

研究論文

一般市民による災害時搬送のための事前訓練システム

泉田 健斗^{1,a)} 加藤 隆雅^{1,b)} 重野 寛^{2,c)} 岡田 謙一^{2,d)}

受付日 2017年1月15日, 採録日 2017年5月31日

概要: 近年, 大規模災害に備えた訓練が重要であるとされている. 救急隊員がすぐに現場に到着できない緊急の状況下においては, 一般市民が傷病者を適切に搬送する必要がある, 事前に適切な搬送法を学ぶための訓練が実施されている. しかし, 現状の搬送訓練は訓練者のほかに傷病者役や正しい搬送体勢かを判定する役が必要であることから, 訓練者のみで訓練を行うことができず, 頻繁に訓練を行うことが難しい. また, 訓練では傷病者役の人を実際に持ち上げて運ぶため, 訓練者の身体的負担が大きい. 搬送法を正しく習得するために, 訓練者が負担を感じない実践訓練の手法を確立する必要がある. そこで本論文では, 搬送の際に体勢を自動検出する技術を用いた, 搬送訓練システムを提案する. 体勢の自動検出には Kinect センサを使用し, 訓練者が搬送体勢をとることで, センサが骨格情報を読み取り正しい搬送体勢をとれているかを自動判定する. これにより判定役の用意が不要となる. また, 傷病者役に関節可動式マネキンを用いることで, 訓練者にかかる身体的負担が小さくなり, 実際に体勢をとりやすくなる. 本システムによって, 搬送法を正しく習得するための訓練を少ない人数で行えるようになり, 知識の深い定着が期待できる.

キーワード: 災害, 搬送訓練, 学習ツール, Kinect, ボディメカニクス

A Training System for Carrying the Injured by General Citizens

KENTO IZUMIDA^{1,a)} RYUGA KATO^{1,b)} HIROSHI SHIGENO^{2,c)} KEN-ICHI OKADA^{2,d)}

Received: January 15, 2017, Accepted: May 31, 2017

Abstract: Recently, it is said that training for massive disasters is important. When emergency personnel cannot arrive at a disaster site instantly, general citizens who are near the site should carry injured people properly. Each municipality provide them with opportunities for training how to carry the injured in advance. However, it is difficult to exercise carrying frequently because many people and equipments are needed for training. In addition, a trainee suffers a large physical burden due to carrying the person actually. This paper proposes the training system using Kinect. When the trainee takes the posture, the Kinect sensor reads the skeleton information and judges it automatically. This system adopts a mannequin, whose joints are able to move, for the injured person and reduces the burden for the trainee. We hope that this system will make the training easy and conduct it with small number of people.

Keywords: disaster, training of carrying, learning tools, Kinect, body mechanics

1. はじめに

災害が発生したときの傷病者の救助活動は的確に行われなければならない. そのため通常, 災害発生時に傷病者を救助するのは救急隊など特別な技術を持つ者である. しかし, 大規模災害の場合, 救助隊は数多くの被災現場に対応しなければならず, 道路の寸断などによりすぐに救助にとりかかることができないことも考えられる. このような状

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University,
Yokohama, Kanagawa 223–8522, Japan

² 慶應義塾大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University,
Yokohama, Kanagawa 223–8522, Japan

a) izumida@mos.ics.keio.ac.jp

b) kato@mos.ics.keio.ac.jp

c) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

d) okada@z2.keio.ac.jp

況では、一般市民が救助活動を行うことになる。1995年に発生した阪神・淡路大震災では、要救助者のおよそ8割が市民によって救助されたと推計されており [1]、災害規模が大きくなるほど市民による救助活動が必要になる。救助活動の1つに、傷病者を安全な場所に移動させるための搬送作業がある。搬送作業は普通、担架などの器具を用いて実施されるが、災害の程度や被災状況によっては器具をすぐに用意できない可能性が考えられ、その場合は器具を使わず、直接人の手による搬送を行う。これを徒手搬送といい、搬送者が1人であっても迅速に搬送作業にとりかかることができる。

災害時に徒手搬送を適切に行えるようにするためには、事前に訓練を行う必要がある。一般市民による徒手搬送の訓練は、各自治体などが主催する訓練の中で行われている [2] が、多くの場合他の種類の訓練と同時に行う総合防災訓練の中の1つとして実施されており、総合防災訓練そのものは頻繁には行われていないため、徒手搬送訓練の経験がある人は少ない。また、徒手搬送を現場で行えるほどに習熟するためには訓練を複数回行うべきだが、搬送訓練には搬送を行う訓練者のほかに傷病者役や搬送の判定役を用意する必要があり、訓練の準備に手間がかかる。さらに、搬送訓練では人を持ち上げて運ぶ動作をとるため、訓練者の身体にかかる負担が大きくなる。搬送の際には、身体の部位別にみると特に腰に大きな負担がかかることが指摘されている [3]。訓練ではまず適切な搬送体勢を学習した後、実際に体勢をとって試みるのが大切だが、体勢をとる際に訓練者の身体に大きな負担がかかると搬送体勢の実践が難しく、十分な訓練効果を得ることができなくなる。

このような背景から本論文では、身体の動きを自動検出する技術を用い、徒手搬送を中心とした搬送訓練を行うことのできるシステムを提案する。提案システムでは、Kinect センサによる搬送体勢の自動検出や傷病者役におけるマネキンの利用により搬送訓練を訓練者のみで実施できるようになり、また訓練中の身体的負担を大きく軽減できる。そして、学習と実践を分けることで搬送訓練を個人の理解度に合わせて行うことができる。

以下本論文では、2章において災害訓練の現状や関連研究、および問題点について言及する。3章では問題点を解決するために必要な事柄をあげ、本論文の提案内容を説明する。4章では提案システムの実装について述べる。5章では提案システムを用いた実験による評価について述べ、最終6章を本論文のまとめとする。

2. 災害訓練

2.1 市民が参加する災害訓練の現状

災害が発生したときの対処について訓練する機会が日本の各自治体などで設けられ、災害対策活動が活発に行われている。全国における自主的な防災組織による活動カバー



図 1 支持搬送

Fig. 1 Support carry.

率（全世帯数のうち、自主防災組織の活動範囲に含まれる地域の世帯数の割合）は毎年増加しており、2014年度には80%に到達した [4]。訓練の内容は様々で、避難所までの経路を確認する避難訓練、応急処置の方法を学ぶ応急救護訓練などが行われている。これらの訓練を個別に行う機会はほとんど存在せず、総合防災訓練として同時に訓練の機会が設けられる [5]。

傷病者の搬送に関する訓練も同様に総合防災訓練の中で行われる。訓練者は傷病者役の人を担架や徒手によって搬送することで、救急隊がすぐに現場に到着できない状況でも市民によって傷病者を搬送できるようにすることを狙いとしている。

2.2 徒手搬送の種類とボディメカニクス

徒手搬送を行うときの体勢にはいくつか種類があり、搬送者は傷病者の負傷状況や現場の環境などによって適切な搬送法を選択して搬送する必要がある。1人で行う徒手搬送の例として、図 1 は支持搬送と呼ばれる徒手搬送の体勢であり、比較的軽傷の傷病者を安全に搬送することができるが、歩けない、あるいは意識のない傷病者にこの搬送法を用いるのは危険であるため選択してはいけない [6]。また、図 2 の搬送体勢は背負い搬送と呼ばれ、意識の有無や歩行の可否に関係なく用いることのできる搬送法であるが、傷病者の全体重が搬送者にかかるため長距離の搬送には向かない。このほか、1人で行う搬送法に抱き上げ搬送や緊急搬送、2人で行う搬送法に組手搬送や両手搬送などがある。

災害時には傷病者全員を安全に搬送できるだけの器具や人手が不足することが想定される。そのため、一般市民が徒手搬送を理解し、災害発生時に徒手搬送を行えるようにしておくことの意義は大きい。しかしながら、徒手搬送では傷病者を搬送者の身体で支えつつ持ち上げて運ぶ方法が多く、搬送者にかかる負担が大きい。

搬送時に身体にかかる負担を減らすには、ボディメカニ



図 2 背負い搬送

Fig. 2 Pack strap carry.

クスを考慮して搬送することが重要である。ボディメカニクスとは、人の身体を構成する筋肉や骨の力学的な相互関係を活用する技術のことである。ボディメカニクスを意識することで、余分な力を使わずに搬送を行うことができると考えられている [6]。ボディメカニクスは介護や医療の現場においては広く知られており、看護師が病院で身体を動かすことのできない人の移乗を行うときに意識することで、身体にかかる負担を軽減し、腰痛の発生を抑えられるという報告がなされている [7], [8]。ボディメカニクスの原則は大別すると 8 種類あり、なかでも支持基底面積（両足で囲まれた部分の面積）を広くすること、重心位置を低くすることの 2 点は、人を運ぶことにおいて搬送を行う人が意識を強くする項目である [16]。そのため、徒手搬送訓練においても訓練者はこの 2 点を意識して行うことが負担の軽減のために重要である。

2.3 情報処理技術を利用した学習ツール

近年、情報処理技術を導入した、学習ツールの役割を果たすシステムが数多く構築されている。

災害訓練に関する学習ツールの例としては、Capuano ら [9] らが開発した避難訓練を行うことのできる教育用ゲームがある。対象とする小学生の学校と同じ構造の 3D モデルをゲーム内で再現し、非常口までの経路をたどるというものであり、ゲームで学習したことをそのまま現実世界に活かすことができる。他にも浦野ら [10] によるスマートフォンを用いた、地域ごとの災害リスクを反映させた訓練を行えるシステムや、Silva ら [11] によるシリアゲームを採用した避難訓練システムなど、災害訓練を対象とした学習ツールに関する研究は増加傾向にある。

いずれも、これまでの訓練が形骸化し、訓練を行う動機が薄れていることを背景としており、情報技術を用いることで訓練への動機付けに成功し、学習効果の向上につながられている。ただし、ここにあげた関連研究はいずれも避難訓練が対象であり、搬送訓練を扱った研究ではない。

また、本論文で提案するシステムでは Kinect による人の身体の体勢を検出する技術を用いるが、これと類似のシステムに西脇ら [12] が開発したダンスの学習を支援するシステムがある。ユーザはシステムによる指示を受けて動作を行うと、ユーザの関節の動きを Kinect が検出する。システムはユーザが指示どおりに動いているかを自動で調べ、結果を基にしたフィードバックを音声と画面表示で行うことにより、1 人であってもダンスを練習しながら同時に指導を受けることができる。そのほか、小原ら [13] による Kinect の体勢検出を用いた心肺蘇生法の姿勢学習を行うシステムがある。

2.4 問題点

現在自治体などで行われている災害訓練について、徒手搬送訓練に焦点を当てた場合、以下の問題点がある。

第 1 に、徒手搬送訓練を行える場としての総合防災訓練だけでは、市民が知識を定着させる機会として不十分であると考えられる。徒手搬送訓練は訓練者以外に、傷病者役、記録役、そして訓練で使用する機材、これらすべてを用意する必要があり、準備の整う機会が限られている。実際多くの自治体において、総合防災訓練は年に 1 回から 2 回であり [14]、頻繁には訓練を行っていない。特に一般市民が行う救助活動においては、訓練の機会が不足していると災害発生時の適切な対処に悪影響を及ぼしかねない。

第 2 に、訓練者が訓練内容を正しく理解するための配慮がなされていないという問題がある。一般市民の大半は徒手搬送訓練の経験がないと考えられるが、未経験者が訓練を始める際、各搬送法の体勢や使用条件を学習し、さらに身体の動かし方を正しく理解したうえで実践を行うことが望ましい。現状の訓練では、訓練者が搬送法について身体の動かし方を正しく理解できているかどうかを確認できないまま、傷病者を持ち上げて行う実践的訓練を始めてしまうことになり、搬送法の知識と身体の動かし方の間にあるギャップを埋められずに訓練効果に影響する。

第 3 に、搬送訓練、とりわけ徒手搬送の訓練では訓練者の身体にかかる負担が大きいがあげられる。搬送体勢を覚えるためには実際に搬送体勢をとることが重要だが、誤った体勢で傷病者の体重が訓練者にかかった場合、腰を痛めるなど身体に怪我を負ってしまいかねない。いきなり負荷をかけた訓練を実施することは、正しい搬送法の実践に対する妨げになると考えられる。

また、2.3 節で述べたように、実際の行動をともなった災害訓練に関するシステムには避難訓練に関するものが多く、傷病者を持ち上げるなどの行動をともなう搬送訓練が行えるシステムはあまり見られない。本論文では、災害訓練の中でも搬送訓練に特化し、搬送法を自分で判断し実際に搬送体勢をとる訓練システムを構築することを試みる。

3. 搬送訓練システムの要件および提案

2.4 節で述べた問題点を解決する搬送訓練システムに必要な要件には、搬送訓練をできるだけ少ない人数で行えること、訓練内容の理解に配慮した訓練ができること、そして人の体重をかけることなく、搬送法の学習および実践ができることの3点があげられる。

3.1 少人数で行える訓練

1度の訓練を行うために必要な人数を減らすことができれば、訓練の準備が容易になり、訓練の機会を増やすことにつながる。そのためには訓練をサポートする傷病者役や体勢の判定役を、人の代わりに行う機構を用意すればよい。ただし、実際に訓練を行う訓練者については、1人だけでなく複数人で行う訓練を実施できるようにする。実際の災害現場を考慮すると、混乱を避けつつ多くの問題に対処するためには複数人で協力して対応することが望ましい。

これらの要件を満たすために、人の検出や動作の解析を自動で行うことができる機構を持つシステムを提案する。訓練中の搬送体勢を自動で検出し、体勢を訓練者自身が確認しながら訓練できるようにすることで、体勢の判定をシステムが行う。また、傷病者役となる人の代わりに、人型の機材をシステムに取り入れることで傷病者役を人が担当しなくても訓練を行うことができるようになる。また、1人で行える搬送法の訓練と2人で1人の傷病者を搬送する訓練の両方を行えるようにし、実際の災害現場を考慮した複数人による対応を訓練できるシステムとする。

3.2 訓練内容の理解に配慮した訓練

徒手搬送訓練の未経験者に配慮し、搬送法に関する情報、具体的には体勢と選択条件を正しく理解したうえで搬送法を実践できる訓練体系を構築する必要がある。そのために、学習と実践のフェーズを分離した訓練体系を提案する。

学習フェーズでは、徒手搬送の概要やボディメカニクスの原理、および搬送体勢や選択条件などの搬送法に関する情報を提示し、搬送法の習得を目指す。学習フェーズの最後には、各搬送法ごとの練習を行い、その搬送法をボディメカニクスに沿った身体の動かし方に関して正しく理解できているかどうかの確認を可能にする。これに対し実践フェーズでは、学習フェーズで習得したことを活かして、実際の災害現場を想定した徒手搬送訓練を実践する。実践フェーズで行う訓練については、傷病者の様子や現場の環境を変化させ様々な状況を用意することで、訓練者が状況に応じた適切な搬送法を自分で考えて選択し、各状況に対処する能力をつけられるようにする。学習と実践を明確に分離することで、学習フェーズでの搬送法の姿勢や選択条件といった知識およびボディメカニクスに沿った体の動かし方についての十分な理解を確認した状態で実践フェーズ

に移行できる。

3.3 搬送法実践時の身体的負担の軽減

傷病者を搬送する際、搬送者の身体には大きな負担がかかる。徒手搬送を経験したことのない訓練者が、いきなり人を持ち上げて実践的な訓練を行うことは予期せぬ身体への負担から怪我につながりやすい。そのため徒手搬送の経験が少ない一般市民においては、実際の人を使って搬送する前に、正しい搬送法を覚え、体勢を体得する段階を訓練に設定するべきである。そしてその訓練では、身体的な負担をできるだけかけずに訓練を行えることが望ましい。そのため、人の体重をかけて訓練を行う前の段階としての、搬送法習得のための訓練として人の体重をかけずに搬送法を実践できるようにシステムを作ることを提案する。

3.1 節で、傷病者役に人型の機材を導入することを提案したが、これをマネキンなど人と比べて軽いものとすることで、訓練者が持ち上げた際にかかる負担を軽減できる。

4. 実装

3章で述べた、搬送訓練システムの構築における3つの提案事項をふまえたシステムを構築する。実装にあたっては、体勢データをとる際に訓練者にセンサなどを取り付ける必要がなく、設置が容易である Kinect センサと、体長 165 cm、重量 4 kg の関節可動式人型マネキンを採用し、搬送体勢の追跡を自動で行ったうえで身体的負担の軽減を実現している。このシステムを用いることで徒手搬送やボディメカニクスに関する知識の習得、および実践的な搬送訓練を1人でも実施できる。また、訓練内容を理解しながら学習できるよう、学習と実践のフェーズを分離している。

4.1 システム概要

図3は本システムの全体概要を表した図である。使用する機材はPC、キーボード、マウス、Microsoft Kinect v2 センサ、および関節可動式人型マネキンである。訓練者はPC

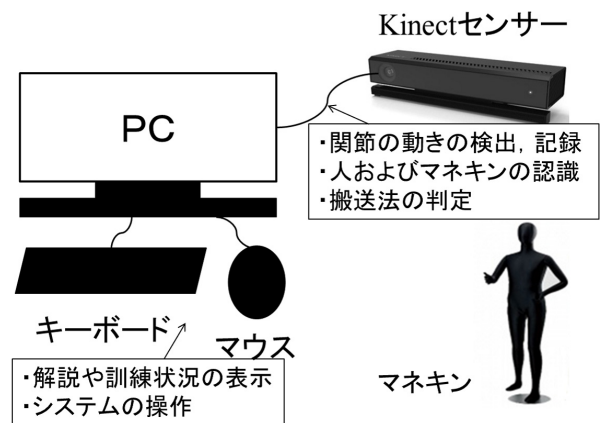


図3 システム全体の概要

Fig. 3 Overall system structure.

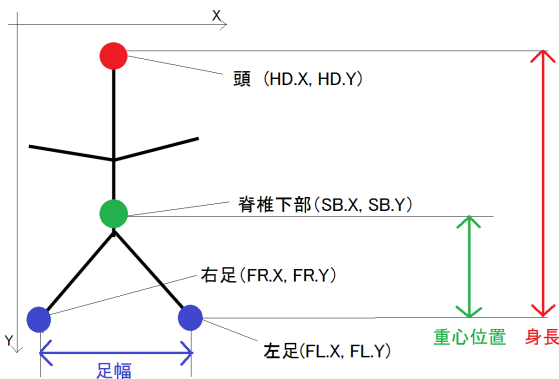


図 4 Kinect でデータを取得する関節
Fig. 4 Joints detected by Kinect sensor.

画面に表示された傷病者に関する情報を基に適切な搬送法を判断した後、Kinect を起動しセンサに向かって搬送体勢をとる。このときマネキンに傷病者役として用いるため、訓練者はマネキンを搬送するような体勢になる。Kinect センサが読み取った体勢は PC 画面に表示され、訓練者の動きを自動で検出する。訓練が終了すると、搬送法の選択の正誤や搬送時の biomechanics に関する指標などの訓練結果が画面に表示される。画面の操作は Kinect が起動している場合はキーボードで、起動していない場合はマウスで行う。本システムで学習の対象とした搬送法は、支持搬送、抱き上げ搬送、背負い搬送、緊急搬送、組手搬送、両手搬送の以上 6 種類の徒手搬送、および毛布を担架の代用として搬送を行う緊急器具搬送の計 7 種類とした。

4.2 Kinect による体勢の検出と判定

搬送体勢の検出および体勢データの取得は Kinect によって行われ、得られた体勢データをもとに正しく搬送できているかを判定する。Kinect は膨大な数の人体の部位を機械学習しており、距離情報から人物の領域や頭、首、腰、両手、両足など計 25 カ所の関節の動きを検出し、データとして記録することができる。このデータを基に、搬送法に沿った体勢がとれているかどうかの判定を行う。また、 biomechanics の原理に基づいた搬送が行えているかどうかを考慮する値として、重心位置や支持基底面積を定義し、データを用いて計算する。これを biomechanics に関する指標として用いることでどれだけ負担をかけずに搬送できたかを訓練結果に表示する。図 4 に示す 4 つの部位の XY 座標データを利用して、重心位置や支持基底面積を計算する。

重心位置の定義について説明する。まず、右足 FR.Y と左足 FL.Y の平均を求め、これを床の高さとして扱う。この床の高さと脊椎下部 SB.Y との差を重心位置とする。

続いて支持基底面積についてであるが、Kinect では足の長さを測定することが困難であるため、足の長さは身長に相関があることを利用した。河内ら [15] による日本人の体

型データをもとに計算したところ、身長 H (cm) と足の長さ F (cm) にはおよそ式 (1) で表される関係があることが分かった。式 (1) は、性別によらない関係式である。

$$F = \frac{H}{6.8} \quad (1)$$

手順としては、まず身長を頭 HD.Y と床の高さ (FR.Y と FL.Y の平均) から求める。次に式 (1) を用いて足の長さを求める。そして、足幅を FR.X と FL.X の差から計算する。最後に、足で囲まれた部分である支持基底面を長方形と見なし、足の長さとの積を支持基底面積とする。

また、マネキンは人の形をしているため、マネキンの体勢もデータとして記録される。これを利用して訓練者がどの搬送体勢を訓練しているか判定する。

Kinect は顔の検出を行うこともできる。Kinect はマネキンの顔を検出しないため、訓練者とマネキンの区別は顔検出によって行う。すなわち、本システムは人の形をしていて顔も検出される場合は人、すなわち訓練者であると判定し、人の形をしているが顔は検出されない場合はマネキンであると判定する。

4.3 傷病者情報のランダム生成

本提案システムでは、搬送法を決めるのに必要な傷病者の情報はランダムに自動生成される。傷病者を正しく搬送するには、最初に傷病者や周囲の様子についての情報を集めなければならない。訓練においても様々な傷病者に対応できる形式が望ましい。情報をランダムに生成することで、実践訓練において様々な状況に応じた訓練を行うことができる。本システムでランダムに生成される情報には、傷病者の歩行の可否、意識の有無、呼吸の有無、傷病者の状態 (胸に傷がある、足を怪我している、など)、現場の環境 (二次災害の恐れがある、近くに毛布などの搬送に使用できる器具がある、など) がある。訓練のたびに異なる情報が設定されるので、訓練者は毎回自分で考えて搬送法を選ばなければならない。そのため、実践的な訓練が可能となる。

また、意識がないのに歩行可能であるなどといった現実には起こりえない条件の組合せは訓練者を混乱させる要因になりうるので、設定されないようにしてある。

4.4 モード構成

本システムは学習モードと訓練モードの 2 つのモードで構成されている。システムを起動すると、最初にモードの選択画面が表示され、訓練者は 2 つのモードのどちらかを選択することでそれぞれのモードに移る。

4.4.1 学習モード

学習モードでは、搬送法の種類、適切な搬送法を選択するための条件、そして biomechanics についての説明が、文章やイラストによって提示される。それぞれの搬送法を説明するページでは、図 5 では、画面右上にはその搬送法

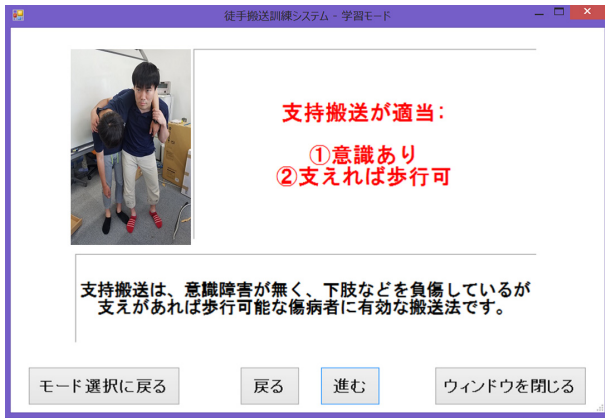


図 5 学習モード時の表示画面

Fig. 5 Learning mode.

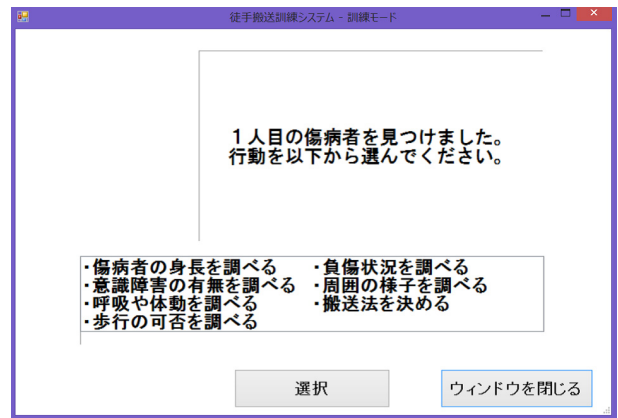


図 7 訓練モード時の表示画面

Fig. 7 Training mode.

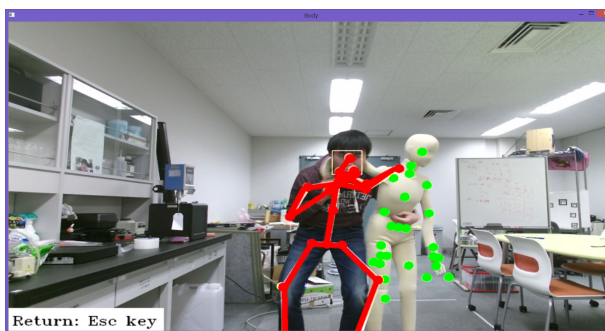


図 6 Kinect を用いた訓練の様子

Fig. 6 Training with Kinect and mannequin.

傷病者	正解	選択	床と重心の距離	支持基底面積
1人目	組手	組手	78cm	549cm ²
2人目	両手	両手	68cm	783cm ²
3人目	緊急	背負	53cm	843cm ²
4人目	器具	器具	64cm	829cm ²
5人目	支持	両手	47cm	784cm ²

図 8 訓練モードによる訓練の結果一覧画面

Fig. 8 A result of training mode.

を選択すべきときの条件や選択すべきでないときの条件、画面下には搬送法を説明する文章が表示されている。各搬送法の説明が終わると、続いて Kinect を用いた各搬送法の練習を行うことができる。この練習の目的は、得た知識と身体の動かし方のあるギャップを埋めることである。この練習時において、PC 画面には図 6 のような Kinect センサがとらえた映像が表示される。実際に搬送体勢をとりながら体勢を確認し、重心位置や支持基底面積の2つのボディメカニクスによる指標を見て練習することができるので、学習したことをふまえた練習が行えるようになる。

4.4.2 訓練モード

訓練モードでは、搬送に関する知識が定着しているかどうかを確認するために、実践的な訓練を行う。訓練モードでは傷病者の負傷状況や現場の環境がランダムに設定されるため、訓練者は条件に合った搬送法を自分の知識を基に判断しなければならない。

訓練を開始すると、最初に図 7 のような画面が表示される。画面下の選択肢のいずれか1つを選択すると開始時に設定された情報が画面右上に表示される。必要な情報を集めた後、選択肢の1つである「搬送法を決定する」を選択し、適切な搬送法を判断して同様に選択すると、Kinect が起動するので訓練者は図 6 のようにセンサに向かって選択した搬送体勢をとる。体勢を維持したまま3秒間静止する

と Kinect が体勢を検出する。その後、Kinect のカメラの範囲外に移動すると搬送を行ったことになり傷病者1人分の搬送が完了する。Kinect の表示画面を閉じると2人目の傷病者の搬送法選択に移る。本システムでは5人の搬送が完了すると訓練終了となり、図 8 のような結果一覧画面が表示される。傷病者ごとの搬送法選択の正誤や実際にとった搬送体勢の評価、および Kinect で取得したデータを基に計算したボディメカニクスに関する指標を一覧で表示する。搬送体勢に対する評価については選択の正誤に関係なく、訓練者が選択し実際に行った搬送体勢に対して評価を行う。ボディメカニクスに関する指標を考慮してより身体に負担をかけずに搬送できたかどうかを判定する。

5. 評価実験

5.1 実験目的

この評価実験ではシステムを用いることで、災害時の搬送について正しい知識を身につけ、正確な体勢で徒手搬送を実践することができるかどうか、および実際の人を用いた訓練を実施する際に本システムを使用したことによる効果があるかどうかについての検証を目的とする。

5.2 実験内容

5.2.1 実験 1—訓練システムとしての有用性検証

まず、一般市民が本システムの訓練によって正確な知識と体勢を学び、ボディメカニクスに基づいた徒手搬送を行えるようになるかどうかについての検証実験を行った。被験者はこれまで搬送訓練を体験したことのない大学生・大学院生計 14 人で行った。まず、被験者を 7 人ずつ 2 つのグループに分け、それぞれ A 組、B 組とした。A 組はシステムの学習モードを用いて搬送法やボディメカニクスについて学習した後、訓練モードによる訓練を行った。B 組は訓練モードを 2 回連続で実施し、学習モードは使用しないように指示した。訓練モードを 2 回行う理由は、双方のグループにおいてシステムを用いることで発生する、搬送訓練への「慣れ」の程度を揃えるためである。A 組からは訓練モードの結果を、B 組からは 2 回目の訓練モードの結果を実験結果とし、比較した。本実験で訓練の対象とする搬送法は、1 人で行える徒手搬送である支持搬送、抱き上げ搬送、背負い搬送、緊急搬送の 4 種類とした。他に本システムで訓練できる組手搬送や両手搬送といった 2 人で行う搬送法、および毛布を緊急の搬送器具として用いる緊急器具搬送については、訓練者個人の知識学習の程度を調べる本実験の目的に適さないため実験の対象外とした。実験の対象外となった搬送法については、学習モードによる学習を行わない。また、訓練モードでこれらの搬送法が正解となる傷病者や周囲環境などの条件をあらかじめ排除した。

以下、本実験で実施したタスクについて説明する。被験者には最初に 1 人で行う徒手搬送の名称と体勢が描かれた紙を渡した。この紙には本実験で対象とする搬送法の名称と体勢が記載されており、これらを覚えるよう被験者に指示した。ここでは搬送法の選択条件やボディメカニクスについての知識は与えないようにした。続いて被験者は Kinect センサ前方の実験者が指定した場所に立った。Kinect が起動している際の注意点の説明を受けた後、Kinect を用いて頭の位置と足の位置を測定し、その差分から身長を算出した。これは支持基底面積の計算で用いる足の長さを訓練中つねに同一にするためである。

これ以降は、グループによってタスクが異なる。A 組の被験者には、提案システムを起動し、まず学習モードを選択するように指示した。被験者は学習モードで搬送法の確認のほか、各搬送法が適する条件および適さない条件、およびボディメカニクスについての知識を学習した。学習モードで行える Kinect を用いた練習についても対象の 4 種類すべての搬送法で実施するように実験者が指示した。十分な学習ができた被験者が納得した段階で訓練モードに移り、傷病者 5 人分の搬送訓練を行った。訓練終了後、実験者はアンケートへの回答を要請し、すべての被験者から回答を得た。

一方、B 組の被験者には、提案システムを起動し、訓練

モードを選択するように指示した。ここで練習として 1 度傷病者 5 人分の搬送訓練を実施した。この練習時に、実験者は被験者に対象の 4 種類すべての搬送法を練習するように指示した。ただし、搬送法の選択条件やボディメカニクスに関する知識はいっさい与えないようにした。訓練モードによる練習終了後、もう 1 度訓練モードで傷病者 5 人分の搬送訓練を行った。訓練終了後、実験者はアンケートへの回答を要請し、すべての被験者から回答を得た。

評価項目は、搬送法選択の正答率、訓練にかかった時間、ボディメカニクスに基づく指標（重心位置、支持基底面積）、システムに関するアンケートとした。

5.2.2 実験 2—実際の人の徒手搬送に対する訓練効果の検証

本システムでは傷病者役をマネキンとして訓練を行い、ボディメカニクスを意識した体勢の体得を目標としているが、次の段階である実際の人を搬送する訓練に、本システムで学習した効果があるかどうかを検証した。

前項の実験の被験者とは異なる大学生の被験者 6 人を 3 人ずつ 2 組に分け、1~6 の番号を付けた。被験者 1~3 には A 組と同様の訓練、被験者 4~6 には B 組と同様の訓練を、本システムを用いて実施した。その後、本システムの学習モードに搭載されている各搬送法の練習機能を用い、支持搬送、抱き上げ搬送、背負い搬送、緊急搬送の 4 種類の搬送法のうち実験者が指示した 2 種類の搬送法で実際の人を被験者に搬送させた。傷病者役として搬送される人は被験者全員に対して共通で、身長 168 cm、体重 57 kg の男性とした。本システムは顔認識により訓練者と傷病者を見分けるため、搬送される人には帽子、サングラス、マスクを被ってもらい顔の認識を回避した。

評価項目は 2 種類の搬送法の実施にかかった時間、およびボディメカニクスの 2 つの指標（重心位置、支持基底面積）とした。

5.3 実験結果

5.3.1 実験 1

搬送法選択の正答率、訓練時間およびボディメカニクスに基づく指標に関する結果を表 1 に示す。A 組は B 組に比べて、正答率が 31.5 ポイント高かった。この平均の差

表 1 本システムを用いた訓練に関する実験結果
(記号 ± の後の数値は標準偏差)

Table 1 The result of training using the system with mannequin.

項目	A 組	B 組
正答率	62.9 ± 24.9%	31.4 ± 18.1%
訓練時間	11 分 25 秒	14 分 37 秒
重心位置	74.0 ± 14.4 cm	85.7 ± 13.1 cm
重心位置 (対身長比)	43.5 ± 3.17%	50.3 ± 5.99%
支持基底面積	885.6 ± 384.5 cm ²	552.8 ± 306.5 cm ²

表 2 A 組アンケート結果

Table 2 The result of questionnaire for group A.

項目	回答						
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
システムの使用感	4	4	4	4	4	5	5
訓練の難易度	3	4	3	4	2	4	2

に有意差があるかどうかを調べる。まず 2 組の分散が等しいかどうかを F 検定によって調べたところ、 $p = 0.45$ となり、分散には有意水準 5% で有意差が見られず、等分散であるということが分かった。よって、分散が等しいときの t 検定を適用したところ、 $p = 0.028$ となり、有意水準 5% で有意差が見られた。すなわち、A 組と B 組の結果の平均の差には有意差があるといえる。この差に関して、A 組は学習モードを行った結果、搬送法の選択条件について詳しい知識を得ることができたのに対し、B 組はあらかじめ見ておいた各搬送法の体勢のみの限られた情報から判断しなければならない。これは学習モードによる学習効果が現れたものだといえる。

訓練全体にかかった時間の平均については、A 組が B 組より 3 分 12 秒速かった。これは、学習モードによる学習が訓練への理解を早めた結果であり、身体の動かし方をあらかじめ練習していたことによる効果が表れている。

次にボディメカニクスに関する指標であるが、身長が高く重心位置も高くなることから、重心位置は身長の影響を受ける。被験者の平均身長は A 組、B 組とも 170 cm 程度で揃えてあるが、身長の影響を極力取り除くため重心位置の身長に対する比率を計算した。その結果 A 組は B 組に比べて 6.8% 低かった。さらに支持基底面積についても、A 組は B 組に比べて 332.8 cm² 大きかった。

両方の指標の平均の差に有意差があるかどうかを調べる。まず 2 組の分散が等しいかどうかを F 検定によって調べたところ、重心位置については $p = 0.59$ 、支持基底面積については $p = 0.19$ となり、ともに分散には有意水準 5% で有意差が見られなかったため、等分散であるということが分かった。続いて、分散が等しいときの t 検定を適用したところ、重心位置については $p = 0.0007$ 、支持基底面積については $p = 0.0002$ となり、ともに有意水準 1% で有意差が見られた。すなわち、どちらの指標においても、A 組と B 組の結果の平均の差には有意差があるといえる。重心位置、支持基底面積の両方とも学習モードの中でボディメカニクスとして説明されている事柄であり、学習モードを実施した A 組の被験者がこれらを正しく習得し、的確に訓練することができた結果といえる。

A 組のアンケート結果を表 2、B 組のアンケート結果を表 3 に示す。表中の (a)~(n) は今回実験に参加した 14 人の被験者を表している。アンケート項目は 1 から 5 の 5 段階評価で回答してもらい、1 が低評価、5 が高評価である。

表 3 B 組アンケート結果

Table 3 The result of questionnaire for group B.

項目	回答						
	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)
システムの使用感	2	5	3	2	5	4	3
訓練の難易度	4	4	4	4	5	4	5

表 4 実際の人を用いた訓練に関する実験結果 (A 組)

Table 4 The result of training with real person (group A).

被験者/搬送法	実施時間	重心位置	支持基底面積
1/支持搬送	47.2	78.3	969.3
1/抱き上げ搬送	66.8	69.2	853.9
2/背負い搬送	86.4	67.2	1078
2/緊急搬送	73.1	70.5	628.8
3/支持搬送	39.0	77.1	742.5
3/緊急搬送	124	62.4	868.3
平均 ± 標準偏差	73.1 ± 30.4	70.8 ± 6.04	856.8 ± 159.2

表 5 実際の人を用いた訓練に関する実験結果 (B 組)

Table 5 The result of training with real person (group B).

被験者/搬送法	実施時間	重心位置	支持基底面積
4/支持搬送	79.2	84.2	695.3
4/抱き上げ搬送	153	83.7	893.6
5/背負い搬送	126	84.9	703.4
5/緊急搬送	48.6	68.3	592.3
6/支持搬送	68.3	87.2	615.7
6/緊急搬送	89.7	68.6	528.4
平均 ± 標準偏差	94.1 ± 38.6	79.5 ± 8.63	671.5 ± 127.1

※ 表 4, 5 とも実施時間の単位は秒、重心位置の単位は cm、支持基底面積の単位は cm² である。

ただし、訓練の難易度については 1 がやさしい、5 が難しいという評価である。

表 2 を見ると、学習モードを使用した A 組の被験者からシステムの使用感について高い評価を得ることが分かったことが分かる。コメント欄には「ボタン操作が分かりやすい」「イラストがあって理解の助けになる」といった意見が述べられていた。また、表 3 と比較すると、訓練モードの難易度については特に B 組で難しく感じた被験者が多かった。このことは、徒手搬送を学習なしに行うことが困難であり、学習フェーズと実践フェーズの分離による効果があることを示すデータといえる。

以上の実験結果をまとめると、提案システムを用いた学習によって搬送選択の正答率やボディメカニクスに基づく指標が、学習しない場合と比べて改善されており、アンケート結果も考慮すると、システムを利用することで正しい搬送法を学習し実践できるようになることを確認した。

5.3.2 実験 2

各被験者に指示した搬送法、搬送法の実施にかかった時間、ボディメカニクスに基づく指標に関する結果を表 4、表 5 に示す。

実験結果をもとに、それぞれの評価項目において A 組と B 組の差が有意であるかどうかを検証する。まず 2 組の各評価項目について分散が等しいかどうかを F 検定によって調べたところ、すべての項目で、有意水準 5% で有意差は見られず (実施時間: $p = 0.31$, 重心位置: $p = 0.23$, 支持基底面積: $p = 0.32$), 等分散であることが分かった。続いて 2 組の各評価項目の平均に有意差があるかどうかを等分散のときの t 検定によって調べたところ、実施時間については有意差が見られなかった ($p = 0.32$)。重心位置と支持基底面積については有意水準 5% で有意傾向にある (重心位置: $p = 0.070$, 支持基底面積: $p = 0.050$) ことが分かった。

この結果をもとに考察する。今回評価項目とした 3 種類のどの指標においても確実に有意な差があることは確認できなかったが、ボディメカニクスに基づく 2 つの指標については、実際の人を搬送する訓練においても本システムの学習モードの有無によって有意な差が生まれる傾向にあることから、本システムは正しい徒手搬送の体勢の習得につながる訓練を行えるシステムとなる可能性を示している。そのため、実際の人を扱う訓練の前段階の、体勢を習得するためのシステムとしての意義につながると考えられる。ただし、前述のとおり絶対的な有意差は認められず、被験者の数も少ないことから、今後さらなる検証が必要である。

6. おわりに

本論文では、徒手搬送に対する訓練機会の不足や未経験者に対する学習への配慮、身体にかかる負担といった徒手搬送訓練に関する問題点をふまえ、災害発生時に一般市民が適切な徒手搬送を行えるようにするために、様々な搬送体勢を実際にとることで実践的な訓練を実施できるシステムを提案した。システムには Kinect センサとマネキンを用いることで、他に人や機材を揃えなくても搬送訓練を実施することができる。また、学習と実践を分離することで、個人の理解に合わせて訓練を実施できる。さらに、訓練中にかかる身体への負担もマネキンの利用により軽減し、正しい搬送法を学習しやすくしている。実験では、提案システムによる学習の効果を、学習した後の訓練の結果と学習していない状態での訓練の結果で比較することによって検証した。搬送法選択の正答率については有意水準 5% で有意差が見られ、ボディメカニクスに関する指標についても改善が見られることから、提案システムが搬送法の学習に有用であるとの考察を得た。また、自治防災組織である家庭防災員の代表に本システムについて意見を求めたところ、本来訓練に必要な傷病者役と判定役をする人を削減しつつ訓練を実施できることにより訓練の機会を増加させる意義があるとの意見もあった。以上のことから、本システムを用いることで災害時において傷病者の搬送を一般市民が適切に行えるようになり、1 人でも多く救助されること

につながると期待できる。

本論文で提案したシステムは、正しい徒手搬送の体勢を覚えるための訓練を行うものであり、実際に人を傷病者として訓練する前の段階として構築した。このことについて、訓練者に本システムによる訓練を行った後に実際の人を徒手搬送する検証を行ったところ、ボディメカニクスに基づく指標についてはシステム内の学習の有無による効果に差が出る傾向にあることが分かり、本システムの訓練が次の段階の実際の人を使った訓練につながる可能性のあるものであると判明した。ただし完全に有意差があることを示すには至らなかったため、システムを改善し人を傷病者とする訓練においても有意差が見られるようにしていくことを今後の課題とする。加えて、人を傷病者として行う訓練についてもシステムの提案および構築を行い、徒手搬送の訓練システムとして完成させることを検討している。

参考文献

- [1] 河田恵昭：大規模地震災害による人的被害の予測，自然災害科学，Vol.16, No.1, pp.3-13 (1997).
- [2] 南砺市：あいにくの雨の中，実践的な訓練をとおして万が一の災害発生に備える（オンライン），入手先 (<https://www.city.nanto.toyama.jp/cms-sypher/www/info/detail.jsp?id=14929>) (参照 2017-01-13).
- [3] 安田康晴：救急活動時の身体負担の現状，日本臨床救急医学会雑誌，Vol.13, No.5, pp.604-610 (2010).
- [4] 消防庁：自主的な防火防災活動と災害に強い地域づくり（オンライン），消防白書，第 4 章，入手先 (<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h26/h26/html/4b-1-2.html>) (参照 2017-01-13).
- [5] 九都県市合同防災訓練：第 35 回九都県市合同防災訓練実施大綱（オンライン），入手先 (<http://www.9tokenshibousai.jp/kunren/2014/pdf2014/35kunren.taikou.pdf>) (参照 2017-01-13).
- [6] 安田康晴：救急現場活動シリーズ (1) 傷病者の搬送と移乗，へるす出版 (2014).
- [7] Sandhya, R.V., Kumari, M.J., Gopisankar and Sheela, A.M.: Prevalence of low back pain and knowledge on body mechanics among the staff nurses in a tertiary care hospital, *International Journal of Advanced Research*, Vol.3, Issue 9, pp.928-934 (2015).
- [8] Karahan, A. and Bayraktar, N.: Determination of the Usage of Body Mechanics in Clinical Settings and the occurrence of Low Back Pain in Nurses, *International Journal of Nursing Studies*, Vol.41, pp.67-75 (2004).
- [9] Capuano, N. and King, R.: Adaptive Serious Games for Emergency Evacuation Training, *Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS)*, pp.308-313 (2015).
- [10] 浦野 幸, 于 沛超, 遠藤靖典, 星野准一：実環境における災害体験ゲームシステムの開発，情報処理学会論文誌，Vol.54, No.1, pp.357-366 (2013).
- [11] Silva, J.F., Almeida, J.E., Rossetti, R. and Coelho, A.L.: A Serious Game for EVAcuation Training, *Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, pp.1-6 (2013).
- [12] 西脇絵里子, 小野澤理紗, 北原鉄朗：ユーザーの習熟度に合わせた初心者向けダンス学習支援システム，情報処理学会第 76 回全国大会，第 4 分冊，pp.623-624 (2014).
- [13] 小原拓也, 平間大貴, 皆月昭則：センサーカメラによる心肺蘇生法の姿勢学習支援アプリケーション，FIT2013 (第

12 回情報科学技術フォーラム), 第 4 分冊, pp.459-460 (2013).

- [14] 静岡県地震防災センター:平成 21 年度自主防災組織実態調査結果の概要 (オンライン), 入手先 (http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/shiraberu/higai/jisyubou_jittai/documents/h21b.pdf) (参照 2017-01-13).
- [15] 河内まき子, 持丸正明, 岩澤 洋, 三谷誠二:日本人人体寸法データベース 1997-98, 通商産業省工業技術院くらしと JIS センター (2000).
- [16] 永田紀美子, 青柳佳子:「ボディメカニクス」の習得状況からみた腰痛予防教育の現状と課題, 目白大学短期大学部研究紀要 (2014).



泉田 健斗 (学生会員)

2016 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在, 同大学大学院理工学研究科修士課程在学中。グループワーク支援の研究に従事。



加藤 隆雅 (学生会員)

2015 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在, 同大学大学院理工学研究科修士課程在学中。グループワーク支援の研究に従事。



重野 寛 (正会員)

1990 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997 年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。現在, 同大学理工学部教授。博士 (工学)。情報処理学会論文誌編集委員, 同高度交通システム研究会幹事, 電子情報通信学会英文論文誌 B 編集委員等を歴任。現在, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会主査, Secretary of IEEE ComSoc APB。ネットワーク・プロトコル, ITS 等の研究に従事。著書「ユビキタスコンピューティング」(オーム社), 「情報学基礎第 2 版」(共立出版) 等。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。



岡田 謙一 (正会員)

慶應義塾大学理工学部情報工学科主任教授, 工学博士。専門は CSCW, グループウェア, HCI。情報処理学会理事, 情報処理学会誌編集主査, 論文誌編集主査, GN 研究会主査, 日本 VR 学会理事等を歴任。現在, 情報処理学

会論文誌: デジタルコンテンツ編集長, 電子情報通信学会 HB/KB 幹事長。情報処理学会論文賞 (1996, 2001, 2008), 情報処理学会 40 周年記念論文賞等を受賞。日本 VR 学会フェロー, IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。本会フェロー。