

# 複数台カメラによる歩行者軌跡の接手法\*

## A Connection Method of Pedestrian Trajectory with Multiple Video Cameras \*

山下良久\*\*・関口岳史\*\*\*・土岐高弘\*\*\*\*・葛西誠\*\*\*\*\*・内山久雄\*\*\*\*\*

By Yoshihisa YAMASHITA\*\*・Takashi SEKIGUCHI\*\*\*・Takahiro TOKI\*\*\*\*・Makoto KASAI\*\*\*\*\*・Hisao UCHIYAMA\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、高齢化の進展や地球環境問題、都市再生等を背景に、歩行者空間の質的向上が求められている。面積や幅員といった量的な設計要素ばかりでなく、空間内の設え方、すなわち施設の配置やそれらに起因する歩行者動線への影響を計画段階から検討する重要性が高まっている。そのため、歩行者空間整備に対し計画情報を提供する歩行者行動分析では、交通量、歩行速度、密度等の交通工学的諸元の把握に加え、歩行者の進行方向や歩行速度等の変化に対し行動学的な意味を捉えることが重要になりつつある<sup>1)2)</sup>。

このような背景から、歩行者行動の広範にわたる連続観測の必要性は高まっている。これまで行なわれてきたビデオカメラによる歩行者流の観測<sup>3)~6)</sup>では、高所にカメラを設置することにより広範にわたる歩行者軌跡の取得が行なわれてきた。しかしながら、高さ方向や撮影角度等空間的制約の多い都市内においては、複数台のビデオカメラにより得られる歩行者軌跡を接合することで広範にわたる歩行者行動を捉えることも必要になる。

本研究は、このような問題認識のもと、複数台のビデオカメラから得られる歩行者軌跡の接手法について検討する。

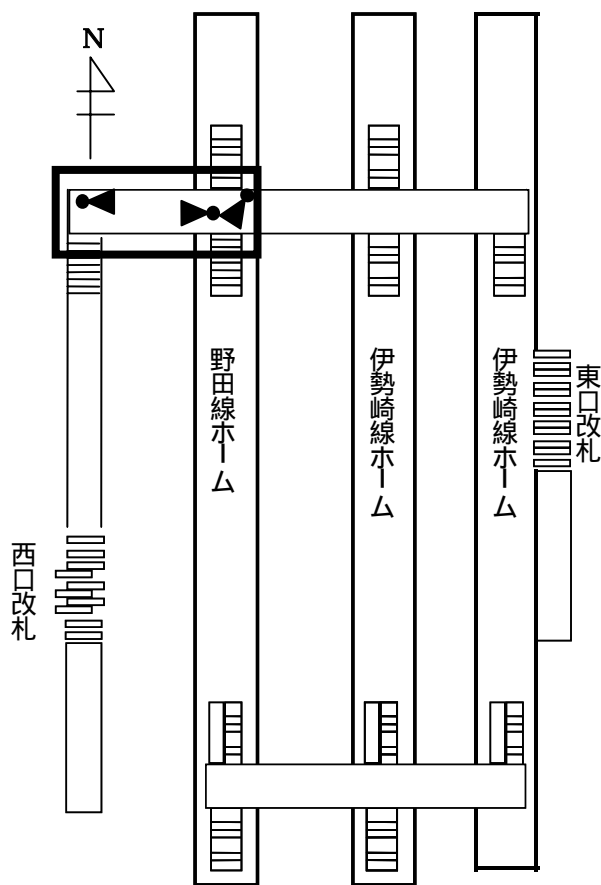
### 2. 分析データ

2003年10月20日(月) 6:30 ~ 20:00 に東武春日部駅構内において実施した鉄道駅構内歩行者流動調査で得られたビデオ映像を用いる。なお、当調査は、東武鉄道株式会社の許可を得て研究目的で実施しており、調査に当

たっては調査目的、調査主体を利用者に明らかにしている。そのため、個人情報保護法<sup>7)</sup>の適用除外の対象となり法律に抵触するものではない。

図-1に東武春日部駅構内図および分析対象エリアを示す。本研究では、約15mの間に3台のビデオカメラを設置し歩行者流を撮影している。図-2には各カメラの撮影範囲を示している。カメラとカメラには約7mのオーバーラップ区間があり、カメラとカメラには約50cmのオーバーラップ区間がある。また、図-3には各カメラから得られる画像の例を示す。なおビデオ映像(動画)を0.5秒毎に分割し画像(静止画)を得ている。

本分析では、7時30分~7時32分の2分間における通路内歩行者流を分析データとする。



■ 分析対象エリア  
● ビデオカメラの位置  
◀ 撮影方向

図-1 東武春日部駅構内図および分析対象エリア

\* Keywords: 歩行者空間整備, 歩行者軌跡

\*\* 正員, 修(工), 東京理科大学 理工学部 助手

(千葉県野田市山崎2641, TEL 04-7124-1501 (内線 4018)  
FAX 04-7123-9766)

\*\*\* 非会員, 修(工), (株) 豊田通商

\*\*\*\* 学生員, 学(工), 東京理科大学大学院

\*\*\*\*\* 学生員, 修(工), 東京理科大学大学院

\*\*\*\*\* 正員, 工博, 東京理科大学 理工学部 教授

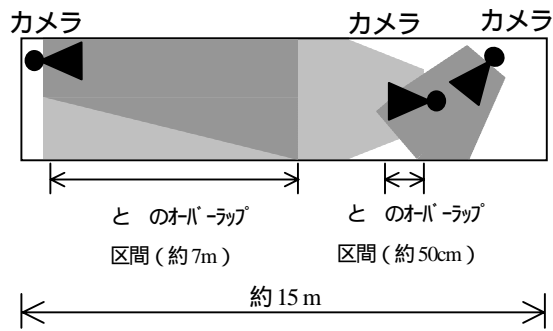


図-2 各カメラの撮影範囲

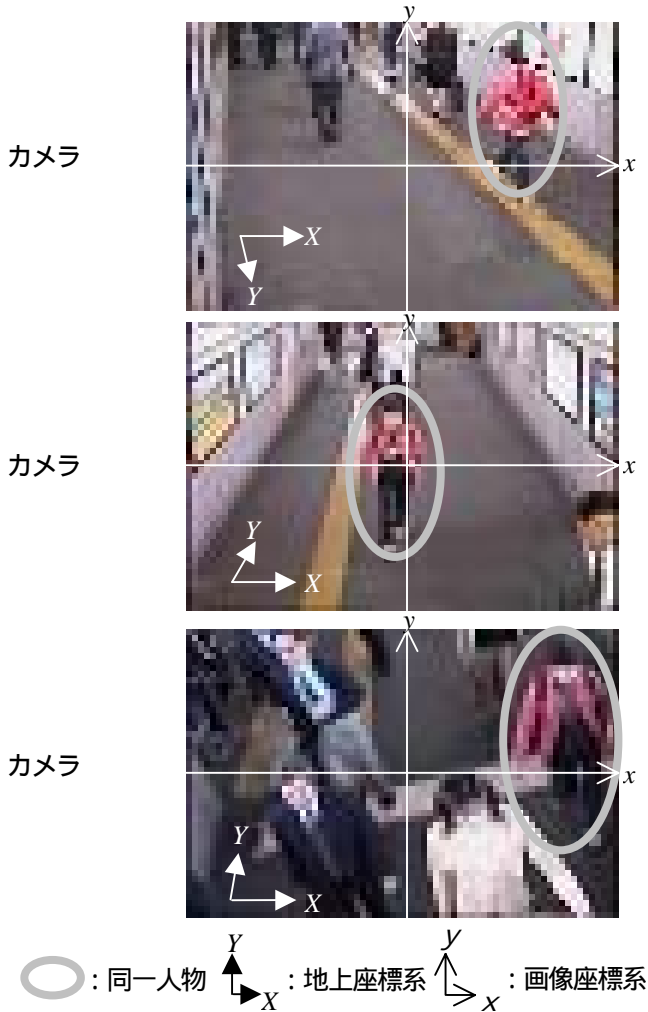


図-3 各カメラの画像例

### 3. 歩行者軌跡の接合手法

(1) 1台のビデオカメラでの歩行者軌跡の取得

#### a) 基準点の計測

はじめに、カメラごとに基準点を定め、それらの地上座標、画像座標を計測する。地上座標は、ある1点を原点として、その点からの距離により他の点の地上座標を計測している。画像座標は画像中心を原点として基準点の位置をマウスポインタで計測している。なお、1台のカメラにつき6個以上の基準点を設けている。

#### b) 外部標定<sup>8)</sup>

基準点の地上座標と画像座標から撮影時のカメラの位置と傾きを求める。ここでは写真測量技術の一つであるDLT(Direct Linear Transformation)法を用いる。この方法は、共線条件を3次元の射影変換式と見なすアルゴリズムで外部標定要素だけでなく内部標定要素の一部である写真主点のズレ、レンズの焦点距離も算出することができる利点を有している。

式(1)に三次元射影変換式を示す。この式を線形化し、各カメラにおける基準点の地上座標と画像座標を代入することで未知パラメータを推定する。

また、推定されたパラメータより式(2)~式(5)を用いて各標定要素を算出する。

$$\begin{cases} x = \frac{b_1 X + b_2 Y + b_3 Z + b_4}{b_9 X + b_{10} Y + b_{11} Z + 1} \\ y = \frac{b_5 X + b_6 Y + b_7 Z + b_8}{b_9 X + b_{10} Y + b_{11} Z + 1} \end{cases} \quad (1)$$

$x, y$  : 画像座標

$X, Y$  : 地上座標

$b_i$  : 未知パラメータ

$$\begin{cases} X_0 = \frac{(b_4 b_7 - b_3 b_8)(b_3 b_{10} - b_2 b_{11}) - (b_4 b_{11} - b_3)(b_3 b_6 - b_2 b_7)}{(b_3 b_5 - b_1 b_7)(b_3 b_{10} - b_2 b_{11}) - (b_3 b_9 - b_1 b_{11})(b_3 b_6 - b_2 b_7)} \\ Y_0 = \frac{(b_4 b_7 - b_3 b_8)(b_3 b_9 - b_1 b_{11}) - (b_4 b_{11} - b_3)(b_3 b_5 - b_1 b_7)}{(b_3 b_6 - b_2 b_7)(b_3 b_9 - b_1 b_{11}) - (b_3 b_{10} - b_2 b_{11})(b_3 b_5 - b_1 b_7)} \\ Z_0 = -\frac{b_4 + b_1 X_0 + b_2 Y_0}{b_3} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \tan \omega = -\frac{b_{10}}{b_{11}} \\ \tan \varphi = -\frac{b_9}{b_{10}} \sin \omega \\ \tan \kappa = -\frac{f_x (b_5 - y_0 b_9)}{f_y (b_1 - x_0 b_9)} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_0 = N^2 (b_1 b_9 + b_2 b_{10} + b_3 b_{11}) \\ y_0 = N^2 (b_5 b_9 + b_6 b_{10} + b_7 b_{11}) \end{cases} \quad (4)$$

$$N^2 = \frac{1}{b_9^2 + b_{10}^2 + b_{11}^2}$$

$$f = \frac{f_x + f_y}{2} \quad (5)$$

$$f_x^2 = N^2 (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) - x_0^2$$

$$f_y^2 = N^2 (b_5^2 + b_6^2 + b_7^2) - y_0^2$$

$X_0, Y_0, Z_0$ : カメラの地上座標 (外部標定要素)  
 $\theta, \phi$ : カメラの傾き (外部標定要素)  
 $x_0, y_0$ : 写真主点のズレ (内部標定要素)  
 $f$ : 焦点距離 (内部標定要素)

c) 歩行者位置の計測

各カメラ画像に撮影されている歩行者の頭部の位置をマウスポインタで計測する。得られた画像座標を式(1)を変形した式(6)に代入することで歩行者の画像座標を地上座標に変換する。なお、歩行者の身長は全て160cmと仮定している。

$$\begin{cases} X = \frac{(b_{10}y - b_6)\{(b_3 - b_{11}x)Z - x + b_4\} - (b_{10}x - b_2)\{(b_7 - b_{11}y)Z - y + b_8\}}{(b_9x - b_1)(b_{10}y - b_6) - (b_{10}x - b_2)(b_9y - b_5)} \\ Y = \frac{(b_9x - b_1)\{(b_7 - b_{11}y)Z - y + b_8\} - (b_9y - b_5)\{(b_3 - b_{11}x)Z - x + b_4\}}{(b_9x - b_1)(b_{10}y - b_6) - (b_{10}x - b_2)(b_9y - b_5)} \\ Z = 160cm \end{cases} \quad (6)$$

d) 観測誤差の推定<sup>8)</sup>

本分析では歩行者の頭部の位置をマウスポインタで計測しているが、画像の手前側と奥側では画像の解像度が異なることからポインタのズレによる観測誤差が発生する。後述するオーバーラップ区間の歩行者座標の算定は、各画像で得られる歩行者座標の観測誤差を考慮して行なうことが望ましいと考える。

ここでは赤羽<sup>8)</sup>による誤差分散方程式に基づき画像座標を地上座標に変換したときの誤差分散値を求める。図-4～図-6は、各カメラの地上座標でのX軸方向、Y軸方向の誤差分散値を示したものである。表示の都合上10ピクセル毎の誤差分散値を示している。誤差分散値は、X軸、Y軸ともにカメラ手前が小さく、奥に行くほど大きくなっていることが見て取れる。

(2) 歩行者軌跡の接合

a) 地上座標系の統一

複数台のビデオカメラより得られる歩行者軌跡を接合するには、1つのカメラの地上座標系に他のカメラの地上座標系を統一する必要がある。ここでは、平行移動ならびにヘルマート変換を用いてカメラの地上座標系に統一する。

b) オーバーラップ区間の歩行者座標の算定

オーバーラップ区間における歩行者座標の算定を行なう。なお、本調査では3台のビデオカメラの撮影開始が同時になるよう注意を払っているものの、調査員のスイッチボタンを押すタイミングや各カメラの時刻表示機能の精度から同期撮影となっていない。そのため、歩行者がオーバーラップ区間のある地点を通過する時刻を目

視で計測し、カメラ間の時間のズレを補正している。

各ビデオ画像の誤差分散値を用いて加重平均することでオーバーラップ区間の歩行者座標を算定している。以上の工程を経て得られた歩行者軌跡を図-7に示す。

4. おわりに

本研究では、制約の多い条件下で撮影された複数台のビデオカメラから得られる歩行者軌跡を接合する手法について検討を行なっている。

本稿で示した分析事例では真値との比較が行なえておらず、精度の確認までには至っていない。今後の課題としては、あらかじめ地上座標系を1つに統一しておき、その座標系を地面上に表記した上で撮影を行ない、撮影条件、身長の設定、画像の解像度による誤差を把握し、本研究での接合手法の有用性を検証することが挙げられる。

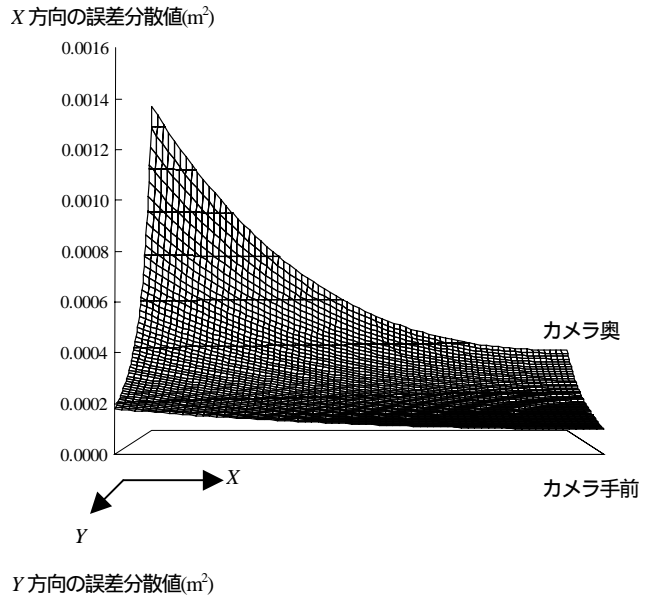


図-4 カメラの誤差分散値

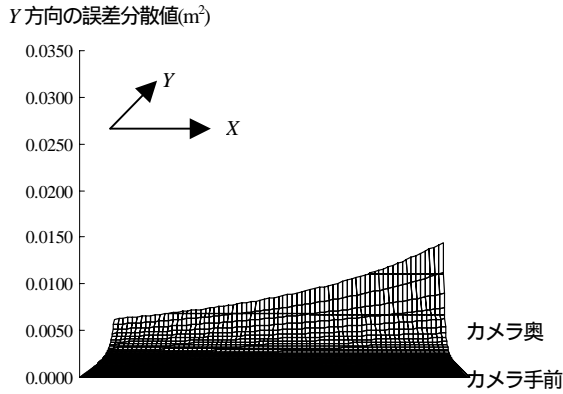
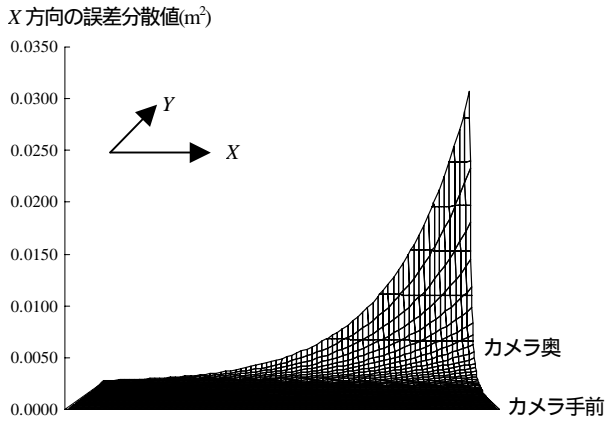


図-5 カメラ の誤差分散値

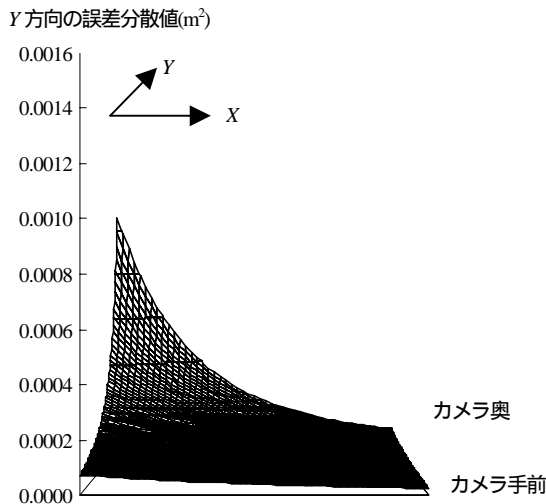
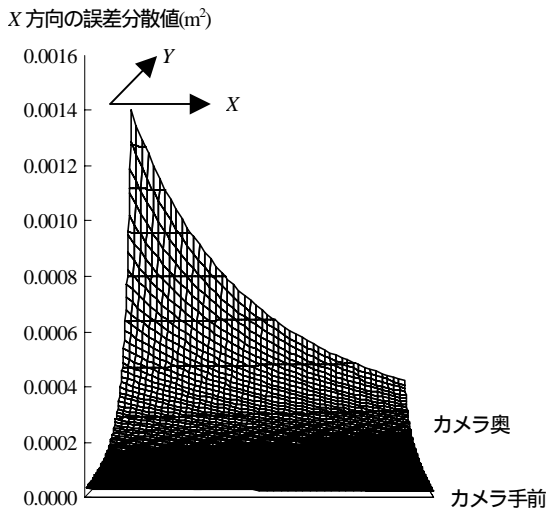


図-6 カメラ の誤差分散値

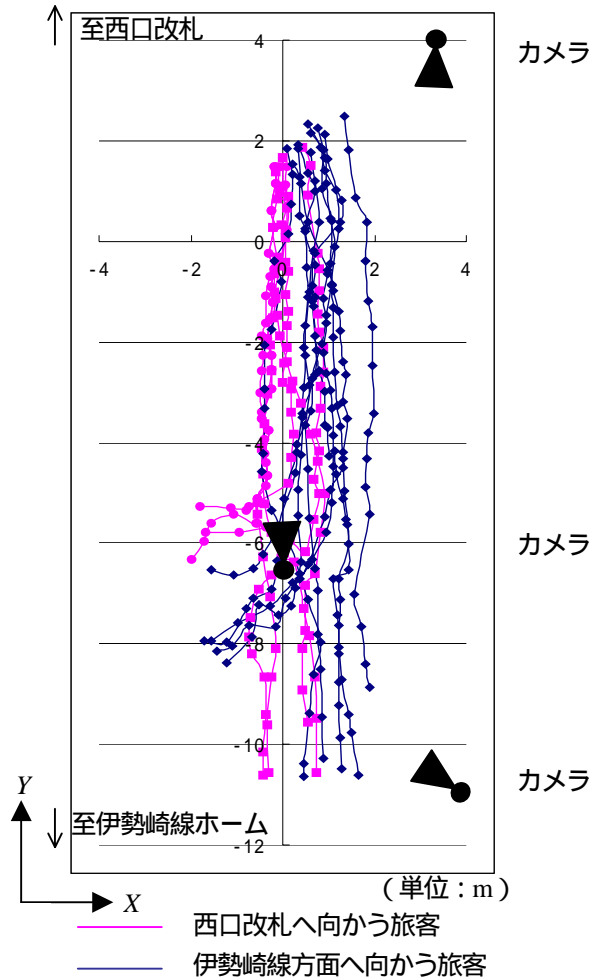


図-7 歩行者軌跡の接合

参考文献

- 1) 内田:歩行者交通を巡る新たな視点と交通工学者の矜持,交通工学 Vol.40 増刊号,pp.9-15,2005.
- 2) 柴崎:交通工学への空間情報技術の貢献,交通工学 Vol.41 No.1,pp.28-31,2006.
- 3) 加藤ら:群集対向流動の解析,日本建築学会論文報告集 第289号,pp.119-129,1980.
- 4) Antonini,G.,et al.:Simulation of Pedestrian Behavior using a Discrete Choice Model Calibrated on Actual Motion Data, Swiss Transport Research Conference Proceedings Session Micro Models and Simulation, 14pages, 2004.
- 5) 高柳ら:時系列領域干渉負荷モデルを用いた歩行者空間の混雑評価に関する研究,第23回情報システム利用技術シンポジウム論文集,pp.163-168,2000.
- 6) 鈴木ら:ビデオ画像を用いた歩行者挙動分析に関する考察,第21回交通工学研究発表会論文報告集,pp.153-156,2001.
- 7) 内閣府 国民生活局個人情報保護に関する法律,2005.
- 8) 赤羽弘和:複数の高精度ビデオカメラによる車両軌跡の高精度連続観測システムの開発,第37回土木計画学シンポジウム論文集,pp.89-96,2001.