

避難所におけるスケルトン検出技術を用いた 傷病避難者の検知手法の提案

中進吾^{†1} 中村嘉隆^{†2} 稲村浩^{†2}

概要: 災害発生時、地方自治体は避難指示・避難勧告を発令することによって、危険地域に居住・滞在している住民・滞在者に対して避難所等安全な場所への移動を求めている。一方現状の避難所では、担当職員が安否不明者や傷病者を把握するために、避難者の個人情報と怪我の有無を記載した避難者名簿を手書きで作成している。しかし、作成にかかる時間の長さや作成担当職員の負荷の大きさの問題があり、安否不明者や傷病者の把握が遅れてしまうという問題がある。本研究では、避難者の個人情報、傷病者情報の作成に、顔照合技術および人体のスケルトン検出技術を用いることで、避難者名簿作成の迅速化および作成負荷の軽減に関する検討を行う。避難所の環境を考慮し、通常の防犯カメラ画像を用いたスケルトン検出を利用する。また、避難する傷病者は何らかの形で健常者に補助され避難していることが考えられる。この補助されている状態の特徴をスケルトン検出によって検知し、避難所における傷病者の特定及び人数の把握を容易にする。

キーワード: 災害時コミュニケーション, 災害対策・管理, 傷病避難者の把握, スケルトン検出

Proposal of Detection Method for Injured People using Skeleton Detection Technique in Evacuation Center

SHINGO NAKA^{†1} YOSHITAKA NAKAMURA^{†2}
HIROSHI INAMURA^{†2}

1. はじめに

近年、新潟中越地震、東日本大震災、熊本地震などの大地震が多発している。大地震が発生した際、地方自治体は避難指示・避難勧告を発令することによって、危険地域に居住・滞在している住民・滞在者に対して避難所等、安全な場所への移動を求めている。住民の避難場所を確保するために、自治体は学校に指定避難所(以下避難所とする)を開設する。これらの避難所では、避難者を把握するために、図1のような避難者カードを避難者および自治体の担当職員が手書きで記載している[1]。避難者カードに記入する情報は、名前、住所、性別、年齢などの個人情報と怪我の有無である。避難所では、避難者の情報が記載された避難者カードを担当職員が集計し、避難者名簿を作成する。また、各避難所で作成された避難者名簿は災害対策本部に集約され、消防などの各関係機関に共有される[2]。各関係機関は避難者名簿の情報をもとに安否不明者と負傷している避難者についての情報を把握する。災害発生初期の早い段階で、安否不明者と負傷している避難者の数を把握できれば、安否不明者が見つかる可能性が高まり、優先度の高い避難所を早期に決めることができる。

図1 避難者カード[1]

しかし、避難者カードは手書きで記入されることから、作成に時間がかかる問題があり、安否不明者や傷病避難者の把握が遅れてしまうという問題がある。実際、2004年の新潟中越地震の際に、長岡市の青葉台地区では手書きで避難者の情報を収集したため、避難者名簿の作成に時間がかかっている[3]。その影響で、安否不明者の捜索も遅れる結果となった。また、2017年に起きた熊本地震では災害発生

^{†1} 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate
^{†2} 公立はこだて未来大学 システム情報科学部

School of Systems Information Science, Future University Hakodate

当日、避難所担当職員の避難所運営業務分担当が明確になっていなかったため、災害当日に避難者名簿を作成できないという事例が発生している。[4]。熊本市の避難者数を把握できたのは災害発生の翌日で、避難者の名前、性別、年齢などの詳細な把握には1週間かかっている。安否不明者の生存率は災害発生から72時間経過すると大幅に低下するため、安否不明者の特定に使用される。避難者名簿の作成に時間がかかれば、安否不明者の生存率も大きく低下することとなる。また、負傷している避難者の把握に時間がかかれば、優先度の高い避難所を早期に決めることができない。

本研究では、早期に安否不明者および傷病避難者を把握するために避難者名簿の作成を迅速化させる。避難者名簿には、避難者の名前、性別、年齢など安否不明者の特定に必要な個人情報、負傷の有無についての傷病情報が必要である。安否不明者に関しては、以前提案した避難所における顔照合システム[5]において特定手法の検討を行っている。本稿では、負傷している避難者の把握を目的に、該当する避難者の特徴をカメラ画像から検出する手法の検討を行う。

2. 関連研究

2.1 電子タグにより傷病情報を収集する研究

従来負傷している避難者の負傷状況に関する情報は、図2のような紙製のトリアージタグを避難者に身につけさせることで管理していた[6]。しかし、情報の更新が難しく、刻々と変化する症状変化に対応できない問題がある。また紙製のタグの場合、負傷状況把握のために、人手による定期的な巡回確認が必要となる。そこで、小嶋らは負傷している避難者に身につけさせるタグに無線通信デバイスおよび脈拍・呼吸センサを搭載した電子タグを用い、この電子タグに医療従事者によって電子タグに傷病情報を記録する手法を提案している[7]。脈拍センサ及び呼吸センサによって負傷している避難者の脈拍数・呼吸数をリアルタイムに更新することができるため、傷病状況の変化への対応も可能となる。また、避難所内に構築した無線ネットワークを介してタグの情報を収集することで、避難所内での負傷している避難者の管理が容易になる。

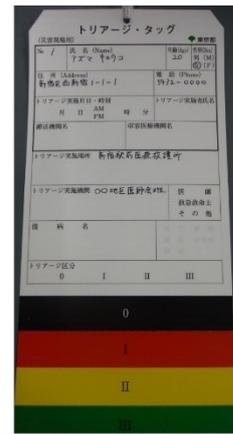


図2 紙製のトリアージタグ[6]

2.2 電子トリアージによる要配慮者管理システム

災害時の避難所では要配慮者を特定し、福祉避難所や病院等、対応可能な施設への搬送が必要になる。ここで要配慮者とは、負傷している避難者や介護が必要な避難者を指す。赤坂らは、要配慮者の被災状況及び病状に応じて色分けを行って救急対応を行う「要配慮者向けトリアージ」をもとにした電子トリアージによる要配慮者管理システムを提案した[8]。このシステムでは、避難してから数時間から数日後、避難者が自身の携帯端末を用いて自身の個人情報、負傷の具合や心身の状態に関する情報を Web を介してシステムに入力することで傷病情報の収集を行っている。避難してすぐに情報を入力しない理由として、災害直後は避難者全員が混乱状態になっており、正確な情報の入力が困難である可能性が高いためである。このシステムでは、医療従事者がいない避難所においても負傷している避難者の情報をある程度収集できる。

2.3 関連研究の問題

文献[7]で提案されている手法では、傷病情報を収集するために電子タグを避難者に常に身につけてもらう必要がある。そのため、電子タグの紛失や故障が発生する可能性が考えられ、この問題への対処が必要となる。また、電子タグに医療従事者が傷病情報を記録するため、必ず避難所に医療従事者がいる必要がある。災害発生初期は、各避難所に医療従事者がいる保証がないため、電子タグに記録することができない虞がある。また、負傷している避難者を正確に予想することはできないため、事前に電子タグを準備するのは困難である。そのため、医療従事者がいない状態で、特別な機器を用いずに、負傷している避難者を検知する方法を検討する必要がある。

一方、文献[8]で提案されているシステムは文献[7]で提案されている手法と異なり医療従事者がいない場合でも傷病情報を収集できる。しかし、避難者自身に情報を入力させるため、避難後、正確な情報を入力可能な精神状態になるまで時間を置く必要がある。また、意識不明の避難者や重症者等は自身の情報を入力することが困難であるため、優

先的な治療が必要な負傷情報を把握することはできない。これらのことから、避難者による情報入力を不要とするために、負傷している避難者を自動的に検知する方法を検討する必要がある。

3. 傷病避難者の自動検知手法

3.1 研究目的

本研究では、災害時の避難状況把握の迅速化を目的として、防犯カメラ画像を利用した避難者名簿作成自動化システムの提案を行う。提案システムでは、防犯カメラ画像から、避難者の負傷状況を把握し、既に提案している顔照合手法[5]を用いて該当避難者特定を行う。この際、避難所に既設の防犯カメラ画像を用いた検知を行うことによって、新たな機材を設置することなく、避難時の避難者及び避難所職員の作業を軽減することが可能となる。

3.2 避難所における傷病避難者の特徴

災害時のトリアージ手法の一つである START 法では自足歩行困難な避難者を優先的に治療することになっている[9]。このような自足歩行困難な避難者は健常避難者に搬送されることが考えられる。そこで、本研究では一般に何らかの形で自足歩行可能な避難者に搬送されて避難所に避難している。

傷病避難者の搬送方法には、担架搬送と徒手搬送がある。担架搬送は、担架などの機材を用いて搬送者を搬送する手法で、傷病避難者を安全に搬送できる利点がある。一方、徒手搬送は機材を使わず、傷病避難者を搬送する手法で、搬送用の機材を準備する必要がないため、緊急時に対応できる利点がある。本稿では、災害時に特に利用されると思われる徒手搬送に着目する。

徒手搬送には、図3のような背負い搬送や図3のような支持搬送などの搬送方法がある[9]。背負い搬送は意識不明や重傷の傷病避難者に対して用いる搬送方法であり、片足は動ける傷病避難者に対して行う手法である。各搬送方法には、搬送している健常避難者および傷病避難者の姿勢に関する特徴がそれぞれ存在する。背負い搬送で搬送されている傷病避難者は搬送者より前に腕を出している。また、支持搬送で搬送されている傷病避難者は片足を動かさない状態にあるため、搬送している健常避難者と歩容が異なる。本研究ではこれらの特徴を用いて搬送者を行う。



図3 背負い搬送・支持搬送

3.3 システム構成

提案システム構成図を図4に示す。本システムでは、避難所に設置された防犯カメラの動画を用い、写っている避難者の姿勢的な特徴から傷病避難者を検知し、該当避難者の顔照合を行うことで傷病避難者の特定を行う。まず、動画上に写っている避難者に対して、腕や足などの関節点の座標データ（スケルトン情報）を検出し、密着した状態にある二人組の避難者を抽出する。二人のスケルトン情報が各搬送モデル(背負い搬送モデル、支持搬送モデル)のどれかに一致すれば、傷病避難者とし、どちらにも一致しなければ健常避難者とする。また、顔の特徴点情報と住民データベースに記録されている顔画像をもとに顔照合[5]を行い、住民名簿から個人情報を取得する。これにより得られた個人情報、傷病情報を避難者名簿に登録する。本稿では検出したスケルトン情報をもとに傷病避難者を判別する部分を行う。

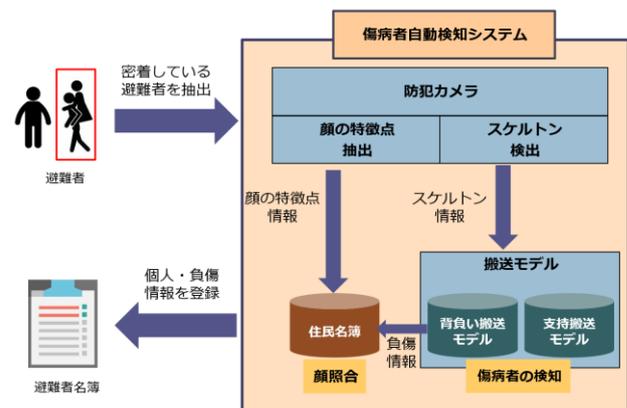


図4 システム構成

3.4 傷病避難者検知のアプローチ

3.2節で挙げた特徴を抽出するためには、避難者の腕や足などの姿勢および身体動作を抽出する必要がある。本研究はスケルトン検出を用いた抽出を行う。スケルトン検出とは、人物の姿勢を認識し、腕や足などの関節点の座標データを検出する技術である。本システムではCaoらが開発したスケルトン検出手法の一つであるOpenPose[10]を用いて、動画からスケルトン検出を行う。OpenPoseは、カメラで撮

影した1つの動画フレームに対し、人物が写っている場合、図5のような2Dのスケルトン情報を検出可能である。検出されるスケルトン情報は、鼻、首、両目、両耳、両肩、両肘、両手、両太股、両肘、両足の計18の特徴点になる。また、図6のように1つの動画フレームに写る全ての人物に対してスケルトン検出を行うことも可能である。提案システムでは、OpenPoseによるスケルトン検出を行い、スケルトン情報から得られた特徴点の情報を用いて、背負い搬送、支持搬送状態にある傷病避難者の検出を行う。

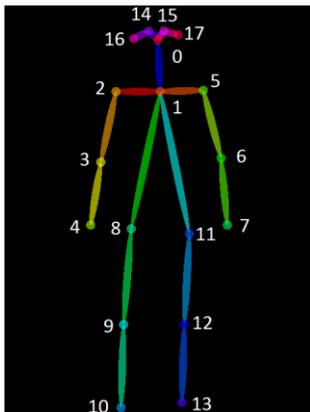


図5 OpenPoseによって得られるスケルトン情報[11]



図6 OpenPoseの出力例[11]

3.4.1 背負い搬送の傷病避難者の検知

背負い搬送で搬送されている傷病避難者は常に搬送者より前に腕を出しているという特徴がある。検出されているスケルトン情報の特徴点のうち、鼻（図5の特徴点0番）、首（特徴点1番）、両手（特徴点4番、7番）を用い、それぞれの位置関係から背負い搬送の特徴を検知する。以下の2つの手順で背負い搬送の傷病避難者の検出を行う。(1)あるフレームに写っている2人の人物に対して、二人の鼻の座標データを抽出し、それぞれの鼻に関する特徴点（特徴点0番）の座標データをもとに前方者、後方者を特定する。鼻の特徴点（特徴点0番）のx座標値が最も小さい人物を前方者とする。もう一人の人物を後方者とする。(2)後方者の両手の特徴点（特徴点4番、7番）のx座標値

が、前方者の首の特徴点（特徴点1番）のx座標値より小さければ、後方者の腕は常に前方者より前に出ているとする。そして、このような特徴が得られた場合に、前方者を搬送している健常避難者、後方者を傷病避難者として検知する。

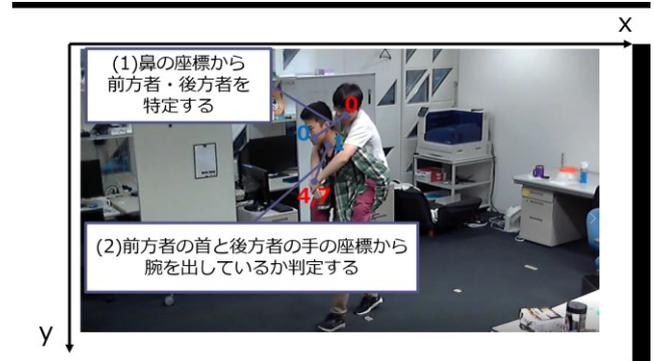


図7 背負い搬送の検知方法

3.4.2 支持搬送の傷病避難者の検知

支持搬送されている傷病避難者は、片足しか動かさないため、動かさない方の足を引きずって搬送されている。そのため、動かせる方の足が常に動かさない方の足の前方に出ていると考えられる。このような特徴を抽出するために、両足の特徴点を使用する。森らはスケルトン検出により両足の座標を抽出し、(a)の式をもとに、両足間の距離を計算し、歩容を検出することで個人識別を行う手法を提案している。この手法を応用することで、健常避難者と傷病避難者の歩容の違いを検出することができ、傷病避難者の検知も可能になると考えられる。そこで、森氏らの式(a)をもとに傷病避難者を検知する。両足間の距離を d とし、 d を取得した時刻を t とし、各 t における d から n フレーム数分の歩容データ (d_1, d_2, \dots, d_n) を作成する。図8の右端付近に現れているような他のデータから急激に変化した外れ値については(b), (c)式を用いて除外する。まず、(b)式から歩容データの変化量ベクトル $(\Delta d_1, \Delta d_2, \dots, \Delta d_{n-1})$ を作成する。また、変化量の絶対値 $|\Delta d_i|$ の平均値 ave を算出する。 $|\Delta d_i| > ave$, $|\Delta d_{i+1}| > ave$, $\text{sign}(\Delta d_i) \neq \text{sign}(\Delta d_{i+1})$ のとき、 d_{i+1} を外れ値として除外する。

外れ値を除外した歩容データが図9のように常に正の値をとる場合左足が常に前に出ている状態であると判断でき、図10のように常に負の値をとる場合は右足が常に前に出ている状態であると判断できるため、傷病避難者として検知する。また、動かさない方の足が動かせる方の足の前方に出る可能性もあるが、動かせる足を前方に出した時の d と動かさない足を前方に出した時の d の値には大きな差がある。この差を算出するために、歩容データが常に正でもなく、負でもないとき、歩容データの絶対値 $(|d_1|, |d_2|, \dots, |d_n|)$ の最大値 max と最小値 min から式(d)により商 $diff$ を算出す

る. 本稿では $diff \geq 2$ であるような状態の避難者を傷病避難者として検知する.

$$d = \text{scalar} \sqrt{(\text{左足}.x - \text{右足}.x)^2 + (\text{左足}.y - \text{右足}.y)^2} \quad (\text{a})$$

$$\text{scalar} = \begin{cases} +1 & (\text{左足が前方に出ている時}) \\ -1 & (\text{右足が前方に出ている時}) \end{cases}$$

$$\Delta d_i = d_{i+1} - d_i \quad (\text{b})$$

$$\text{ave} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} |d_i| \quad (\text{c})$$

$$\text{diff} = \frac{\max}{\min} \quad (\text{d})$$

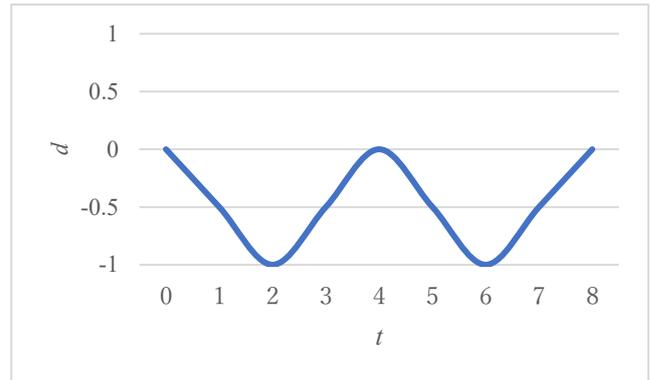


図 10 右足が常に前に出ている状態

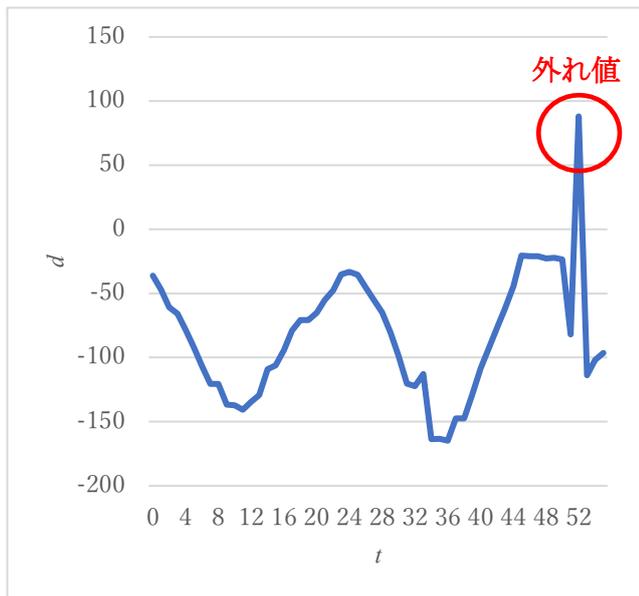


図 8 外れ値を含んだ歩容データ

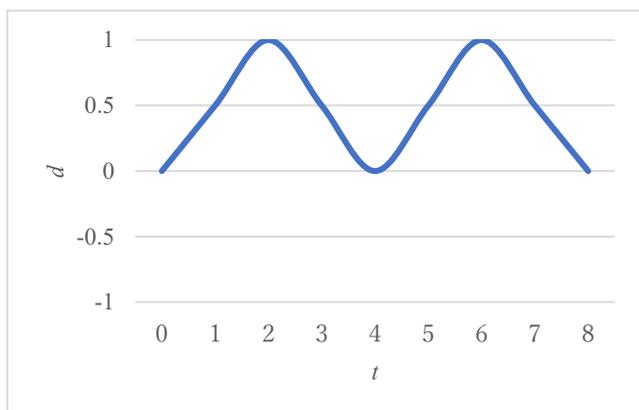


図 9 左足が常に前に出ている状態

4. 評価実験

歩行している状態で、鼻(特徴点 0 番)・首(特徴点 1 番)・手(特徴点 4 番, 7 番)・足(特徴点 10 番, 13 番)の 2 次元特徴点情報のみで背負い搬送や支持搬送されている傷病避難者を検知可能であるかについて検証を行う.

4.1 実験方法

被験者は、傷病避難者と搬送者の 2 名の組み合わせで歩行する. 背負い搬送を 1 回行い, 支持搬送については動かせる足ごとに各 1 回の 2 回行う. また, 図 11 のような健常避難者のみによる平常状態の歩行も 1 回行う. 実験環境は, 文献[12]での歩行実験環境を参考に図 12 のように設定する. 検知に必要な数の歩容データを取得するために歩行距離は 3m で行う. 撮影に用いるカメラの位置は歩行開始位置から歩行経路と平行方向に 4.9m, 垂直方向に 3m, 高さ 2.08m の位置に設置する. また, カメラ歩行開始地点に向けて, 歩行経路と垂直方向から 60 度の向きに設置する. 動画撮影に使用するカメラとして「ロジクール HD ウェブカム C270」を使用し, その性能を表 1 に記す.



図 11 平常状態の健常避難者

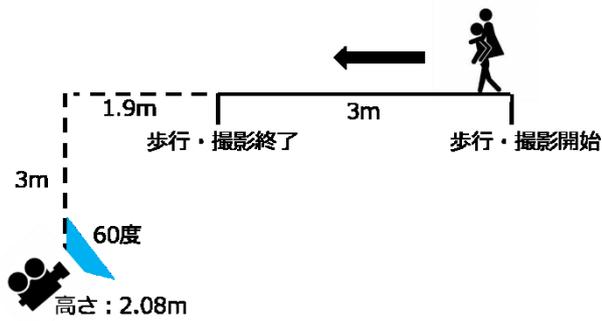


図 12 撮影環境

表 1 ロジクール HD ウェブカム C270 の性能

項目	精度
フォーカス	40cm
レンズ画角	60 度
ビデオキャプチャー	HD 720p (1280×720)
フレームレート	30 フレーム/秒

4.2 背負い搬送の傷病避難者の認識モデルの精度検証

撮影した動画の全 219 フレームに対し、3.4.1 節の手法により背負い搬送されている被験者が傷病避難者として検知されるか、背負い搬送している被験者を傷病避難者として検知されないかについて検証を行う。背負い搬送の傷病避難者の検知結果を表 2 に記す。17%あった傷病避難者が正確に検知されない状況では図 13 のように傷病避難者の手特徴点（特徴点 4 番，7 番）がカメラの位置及び角度の影響により正確に取得できなかった。このことから、被験者の歩行経路に応じて、カメラの設置位置を再検討する必要がある。

表 2 背負い搬送の傷病避難者としての検知結果

	検知率
搬送されている被験者	83%
搬送している被験者	0%



図 13 特徴点 4 番，7 番が取得できなかったフレーム

4.3 支持搬送の傷病避難者の認識モデルの精度検証

撮影した動画に対し、3.4.2 節の手法を用いて支持搬送さ

れている被験者が傷病避難者として検知するか、搬送している被験者及び図 12 のような平常状態の被験者が傷病避難者として検知しないか検証を行う。各被験者が傷病避難者として検知されたかどうかについての検知結果を表 3 に示す。支持搬送している被験者及び平常状態の被験者、すなわち健常避難者が傷病避難者として検知される割合は 0%であり、ほぼ正確に検知された。一方、搬送されている被験者、すなわち傷病避難者が傷病避難者として検知される割合は 75%を達成した。また、各状態の歩容データにおける *diff* 値の値域を表 4 に記す。なお、 Δt が常に正もしくは負の歩容データは除外している。表 4 に傷病避難者と健常避難者の *diff* 値の最大・最小・平均値を示す。提案システムでは *diff* 値が 2 以上の時に傷病避難者として検知するように設定しているが、傷病避難者であるにも関わらず両足の間の歩容差が小さく、*diff* 値が 1.35 にしかなかった被験者が存在し、これが搬送されている被験者、すなわち傷病避難者の検知率が 75%に留まった原因であると考えられる。しかし、*diff* 値の平均値を比較した場合、傷病避難者の *diff* 値は大きくなっている、傷病避難者と健常避難者の歩容には明らかな違いがあることはわかる。そのため、被験者の種類や人数を増やした実験を行い、検知に用いる *diff* 値の閾値を再検討する必要がある。

表 3 支持搬送の傷病避難者として検知された割合

	検知率
搬送されている被験者	75%
搬送している・平常状態の被験者	0%

表 4 各状態の *diff* 値の値域

被験者の状態	<i>diff</i> 値		
	最大値	最小値	平均値
傷病避難者	2.21	1.35	1.90
健常避難者	1.51	1.02	1.13

5. まとめ

本稿は、これまで傷病避難者を検知するために人の手で情報収集を行っていたのに対し、カメラで撮影された動画からスケルトン検出により、自動的に傷病避難者を検知する手法を提案した。避難者の搬送状態から傷病避難者を検知する手法を行い、検証実験を行った結果、搬送状態からある傷病避難者の検知はある程度の精度で可能であることがわかった。一方、傷病避難者であっても想定より歩容差が小さく、検知環境による検出可能な身体特徴点の欠落などから検知率が上がっていない問題があった。これに対し、検知環境や検知のための閾値を再検討することで提案システムにおける傷病避難者の検知率の改善を図る必要が

ある。また、担架搬送、組手搬送などの他の搬送態勢への対応も今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 九十九里町：避難者カードについて（オンライン），入手先
〈 <http://www.town.kujukuri.chiba.jp/0000001344.html> 〉（参照 2018-07-26）
- 2) 沼田宗純，高津諭，近藤一夫，大川純世，目黒公郎：東京大学生産技術研究所の防災訓練における避難所情報共有システム COCOA の利用. 生産研究, vol. 68, no. 4, pp. 315-320.
- 3) NHK：IC タグで安否確認自主防災組織の取り組み（オンライン），入手先
〈 <http://www.nhk.or.jp/shutoken/miraima/articles/00296.html> 〉
（参照 2018-07-26）
- 4) 消防防災科学センター：熊本地震における避難所開設・運営に関する実態～行政職員の対応を中心に～（オンライン），入手先
〈 http://www.bousaihaku.com/bousai_img/data/H28_dai3bu3.pdf 〉（参照 2018-07-26）
- 5) 中進吾，中村嘉隆，稲村浩：避難所における本人確認のための顔認証手法の精度向上，マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2017) シンポジウム論文集，Vol. 2017, pp.347-352 (2017)
- 6) 東京都福祉保健局：トリアージ ハンドブック（オンライン），入手先
〈 <http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/iryo/kyuukyuu/saigai/triage.files/toriagehandbook20161104.pdf> 〉（参照 2018-08-6）
- 7) 小嶋洋明，高橋祐樹，岡田謙一：START 法を用いたトリアージ作業支援のための情報提示システムの提案”，情報処理学会論文誌，Vol.53, No.1, pp.277-282 (2012)
- 8) 赤坂幸亮，金丸斗生，蟹澤功樹，一色正男，安部恵一：大規模災害時における要配慮者向け電子トリアージによる避難所管理システムの提案，マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2018)シンポジウム，pp.672-680 (2018)
- 9) 泉田 健斗，加藤 隆雅，重野 寛，岡田 謙一：一般市民による災害時搬送のための事前訓練システム，情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ (DCON)，Vol.5, No.2, pp.20-29 (2017)
- 10) Cao, Zhe, et al. "Realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields." arXiv preprint arXiv:1611.08050 (2016).
- 11) OpenPose（オンライン），入手 〈 <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose> 〉（参照 2018-07-26）
- 12) 森駿文，菊池浩明：歩容データの DTW 距離に基づく個人識別手法の提案と外乱に対する評価，マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2018) シンポジウム論文集，pp.672-680 (2018)