

# スマートフォンを用いた駅構内における 歩行者行動計測手法の構築

平 昂洋<sup>1</sup>・柳沼 秀樹<sup>2</sup>・寺部 慎太郎<sup>3</sup>・康 楠<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)  
E-mail:7617613@ed.tus.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)  
E-mail:yaginuma@rs.tus.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)  
E-mail:terabe@rs.noda.tus.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)  
E-mail:kangnan@rs.tus.ac.jp

近年、駅空間のリノベーションが活発化しており、より高質な空間を実現するためには、歩行者の流動を加味した設計が重要となる。そのためには、空間内における歩行者の移動データを取得する必要があるが、GPSによる計測は困難であり、調査員によるカウンティングが基本となる。本研究では、GPSが利用できない駅構内を対象にスマートフォン内蔵のセンサーから得られるデータを用いた歩行者行動計測手法を構築した。具体的には、加速度センサーとジャイロセンサーの情報を取得するアプリを実装し、それらのデータから逐次的に位置推定を行うことで移動軌跡を推定した。また、歩数や水平移動、階段移動などの状態も特定可能であり、駅構内における詳細な交通実態の把握が可能となった。マニュアルでの実測値との誤差は微小であり本手法の有効性が確認された。

**Key Words :** *Pedestrian behavior, Acceleration sensor, Gyro sensor*

## 1. はじめに

ビッグデータの時代となった昨今、プローブデータをはじめとする膨大な個人の交通行動データが利用可能となり、交通実態の分析が飛躍的な進歩を遂げている。これまでは、鉄道や道路整備などの交通政策に用いられる交通実態調査手法としてパーソントリップ調査が行われ、トリップ単位での出発地、目的地、移動目的、交通手段などを基本とする定量的な分析が行われてきた。近年では、駅空間のリノベーションなど屋内の空間整備が活発化しており、従前では捉えきれなかった歩行者動線などのマイクロレベルのデータの必要性が高まっている。しかしながら、GPS計測では屋内空間での仔細な行動を観測することが困難な状況にある。そのため、マニュアルによるカウント調査が未だ主流となっており、駅構内における計測にかかる負担や誤差の改善が求められている。より具体的には、調査対象駅や経路の多さによる負担の大きさもさることながら、乗り換え時間算出のためにノード間を歩測で行っているが、調査員毎のカウントミスや記録時のミスによる精度低下が課題となっている。そ

のような中、センサーによる移動体の位置を明らかにするデッドレコニングと呼ばれる測位技術が情報工学分野を中心に盛んに研究されている。

本研究は GPS が利用できない駅構内を対象にスマートフォン内蔵のセンサーから得られるデータを用いた歩行者行動計測手法を構築する。具体的には、加速度センサーとジャイロセンサーの情報を取得するアプリを実装し、それらのデータから逐次的に位置推定を行うことで移動軌跡を推定する。また、従来のカウンティングによる計測手法を比較して有効性を検討する。これにより、調査時の負担を軽減し、かつマニュアルより高い精度でデータ取得が可能になると期待される。

## 2. 歩行者行動推定手法の構築

### (1) スマートフォンセンサー

計測には iPhone6 を使用した。アプリの計測結果をテキストファイルに記録し、Mac と接続して図-1、表-1 に示す各センサーの X, Y, Z 軸の記録を確認することが出来る。それらのデータから歩行者の行動と移動軌跡推定

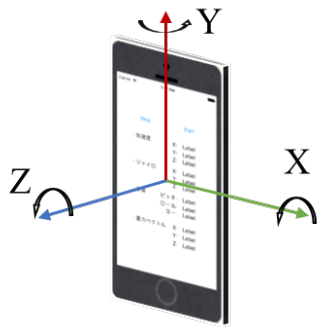


図-1 端末の3軸

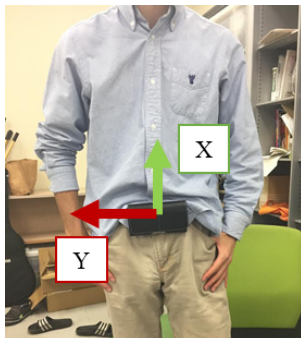


図-2 腰部装着の様子

表-1 アプリでの計測項目の概要

計測項目	使用方法
加速度	歩数や歩行・階段時の動作推定に用いる
ジャイロ	階段上り行動の推定に用いる
姿勢	測定開始地点からの歩行者の向きを表し、歩数と組み合わせて移動軌跡推定に用いる
重力ベクトル	端末本体の傾きを表し、鉛直方向の加速度と水平方向の加速度の補正に用いる

を行う。装着場所は上坂ら(2013)<sup>3</sup>の研究や、予備実験の結果より安定した波形が得られる腰前方部とし、図-2のように装着した。腰に装着した場合は低い周波数でも有効なデータを得られること、また、20[Hz]と比較した場合に得られる波形に差がないことから、サンプリングレートは10[Hz]とする。

## (2) 歩数推定

歩数推定は鉛直方向と進行方向の加速度のピークの関係性に着目してカウントする。星ら(2013)<sup>4</sup>の手法では、鉛直方向と進行方向の加速度に着目し、歩数検出区間内の加速度の最小と最大値の出現する順番に着目し歩数推定を行っている。歩数検出区間の設定は、鉛直方向の加速度が正から負になった時刻から、次に正から負になる時刻までとしている。そして、歩数検出区間に鉛直方向

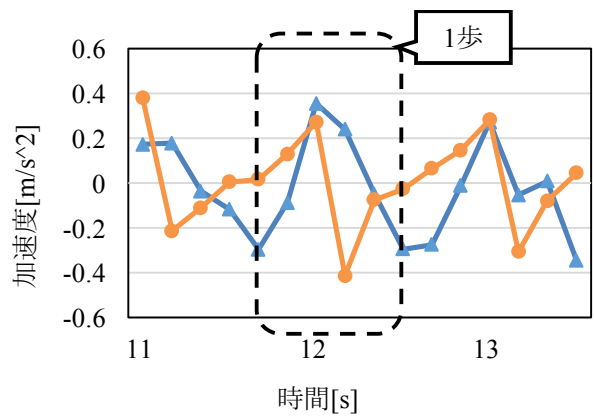


図-3 歩行時の加速度の変化

図-3 歩行時の加速度の変化

の最小値、進行方向の最大値、鉛直方向の最大値、進行方向の最小値の順を満たした時に1歩とカウントする。

本研究で使用した端末の計測結果を見ると、鉛直方向及び進行方向の加速度の最大値は同じタイミングで出現するケースが多く、既往研究における歩数検出方法は本研究の使用端末には適さなかった。これは、使用する端末内のセンサーの違いによるものだと考えられる。そのため本研究では改良し、鉛直方向の加速度の値が負に変化し最小になった時刻から次の最小になるまでの1周期を歩数検出区間とし、加速度ピーク値の出現の順番は考慮しない手法とした。図-3に示すように、鉛直方向の加速度の最小値ペアの区間に進行方向の正負のピークが収まっていれば1歩としてカウントする。

## (3) 加速度補正

歩行における歩行者の上体の姿勢の変化や、腰部に装着した端末のX軸は必ずしも地面に垂直ではなく、Z軸も水平ではないことから、星ら(2013)<sup>4</sup>の補正方法を参照し、端末の傾きを考慮した鉛直方向と進行方向の加速度を算出した。以下の式は図-2のように腰に装着した場合の加速度補正式である。鉛直方向の加速度を $a_v$ 、進行方向の加速度を $a_h$ とする。X, Y, Z軸の加速度は $(a_x, a_y, a_z)$ 、Y軸回り(ピッチ)の傾きを $\theta_p$ 、Z軸回り(ロール)の傾きを $\theta_r$ とする。 $\theta_p$ 、 $\theta_r$ は式(1)、式(2)で求める。

$$\theta_p = \tan^{-1} \left( \frac{-G_z}{\sqrt{G_x^2 + G_y^2}} \right) \quad (1)$$

$$\theta_r = \tan^{-1} \left( \frac{G_y}{\sqrt{G_x^2 + G_z^2}} \right) \quad (2)$$

ここで、重力加速度GのX, Y, Z成分は $(G_x, G_y, G_z)$ である。式(1)、式(2)より、鉛直方向と進行方向の加速度

は式(3), 式(4)となる.

$$a_v = (a_x \cos \theta_p + a_z \sin \theta_p) \cos \theta_r - a_y \sin \theta_r \quad (3)$$

$$a_h = -a_x \sin \theta_p + a_z \cos \theta_p \quad (4)$$

(4) 行動状態推定

歩行者の状態については, 加速度センサーとジャイロセンサーで推定可能である. なお, 歩行者の行動状態について, 静止と歩行, 階段上り, 階段下りの4種類とする. 興梠ら(2004)<sup>2)</sup>の研究より, 各行動状態において加速度センサーやジャイロセンサーの波形やそれらの関係性によって行動状態の判別が可能であることが分かっている. 本研究の使用端末の計測値においても既往研究で示された特徴を確認することができた.

a) 階段上り

図-4 に示す通り, 階段上り時では, 鉛直方向の加速度とロール軸回りの角速度成分に着目すると, 角速度の周期が加速度成分の約2倍となっている. 本研究でもこの特徴に注目して歩行者の階段の上り動作の判定を行った. なお, 段数推定については身体の上下動が大きいことか

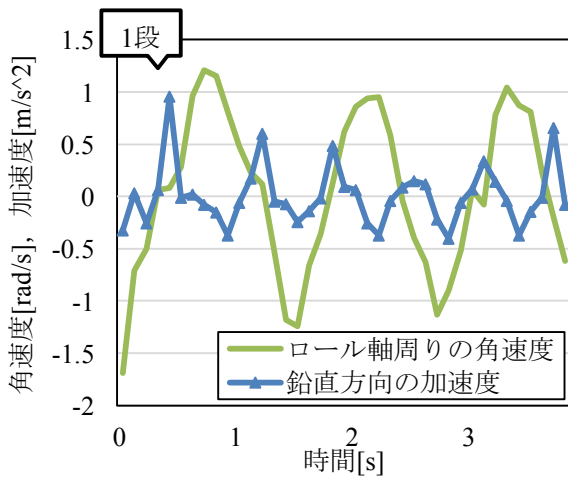


図-4 階段上り時の角速度・加速度の変化

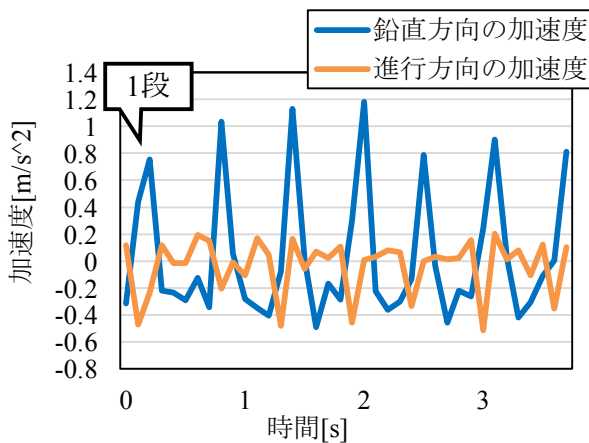


図-5 階段下り時の加速度の変化

ら, 鉛直方向の加速度の正のピーク数をカウントする手法とした.

b) 階段下り

階段の下り動作についても, 興梠ら(2014)<sup>2)</sup>の研究より, 特徴的な加速度が得られることが分かっている. 使用端末で検証した結果, 鉛直方向の加速度の最大と最小の差分値が進行方向の加速度のものに比べて十分に大きくなること図-5 で示され, これらの特徴に注目して歩行者の階段の下り動作の判定を行った. 段数推定についても身体の上下動が大きいことから, 鉛直方向の加速度のピーク数をカウントする手法とした.

c) 進行方向計測

進行方向の計測には, ヨー軸周りの角度変化を用いる. 端末を腰に固定した状態からの変化を記録する. 値の範囲は時計回りに $-\pi$ [rad], 反時計回りに $\pi$ [rad]である. 図-6 の様に歩行した時のヨー軸周りの角度の変化は図-7 となり, 右左折による歩行者の進行方向の変化を確認できた.

(5) 移動軌跡推定

移動軌跡は, 逐次的に歩行者の自己位置を求めることで推定した. 具体的には, 図-8 に示すように, 前述の行動状態推定における歩数推定結果とジャイロセンサーから得られる進行方向などを組み合わせて位置推定を行う. 上坂ら(2011)<sup>9)</sup>の手法と同様に以下の3つの式を用いて2次元座標として求める. ここで,  $n$  歩時の位置の絶対座標を $p_n = (x_n, y_n)$ ,  $n+1$  歩時の変位を $d_{n+1}$ , 測定開始地点からの移動した時の進行方向の角度を $\theta$ , 歩幅を $l$ とする.

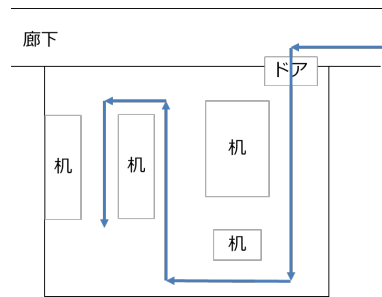


図-6 経路

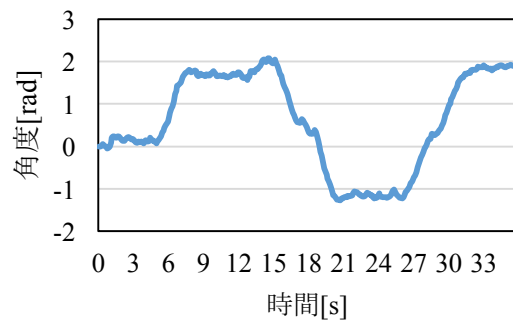


図-7 ジャイロセンサーのヨー軸周りの角度の変化

$$p_n = (x_n, y_n) \quad (5)$$

$$d_{n+1} = (l_{n+1} \sin \theta_{n+1}, l_{n+1} \cos \theta_{n+1}) \quad (6)$$

$$p_{n+1} = p_n + d_{n+1} \quad (7)$$

### 3. 駅構内での計測実験と有効性の検証

実際に駅構内で計測を行い、移動軌跡の推定、および既存の調査手法との比較を行う。駅構内での調査は図-9のようにノード間を歩測で測り、乗換における経路を算出している。そのため、計測者による歩測が重要になる。計測手法の比較方法は標準偏差を用い、歩数の誤差を考慮したうえで、本手法の有効性を検討する。

表-2の通り、大規模ターミナル駅であるJR品川駅を対象に、本手法の実証実験を行った。実験は、2017年1月の平日オフピーク時に実施し、利用実績の多い乗り換え経路を3つ選定して、各経路について複数回計測した。また、歩数の実測値に関しても、駅構内の状況によって誤差が生じるため、同様に複数回計測を行った。

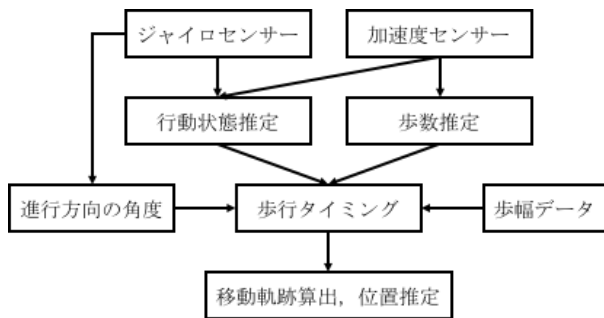


図-8 推定フロー図

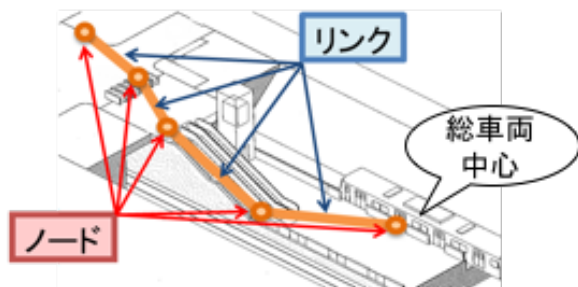


図-9 駅構内のノードとリンクのイメージ

表-2 計測実験概要

日時	平成 28 年 1 月 12 日, 16 日
場所	JR 品川駅
経路	(a)上野東京ライン～山手線 (b)山手線～京浜東北線 (c)山手線ホーム周辺
条件	駅構造調査手法にならい、同様にノード間を歩く

### (1) 駅構内における歩行者行動計測の結果

#### a) 経路(a)の結果

計測データから逐次的な位置推定結果である移動軌跡を示す。図-10は11番(上野東京ライン)ホームから1番(山手線)ホームまでの計測結果を用いて移動軌跡を算出し、2次元座標に表した図である。なお、原点は計測開始地点を意味する。移動軌跡と終了地点の推定精度が低い結果となったのは、周辺状況や曲がる際の歩幅の違いによって誤差が蓄積したためだと考えられる。

#### b) 経路(b)の結果

3番(京浜東北線)ホームから1番(山手線)ホームまでの移動軌跡について検証する。計測結果を用いて移動軌跡を算出し、同様に2次元座標に表し、原点は計測開始地点とする。図-11に示すように推定した移動軌跡と実際の軌跡がほぼ等しくなった。これは、歩行距離の短さにより誤差の蓄積が少なかったためだと考えられる。

### (2) 既存調査手法との比較

#### a) 歩数比較

各経路に含まれる水平移動 25 リンクを対象として、本研究手法で推定した歩数と実測による最確値を比較し、残差の分布を図-12で示す。残差は0から3に分布が集中していることがわかり、歩数推定手法に一定の有効性があると言える。

#### b) 誤差の評価

検証実験で得られたデータを用いて、駅構内の水平移動に関する標準偏差を求めると、結果は4.9となり、実測値と本研究手法の歩数の差は約5[歩]と言える。次に、その差を移動時間に換算する。計測者の平均歩幅0.73[m]、平均移動速度1.2[m/s]を用いると、移動時間は3.0[s]となり、実測値と本手法における推定結果の差は小さいことが分かった。

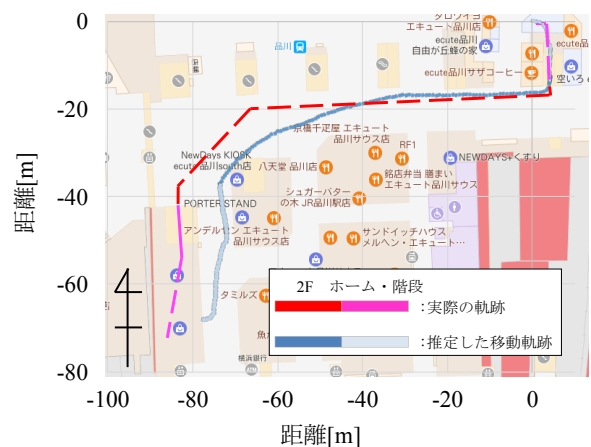


図-10 経路(a)における実際の軌跡と推定した移動軌跡

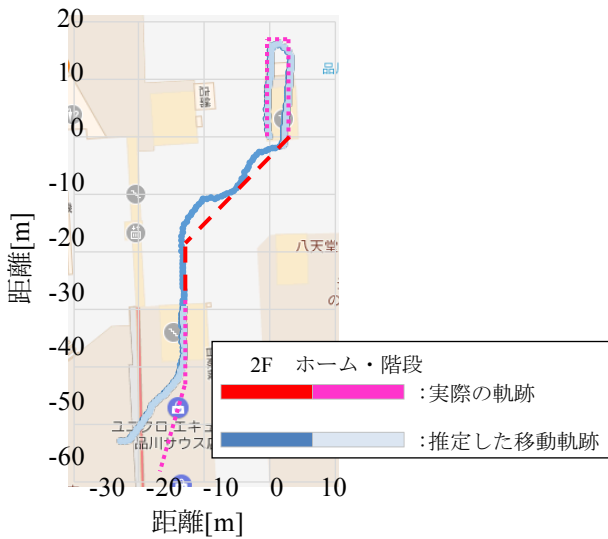


図-11 経路(b)における実際の軌跡と推定した移動軌跡

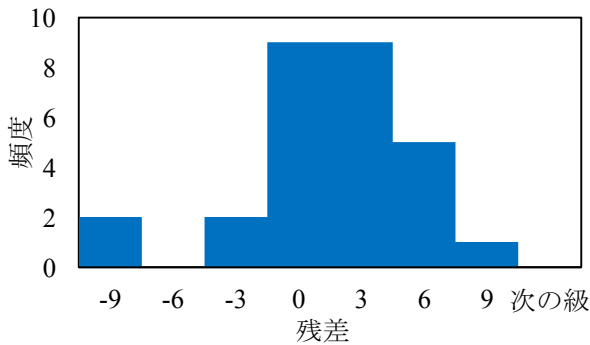


図-12 残差のヒストグラム

#### 4. おわりに

本手法によって歩数と水平移動，階段移動の状態を特

定し，駅構内における詳細な交通実態の把握が可能となった．しかし，実証実験の結果から，経路(a)の場合のように移動距離が長くなると，歩行終了地点に近づくにつれて誤差が蓄積し，実際の移動軌跡と推定した移動軌跡に差が生じることがわかった．よって，移動軌跡推定については，得られたデータから2次元座標に表す処理段階において改善方法を検討する必要がある．歩数推定に関しては，マニュアルでの実測値との差は微小であり，本手法の有効性が確認された．今後は本手法を取り入れた歩行者挙動シミュレーションの構築を目指したい．

#### 参考文献

- 1) 塩津弥佳・吉澤晋・池田耕一・野崎淳夫：生活時間調査による 屋内滞在時間と活動量 室内空気汚染物質に対する暴露量評価に 関する基礎的研究 その 1，日本建築学会 計画系論文集，第 511 号，pp. 45-52，1998
- 2) 興梠正克・蔵田武志：慣性センサ群とウェアラブルカメラを用いた歩行動作解析に基づくパーソナルポジショニング手法，電子情報通信学会技術研究報告，Vol. 103, No. 737, pp. 25-30, 2004
- 3) 上坂大輔・村松茂樹：スマートフォンを用いた歩行者デッドレコニング，情報処理，Vol. 54, No.6, pp. 570-573, 2013
- 4) 星尚士・藤井雅弘・渡辺裕：スマートフォンにおける 2 次元加速度を用いた歩数推定法に関する一検討，情報処理学会第 75 回全国大会，pp. 147-148, 2013
- 5) 上坂大輔・村松茂樹・岩本健嗣・横山浩之：手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案，情報処理学会論文誌，Vol. 52, No. 2, pp. 558-570, 2011

### PEDESTRIAN BEHAVIOR MEASUREMENT IN THE STATION USING SMARTPHONE

Koyo TAIRA, Hideki YAGINUMA, Shintaro TERABE and Nan KANG