

加速度センサを用いて歩行者ナビゲーションの位置を補正するための状態推定

沼 杏子^{†1} 屋代 智之^{†1}

GPS など衛星を用いた位置検出は、屋内やアーバンキャニオンなどでは電波を受信することができないという問題点がある。これにより、歩行者ナビゲーションにおいて位置のずれが生じるという問題が起る。そこで本研究では、加速度センサを用いて、歩行、階段昇降の行動状態を判別することで、現在位置を補正する手法を提案する。

A State Estimation for Position Calibration of a Pedestrian Navigation System using an Accelerometer

KYOKO NUMA^{†1} and TOMOYUKI YASHIRO^{†1}

The position estimation device using GPS can not receive radio at indoor or the urban canyon. Thus the pedestrian navigation system can not utilize in such place since the estimated position contains error. In this paper, we use an accelerometer to distinct the pedestrian's action state such as walking, going upstairs and downstairs, and propose a present position calibration method.

1. はじめに

携帯電話の機能は年々増加し、現在では GPS、無線 LAN、RFID、加速度センサといったユーザ位置や周辺環境に関する情報を取得するデバイスを持つものも多くなってきてる。このうち GPS、無線 LAN、RFID はインフラ環境に強く依存する。GPS は広く利用されているが、都市部ではアーバンキャニオンと呼ばれる受信不能エリアが存在する。一方、加

速度センサ、圧力センサ、気圧センサ等のデバイスはインフラを必要とせず、小型化・省電力化に伴い、高精度で安価なセンサを携帯端末に搭載することが可能となっている。加速度センサはユーザのジェスチャ入力を可能にするだけでなく、ユーザの移動状況や端末の向きなど多様な情報を取得できることから、新たなアプリケーションやサービスの可能性が模索されている。また、ジャイロセンサと組み合わせることにより、歩行者ナビゲーションへの利用も検討されている¹⁾。インフラや環境に依存せず加速度センサのみを用いた位置検出法として慣性航法がある。しかし、この方法は、歩行者の歩行形態の不規則さや計測ノイズ等による誤差が著しく蓄積して行く問題が発生する。

本研究では、新たなインフラの設置を必要としない位置推定を目的とし、携帯端末に搭載されたセンサを用いて端末保持者の「歩行」「階段昇降」の行動コンテキストを推定する手法を検討する。これらの状態推定を行うことで、歩行者ナビゲーションにおいて、GPS 等の衛星電波が受信できない領域で生じる位置のずれを補正するポイントとして利用することができる。

2. 関連研究

産総研ではウェアラブルカメラから得られる画像と、利用者の頭部と腰部に装着された慣性センサ群から得られるデータを統合することで、位置・方位情報を取得する方法²⁾を提案している。事前に登録された画像データベースと頭部に装着されたウェアラブルカメラから得られる画像を照合することで、絶対位置と頭部方位を間欠的に取得している。

文献 3) では、無線 2 軸センサを両手首、両足、腰の 5 箇所に取り付け、これら加速度センサから得られた値の静止時との差の平均値を求め、この値を基準にし、「歩いている」「立っている」「座っている」「走っている」の 4 状態を推定している。また、フォトダイオード、紫外線センサ、温度センサ、アルコールセンサ、モーションセンサの 6 つのセンサから屋内外の判定、環境情報の取得を行っている。

文献 4) では、単一の加速度センサを搭載した携帯電話をバッグの中、ズボンのポケットや上着のポケットといったさまざまな場所に保持し、ユーザの立っている、座っている、前傾しているといった姿勢、動作の推定を可能にする手法を示している。リアルタイムの信号情報からセンサがどこに取り付けられているのかを自ら判別し、その情報をもとに推定アルゴリズムを動的に切り替えることで推定精度を向上させている。

^{†1} 千葉工業大学
Chiba Institute of Technology

3. 提 案

3.1 提案手法

人間の移動状態を判別することができれば、GPS や基地局を用いた測位ができない屋内やアーバンキャニオンと呼ばれる受信不能エリアでの位置推定が可能となる。現在位置の推定が出来ると、歩行者ナビゲーションでの補正ポイントとして活用することができる。例えば階段を上っている場合には歩道橋など、地図上で階段のある場所にいると推定することによって、歩行者のマップマッチングを行い、現在位置を補正できる。多くの関連研究 5)–10) によって人間の移動状態の推定が行われており、人間の移動にはそれぞれ特徴的な加速度が抽出できることがわかっている。しかし、その多くは、実際のアプリケーション利用を想定していない。また歩行者の履物による差（ハイヒールなどの影響）が考慮されていない。そこで、本研究では、実際のアプリケーション利用を考え、携帯端末にマイクロセンサが搭載されていることを想定し、それを手に持った状態で計測を行う。また、被験者にハイヒールを履いてもらい同様に計測を行う。

提案する移動状態判別方法では、それぞれの状態から加速度の波形を FFT することで、パワースペクトルを得る。得られたパワースペクトルの速度の影響を除くため、周波数を合わせて正規化を行いモデルデータを作成し、モデルデータと計測したマイクロセンサのデータを比較することにより移動状態の判別を行う。先行研究では、速度を 3 パターンに分けて、モデルデータとのマッチングを行っていた。しかし、人の歩く速度は常に変化しているため、3 パターン以外の速度で歩行した場合マッチングを行うことができないという問題点があった。正規化を行うことでこの問題点を解決することができる。

3.2 データ収集

3.2.1 使用機材

データ収集には NEC TOKIN 製の 3D モーションセンサ「MDP-A3U9S」(図 1) を用いた。3D モーションセンサ「MDP-A3U9S」は加速度センサ、セラミック・ジャイロ、地磁気センサを組み合わせて作られている。加速度センサはセンサ自体の加速度の変化を検出するセンサである。重力加速度も検出できるので、人や物体の動きなどを検出することができる。セラミック・ジャイロは角速度を検出し、物体の回転速度を測るセンサで、動きに非常に敏感である。地磁気センサは、磁界の向きを検出するセンサで、東西南北の絶対値を示すことができる。MDP-A3U9S の仕様を表 1 に示す。

また、加速度センサで得られた値を記録するため、ノート PC を用いた。



図 1 MDP-A3U9S
Fig.1 MDP-A3U9S

表 1 MDP-A3U9S の仕様
Table 1 Specification of MDP-A3U9S

| 項目 | 仕様内容 |
|---------|------------------------------------|
| データ更新速度 | 125Hz |
| インタフェース | USB 仕様 1.1 準拠 |
| 電流電圧 | DC5V(USB インターフェイスより供給) |
| 消費電流 | 100mA 以下 |
| 外形寸法 | 31.6mm(W) × 43mm(D) × 22mm(H)(Typ) |

3.2.2 実験場所

以下の場所を実験場所として計測を行った。

- 千葉工業大学、津田沼校舎 7 号館 3 階から 5 階の階段および 5 階廊下
- JR 津田沼駅周辺、歩道橋

3.2.3 計測方法

本研究は、被験者の携帯端末に加速度センサが搭載されていることを想定して行う。(図 2) データ取得のために、携帯端末を手に持ってもらい、普段歩いているように廊下と階段を歩いてもらった。「階段上り」「歩行」「階段下り」を一連の動きとして連続して計測を行った。取得したデータは、それぞれの状態ごとに 120 個 (4.0 秒) ずつ切り出し FFT した。

得られたパワースペクトルの最大周波数を 20Hz に合わせて平均を取り、さらに最大スペクトルを 100 に正規化した。人の歩く速度は常に変化しており、周波数が変化する。速度が速くなれば最大周波数は高くなる。この影響を取り除くために、最大周波数を合わせたパワースペクトルを用いた。

位置補正時には、加速度センサで取得したパワースペクトルを同様に正規化し、これらのモデルデータと相関を取って、最も相関係数が高いものを推定状態とした。



図 2 端末
Fig. 2 Terminal

4. 結果

4.1 加速度データ

屋内の加速度データを図 3 に示す。状態の値が 1 の時は歩行、2 の時は階段上り、3 の時は階段下りである。12,673 秒から 12,702 秒までは、3 階から 5 階へ上ったので計 4 回の階段上りと計 3 回の踊り場での歩行がある。また、12,702 秒から 12,773 秒までは 5 階フロアを歩行した。12,773 秒から 12,804 秒までは、5 階から 3 階へ下りたので、計 4 回の下りと計 3 回の踊り場での歩行がある。この図から歩行、階段上り、階段下りの順に振幅が大きくなっていることがわかる。

4.2 モデルデータ

各状態ごとの加速度データを 120 個 (約 4.0 秒) の単位で切り出して FFT し、パワース

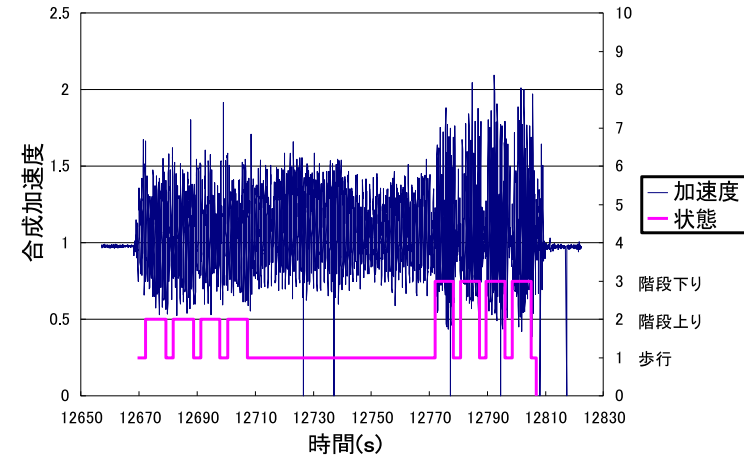


図 3 加速度
Fig. 3 Acceleration

ペクトルを得た。得られたパワースペクトルを図 4～図 6 に示す。全ての結果において 2Hz 付近にピークが見られる。得られたパワースペクトルの最大周波数を 20Hz に合わせて平均をとった。さらに、最大スペクトルを 100 に正規化しモデルデータを作成した。状態ごとのモデルデータを図 7～図 9 に示す。

4.3 加速度による推定結果

図 10 に、屋内で取得したデータとモデルデータで相関を取った結果を示す。正解は正しい状態を表し、1 の時は歩行、2 の時は階段上り、3 の時は階段下りである。歩行状態では、相関係数の振動が少なく、安定した状態であることが推測できる。図 11 に、屋内でヒールの高さ 8cm の靴を履いてデータを取得し、モデルデータと相関を取った結果を示す。全ての状態で相関係数の振動があり、判定された状態も安定していない。原因としてハイヒールによる足元の不安定さと被験者の歩き方に癖があった可能性が挙げられる。

相関係数が一番高かったものを推定状態とした結果を表 2 と表 3 に示す。表の値は、各状態のパワースペクトルを入力として状態推定を行った結果である。表 2 では、歩行状態を

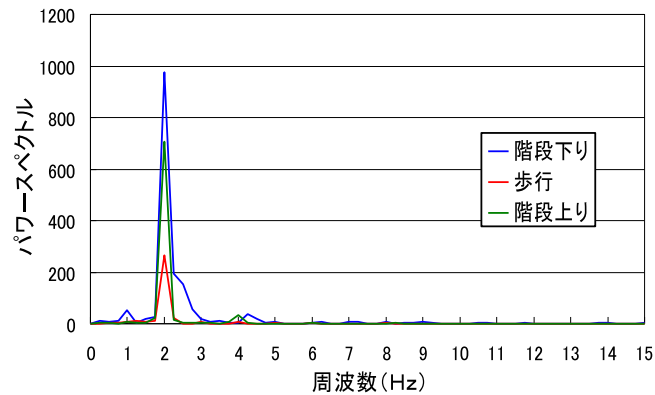


図 4 屋内 (パワースペクトル)
Fig.4 Indoor(Power spectrum)

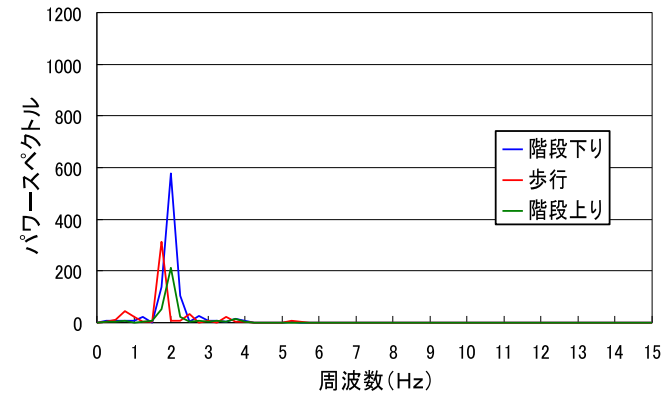


図 5 屋外 (パワースペクトル)
Fig.5 Outdoor(Power spectrum)

入力として、ヒール歩行と判断されたのが7, ヒール上りと判断されたのが8ということを示している. 屋内歩行の正解率は, 全ての状態のパワースペクトルに対する屋外歩行, ヒール歩行を含む全ての歩行との比率である. その他の正解率も同様に算出した. 表 2 から屋内の階段下りの正解率が 51.9%, ヒールの階段下りの正解率は 47.6%となり, 判別できる可能性が高いという結果が得られた. しかし, 今回の実験では歩行, 階段上りでは有意な結果が得られなかった.

5. 結 論

現在, 携帯端末は, 搭載可能な機能が年々増加し, ユーザ位置や周囲の環境に関する情報を取得する機能を持つものが増えてきている. 機能の充実により, 精度の高い位置検出技術について研究されている. 本研究では, 加速度センサが携帯端末に搭載されていることを想定し, 「歩行」「階段昇降」の行動コンテキストの推定を行い, 位置補正のポイントとして利用するための状態推定を試みた. 実験結果から階段下りではある程度状態が推定で

表 2 屋内状態推定精度

Table 2 Precision of indoor state estimation

| | 歩行 | 階段上り | 階段下り |
|-------|--------|--------|--------|
| ヒール歩行 | 7 | 4 | 2 |
| ヒール上り | 8 | 0 | 18 |
| ヒール下り | 0 | 0 | 0 |
| 屋外歩行 | 14 | 1 | 3 |
| 屋外上り | 74 | 20 | 3 |
| 屋外下り | 20 | 22 | 17 |
| 屋内歩行 | 4 | 1 | 0 |
| 屋内上り | 1 | 0 | 0 |
| 屋内下り | 23 | 4 | 11 |
| 正解率 | 16.6 % | 38.5 % | 51.9 % |

きるという結果が得られた. しかし, 歩行, 階段上りでは判別は困難であった. また履物による差 (ハイヒールの影響) も見られなかった. 歩き方には個人差があり, 癖がある人もい

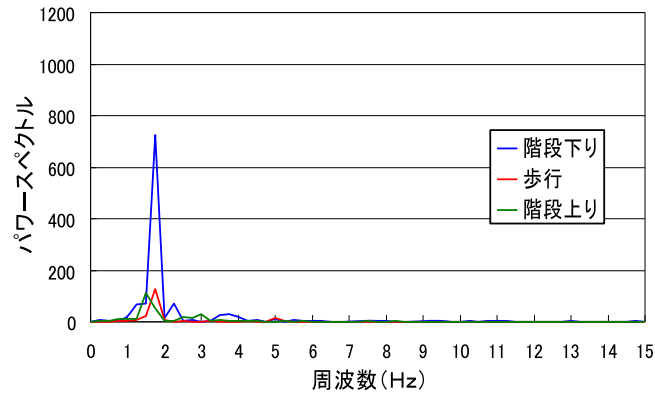


図 6 ヒール (パワースペクトル)
Fig. 6 High heels(Power spectrum)

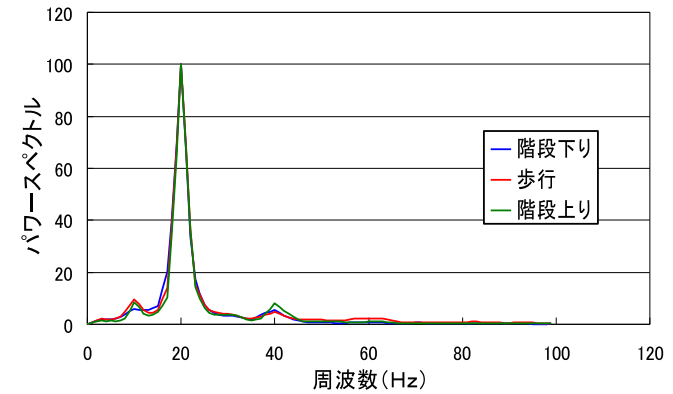


図 7 屋内 (モデルデータ)
Fig. 7 Indoor(Model data)

表 3 屋内状態推定精度 (ヒール着用時)
Table 3 Precision of indoor state estimation(Wearing high heels)

| | 歩行 | 階段上り | 階段下り |
|-------|--------|--------|--------|
| ヒール歩行 | 23 | 18 | 9 |
| ヒール上り | 8 | 14 | 9 |
| ヒール下り | 6 | 7 | 9 |
| 屋外歩行 | 4 | 20 | 4 |
| 屋外上り | 3 | 17 | 6 |
| 屋外下り | 11 | 6 | 11 |
| 屋内歩行 | 0 | 5 | 1 |
| 屋内上り | 1 | 8 | 2 |
| 屋内下り | 10 | 4 | 8 |
| 正解率 | 40.9 % | 39.4 % | 47.5 % |

る。モデルデータを作成するためのパワースペクトル間で相関を取り、パワースペクトルが似ているものを集めることができれば、状態を判別できる可能性が高くなるだろう。

人の歩く速度は常に変化しているため、最大周波数が状況によって異なる。先行研究では、速度を3パターンに分けて、モデルデータとのマッチングを行っていた。この手法では、3パターン以外の速度では、マッチングを行うことができない。そのため、速度の影響を除くため、周波数を合わせて正規化を行った。しかし、正規化を行うことで、歩行と階段の区別がつかなくなり、状態推定を行うことができなかった。すなわち、正規化によって失われた最大周波数および最大スペクトルの情報が状態推定において重要な意味を持っているということがいえる。

今後の課題として、パワースペクトルをクラスタリングなどの手法を用いて分類した上で、モデルデータを作成することで速度に応じた状態推定ができるのではないかとと思われる。また、最大周波数および最大スペクトルといった情報を適切に状態推定に利用するような手法を用いることで、推定精度の向上が可能になると考えられる。

さらに、今回の実験では、端末を手に保持した状態でデータ取得を行ったが、鞆の中に入れて手に保持した状態や肩に掛けた状態など、様々な保持方法でデータ取得を行うことで、

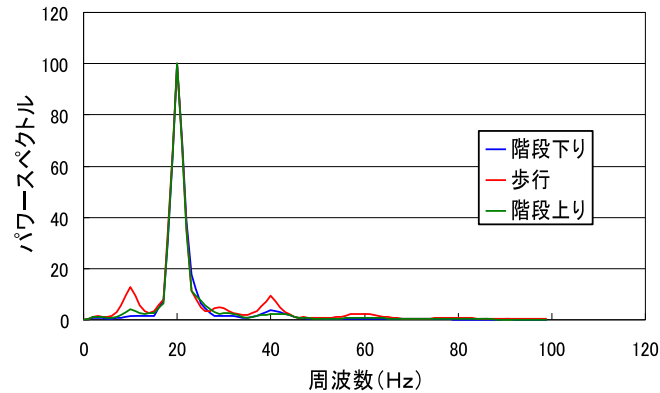


図8 屋外 (モデルデータ)
Fig. 8 Outdoor(Model data)

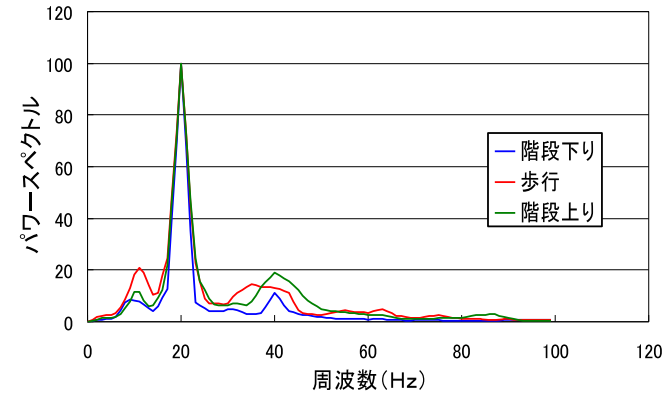


図9 ヒール (モデルデータ)
Fig. 9 High heels(Model data)

推定結果に違いが表れると思われる。今回の結果において、履物による差が見られなかった原因として、データ数が少なかったことが挙げられる。そのため、被験者数を増やしデータ数を多くする必要がある。また、加速度センサと地磁気センサなど他のセンサを組み合わせることで、状態推定の精度が向上するのではないかと考えられる。将来的には歩行者ナビゲーションにおいて、他の状態推定と組み合わせ、実際に位置補正が行えるかを検証する。

参考文献

- 1) 小川晶子, 小西勇介, 柴崎亮介: 自立型ポジショニングシステム構築に向けて着用型センサーを用いた人間行動モード推定, 全国測量技術大会 2002, 学生フォーラム発表論文集, 2002 年.
- 2) 興梠正克, 蔵田武志: ウェアラブルカメラと慣性センサ群のデータ統合に基づくパーソナルポジショニング, 電子情報通信学会技術研究報告, 第 12 回複合現実感研究会, PRMU2002-180, pp.67-72, 2003 年.

- 3) 林智天, 川原圭博, 田村大, 森川博之, 青山友紀: 小型モバイルセンサを用いたコンテキスト適応型コンテンツ配信サービスの設計と実装, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.104, no.691, IN2004-226, pp.149-154, 2005 年 3 月.
- 4) 倉沢央, 川原圭博, 森川博之, 青山友紀: センサ装着場所を考慮した 3 軸加速度センサを用いた姿勢推定手法, 情報処理学会研究報告, UBI-11-3, pp.15-22, 2006 年 6 月.
- 5) 沼杏子, 菊口博樹, 屋代智之: 加速度センサを用いた歩行者ナビゲーションの位置を補正する手法に関する一検討, 電子情報通信学会第 2 回ヒューマンプロンプ研究会, pp.13-16, 2009 年 10 月.
- 6) 山崎亜希子, 五味田啓: 加速度センサ等を用いた移動状態判定方式の検討, 情報処理学会第 70 回全国大会, 1E-3, pp.3.39-3.40, 2008 年.
- 7) 金杉洋, 小西勇介, 柴崎亮介: ウェアラブルセンサによる人体動作の計測と行動モードの識別, 全国測量技術大会 2004, 学生フォーラム発表論文集, Vol.6, pp.207-210, 2004 年 6 月.
- 8) 興梠正克, 酒田信親, 大隈隆史, 蔵田武志: 屋内外歩行者ナビのためのデッドレコニング/GPS/RFID を統合した組み込み型パーソナルポジショニングシステム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.234, MVA2006-61, pp.109-114, 2006 年.

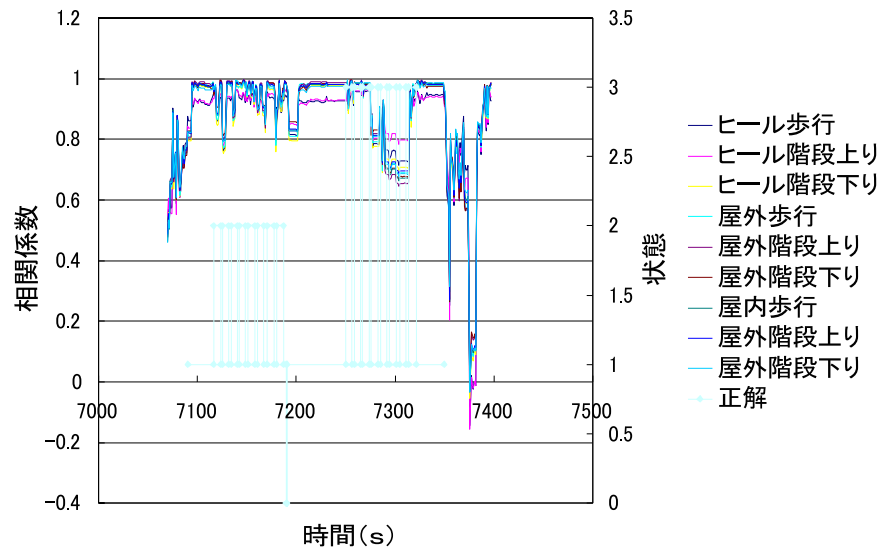


図 10 状態
Fig.10 State

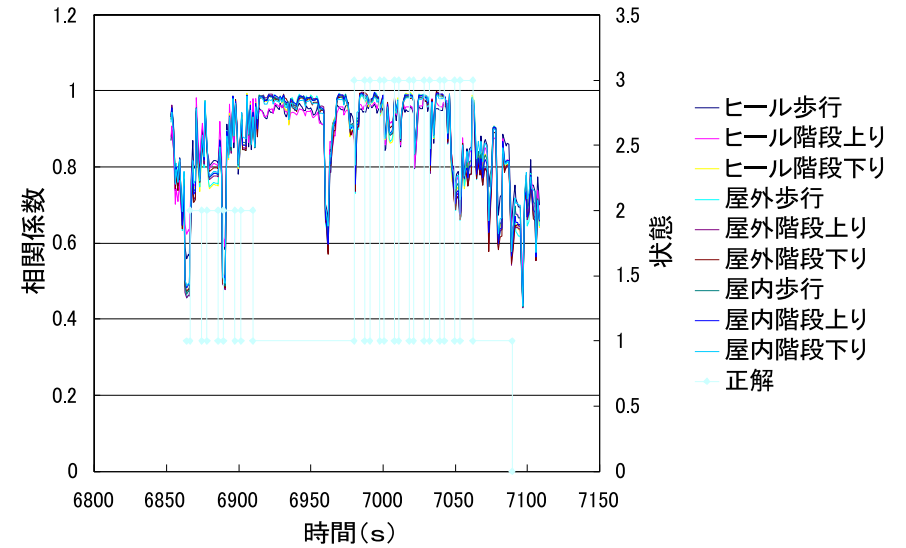


図 11 ヒール着用時の状態
Fig.11 Wearing high heels

- 9) 山邊哲生：センサデバイス Muffin を用いたコンテキスト取得についての研究，早稲田大学大学院理工学研究科。
- 10) D.Kamisaka, T. Iwamoto, S Muramatsu and H. Yokoyama: Pedestrian Dead Reckoning Method Suitable for Built-in Motion Sensors on mobile phones, Ubiquitous Computing System 2009 International Symposium, UCS, pp.23-30, Beijing, China, (Aug. 2009)