

# 加速度センサおよび赤外線人感センサを用いた 階段利用人数および通過方向の推定

羽田優太\*・大佛俊泰\*\*・岸本まき\*\*・伊山潤\*\*\*・福島佳浩\*\*\*

## Estimation of the Number of People and Walking Direction on Stairs Using Acceleration Sensors and Infrared Human Detection Sensors

Yuta HANEDA, Toshihiro OSARAGI, Maki KISHIMOTO, Jun IYAMA and Yoshihiro FUKUSHIMA

**Abstract:** To reduce confusion during evacuations at the time of a disaster, it is crucial to grasp the population distribution in a building and propose effective evacuation plans. Authors have proposed a method for estimating the number of stair users and their walking directions using acceleration data. However, its estimation accuracy is not sufficient. One of the reasons is the misdetection of a walk. In this paper, we construct a method to detect a walk using data taken from acceleration sensors and infrared human detection sensors, and validate the accuracy.

**Keywords:** 加速度センサ (acceleration sensor), 赤外線人感センサ (infrared human detection sensor), 歩行振動 (walking vibration), 建物内滞留者 (population distribution in a building), 歩行実験 (walking experiment)

### 1. はじめに

建物のIoT化に伴い取得可能となった多様なデータは、建物内滞留者の空間分布把握、ひいては、災害発生時の効果的な避難指示や救助活動などに活用可能であると考えられる。筆者らはこれまで、加速度データを用いた階段利用者人数およびその歩行方向の推定手法を提案してきたが、その推定精度は十分ではない(羽田ほか, 2022)。推定精度の向上には、階段室内に設置されたセンサデータから高い精度で歩行を検出することが重要である。そこで本稿では、センサユニットに設置された赤外線人感センサおよび加速度センサで取得されたデータを用いて、歩行以外のセンサ反応(以下、ノイズ)を除去するノイズ除去フィルタを新たに構築する(図1)。

### 2. 観測の概要

#### 2.1. 建物内におけるセンサユニットの設置概要

本稿では、東京工業大学緑が丘1号館を分析対

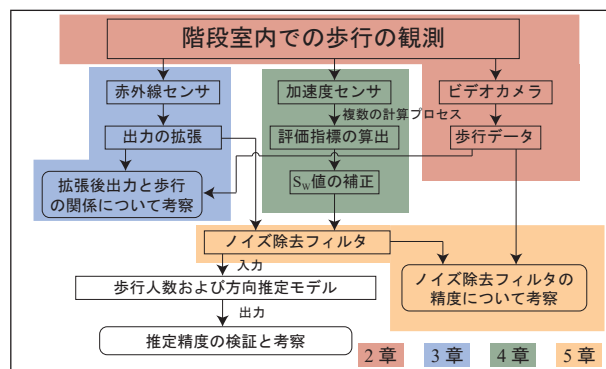


図1 本研究の概要

象とする。対象建物内の階段室内に計22個のセンサユニットを配置した(図2(a))。各センサユニット内では、赤外線人感センサ(3章)および加速度センサ(4章)がRaspberry Piと接続されており、ネットワークを通じて取得データはサーバにリアルタイムで蓄積される。これにより、階段室内における歩行者の常時計測が可能になる。

#### 2.2. 歩行観測調査の概要

階段室内における歩行者数と赤外線人感センサ

\* 学生会員 東京工業大学環境・社会理工学院 (Tokyo Institute of Technology)

〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1 E-mail:haneda.y.aa@m.titech.ac.jp

\*\* 正会員 東京工業大学環境・社会理工学院 (Tokyo Institute of Technology)

\*\*\* 正会員 東京大学大学院工学系研究科 (The University of Tokyo)

データおよび加速度センサデータの関連を明らかにするため、ビデオカメラ (GoPro HERO シリーズ) を用いた歩行観測調査を行った (図 2(b)). 取得された映像データから時刻ごとの通過人数を目視で確認し, サーバから取得したセンサデータと対応づけた<sup>1)</sup> (図 2(c)(d)). なお, 本稿では加速度センサが設置されている段板部 (図 2(a) オレンジ部) を一定時間内に通過した人数をその時間の通過人数と定義する.

### 3. 赤外線人感センサの概要とデータ処理

#### 3.1. 赤外線人感センサの概要

赤外線人感センサ (以下, 赤外線センサ) の概要を図 3(a) に示してある. 本稿で用いる赤外線センサは検知範囲内に歩行者が進入すると反応し,  $b$  秒間反応が継続した後,  $d$  秒間の非検知時間が存在する (図 3(b)).

#### 3.2. 赤外線センサのデータ処理

階段室における歩行と赤外線センサ出力信号の対応関係を図 3(c) に示してある. 本稿で用いる赤外線センサの特性上, 直接得られる信号には下記のような限界があり, そのままでは歩行検出が難しい. すなわち, ①非検知時間  $d$  内に検知範囲内を人が通過しても反応しないこと, ②検知距離  $l$  の範囲内であれば, 廊下の歩行者を検知してしまうことである. そこで, 直前の検知時刻から非検知時間  $d$  を想定し, 各センサ出力を 3 値化 (ON, OFF, UD) する前処理を行った. その上で, センサユニット内に設置された 2 つの赤外線センサの出力信号を複合する (図 3(b)). これにより, センサユニットに併設された赤外線センサの反応の連続性を容易に把握でき, 階段室内における歩行者の有無判定をより精緻に把握できる.

以上の処理により, 段板部の歩行と特定のセンサ出力が良好な精度で対応していることがわかる (図 3(d)). なお, 非検知時間  $d$  は, 過去の観測調査 (吉行ほか, 2020) から推定された値 (6.5 秒) をもとに設定することとし, センサによって異なる値の揺らぎ (個体差) は考慮しない.

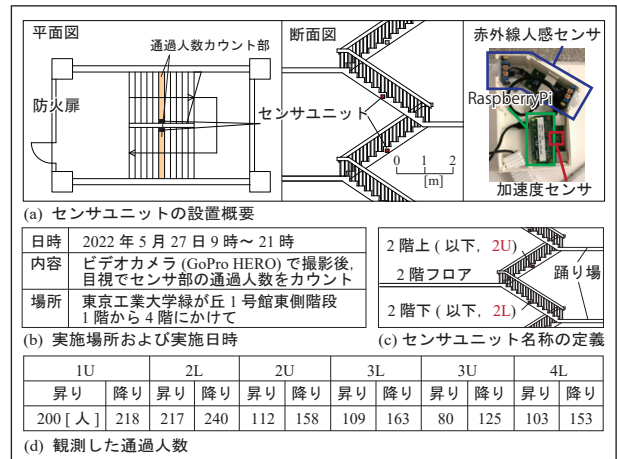


図 2 歩行観測調査の概要

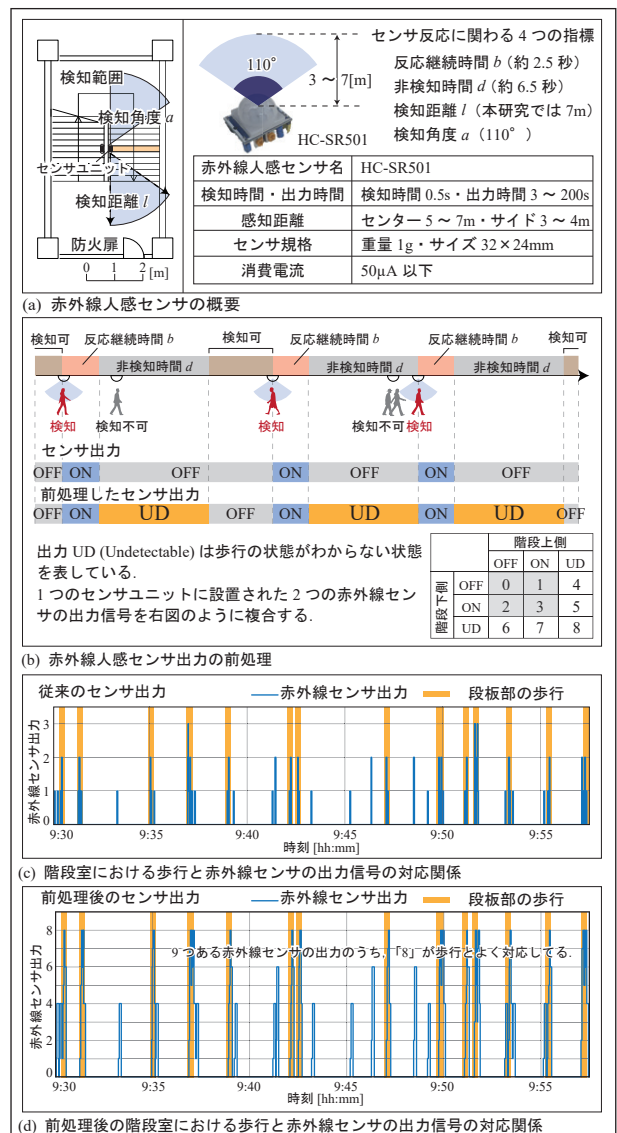


図 3 赤外線人感センサの概要とデータ処理

### 4. 加速度センサの概要とデータ処理

#### 4.1. 加速度センサの概要

加速度センサ (ADXL 355) の概要を図 4(a) に示

してある。本センサはサンプリング周波数を任意に設定可能である。本稿では、歩行者による段板部の振動成分が観測でき、データ送信負荷が許容範囲内である 125Hz を使用する。

#### 4.2. 加速度センサのデータ処理

階段室における歩行と加速度センサの出力信号の対応を確認するため、加速度データから  $W$  値および  $S_w$  値を算出する (図 4(b)(c))。これらは、歩行振動を評価する指標であり、比較的良好な精度で通過人数を推定できる (羽田ほか, 2021)。 $S_w$  値を算出する際、振動区間の判定基準値を小さくすると、歩行以外によるセンサ反応も多く検出してしまいが、高い精度で歩行振動を感知できる。本稿では、歩行者検知における赤外線センサデータの活用を見据え、振動区間の判定基準値をこれまでの半分である  $0.025\text{m/s}^2$  に設定した。

#### 4.3. $W$ 値および $S_w$ 値の補正

階段歩行時に観測される加速度より算出した歩行振動の評価値である  $W$  値と  $S_w$  値は、加速度センサの個体差や設置条件のわずかな違いによりセンサごとの出力値に差が生じる。そこで、観測調査結果から得られた全  $S_w$  値の平均値とセンサごとの  $S_w$  値の平均の比率  $\alpha^{Stair}$  に基づいて  $W$  値および  $S_w$  値を補正する (図 4(d))。本稿では、観測された歩行データが 1 人歩行に大きく偏っていたため、1 人歩行時の  $S_w$  値のみを用いて補正係数を算出する。

### 5. ノイズの除去

#### 5.1. ノイズ除去フィルタの構築

3.2 節で拡張した赤外線センサの信号出力は、段板部の歩行を精度よく抽出できるが、一部誤検知も見られる (図 5)。これらの誤検知は加速度データ ( $W$  値) に注目することで判別可能な場合が多い。

以上を踏まえ、赤外線センサおよび加速度センサによる取得データを用いたノイズ除去フィルタを構築する (図 6(a))。具体的には、まず、赤外線センサ出力を用いて段板部の歩行有無を判定し、その上で加速度データを用いて誤検知を特定

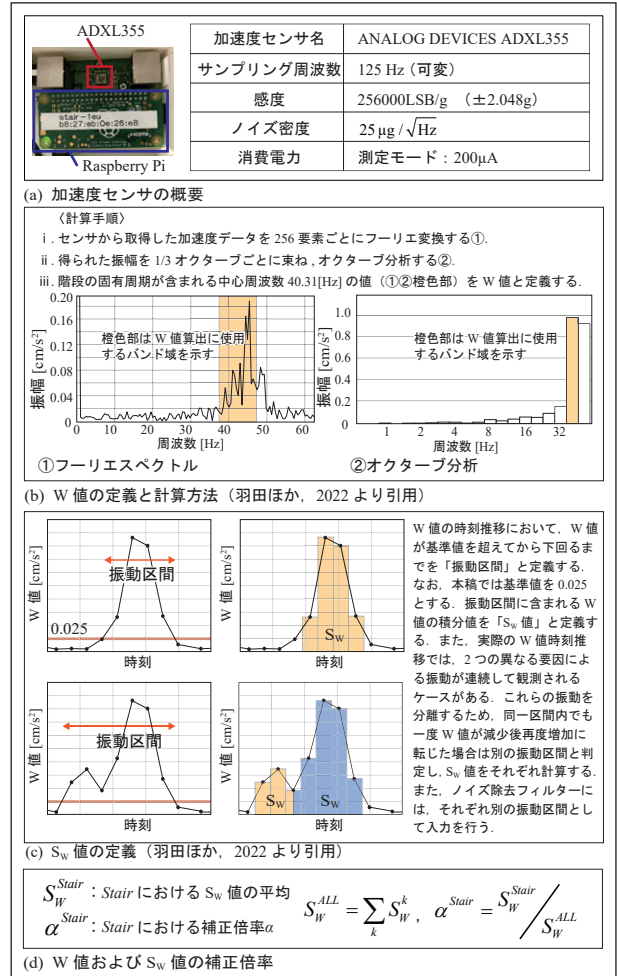


図 4 加速度センサの概要とデータ処理

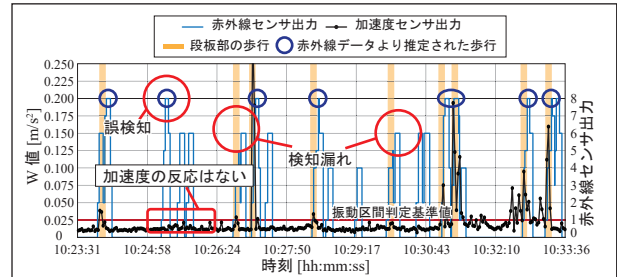


図 5 赤外線センサによる誤検知の一例

する。この時、建物全体の揺れを除外するため、該当階だけでなく、隣接階に設置されたセンサユニットの加速度データも用いる。

#### 5.2. ノイズ除去フィルタの精度検証

使用するセンサデータおよび  $S_w$  値の補正有無が異なる 4 種類のノイズ除去フィルタ (図 6(a)) を適用した際の推定精度を図 6(b) に示してある<sup>1)</sup>。ノイズ除去の全体正解率は、加速度データのみを用いて振動ノイズを除去した場合 (フィルタ①) は 81.9%、赤外線センサデータのみを用いて振動ノイズを除去した場合 (フィルタ②) は 90.9% を

示している。赤外線センサデータを用いることで、比較的良好な精度で歩行を特定できることがわかる。2種類のデータを活用したフィルタ②では、全体正解率はフィルタ①より3.4ポイント向上(94.3%)した。特に、フィルタ①による誤検知の多くを除去できていることがわかる。また、 $S_w$  値の補正を行うフィルタ③では、一部センサユニット(1Uおよび3U)において検知漏れ率および誤検知率がさらに改善されている。つまり、ノイズ除去時に比較するセンサユニットに比べ、出力される $S_w$  値が小さい傾向にあるセンサユニット(図6(c))では、 $S_w$  値の補正がノイズの検知精度向上に有効であることがわかる。

## 6. まとめ

本稿では、赤外線センサと加速度センサから取得されるデータを用いることで、階段室内における歩行を高精度で検出する手法を構築した。具体的には、まず、赤外線センサの出力信号を細分化することで、赤外線センサデータと歩行の関係を明らかにした。さらに、2つのセンサデータを用いたノイズ除去フィルタを構築し、非常に高い精度で歩行とそれ以外のセンサ反応を分離可能であることを示した。

## 謝辞

本研究は、JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム(JPMJOP1723)の研究成果の一部である。東京工業大学研究倫理審査会の承認を受けて実施している(承認番号:第2020002)。

## 注

1) 本稿においては、取得データが欠損していた一部センサユニット(2Uおよび3L)は、本稿の分析対象外とした。

## 参考文献

羽田優太・大佛俊泰・田頭まき・伊山潤・福島佳浩(2021) 加速度センサを用いた階段利用者人数の推定。日本建築学会大会学術講演梗概集(CD-ROM), 5600

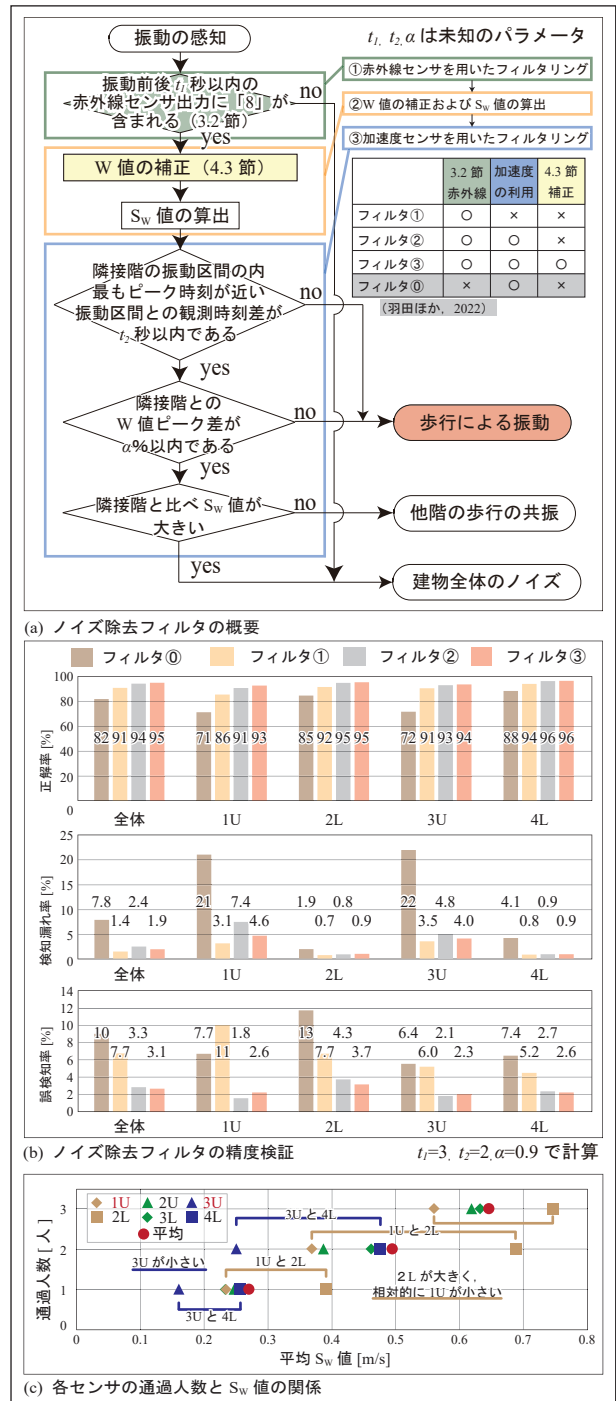


図6 ノイズ除去フィルタ

羽田優太・大佛俊泰・田頭まき・伊山潤・福島佳浩(2022) 加速度センサを用いた階段利用者人数および歩行方向の推定方法の検証と課題。日本建築学会大会学術講演梗概集(CD-ROM), 5122

吉行菜津美・大佛俊泰・田頭まき・沖拓弥・伊山潤・福島佳浩(2020) 建物内避難行動モデルおよび赤外線人感センサモデルを用いた建物内滞留者分布の推定。地理情報システム学会講演論文集, Vol. 29