

# 避難訓練における個人の行動特性分析のセンサデータを使った簡易化の提案

## Proposition of Simplification of Finding Characteristic Behavior in the Evacuation Drill by using Sensor Data

中川 勝哉<sup>1</sup> 高橋 B. 徹<sup>1</sup> 高橋 聡<sup>2</sup> 宮部 博史<sup>1</sup>

Katsuya Nakagawa<sup>1</sup>, Toru B. Takahashi<sup>1</sup>, Hiroshi Miyabe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京理科大学 <sup>2</sup>株式会社 構造計画研究所

<sup>1</sup>Tokyo University of Science

**Abstract:** Understanding behavioral characteristic in the evacuation drill is important to develop an effective way. In the first experiment, we confirm the position of sensor to measure accurately. In the second experiment, we take a maze experiment and confirm validity. In the third experiment, we analyze the evacuation activities by comparing sensor data with video data. As a result, we can identify a part of characteristic behavior.

## 1. 研究背景と目的

避難訓練は火災や地震のような自然災害が発生した場合、個々人がどのように避難を行えばよいのか学ぶのに有効な手段である。一方で、災害時における安全性を議論する際に、避難訓練での人がとる行動の特性を理解することは、避難方法を改善し被害を最小限にとどめるうえでも重要である。

現状の避難と個人行動との関連研究としては、緊急時の避難行動特性を調べるため、迷路を使用した避難実験を行い、実験結果と解析を行ったものがある。脱出した時間とその行動パターン(軌跡)、年齢、性別を比較し、以下のパターンがあることを明らかにしている[1]：

- 1) 体系的な経路探索行動はとっていないものの方向感覚は失っていないパターン；
- 2) 経路探索行動はとっていないものの、方向感覚は失っていないパターン
- 3) 経路探索行動に系統性がみられない上に方向感覚も完全に失っているパターン。

しかし、この研究では被験者の避難完了時間の計測や、避難行動手順などの大枠の分析が主であり、歩行速度や経路選択の際の視線状況等の有無といった個人行動の特性については分析を行っていない。これらの情報があればより詳細な分析が可能になり、避難方法や建物に構造についてより具体的な提言が可能になると考えられる。しかし、移動中に行われる、走ったり歩いたり、あるいは辺りを見渡したり転んだりするような情報を集めるために映像データを収集した場合、その解析は膨大なものになってし

まう。

そこで、小型のウェアラブルセンサを使用して、避難訓練中の個人の動きを捉えることを提案する。映像データとセンサデータを収集し、センサデータで特徴的な個所を、映像データで確認する。このようにすることで映像データの全てを確認することなく、必要な部分だけ確認すればよいので行動の確認作業を短縮することができる。また、個人の動きを詳細に解析結果は、コンピュータ・シミュレーションに対しても活用することができる。

## 2. 提案手法

本研究では理想条件でセンサデータと行動の適正の確認し、センサの認証に適したセンサ端末の着用位置についての検討するため、仮想実験として迷路実験を用いた研究を行う。センサデータと映像データを使用し、被験者個人の避難時における“移動動作”“首の振り”などの行動特性の基礎的なデータを収集し、避難時における個人の行動特性を検証することが可能かの実験を行う。

## 3. 評価実験

### 3.1 実験概要

実験方法として、移動中に行われる、走る、歩く、立ち止まるなどの正常なデータを収集するために、それぞれ、身体の各部位のセンサを用いた際の適正値の設定(実験1)を行う。次に仮想実験としてキャンパス内で探索実験(実験2)を行い、実験1で設定した適合範囲の可否を確かめ、センサデータか

ら行動を識別することを実験2で確認する。これらの検討結果に基づき避難訓練で提案手法が利用できることを示す。これらの実験後に東京理科大学葛飾キャンパスの図書館で避難実験を行う（実験3）。

### 3.2 実験条件

実験1は動作の推定を目的にしている。被験者は学生4名である。実験2は探索実験で被験者は学生3名である。実験3は避難実験であり、被験者は学生3名である。

### 3.3 実験内容

#### 実験1

被験者4名に立ち止まる動作→歩く動作→走る動作をそれぞれ15秒間ずつ行うことを1セットとし、のべ2セット行ってもらい、それぞれの加速度データを取得する。

#### 実験2

設定した適合範囲の適正を確かめ、センサデータから行動を推測できるかどうかを検討するため、指定した目的地を探させる実験を行い個人の行動を追った。場所は東京理科大学神楽坂キャンパス6号館地下の部室エリアを使用し、ある特定の部室を探させるという方法で行った。

#### 実験3

実験概要としては東京理科大学葛飾キャンパス図書館で避難実験を実施する。地震後の火災を想定した。（煙幕ゴーグル着用）、2F指定位置から1F出口へ避難する。

学生3名（20代男性3名）

## 4. ウェアラブルセンサを用いた動作の推定

### 動作の推定

立ち止まる、歩く、走る動作の移動データの計測と首振りの際の動きのデータの計測を行った。センサの着用方法については、①頭部②腕部③腰部④脚部の4通り箇所（図1）を指定する。また、それぞれの適正位置についての効果を以下の適正実験で行う。

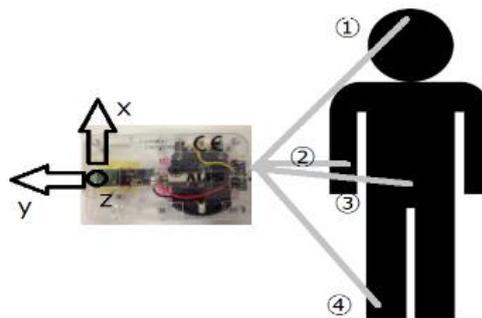


図1：センサ方位と着用位

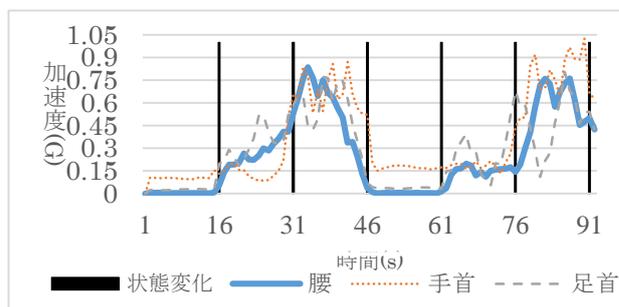


図2. 移動動作のセンサデータ

### 3.2 動作推定のための閾値の設定

被験者4名に立ち止まる動作→歩く動作→走る動作をそれぞれ15秒間ずつ行うことを1セットとし、のべ2セット行ってもらい、それぞれの加速度データを取得した。

取得したデータ（図2）は腰、手首、足首の加速度の水平成分に注目し、4名分の元データの平均値を利用したものである。そこから5秒分のデータの平均値を使用し、静止時の値からの変化の絶対値の推移を示したものである。なお、行動が移り変わる際の前後の3秒間は次の動作へ移り変わる際の時間の誤差を省くため削除した。

適合範囲の設定方法として、元データから、最大値と最小値の範囲を利用した（表1）。

表1：腰部センサから取得した設定値

	腰部センサ値 (Acc)			適合範囲
	min	max	ave	
立ち止まる	0.002	0.054	0.007	0.0~0.054
歩く	0.121	0.328	0.216	0.121~0.328
走る	0.453	0.834	0.531	0.453~0.834

センサの装着部位の違いによる検証として、腰部に着用した場合、加速度の誤差が一番少なく安定的な推移を示しているため、歩く、走るといった単純

な動作の確認がとても安定することがわかる。

次に手首に着用した場合の特徴点として、立ち止まる動作と歩く動作との差が非常に小さく、走る時の動作だけ大きな変化になっているため、移動動作の全てに関する基準にする上では適さない。また、足首に着用した場合には、立ち止まる時の以外の動作が、非常に激しく、場合によっては実際歩く動作をしているにも関わらず、設定した歩く適合範囲によると走る動作とみなしている場合があったため基本的な動作確認には適していない。

これらから、動作を推定する際に、センサの標準的な着用位置としては腰部の位置であると言える。また、走る動作など、焦りを見せる動作のみを抽出するのならば手首の位置にセンサを着用すればよいと考えられる。

次に、頭部の変化を伴う動作を行った場合のセンサが示す傾向調べた。設定方法としては、被験者に頭部と腰部の2カ所にセンサを着用してもらい、首を一定間隔で小さく左右に振る、大きく左右に振る動作を繰り返した。また、上下運動も同様に2つの動作のデータ取得した。

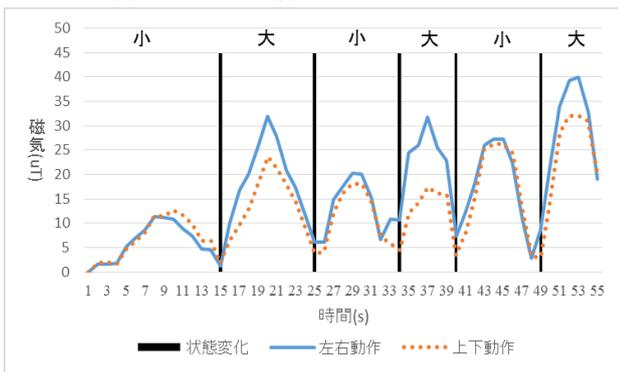


図3：移動中の頭部の磁気センサデータ

図3は移動中でも頭部の運動状態のみを抽出するために腰部と頭部の磁気成分の差分を取り、静止時の値から磁気変化の絶対値を示したものを、左右運動の値は左右の成分のみを抽出するためY軸の地磁気とZ軸の地磁気の和をとったものである。上下運動の値は上下成分のみを抽出するためX軸の地磁気とZ軸の地磁気の値の和を取ったものである。

適合範囲の設定方法として、元データから、最大値と平均値の範囲を利用した(表2)。

個人の行動データと比較し高い正解率を得られるようにした。しかし、激しい動きを伴わない状態での首振り実験を行ったため、行動中に頭部と腰部のセンサが平行にならないような動きを取られた場合は2つのセンサのみでは首振り動作の判別が困難であると考えられる。

## 4. 探索実験を用いた仮想実験

表2：頭部動作から取得した設定値

	可動域(小)				可動域(大)			
	min	max	ave	適合範囲	min	max	ave	適合範囲
左右運動	1.2	20.8	6.538	6.538~20.8	1.3	39.2	22.218	20.8~39.2
上下運動	1.3	16.2	5.874	5.874~16.2	1.5	32.44	20.146	16.2~32.44

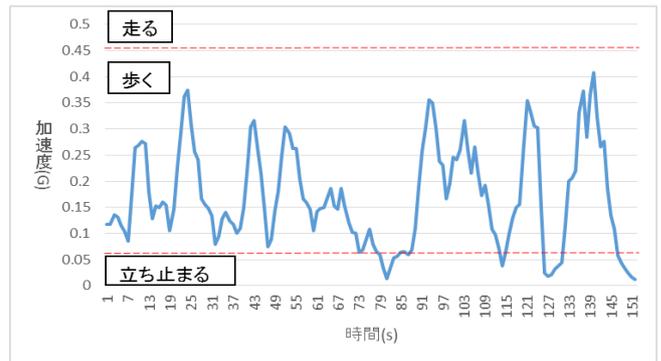


図4：探索中の加速度データの変化

### 4.1. 考察 - 実験2

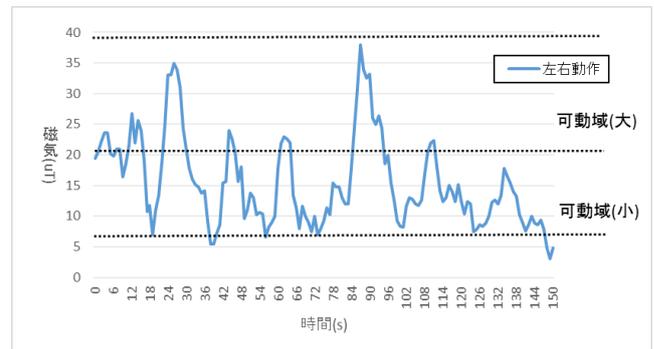


図5：探索中の加速度データの変化

まず、図4の立ち止まる動作適正範囲を注目してみると、センサデータから4回分確認できた。そのシーンを映像データで確認してみると「階段を昇ってよいのか」「この通路でいいのか」などといった迷いが生じている場面が見られた。

逆に映像データで立ち止まる個所を確認してみてもセンサで表れた4か所以外の個所で見られなかった。これらから、移動中の立ち止まりはセンサデータからイベントの抽出要素として扱えることができるといことがわかった。

次に走る動作の適正範囲に関して、適正範囲内の値は見受けられなかったため、映像データで確認しても同様の見受けられなかった。そこで、高い数値を取る場面の行動部分のセンサデータと映像データ

で見てみたが、目的地を見つけ平常時よりも早く動いているという姿が見られた。同時にその時は首の頭の磁気センサ値の変化が少なく、2つを組み合わせることで頭部の向きで定めた目的地に向かう姿を推定することが可能であることが分かった。その他はすべて歩く動作として判別したが、階段の昇り降りといった通路があったにもかかわらず、その特徴を示すセンサデータを見受けることができなかった。階段など上下運動を伴う際のデータは腰部の加速度の推定だけで行うことが困難であり、その改善としてはセンサを膝に着用することで判別が可能であるということが実験後に明らかとなった。次に図5,6から頭部の首振り動作をみてみると、センサデータ中の大きく反応する点として2カ所抽出して行動を映像データ確認してみると、大きく視線を向ける動作を確認できた。その他映像データから、被験者は小さな首振り運動ほぼ適合範囲値内であり常に小さく首振り運動をしていることをセンサデータから確認することができたが、どの方角を向いているかは、行動中の頭部と腰部の歪みなどの影響で特定することができなかった。

## 5. 避難実験 - 実験 3

本実験では Beacon を使った経路と通過時間の確認を目的とする。実験終了直後のビデオ映像からの特徴点の抽出・センサデータと比較する。

### 5.1. 結果 - 実験 3

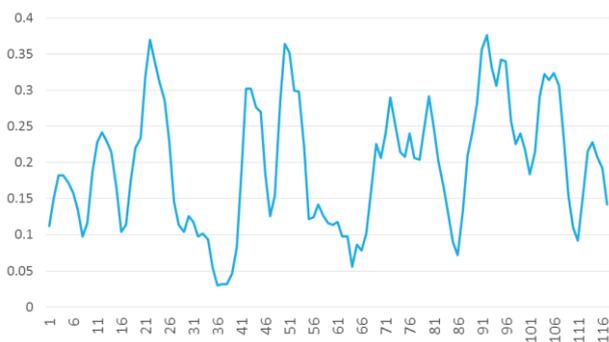


図 4：被験者 A の腰のセンサ

映像で止まっていると確認されたのは階段で降りて周りを見渡しているところだがセンサでは検出することができなかった。また歩いているだけのところを止まっていると誤検出してしまったところがある。

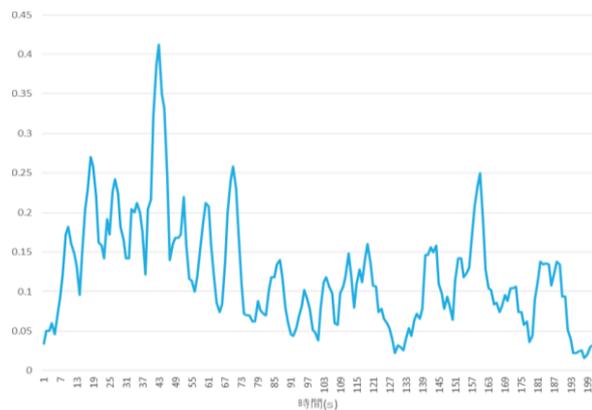


図 6：被験者 B の腰のセンサ

映像で止まっていると確認されたのは、暗い階段を降りる前、暗い階段を降りた後、出口、の3カ所を判別することができ、センサデータでも同じく判別することができた。

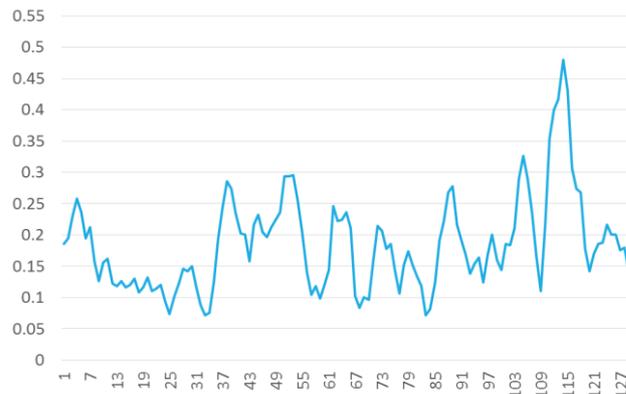


図 5：被験者 C の腰のセンサ

映像で止まっていると確認されたのは、階段で降りて周りを見渡しているところがセンサでは検出することができなかった。

### 5.2 考察 - 実験 3

被験者 3 名の避難実験を行った結果、被験者 A は三名の中で一番避難時間が短く、被験者 B だけが非常に長かった。その原因として考えられるのは特徴的な行動は立ち止まった回数が他の被験者 A, C と比べて多かった。

3 名の移動速度の違いはほとんどなく、地図上で最短経路を移動したと考えられる。

## 6. まとめと今後の課題

本研究を通じて、身体に装着したセンサデータからをもとに、“移動動作” 頭部の向きの変化 “などの個人の行動特性の判断が可能であることと明らかにした。

歩く、走るなどといった基本的な動作の認識はセンサのみで可能であること、身体の装着部位により、実際の動作の認識率が大きく変わることがわかった。また、移動動作中の大きな振り向き動作は、頭部の向きの変化を上手く抽出することができず、どの方向を向いているかという詳細な認識はできなかったが、“首振り”を行っているという動作のみなら認識することが可能となった。

これらから、センサデータ中の大きな反応点を抽出し、その時間の映像データを確認することで行動分析をすることができ、また、行動の確認作業を短縮できることを示せたので、避難訓練中にも個人分析に適用が可能であると言えた。ただし、小さな動きも判別できるように装着位置や分析法を模索する必要があるという課題が残った。

行動分析を効率的に行う方法としてセンサが特徴的なデータの部分のみ映像データを確認し、3D 防災マップを作成することを提案した。

センサデータからいくつかの行動を推定するしきい値を設定した。(歩く、走る、立ち止まる、首を動かす) 特徴的な行動を推定できた部分とそうでない部分があった。うまくいかなかった部分についてはセンサの計算方法を工夫する必要があると考えられ

る。

今後は適用範囲をひろげることを検討が必要である。

## 7. 謝辞

本研究は中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS201509 の助成を受けたものです

## 参考文献

- [1]横山秀史,永田茂,山崎文雄,片山恒雄：迷路実験に基づく緊急時の人間行動特性，地震工学研究発表会講演概要,(1991)
- [2]今野慎介,中村嘉隆,白石陽,高橋修：ウェアラブルセンサを用いた歩行動作による本人認証法の検討，電子情報通信学会技術研究報告,(2015)
- [3]山下倫央,福田俊介,大西正輝,依田育士,野田五十樹：センサデータマイニングを活用した安全安心な避難誘導への取組み，電子情報通信学会誌,(2011)