、被験者の多様性や数を重視して、SOTON Multimodal¹³⁾、OU-ISIR, LP²¹⁾、TUM-GAID²²⁾などの歩行映像データベースを用いて性能を評価することが望ましい。

表1 主要な既存の歩行映像データベース

名称	被験者数	状況変化(例)
CMU MoBo ¹¹⁾	25	観測方向, 速度
SOTON Large DB ¹²⁾	115	観測方向
SOTON Multimodal ¹³⁾	>300	観測方向
SOTON Temporal ¹⁴⁾	25	経年, 服
USF HumanID ⁹⁾	122	地面, 服, 靴, 鞄
CASIA B ¹⁵⁾	124	観測方向, 服, 靴
CASIA C ¹⁶⁾	153	-
OU-ISIR, TD A ¹⁷⁾	34	速度
OU-ISIR, TD B ¹⁸⁾	68	服
OU-ISIR, TD C ¹⁹⁾	200	観測方向
OU-ISIR, TD D ²⁰⁾	185	ゆらぎ
OU-ISIR, LP ²¹⁾	4,007	観測方向
TUM-GAID ²²⁾	305	服, 靴, 鞄
WOSG ²³⁾	155	観測方向, 照明

2016年4月1日受付

† 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘8-1

大阪大学産業科学研究所第1研究部門複合知能メディア研究分野
横原 靖

Tel: 06-6879-8422 Fax: 06-6877-4375

E-mail: makihara@am.sanken.osaka-u.ac.jp

一方、防犯カメラ映像を用いた科学捜査を考えた場合、対象者（例えば指名手配犯）の歩容を同一の歩行状況・撮影状況の制御された条件下で取得することは難しく、結果として、撮影状況や歩行状況の変化が生じることが予想される。よって、被験者の多様性に加えて、歩行状況や撮影状況の多様性も考慮に入れた評価が必要となる。例えば、歩行映像データベースとして、複数要因の変化を含む USF Human ID⁹⁾ や、観測方向変化に特化した CASIA B¹⁵⁾、歩行速度変化に特化した OU-ISIR, TD A¹⁷⁾、服装変化に特化した OU-ISIR, TD B¹⁸⁾、撮影状況の変化に特化した WOSG²³⁾ などを用いた評価が候補となる。但し、これらの歩行映像データベースは、被験者数が高々 150 名程度であり、被験者の多様性の面では必ずしも十分とは言えない。

このように、既存の歩行映像データベースには、被験者の多様性、及び歩行状況・撮影状況の多様性を両立したものが少ない(例えば、32 種類の服装変化を伴う OU-ISIR, TD B¹⁸⁾ は、被験者数が 68 人に留まっており、4,007 人を含む OU-ISIR, LP²¹⁾ は 2 台のカメラによる観測方向変化に留まっている)。これは、顔・虹彩・指紋といった静止画像に基づく生体情報とは異なり、動画像に基づく生体情報である歩容は、その収集に多大な人的・時間的コストがかかり、大規模化が容易ではないことが一因である。

3. 体験型デモによる歩行映像データの自動収集

本節では、著者らが実施している大規模歩行映像データベース構築の取り組みについて紹介する。より詳細な内容については、文献²⁴⁾を参照されたい。

前節で述べた通り、歩行映像データベースの大規模化を妨げる要因に、被験者募集・歩行映像の撮影・同意書の取得といった様々な作業にかかる人的・時間的コストの大きさが挙げられる。既存の歩行映像データベースで最大規模となる OU-ISIR, LP²¹⁾ のデータ収集においては、科学館での体験型デモ展示を実施するなどして、展示への来場者に被験者となって貰うことで、被験者募集の効率化を図っている。それにより、他の既存歩行映像データベースと比較して、10 倍以上の被験者数のデータを収集することに成功している。しかし、その体験型デモ展示においては、体験方法や結果の説明、荷物預かり、同意書の収集といった作業に多くの人手を要することから、例えば 1 年間というような長期間の展示により、歩行映像データベースの大規模化を図ることは現実的とは言えない。

そこで、我々は、体験型デモ展示によるデータ収集の考え方を踏襲しつつ、以下の三つ特長を持つ歩行映像データの自動収集の枠組(図 1)を導入し、日本科学未来館メディアラボ第 15 期展示「アルクダケ 一歩で進歩」においてデータ収集を実施した。

図 1 システム概要と体験デモの流れ

来場者は入り口パネルで本展示内容を確認し、QRコード発券機にて性別・年齢を入力後、QRコードを受け取る。その後、QRコードリーダーにQRコードをかざし、自動音声案内に従って歩行路の反対側まで歩き、荷物を置く。その後、再び自動音声案内に従って2往復歩いた後、荷物を受け取り、結果を確認する。

3.1 魅力的な歩行映像解析の体験型デモ

より多くの来場者からデータを収集するには、まず体験型デモそのものが魅力的でなければならない。本展示では、OU-ISIR, LP²¹⁾ のデータ収集においても実施した歩容個性計測デモに加えて、体験者の歩容に基づく年齢推定デモを実施した。いずれも、体験者の歩行を側方よりカメラ(PointGrey社, FMVU-13S2C-CS, 640 × 480 画素, 30 fps, 図 2 (h) 参照)で撮影し、その映像から抽出した人物シルエットを解析することで結果を得る。歩容個性計測及び年齢推定の詳細については、各々文献^{25,26)}を参照されたい。

従来の歩容個性計測デモに対しては、計測された個性計測の値と歩容の良し悪しの間に必ずしも関連性がなく、体験者自身の歩容の良し悪しを知りたいという要望が多く寄せられていた。それに対して、歩容に基づく推定年齢は、体力年齢や歩き姿の見た目年齢と関連し、体験者の実年齢と比して若々しい歩きをしているかといったような、ある種の歩容の良し悪しを連想できることから、来場者に対するデモ体験の動機付けとなることを期待した。

3.2 歩行映像データの自動収集の枠組

本展示においては、体験方法・結果の説明、荷物の扱いなど、従来、人手を要していた手順を自動化する枠組を導入した。具体的には、QRコードを利用した体験者IDの自動管理、歩行路上に設けた光電センサによる体験者の通過時間の自動記録やデモ進行状態の自動把握、進行状態に応じた次の動作の自動音声案内などを実装した。これにより、展示会場の案内板や自動音声案内に従って、来場者が基本的に自分自身で体験できるような枠組を実現した*。

* 但し、待ち行列の整頓やトラブル対応のための最小限の展示スタッフは常駐している。

図 2 データ収集用カメラ 1～7 及びデモ用カメラの撮影画像例
プライバシー保護のため、体験者の顔ぼかし処理、また、その他の
来場者の全身のぼかし処理を適用している。

また、データ収集について、側面方向から正面方向まで15度間隔に設置した7台のネットワークカメラ（アクシス・コミュニケーションズ社、Q1614、1280×960画素、30fps、図2（a）-（g）参照）により、スケジュール機能を用いて展示会場の開館時間中の連続撮影を行った。また、連続撮影された映像から、体験者毎に記録された歩行路上での光電センサの通過時間に基づいて、対応する歩行映像を抽出する。更に、QRコード発券時には、操作画面上で年齢と性別を入力して貰い、体験者のメタデータとして併せて記録する。

ここで、カメラ7のみ、他のカメラとは反対側に付けられているが、これは、カメラ視野が歩行路のクロマキー壁面構造物の補強材と干渉するのを避けるよう配置されたものである。実際には、体験者が往復歩行することにより、正面・背面のいずれの方向からも撮影できることから、デ

一タ収集の上での支障はないことに注意されたい.

よって、往復歩行分を考慮すると、荷物を持たない歩行については、体験者に対して14方向から撮影した歩行映像2回分が、また、荷物を持った歩行については、7方向から撮影した歩行映像1回分が利用可能となる。

3.3 同意取得プロセスの電子化

個人情報保護及びプライバシー保護の観点から、デモ展示と並行してのデータ収集においては、データを取得していることの通知、取得した情報の嚴重な取り扱いに関する説明、研究目的利用に対する同意の取得が必須となる。従来の紙媒体での署名による同意取得の場合、記入依頼やその後のデータ整理に人的コストを要し、大規模な参加者のデータ処理には不向きである。そこで、本展示では、映像の個人情報の取り扱いに詳しい弁護士へのヒアリングを通して、電子的な同意取得プロセスを設計した。具体的には、展示会場入口でのパネルによる周知、QRコード発券時の操作画面上での通知及び同意取得、結果表示画面上での通知及び同意取得（図3）の三段階を設け、また、小学生以下の体験者には、保護者の同意がなければQRコードが発券されないようにした。

4. 今後の展望

本展示の実施期間は、2015 年 7 月 15 日（水）～2016 年 6 月 27 日（月）を予定している。2016 年 3 月末現在において、来場者数は既に 6 万 8 千人を上回っており、既存の歩行映像データベースの中で最大の OU-ISIR, LP²¹⁾ の 4,007 人と比較して、既に 10 倍以上の規模となっている。よって、被験者の多様性と歩行状況・観測状況の多様性を両立した本データベースは、観測方向変化や荷物の有無に対して頑健な歩容認証の性能評価の信頼性の向上や、それによる科学捜査応用の一層の推進に貢献すると考えられる。また、近年、深層学習を始めとして、大量の学習データを利用した認証手法が主流となっており、例えば、深層学習による観測方

図3 結果表示画面

歩容個性計測及び年齢推定結果を表示すると共に、ネットワークカメラによる撮影画像例を提示し、研究目的利用への同意・不同意を確認する。同意の場合は、結果の印刷を行う。

向変化に頑健な歩容認証の有効性が確認されている²⁷⁾。よって、本データベースは、歩容認証向けの各種学習データとしても利用可能である。

更に、本展示への来場者は、老若男女、様々であることから、歩容認証のみならず、歩容による性別識別や年齢推定の研究における学習及び評価用データとしても意義がある。今後は本データベースの公開も視野に入れ、歩容認証を始めとする歩行映像解析に関する様々な研究において利用され、関連研究分野の発展に貢献することが期待される。

謝 辞

本研究は、科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST)、及び JSPS 基盤研究 (A) 15H01693 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) Johansson, G.: Visual motion perception, *Scientific American*, 232, 75-88, (1976).
- 2) Kozlowski, L. T. and Cutting, J. E.: Recognizing the sex of a walker from a dynamic point-light display, *Perception and Psychophysics*, 21(6), 575-580, (1977).
- 3) Davis, J. W.: Visual categorization of children and adult walking styles, *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication*, 295-300, (2001).
- 4) Niyogi, S. and Adelson, E.: Analyzing and recognizing walking figures in xyt, *Proc. of the 7th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 469-474, (1994).
- 5) Makihara, Y., Matovski, D. S., Nixon, M. S., Carter, J. N. and Yagi, Y.: Gait recognition: Databases, representations, and applications, *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 1-15, (2015).
- 6) Bouchrika, I., Goffredo, M., Carter, J. N. and Nixon, M. S.: On using gait in forensic biometrics, *Journal of Forensic Sciences*, 56(4), 882-889, (2011).
- 7) Lynnerup, N. and Larsen, P. K.: Gait as evidence, *IET Biometrics*, 3(2), 47-54, (2014).
- 8) Iwama, H., Muramatsu, D., Makihara, Y. and Yagi, Y.: Gait verification system for criminal investigation, *IPSI Trans. on Computer Vision and Applications*, 5, 163-175, (2013).
- 9) Sarkar, S., Phillips, P. J., Liu, Z., Vega, I. R., Grother, P. and Bowyer, K. W.: The human ID gait challenge problem: data sets, performance, and analysis, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(2), 162-177, (2005).
- 10) Bouchrika, I. and Nixon, M. S.: Exploratory factor analysis of gait recognition, *Proc. of the 8th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 1-6, (2008).
- 11) Gross, R. and Shi, J.: The CMU Motion of Body (MoBo) database, *Tech. report CMU-RI-TR-01-18*, Robotics Institute, Carnegie Mellon Univ., (2001).
- 12) Shutler, J., Grant, M., Nixon, M. S. and Carter, J. N.: On a large sequence-based human gait database, *Proc of the 4th Int. Conf. on Recent Advances in Soft Computing*, 66-72, (2002).
- 13) Samangoeei, S., Bustard, J., Nixon, M. S. and Carter, J. N.: Acquisition and analysis of a dataset comprising gait, ear, and semantic data, In: Bhanu, B. and Govindaraju, V. (Eds): *Multibiometrics for Human Identification*, 277-301, Cambridge University Press, (2011).
- 14) Matovski, D. S., Nixon, M. S., Mahmoodi, S. and Carter, J. N.: The effect of time on the performance of gait biometrics, *Proc. of the 4th IEEE Int. Conf. on Biometrics: Theory, Applications and Systems*, 1-6, (2012).
- 15) Yu, S., Tan, D. and Tan, T.: A framework for evaluating the effect of view angle, Clothing and Carrying Condition on Gait Recognition, *Proc. of the 18th Int. Conf. on Pattern Recognition*, 4, 441-444, (2006).
- 16) Tan, D., Huang, K., Yu, S. and Tan, T.: Efficient night gait recognition based on template matching, *Proc. of the 18th Int. Conf. on Pattern Recognition*, 3, 1000-1003, (2006).
- 17) Makihara, Y., Tsuji, A. and Yagi, Y.: Speed-invariant gait recognition, In: Scharcanski, J., Proenca, H. and Du, E. (Eds), *Signal and Image Processing for Biometrics*, Chapter 8, 209-230, Springer, (2014).
- 18) Hossain, M. A., Makihara, Y., Junqiu, W. and Yagi, Y.: Clothing-invariant gait identification using part-based clothing categorization and adaptive weight control, *Pattern Recognition*, 43(6), 2281-2291, (2010).
- 19) Makihara, Y., Mannami, H. and Yagi, Y.: Gait analysis of gender and age using a large-scale multi-view gait database, *Proc. of the 10th Asian. Conf. on Computer Vision*, 975-986, (2010).
- 20) Mori, A., Makihara, Y. and Yagi, Y.: Gait recognition using period-based phase synchronization for low frame-rate videos, *Proc. of the 20th Int. Conf. on Pattern Recognition*, 2194-2197, (2010).
- 21) Iwama, H., Okumura, M., Makihara, Y. and Yagi, Y.: The OU-ISIR gait database comprising the large population dataset and performance evaluation of gait recognition, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 7(5), 1511-1521, (2012).
- 22) Hofmann, M., Geiger, J., Bachmann, S., Schuller, B. and Rigoll, G.: The TUM Gait from Audio, Image and Depth

- (GAID) database: Multimodal Recognition of Subjects and Traits, Journal of Visual Communication and Image Representation, 25(1), 195-206, (2014).
- 23) DeCann, B., Ross, A. and Dawson, J.: Investigating gait recognition in the Short-Wave Infrared (SWIR) spectrum: Dataset and Challenges, Proc. of SPIE Conf. on Biometric Technology for Human Identification X, 1-16, (2013).
- 24) Makihara, Y., Kimura, T., Okura, F., Mitsugami, I., Niwa, M., Aoki, C., Suzuki, A., Muramatsu, D. and Yagi, Y.: Gait collector: An Automatic Gait Data Collection System in Conjunction with an Experience-based Long-run Exhibition: Proc. of the 8th IAPR Int. Conf. on Biometrics, 1-8, (2016). (Accepted)
- 25) Makihara, Y., Okumura, M., Yagi, Y. and Morishima, S.: The online gait measurement for characteristic gait animation synthesis, Proc. of the Human Computer Interaction Int. 2011, Virtual and Mixed Reality - New Trends, 6773, 325-334, (2011).
- 26) Makihara, Y., Okumura, M., Iwama, H. and Yagi, Y.: Gait-based age estimation using a whole-generation gait database, Proc. of the 1st Int. Joint Conf. on Biometrics, 1-6, (2011).
- 27) Shiraga, K., Makihara, Y., Muramatsu, D., Echigo, T. and Yagi, Y.: GEINet: View-invariant gait recognition using a convolutional neural network, Proc. of the 8th IAPR Int. Conf. on Biometrics, 1-8, (2016). (Accepted)

楨原靖 (まきはら やすし)

2001年大阪大学工学部応用理工学科卒業。2002年同大学大学院工学研究科電子制御機械工学専攻博士前期課程修了。2005年同専攻博士後期課程修了。博士(工学)。同年同大学産業科学研究所特任助手、2006年同研究所助手、2007年同研究所助教、2014年同研究所准教授となり現在に至る。サービスロボットのための対話的な物体認識、犯罪捜査やデジタルエンターテインメントのための歩行映像解析に関する研究に従事。日本機械学会第79期ロボティクス・メカトロニクス部門ベストプレゼンテーション表彰、日本ロボット学会第18回研究奨励賞、情報処理学会平成18年度山下記念研究賞、第15回画像の認識・理解シンポジウム MIRU 優秀論文賞、第16回画像の認識・理解シンポジウム デモ発表賞、第17回画像の認識・理解シンポジウム MIRU 学生優秀賞、The 2nd Int. Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF 2014)、IAPR Best Paper Award、平成26年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 研究部門等受賞。情報処理学会、日本ロボット学会、日本機械学会各会員。

大倉 史生 (おおくら ふみお)

2009年立命館大学情報理工学部メディア情報学科中退。2011年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。2014年同大学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。同年 INRIA Sophia-Antipolis 客員研究員。現在大阪大学産業科学研究所助教。コンピュータビジョンとコンピュータグラフィックスおよびその境界領域に関する研究に従事。2012年年度日本バーチャルリアリティ学会論文賞、2012年年度電子情報通信学会マルチメディアと仮想環境基礎研究会 MVE 賞、2014年年度日本バーチャルリアリティ学会複合現実感研究委員会 SIG-MR 賞等受賞。IEEE, ACM, 電子情報通信学会、情報処理学会、日本バーチャルリアリティ学会、映像情報メディア学会各会員。

満上 育久 (みつがみ いくひさ)

2001年京都大学工学部電気電子工学科卒業。2003年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程終了。2007年同研究科博士後期課程了。同年京都大学学術情報メディアセンター研究員。2010年より大阪大学産業科学研究所助教。博士(工学)。ジオメトリを中心としたコンピュータビジョン、対象検出・追跡、歩行解析等に関する研究に従事。第14回画像の認識・理解シンポジウム MIRU 優秀論文賞等受賞。IEEE, 電子情報通信学会、情報処理学会、日本バーチャルリアリティ学会、日本ロボット学会各会員。

丹羽 真隆 (にわ まさたか)

2003年より ATR メディア情報科学研究所学外実習生。2006年大阪工業大学大学院情報科学研究科情報科学専攻博士前期課程修了。2009年大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士後期課程修了。同年より同大学同研究科特任研究員。2012年より産業技術総合研究所研究員。同年より情報通信研究機構研究員。2013年より大阪大学産業科学研究所特任研究員。現在に至る。触覚、VR インタフェースなどの研究に従事。博士(情報科学)。日本バーチャルリアリティ学会会員。

村松 大吾 (むらまつ だいご)

1997年早稲田大学理工学部電気電子情報工学科卒業。1999年同大学大学院修士課程修了、同年三菱商事株式会社入社。2005年早稲田大学大学院博士後期課程満期退学。2004年早稲田大学理工学部助手、2007年成蹊大学理工学部助手、2008年成蹊大学理工学部助教、2011年大阪大学産業科学研究所特任講師、2015年情報通信研究機構主任研究員、現在、大阪大学産業科学研究所准教授。博士(工学)。機械学習、コンピュータビジョンに基づくバイオメトリック個人認証の研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会、情報処理学会等の会員。