

OpenPose を用いたマクロ・ミクロ行動特性同時計測システムの開発

- マクロ行動属性としての歩行者人数と歩行軌跡の自動計測 -

Study on Macro&Micro Behavioral Measurement System by Using OpenPose

-Pedestrian counting and walking locus as macro behavior attribute-

○田中 大河^{*1}, 吉井 大輝^{*2}, 林田 和人^{*3}, 柴田 滝也^{*4}

Taiga TANAKA ^{*1}, Taiki YOSHII ^{*2}, Kazuto HAYASHIDA ^{*3}, Tatsuya SHHIBATA ^{*4}

*1 東京電機大学大学院システムデザイン工学研究科デザイン工学専攻

Master's Student, Dept. of Design Eng. and Tech., School of System Design and Tech., Tokyo Denki Univ.

*2 東京電機大学システムデザイン工学部デザイン工学科

Student, Dept. of Design Eng. and Tech., School of System Design and Tech., Tokyo Denki Univ.

*3 東京電機大学システムデザイン工学部 研究員

Researcher, School of System Design and Tech., Tokyo Denki Univ.

*4 東京電機大学システムデザイン工学部デザイン工学科 教授

Professor, Dept. of Design Eng. and Tech., School of System Design School of System Design and Tech., Tokyo Denki Univ.

Summary: Human behavior data help us to create architectural design and to evaluate space design. It is necessary to measure human behavior automatically rather than manually. There are two types of human behavior measurements. The first is the measurement of the number of pedestrians and walking trajectories, named as the macro-behavioral characteristics. The second is the measurement of each pedestrian's stride length and body orientation based on body joints, named as the micro-behavioral characteristics. To estimate human behaviors automatically, we need to measure both macro and micro behavioral characteristics at the same time. We build a system that simultaneously measures macro and micro behavioral characteristics by using body joint information. This system uses a pose estimation library called OpenPose. The OpenPose can obtain body joint information of each frame from IoT devices such as cameras. This system can track pedestrians close in each frame as the same person and draw walking trajectories and measure the number of people passing by. We built a system to perform such measurements automatically and tested the accuracy.

キーワード: 行動計測; 姿勢推定; OpenPose; 人数計測; 歩行軌跡

Keywords: Behavioral measurement; Posture estimation; OpenPose; Pedestrian counting; Walking trajectory

1. はじめに

近年では、人の行動データの需要が上がっている。例えば歩行者量は商業繁華性の程度を定量的に捉える事のできる指標となり、小松ら¹⁾による研究では歩行者量が店舗賃料の価格形成要因であることが示されており、高橋ら²⁾による研究では店舗数密度と歩行者の通過回数との相関が高いことが示されている。このように歩行者の通行量や行動パターンといった人の行動データが、建造物の設計、デザインをする際の事前調査や建造物の評価のために利用されている。これらのデータの収集は従来では人手により行われていたが、それにはコスト的な制約から調査日や時間帯、調査地点が限られてしまうといった問題点がある。

そのような問題を解決するため、コスト的な制約の少ない歩行者の行動特性の自動計測を試みる研究が多く行われている⁴⁾。自動計測されているデータは歩行者の人数や歩行軌跡(本研究ではマクロ行動特性と呼ぶ)の計測データと、歩行者各々の関節位置情報を含む姿勢・動作、体の

向き(本研究ではミクロ行動特性と呼ぶ)の計測データの二種類に分けられる。今後、カメラの解像度が4K, 8Kになれば、1つのカメラで広角かつ詳細に人物撮影が可能になり、ミクロ・マクロの両行動特性を同時に獲得が可能になる。また、今後は、IoTデバイスのエッジ化により、行動特性をリアルタイムに処理・獲得し、その結果、人の行動を変えるサービスが生じる。ミクロ・マクロ行動特性をリアルタイムで獲得する必要がある一方、この二種類の行動特性は主に用いられる計測手法が異なるため、ミクロ・マクロ行動特性を同時に計測できるようなシステムは少ない。

本研究では人数計測や歩行軌跡(マクロ行動特性)と歩行者各々の関節位置情報(ミクロ行動特性)の両者を同時に計測することで、人の行動特性をより精度高く推測する仕組みを提案する。

2. 先行研究と本システムについて

歩行者の行動特性の自動計測に関しては、これまでも多くの研究が行われている。マクロ行動特性の計測では、馬場ら⁴⁾がステレオカメラを用い撮影した映像に画像処理を用いて人の歩行動線と歩行者の人数計測を行っている。センサを使った計測手法も多く研究されており帷子ら⁵⁾の研究ではレーザセンサにより人を感知する方法で通行人数の計測を行っている。

歩行軌跡に関する研究では、石間ら⁶⁾が調査範囲を取り囲むようにレーザセンサを設置したレーザスキャナを用いて歩行軌跡を計測している。これらの映像やレーザセンサを用いた手法は、人の重なりによって精度が下がるという特徴がある。またレーザセンサ以外にも、小林ら⁷⁾による研究では加速度センサを用いて歩行軌跡を計測している。孫ら⁸⁾の研究では、歩行者の持つ端末と車両が通信することで歩行者の移動軌跡を計測している。GPSを用いた手法も提案されており、小河原ら⁹⁾の研究ではGPSと加速度センサを用いて、山下ら¹⁰⁾の研究ではGPSと車両からの電波を用いて歩行者の位置推定を行い、移動軌跡を計測している。GPSを用いた手法では地下や屋内などで使用できない場合があるので注意が必要である。岡平ら¹¹⁾による研究や倉ら¹²⁾による研究ではWi-Fiデータを用いて歩行者の通行量を推定している。こちらは屋内や地下でも計測が可能であるが、GPSほど精度は高くない。またGPSやWi-Fiのデータを使用した方法ではそのデータの使用者に対象が限定されるため絶対数の把握は困難であること、またデータから個人特定が可能な場合プライバシーへの配慮も必要になる。

マイクロ行動特性の計測では、新村ら¹³⁾がOpenPose¹⁴⁾という姿勢推定ライブラリを用いて性別や体の向きといった歩行者属性の推定を行っている他、栗井ら¹⁵⁾の研究でもOpenPoseが使用され歩行者の行動特性を計測し利用している。最後にFeichtenhoferら¹⁶⁾の研究では、高フレームレートでの処理と低フレームレートでの処理を行うことでマクロ行動特性、マイクロ行動特性の両方を計測している。得られる行動特性は多いが、処理の多さからリアルタイムに計測できないことが課題である。ここまでに紹介した歩行者行動の自動計測システムの従来手法をまとめ、表1に示す。

表1 従来の行動特性計測システム

行動特性	計測機器・分析ソフト	データ内容
①姿勢の推定	カメラ, OpenPose	全身25点の二次元関節データ
②歩行者人数計測	カメラ, レーザセンサ	任意地点の通過人数
③歩行軌跡計測	レーザセンサ, 加速度センサ, GPS, Wi-Fi	空間上の二次元軌跡データ

本研究ではこれらを参考として単眼カメラで撮影した映像から表の①～③の行動特性計測を同時に行うことのできる独自のシステムの開発を行う。そのために本システムでは①姿勢推定を行うために関節情報を取得し、その関節情報を利用し②歩行者の人数計測と③歩行軌跡の計測を行う。

3. システム概要

本システムでは、深層学習を用いて人の関節情報を抽出する姿勢推定ライブラリOpenPoseを用いて関節情報の取得を行い、その関節情報はマイクロ行動特性の推定へ利用する。またその関節情報を利用し、各フレームの歩行者が同一人物であるかを判定しトラッキングを行う。トラッキングの結果をもとに、歩行者人数計測や歩行軌跡といったマクロ行動特性の計測を行う。図1にシステムの概要を示す。

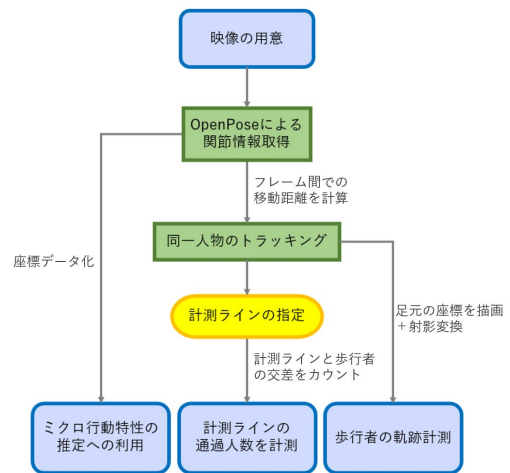


図1 システムの概要図

3.1 OpenPose による関節情報取得方法

本システムではCaoらが提案し公開している姿勢推定ライブラリOpenPoseを利用し、両耳、両目、鼻、首、両肩、両肘、両手首、両腰、尻、両膝、両足首、両かかと、両足、両つま先の計25点の関節情報を信頼度(0~1)とともに取得する。例を図2に示す。

3.2 歩行者のトラッキング

本システムではOpenPoseによって得られた関節情報から各フレームに対し以下の4段階の処理を行い、トラッキングを行う。

- (1) 各フレームで検出された1人の関節最大25点に対し、信頼度の値が0.5以上の関節が5点以上存在した場合、精度が高い検出と判断し人と認識する。これらの閾値は主に歩行者の影の誤認識を防ぐために設けており、影から検出された関節情報の信頼度は0.5以下のものがほとんどであったため、0.5とした(図3)。

- (2) 認識した人の検出された全関節の中心座標を求める.
- (3) 前 10 フレームで人が認識されていた場合, 最も近いフレームで認識された人と現在認識されている人との(2)で求めた中心座標同士の距離を計算する(図 4).
- (4) (3)で求めた距離が 50 画素以内であった場合, 同一人物と判断しトラッキングを行う. 50 画素は画像での手前と奥で異なるが実距離で 200mm 程度にあたる.



図 2 関節情報と信頼度

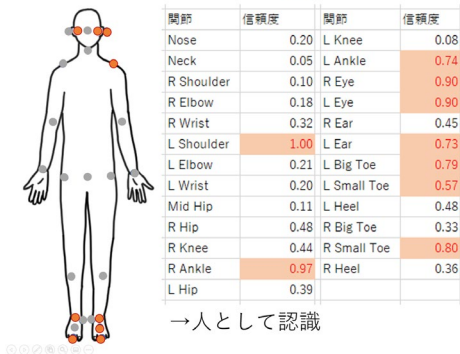


図 3 信頼度による判定

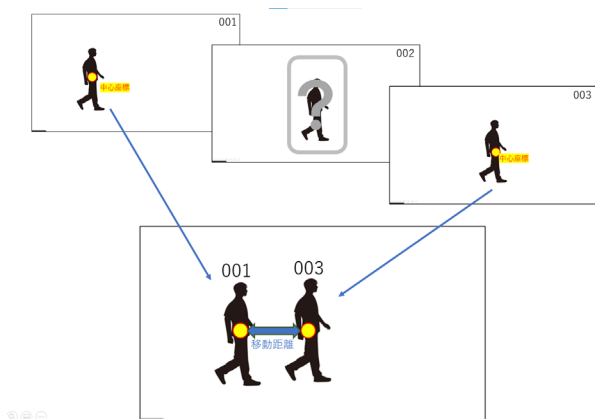


図 4 移動距離の計算

3.3 歩行者の人数計測

トラッキングの結果を基に以下の 3 段階で歩行者の人数計測を行う. (1)に関しては手動での操作が必要である. 実際の動作の様子を図 5 に示す.

- (1) 通過人数の計測を行いたい箇所に, 手動で計測ラインを指定する

- (2) トラッキングの結果をもとに, 歩行者が最初に認識された座標と最後に認識された座標を結ぶ
- (3) (1)で指定した計測ラインと(2)で結んだ線が交差していた場合, 通過と認識する

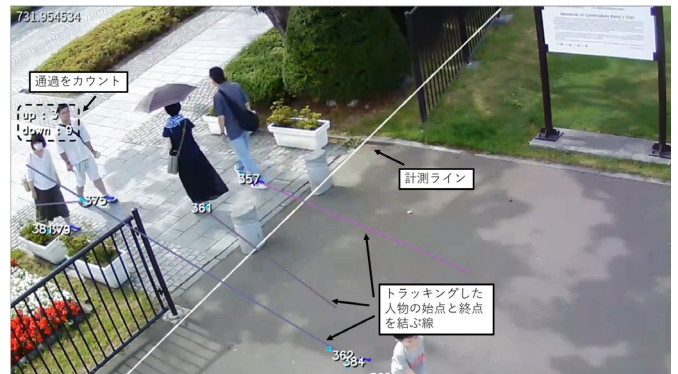


図 5 歩行者の人数計測

3.4 歩行者の軌跡計測

使用する関節情報について, 全身の関節を使用し軌跡を計測した際, 高さ成分により誤差が大きくなった. 従って, 歩行者の軌跡計測では高さ成分による誤差を小さくするため, 検出された関節の中から両足首, 両かかと, 両足, 両つま先の足元の 8 種類の関節のみを使用する. 各フレームに対し, 以下の 3 段階の処理を行い, 軌跡を計測する. (3)の射影変換を行うためには映像上に長方形を用意することとカメラの各パラメータを予め調べておくことが必要である. 実際の動作の様子を図 6 に示す.

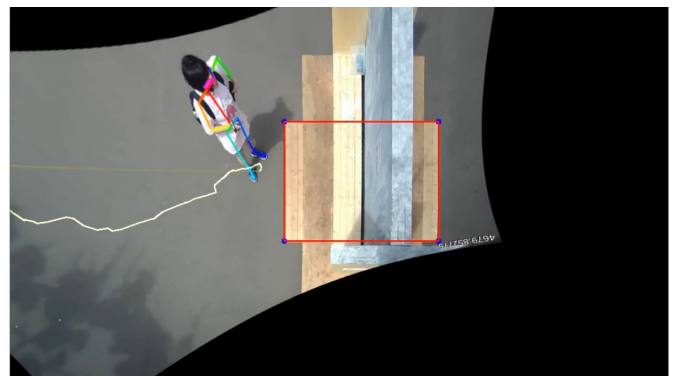


図 6 歩行者の軌跡計測

- (1) 認識された人の関節のうち足元の 8 点において信頼度 0.3 以上の関節が 3 点以上存在する場合, 正確に足元の座標が取れていると判断し(2)以降の処理に利用する. 人数計測と比較し各フレームで座標を求め描画し連続した軌跡にする必要があることから使用する関節情報の信頼度の閾値は 0.3 とした
- (2) 足元の関節 8 点の中心の座標を求め, 描画する
- (3) 今回の実験で使用した広角カメラの歪みは人間が認識できるほどに大きい. この歪みにより歩行者の正しい座標を取得できなくなるため, 座標を補正する.

まずはレンズの歪みを図7のようにモデル化する。

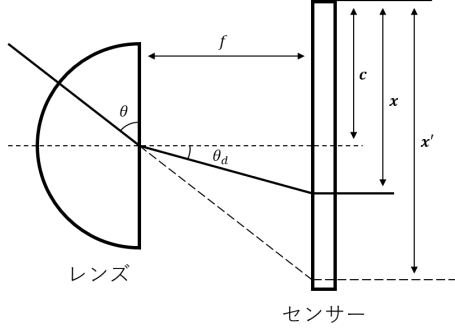


図7 ひずみ補正概略図

レンズへの光の入射角を θ 、レンズからの光の出射角を θ_d 、レンズの歪み係数を k_1, k_2, k_3, k_4 とすると、入射角と出射角の関係は次の多項式で近似できる。

$$\theta_d = \theta + k_1\theta^3 + k_2\theta^5 + k_3\theta^7 + k_4\theta^9 \quad (1)$$

レンズの焦点距離を f 、レンズの主点と一致する画素の座標を c 、入射した光が到達した画素の座標を x とすると、次の式が成り立つ。

$$\theta_d = \tan^{-1} \frac{|x - c|}{f} \quad (2)$$

また、式(1)、式(2)にある k_1, k_2, k_3, k_4, f, c は全てOpenCVの関数で求める。式(1)、式(2)より、ニュートン法を用いて θ の近似値を計算する。

$$a_0 = \frac{|x - c|}{f}$$

$$a_{n+1} = a_n - \frac{a_n + k_1 a_n^3 + k_2 a_n^5 + k_3 a_n^7 + k_4 a_n^9 - a_0}{1 + 3k_1 a_n^2 + 5k_2 a_n^4 + 7k_3 a_n^6 + 9k_4 a_n^8}$$

今回は $n = 10$ まで計算し、 $\theta \approx a_{10}$ を得た。この θ を用い、ピンホールカメラで撮影したような歪みのない実像を再現する。補正後の x を x' とすると、

$$x' = (x - c) \frac{\tan \theta}{\tan \theta_d} + c$$

となる。この座標変換をすべての画素およびすべての関節座標に適用することで歪みを補正する。

- (4) 寸法の分かる長方形が映像の地面に映っている場合、この長方形の4頂点を用いて映像を上から見たように射影変換を行う。 x, y は射影変換前の座標、 X, Y は射影変換後の座標、 a, b, c, d, e, f, g, h は射影変換に使用する係数とすると射影変換は次の式で定義される。

$$X = \frac{ax + by + c}{gx + hy + 1} \quad (3)$$

$$Y = \frac{dx + ey + f}{gx + hy + 1} \quad (4)$$

これらの式の係数 a, b, c, d, e, f, g, h は連立方程式を解くことで求まる。映像上の長方形の4頂点の座標を p_1, p_2, p_3, p_4 、射影変換後の長方形の座標を P_1, P_2, P_3, P_4 とすると以下の8連立方程式が成り立つ。

$$\begin{aligned} P_{1x} &= p_{1x} \cdot a + p_{1y} \cdot b + c - p_{1x} \cdot P_{1x} \cdot g - p_{1y} \cdot P_{1x} \cdot h \\ P_{1y} &= p_{1x} \cdot d + p_{1y} \cdot e + f - p_{1x} \cdot P_{1y} \cdot g - p_{1y} \cdot P_{1y} \cdot h \\ P_{2x} &= p_{2x} \cdot a + p_{2y} \cdot b + c - p_{2x} \cdot P_{2x} \cdot g - p_{2y} \cdot P_{2x} \cdot h \\ P_{2y} &= p_{2x} \cdot d + p_{2y} \cdot e + f - p_{2x} \cdot P_{2y} \cdot g - p_{2y} \cdot P_{2y} \cdot h \\ P_{3x} &= p_{3x} \cdot a + p_{3y} \cdot b + c - p_{3x} \cdot P_{3x} \cdot g - p_{3y} \cdot P_{3x} \cdot h \\ P_{3y} &= p_{3x} \cdot d + p_{3y} \cdot e + f - p_{3x} \cdot P_{3y} \cdot g - p_{3y} \cdot P_{3y} \cdot h \\ P_{4x} &= p_{4x} \cdot a + p_{4y} \cdot b + c - p_{4x} \cdot P_{4x} \cdot g - p_{4y} \cdot P_{4x} \cdot h \\ P_{4y} &= p_{4x} \cdot d + p_{4y} \cdot e + f - p_{4x} \cdot P_{4y} \cdot g - p_{4y} \cdot P_{4y} \cdot h \end{aligned}$$

連立方程式を「部分ピボット選択付きガウスの消去法」を用いて係数 a, b, c, d, e, f, g, h について解く。この係数と式(3)、式(4)を用いることで映像に映る地面を上から見た映像へ変換する。

4. システム評価実験

4.1 実験条件

本システムの評価のためにカメラと地面のなす角を変え、歩行者の人数計測、軌跡計測の精度実験を行った。撮影は2021年6月29日と6月30日の各日午前9時から午前10時の1時間、東京電機大学内の通路にて行なった。通路の有効幅員は2.7mであり、屋根がついていたため人型の影の出来ることはなかった。また実験時には図8のような張り紙を貼り、撮影中であることをアナウンスした。カメラの角度を変えた3つの条件を用意し、同じ歩行者を撮影できるように3つのカメラで同時に撮影を行った。各カメラで得られた2時間分の映像を本システムに入力し、通路の通過人数の計測と歩行軌跡の計測を行い真値と比較した。映像の解像度は640*360となっている。カメラの設置条件を図9、撮影された映像のサンプルを図10に示す。

歩行者計測では実際に通路を通過した歩行者を著者により計測し、本システムで計測した歩行者と比較し精度の評価を行った。また得られた関節情報についても信頼度を各条件で比較した。

歩行者の軌跡計測では、事前に決めた歩行線歩く映像を撮影した。その映像を本システムに入力し、システムによって取得した歩行軌跡と事前に決めたおいた歩行線との差異を比較した。撮影した映像から求められた歩行軌跡のX軸(進行方向に垂直)方向に対し二乗平均平方根誤差(RMSE)値を求めた。



学術研究用カメラ
撮影中

Camera for academic research in operation

研究題目：歩行者人数計測システムに関する研究
実施主体：東京電機大学 メディア環境デザイン研究室
問い合わせ先：
管理責任者：東京電機大学 21AND11 田中大河
連絡先：Tel: 03-3326-0000 / 03-3326-0000
E-mail: 000@0000

図 8 撮影アナウンス用張り紙

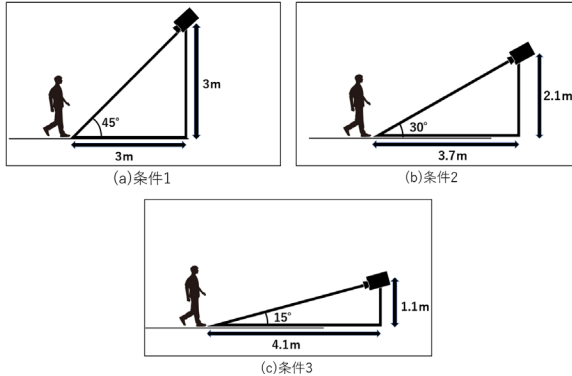


図 9 カメラ設置条件

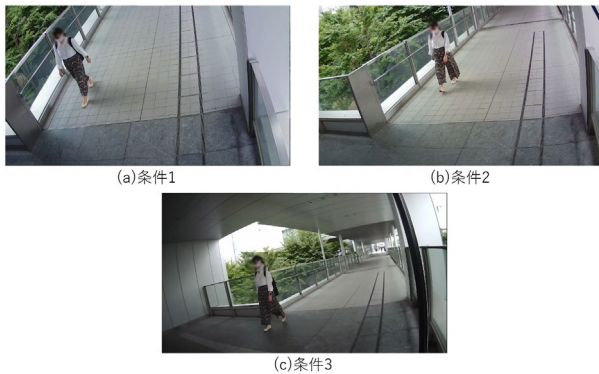


図 10 映像サンプル

4.2 歩行者人数計測実験の結果及び考察

実際に通路を通った通行人数, 本システムで映像から計測した計測人数, 実際には通行していない通行人を計測してしまう過剰計測, 実際は通行しているのに計測できなかった未計測, 計測精度, 関節情報の信頼度の結果を表 2 にまとめる.

表 2 人数計測実験結果

	条件 1	条件 2	条件 3
カメラと地面のなす角度(°)	45	30	15
通行人数(人)	174	174	174
計測人数(人)	172	172	171
過剰計測(回)	0	0	0
未計測(回)	2	2	3
精度(%)	98.9	98.9	98.3
関節情報の信頼度	0.545	0.550	0.557

まず, 条件別の人数計測精度では条件 1, 2 が最も精度が良いという結果となったが, 大きな差は見られずすべての条件で高い精度が確認できた. また, 誤差の原因のすべてが未計測であり過剰計測は起こらなかった. 未計測は人同士の重なりにより歩行者の全体あるいは一部が隠れることによって関節情報が取得できず, トラッキングが外れることが原因で起きていた. 全ての条件において未計測となった歩行者が 2 人おり, その歩行者は 3 人組と 2 人組の複数人のグループであり, 他の歩行者で体が隠れ関節情報が取得できなかったと考えられる. 条件 3 でのみ計測できなかった歩行者も 3 人組であったが条件 1, 2 では上から撮影をしており, 映像上での歩行者の重なりが少なく正確に計測ができていた. また関節情報の信頼度はカメラ角度が大きくなるほど悪くなる傾向が見られたが, 差は小さくカメラ角度による影響はほとんどないといえる. 今回の実験での通行量は 87 人/h, 計測位置を同時に通過する人数は平均 1.8 人であり, 通行量が多いとは言えない. 通行量の多い場所では歩行者同士の重なりが増え, 精度に影響を与える可能性がある. その際にはカメラと地面のなす角を大きくすることで精度を上げることができると考えられる.

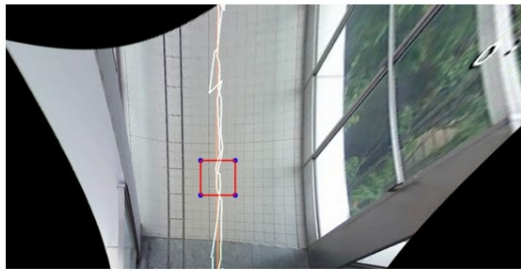
4.3 軌跡計測精度実験の結果及び考察

得られた軌跡データを図 11, 軌跡計測精度の実験結果を表 3 に示す.

表 3 軌跡計測実験結果

	条件 1	条件 2	条件 3
カメラと地面のなす角度(°)	45	30	15
X 軸 RMSE(mm)	60.8	141	454

今回の実験結果では条件 1 が最も精度の良い結果となり平均誤差は 60.8mm であった. また孫らの研究⁵⁾では誤差が 1140mm となっており, 本システムで得られた計測結果が優位であった. 各条件を比較するとカメラと地面のなす角が大きくなるほど精度が高くなるという結果になった. 最終的に歩行軌跡は射影変換し上から見た座標に変換するため, 上から見た映像に近いほど誤差が小さくいと考えられる. また, 射影変換するため必要な長方形の 4 点は手動で指定する必要があるため, これが誤差を生む原因になっている. 他にも軌跡が歪むってしまうのは歩行軌跡に使用している関節情報が少ないことが原因だと考えられる. 8 点の関節情報のみを使用しているため少しでも足が隠れると軌跡が歪む様子が見られた. このことから人数計測以上に通行量の多い場所では精度が悪くなると考えられる.



(a)条件1



(b)条件2



(c)条件3

図 11 軌跡データ

5. まとめ

本システムでは OpenPose によりマイクロ行動特性の推定に利用できる関節情報と、その関節情報を基にマクロ行動特性である人数計測と歩行軌跡の計測を行った。今回の実験では平均同時通過人数は 1.8 人と通行量の少ない条件であったが、最も精度の良い条件下であれば人数計測は精度 98.9%、軌跡計測では平均誤差 60.8mm という結果が得られた。精度が落ちる原因としては、歩行者同士の間合いによって体が隠れてしまい、その部分の関節情報が得られなくなるためであると考えられる。

人数計測に関して、一度に映る歩行者が 1 人の映像であれば誤差は見られなかったが、複数人の歩行者が同時に計測ラインを通過すると正確に計測が行えない事があった。これはカメラと地面のなす角を大きくすることで影響が少なくなると考える。

軌跡計測について使用したのは関節足元の関節のみであるため人数計測に比べ不安定である様子が見られた。また計測における手順の一部が手動であることも、精度に差が出る原因であると考えられる。軌跡は最終的に上から見た座標に射影変換することから、撮影時にその角度に近いようにカメラと地面のなす角を大きくすることで精度が向上した。

これら実験結果よりマイクロ・マクロ両行動特性を計測するためには、カメラと地面のなす角を 45° にし映像を撮影するのが望ましいといえる。今後はより角度を大きくし撮影した映像での実験や、通行量の多い場所での実験を行ない、問題を解決するためにより適切な撮影条件の検証や検出できない関節情報の補完方法の検討を行う。また、得られた関節情報を利用し、マイクロ行動特性に関しても体の向きや動作といった特性を本システム内で同時に計測できることを目指す。

【参考文献】

- 1) 小松広明, 谷和也:歩行者通行量と店舗賃料に関する実証的研究—福岡市天神地区におけるスタディー, 日本不動産研究所『不動産研究』第 55 巻第 4 号, pp. 48-57, 2013.10
- 2) 高橋弘明, 後藤春彦, 佐久間康富, 齋藤亮, 石井雄晋:商業集積地における来訪者の回遊行動と店舗数密度の関係についての研究—下北沢駅周辺地域を事例として—, 『(社)日本都市計画学会 都市計画論文集』No. 40-3, 2005
- 3) まちの活性化を測る歩行者量調査のガイドライン(ver1.1), 国土交通省都市局都市計画課, 2019.3
- 4) 馬場賢二, 榎原孝明, 湯浅裕一郎:画像処理による人流計測システム, 東芝レビューVol. 61, No. 12, 2006
- 5) 帷子京市郎, 中村克行, 趙井菁, 柴崎亮介:レーザーセンサを用いた歩行者通過人数の自動計測手法, FIT2005 (第 4 回情報科学技術フォーラム), 2005
- 6) 石間計夫, 高田知典, 鈴木尚毅, 坂本圭司, 柴崎亮介:レーザーキャナによる歩行者追跡法を用いた施設利用状況のリアルタイム計測, 土木情報利用技術講演, Vol. 30, pp. 21-24, 2005.10
- 7) 小林哲平, 三宅美博, 和田義明, 松原正明:加速度センサを用いた運動学的歩行分析システム—股関節疾患の術後リハビリにおける Walk-Mate 有効性評価への適用, 計測自動制御学会論文集 Vol. 42, No. 5, 567/576, 2006.5
- 8) 孫為華, 行政幸治, 山口弘純, 安本慶一:交差点での無線ネットワークを用いた歩行者の移動軌跡の推定手法, 社会法人 情報処理学会 研究報告, No.107, pp. 121-128, 2008.10
- 9) 小河原亮, 羽多野裕之, 藤井雅弘, 伊藤篤, 渡辺裕:GPS 即位情報とセンサ情報に基づく位置推定システムに関する研究, 情報処理学会論文誌 Vol. 56 No1 2-12, 2015.1
- 10) 山下遼, 湯素華, 小花貞夫:歩行者事故削減のための GPS と車両からの電波を用いた歩行者位置の高精度測位方式の提案と評価, 情報処理学会論文誌 Vol. 59, No. 1, pp. 113-123, 2018.1
- 11) 岡平孝司, 川名義輝:神戸市における Wi-Fi データを活用した歩行者行動分析, 第 55 回土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 55, PaperNo. 42-03, 2017
- 12) 倉聖美, 白石陽, 山口弘純:Wi-Fi 受信電波強度の変化を利用した通路の歩行者推定手法, 情報処理学会論文誌 Vol. 59, No. 2, pp. 496-507, 2018.2
- 13) 新村文郷, 川西康友, 出口大輔, 井手一郎, 村瀬洋, 藤吉弘亘:姿勢情報の利用による歩行者属性の認識に関する検討, ViEW ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集(CD-ROM) (ViEW (CD-ROM)), 2017.12
- 14) Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei and V. Sheikh: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, Proc. of the 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1302-1310, 2017
- 15) 粟井修司, 紺野剛史, 富安史陽, 平井由樹雄, 近野恵:2 次元姿勢推定による歩容情報を用いた人物照合, 第 34 回人工知能学会全国大会論文集(2020), 2020
- 16) Christoph Feichtenhofer, Haoqi Fan, Jitendra Malik, Kaiming He: SlowFast Networks for Video Recognition, ICCV2019paper, 2019