

避難行動における迷い時の心拍計測

川野由香子^{†1} 浜信彦^{†1} 中道上^{†2†3}

概要: 本研究では、避難行動において迷い時に心拍数が増えるか検証するために、避難行動時の行動と振る舞い、心拍を記録した。実験実施時には、ペアテストング手法を適用し、迷いの振る舞いを記録した。実験実施後、迷いの振る舞いによって通常時と迷い時を比較し、心拍数に変化があるか分析を行った。分析対象である7名全員の心拍データを用いてt検定を行った結果、7名全員が $P<0.05$ を満たしているため有意差が認められた。分析の結果、迷い時は通常時よりも心拍数が増えることが明らかとなった。

1. はじめに

世界有数の自然災害大国と呼ばれる日本において学校施設は、児童生徒等の学習・生活の場であるとともに、災害時には地域住民の避難所としての役割も果たすことから、防災機能の強化は極めて重要である。東日本大震災では、津波等により学校施設に多くの被害が生じたり、応急避難場所としての施設機能に支障が生じたりするなど、従来想定していなかった新たな課題が見られた[1]。課題解決のための取り組みとして「学校施設の防災力強化プロジェクト（平成28年度）」[2]が挙げられる。このプロジェクトでは、津波緊急避難場所に至る経路が周辺住宅の倒壊や火災等により通行不能になるリスクを考慮した災害避難マップを作成するとともに、こうした条件下での模擬避難を行い、経路・避難行動両面からの課題を抽出する。

本研究では、避難行動において通常時と迷い時に心拍数が増えるか検証するために、避難行動時の行動と振る舞い、心拍を記録した。計測実験は、「学校施設の防災力強化プロジェクト（平成28年度）」の避難行動実験へ適用[3]する。実験実施後、迷いの振る舞いによって通常時と比較し、心拍数に変化があるか分析を行った。本研究では、迷っている時を迷い時、それ以外を通常時とする。

2. 心拍と迷いの計測技術

心拍を含めた生体情報を記録する技術として「ウェアラブル生体センサ hitoe」[4]が挙げられる。hitoeとは、生体信号を高感度に検出できる機能素材であり、この素材を使用した hitoe ウェアを着用することにより、着るだけで心拍数・心電波形や加速度の生体情報を取得することができる。hitoe トランスミッターSDKは、hitoe ウェア及び hitoe トランスミッターで計測可能な生体情報を活用したアプリケーションを実現することができる。hitoe トランスミッター

SDKは、hitoe トランスミッターとスマートフォンを BLE (Bluetooth Low Energy) で接続することで、生体情報取得、基本演算、拡張分析を利用することができる。本研究において、hitoe トランスミッターと携帯端末を利用し生体情報を取得している。

フィールドワークにおいて参加者の行動・振る舞いを記録・確認するための行動解析に関する研究として、「振る舞い記録のためのペアテストング手法の提案」[5]が挙げられる。この研究では参加者と観察者が2人1組となって、参加者の振る舞いを記録している。またペアテストング手法において参加者の振る舞いの記録と確認を支援するツール群として、振る舞いの時刻と位置を記録するためのボタンと振る舞いの位置を確認するための可視化ツールを開発した。本研究では、同じ実験の中で hitoe を着用して生体情報を記録した。生体情報の中でも心拍に着目し、通常時と迷い時の心拍数に変化があるか分析した。

3. 避難行動計測実験

本研究では、スタート地点からゴール地点までの行動(GPS)と振る舞い(迷い時刻)、心拍を記録し、迷い時に心拍数が増えるか検証する。実験実施時にはペアテストング手法を適用し、迷い位置の記録と確認、心拍の記録を行った。迷い位置の記録には振る舞い記録ツール[5]を利用した。また心拍の記録には hitoe と携帯端末を利用した。

避難行動実験のスタート地点 A を今津公民館、B を高諸神社の2か所とし、ゴール地点を今津小学校とした。スタート地点が今津小学校である参加者は6名、スタート地点が高諸神社である参加者が5名、参加者は計11名、観察者は4名とした。参加者の振る舞いが見える後方に観察者が1名つき、参加者と観察者が2人1組となり参加者の迷いを記録する実験を行った。実験の様子を図1に示す。この時、参加者は hitoe ウェアを着用している。

3.1 実験手順

ペアテストング手法を適用した避難行動計測実験の手順を説明する。ゴール地点である今津小学校、またその周

†1 福山大学大学院 工学研究科

†2 福山大学 工学部

†3 アンカーデザイン株式会社



図1 実験の様子



図2 スタート地点とゴール地点周辺の地図

辺に行った経験がない大学生を参加者として選定し、行った経験がある大学生を観察者として選定した。

(1) 記録開始前の準備

参加者と観察者のそれぞれに記録・評価方法を説明し、振る舞い記録ツールの確認・設定をした。今回は、事前に振る舞い記録ツールが使用できるように設定した携帯端末を貸し出した。さらに参加者は、心拍を記録するために hitoe ウェアを着用する。振る舞い記録ツールと同様に事前に使用できるように設定した hitoe 用の携帯端末を貸し出し、その携帯端末を収納するためのベルトポーチも貸し出した。参加者はスタート地点からゴール地点までの経路を地図(図2)で確認する。その後、参加者が着用している hitoe の記録を開始し、参加者と観察者の振る舞い記録ツールの記録を開始してから避難行動を行う。

(2) 記録開始後の行動計測

参加者はゴール地点を目指し、観察者は参加者の振る舞

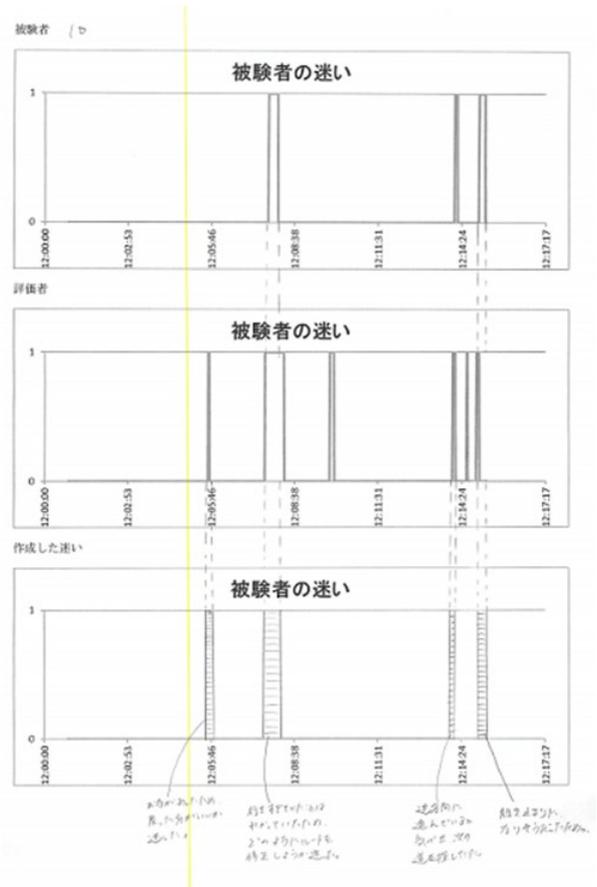


図3 迷い位置と理由のグラフ

いが見える後方から参加者を観察する。また、行動計測中は道案内や案内板の位置などは参加者に伝えない。参加者は自身の行動と振る舞い(迷い時刻)を記録し、観察者は参加者を観察して振る舞いを記録する。行動計測中は hitoe の携帯端末を参加者のベルトポーチに置いておき、hitoe やその携帯端末を触らない。行動計測は参加者がゴール地点に着いた、または迷ってゴール地点がわからないと発言するまで続ける。ただし、記録開始から15分経過してもゴール地点に到着していない場合は打ち切りとする。振る舞い記録ツールと hitoe の携帯端末の記録終了を確認後、参加者は hitoe ウェアを脱衣する。

(3) 記録終了後のインタビュー

参加者に対して記録した行動と振る舞いのデータをもとにペアスティング手法の振る舞いの確認に基づくインタビューを行う。参加者自身が記録した振る舞いと、観察者が参加者を観察しながら記録した振る舞いが迷いの振る舞いかどうかを参加者に確認してもらう。その際、参加者と観察者が記録した振る舞いをそれぞれ地図上に可視化し、インタビューしながら迷い位置の確認する。確認した振る舞いが迷い位置の場合は図3のようにグラフを作成し、その位置で迷っていた理由を参加者に記入してもらう。

表1 避難行動の記録開始から終了するまでの経過時間とゴール地点に到着できたか

参加者	経過時間	到着あり・なし
X01	打ち切り(15分)	なし
X02	打ち切り(15分)	なし
X03	打ち切り(15分)	なし
X04	12分43秒	あり
X05	打ち切り(15分)	なし
X06	打ち切り(15分)	なし
X07	10分20秒	あり
X08	9分2秒	あり
X09	打ち切り(15分)	なし
X10	打ち切り(15分)	なし
X11	14分48秒	あり

表2 5分間の心拍平均と(全体, 通常時, 迷い時)とt検定の結果

参加者	5分間の心拍平均(bpm)			t検定(P値)
	全体	通常時	迷い時	
X01	113.99	113.16	116.92	5.25×10^{-19}
X02	174.03	166.84	197.89	5.27×10^{-10}
X03	123.00	122.92	124.54	6.85×10^{-8}
X04	118.66	118.25	127.92	0.000103
X05	128.98	128.74	136.22	6.33×10^{-26}
X06	118.37	118.37	迷いなし	-
X07	119.13	118.74	121.69	5.59×10^{-5}
X08	-	-	-	-
X09	116.59	116.59	迷いなし	-
X10	102.29	102.44	107.00	-
X11	128.75	128.37	135.07	3.79×10^{-19}

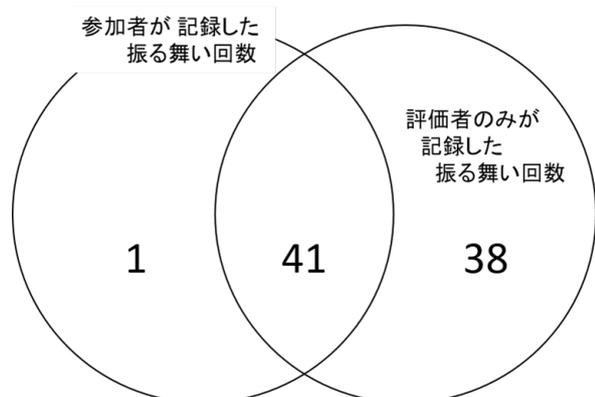


図4 参加者と観察者が記録した迷いの振る舞い回数

3.2 実験結果

記録した行動と振る舞い、心拍のデータを集計した。避難行動の記録開始から終了するまでの経過時間とゴール地点に到着できたかを表1に示す。また、参加者と観察者が記録した振る舞いの中で迷いの振る舞いと確認された回数を図4に示す。表1より、ゴール地点に到着できた参加者は11名中4名と少ないことがわかった。図4より、観察者のみが記録した迷いの回数が38回であることから、参加者自身が気づいていない無意識の迷いがあることがわかった。

4. 迷い時の心拍の分析

避難行動において迷い時に心拍数が増えるか検証する。避難行動という歩行運動によって心拍数が増えることが考えられる。さらに図2の地点Cからゴール地点までが上り坂であることから、迷っていなくても心拍が増える可能性がある。そのため、スタート地点から地点Cまで通常

5分程度で到着することから、心拍の分析対象時間を記録開始から5分間とした。参加者X06と参加者X09は5分間に迷い時がなかったため、分析対象外とした。また参加者X08は心拍データの中に異常値があったため、分析対象外とした。参加者X10は迷い時が2秒しか含まれておらず、データ数が少ないため、分析対象外とした。それ以外の参加者7名全員は5分間の心拍データの中に迷い時の心拍が含まれていたため、分析対象とした。

通常時の心拍と迷い時の心拍数が増えるのか、分散が異なることを仮定した2標本によるt検定を用いた。有意水準5%をもって、統計学的有意とした。記録開始から5分間の心拍平均、通常時の心拍平均、迷い時の心拍平均、t検定の結果を表2に示す。表2より、分析対象である7名の心拍データを用いてt検定を行った結果、7名全員が $P < 0.05$ を満たしているため有意差が認められた。さらに迷い時の心拍平均が通常時の心拍平均よりも数値が高いことがわかる。これらのことから、迷い時は通常時よりも心拍数が増えることが明らかとなった。

5. 考察

本研究では、避難行動において迷い位置を記録するためにペアテストング手法を適用した。参加者と観察者が2人1組となって記録する必要がある。さらに通常時と迷い時の心拍を分析した結果、有意差が認められた。これらのことから、フィールドワークにおいて心拍を利用した迷い位置の抽出として、参加者1人での記録ができる可能性がある。その適用には、A: 経路の地形に変化がなく平地である場合とB: 経路の地形に大きな変化が含まれる場合が考えられる。

A: 経路の地形に変化がなく平地である場合は、スタート前の予備実験として歩行運動をし、心拍を計測しておく。そして、ゴール地点とその周辺に行った経験がない人の迷い位置と心拍を計測する。これにより、地理的要因に左右されず、通常時と迷い時での心拍の閾値が設定可能になると考えられる。

また、地形によっては記録手順を変える必要があると考えられる。本研究では、地点Cからゴール地点までの経路には上り坂があるため、記録開始から5分後以降を分析対象外とした。しかし、実際に案内整備を行うには平地や上り坂など関係なく、案内整備が必要な迷い位置を把握する必要がある。そのため、B: 経路の地形に大きな変化が含まれる場合は1回目: ゴール地点とその周辺に行った経験がない人の迷い位置と心拍を計測, 2回目: 同じ人が同じ経路を通るときの位置と心拍を計測する。

ただし、hitoe ウェアの内側を濡らす必要があり、着用時に体が冷えることや、締め付けがあり苦しいという声があった。そのため、実験を実施する前の準備として hitoe に慣れてもらうことが挙げられる。

6. 関連研究

実効性の高い避難誘導計画の立案に関して多くの知見を生むことが期待されるフィールドワークにおいて、人間行動理解のための研究開発が進められている。HASC (Human Activity Sensing Consortium)は、人間行動理解のための装着型センサによる大規模データベースの構築を目指した活動を行っている団体である。HASC では、加速度センサや角速度センサ、磁気センサ、気圧計、GPSなどを有する装着型センサを用いて人間行動を理解するための研究開発を活発に行われている[6]。

避難訓練時の行動計測として約 600 人の避難者が参加した例が報告されている[7]。避難者の動線を記録、分析し適切な経路への誘導が避難完了時間の短縮に貢献し、積極的な非常階段への避難誘導の有効性が確認されている。しかし、このような実験を何度も実施することは難しいため、少ない人数や少ない回数で実証されることが望ましい。そこで、本研究ではペアテスト手法を避難行動に適用し、迷い時に心拍数が変化するか検証した。迷い時の心拍数の変化がわかることで、より少ない人数や少ない回数で実証可能になると考えられる。

7. まとめと今後の課題

本研究では、スタート地点からゴール地点までの行動と振る舞い、心拍を記録し、迷い時に心拍数が変化しているか検証した。実験実施時にはペアテスト手法を適用し、迷い位置の記録と確認、心拍の記録を行った。迷い位

置の記録のために振る舞い記録ツールを利用した。心拍の記録には hitoe と携帯端末を利用した。通常時と迷い時の心拍数に変化がみられるか、分散が異なることを仮定した2標本によるt検定を用いた。有意水準5%をもって、統計学的有意とした。記録開始から5分間を分析対象とした。その結果、分析対象である参加者7名全員が $P < 0.05$ を満たしているため有意差が認められた。分析の結果、迷い時は通常時よりも心拍数が上昇することが明らかとなった。

本研究では、平地や上り坂での歩行運動時に心拍数がどのくらい上昇するか不明なため、記録開始から5分間を分析対象とした。今後の課題として、地形に関わらず迷い位置と心拍の分析ができるように記録・分析手法を考える必要がある。また、心拍によって迷い時であるかどうかを判別するための閾値を決める基準がないことが挙げられる。その要因として参加者によって、通常時と迷い時の心拍平均が異なることから、心肺機能の強さ、迷いのタイミングや時間の長さが考えられる。そのため、参加者ごとの閾値が必要である。これらの閾値は、予備実験または2回目の計測をすることで閾値の基準が見つかる可能性があり、ペアテスト手法よりも簡単に迷い位置を記録できる新しい手法になると考えられる。

謝辞 本研究の実験は、文部科学省「学校施設の防災力強化プロジェクト(平成28年度)」の委託により、実施いたしました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 文部科学省:「東日本大震災の被害を踏まえた学校施設の整備について」の取りまとめについて;
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/017/toushin/1308045.htm (参照 2018-12-24).
- [2] 文部科学省:「学校施設の防災力強化プロジェクト(平成28年度)」の委託先の選定について;
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/28/07/1374085.htm, (参照 2018/12/24)
- [3] 福山大学: 学校施設の防災力強化プロジェクト(平成28年度)委託事業成果報告書;
<http://www.fukuyamau.ac.jp/archives/023/201703/学校施設の防災力強化プロジェクト.pdf> (2017).
- [4] docomo Developer support: IoT 機器制御;
https://dev.smt.docomo.ne.jp/?p=docs.api.page&api_name=iot_control&p_name=api_usage_scenario (参照 2018-12-24).
- [5] 中道上, 川野由香子, 浜信彦, 渡辺恵太: 振る舞い記録のためのペアテスト手法の提案; 情報処理学会論文誌, Vol.20, No.4, pp. 427-434 (2018).
- [6] HASC・Human Activity Sensing Consortium, <http://hasc.jp>, (参照 2018/12/24)
- [7] 山下倫央, 副田俊介, 野田五十樹: 避難誘導効果の検証に向けた人流計測; 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-ICS158, No. 9, pp. 1-8 (2010).