

多数傷病者事故時での救命率向上のための 電子トリアージタグの利用を前提とした搬送計画システム

水本 旭洋^{1,a)} 孫 為華^{1,2} 安本 慶一^{1,2} 伊藤 実¹

受付日 2011年10月24日, 採録日 2012年5月12日

概要: 本論文では, 大規模災害や事故などの多数の傷病者が発生する状況において, 傷病者の生存率を向上させる搬送計画システムについて述べる. 本システムでは電子トリアージタグを用いてリアルタイムに取得した傷病者の生体情報と医者の所見などから, 生存率の時間減少モデルを作成し, 搬送計画アルゴリズムを用いて計画を行う. 提案アルゴリズムでは, 救命のための限界時間が早い傷病者から順に, 最も早く搬送できる救急車と搬送先医療機関を割り当てる. ある傷病者を先に搬送することにより, 他の多数の傷病者が救命できないケースを避けるため, 各傷病者に対し搬送する場合と搬送しない場合の両方を効率良く探索する. 大規模災害を想定したシミュレーション実験を行うことで, 提案手法と既存の搬送手法を比較し, 提案手法の有用性を確認した.

キーワード: 搬送計画, 災害マネジメント, 電子トリアージタグ, 多数傷病者事故

Transportation Scheduling System for Increasing Life-saving Ratio in MCI Based on Electronic Triage Tag

TERUHIRO MIZUMOTO^{1,a)} WEIHUA SUN^{1,2} KEIICHI YASUMOTO^{1,2} MINORU ITO¹

Received: October 24, 2011, Accepted: May 12, 2012

Abstract: In this paper, we propose a new system for scheduling a near-optimal transportation order of the patients in an MCI (Mass Casualty Incident). Utilizing electronic triage tag and the patient's diagnosis given by a physician, the proposed system generates a Probability of Survival (Ps) estimation function for each patient and calculates a near optimal transport schedule. we propose a heuristic algorithm based on a greedy method that transports patients in the increasing order of their expected Ps at the time they will arrive and be treated at the hospital. To prevent the case that rescuing a patient earlier results in the death of two or more patients, our proposed algorithm considers, for each low Ps patient, two cases of transporting the patient or not and derives the transportation order that keeps the most patients alive. Through simulations supposing a realistic MCI scenario, we confirmed that the proposed method outperforms existing methods.

Keywords: transportation scheduling, disaster management, electronic triage tag, mass casualty incident

1. はじめに

近年, 多数の死傷者が発生する自然災害, テロ事件, 大規模事故などが世界中で頻発している. これら大災害や事

件, 事故では, 医療従事者の人数, 救急車の数, 医療機関の収容能力といった医療資源の数を上回る傷病者が発生し, 指揮・救援・医療系統の混乱を引き起こす. その結果, 二次三次の被害として「避けられた死」が少なからず発生する. こういった災害, 事件や事故を総じて**多数傷病者事故** (Mass Casualty Incident, 以下 **MCI** と記す) と呼ぶ [1]. MCI 状況下では, 医療資源が不足するため, すべての傷病者に医療資源を平等に割り当てることができない. そこで, 各傷病者に対して, 治療や搬送の優先順位を短時間で

¹ 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of
Science Technology, Ikoma, Nara 630-0192 Japan

² 独立行政法人科学技術振興機構, CREST
Japan Science and Technology Agency, CREST, Chiyoda,
Tokyo 102-0076, Japan

a) teruhiro-m@is.naist.jp

決めるトリアージが行われる。トリアージは、傷病者の重症度を1人あたり30秒以内に4つのカテゴリに分類し、紙製のトリアージタグに記載し、傷病者につけて結果を表示する。しかし、現在の、紙製のトリアージタグでは、判定時の人為的なミスや容態の変化に対応できないことや傷病者の位置が把握できないといった大きな問題がある。また、現在のトリアージでは4段階にしか重症度を分類できないため、同一カテゴリに分類された傷病者の間で優先順位を決定できない。したがって、MCIという傷病者の容態を把握しにくい状況において、同一カテゴリの傷病者が多い場合、最も重症な傷病者から搬送されるとは限らない。

災害医療における救命率および救助効率を改善するために、世界各国で数多くの研究が行われている。電子トリアージ・システムプロジェクト[2]では、センサ機器が埋め込まれたトリアージタグ(電子トリアージタグ)が開発されている。電子トリアージタグを用いれば、心拍数、呼吸数、血中酸素濃度といった人体の生体情報をリアルタイムに取得でき、さらに無線により送信することで、医療サーバで一括管理できる。これにより、タグを装着する際の判定ミスを避け、タグ装着後の容態変化を知ることができるようになり、トリアージ段階のミスを最小限に抑えることができる。一方、傷病者の容態および外傷部位から、すぐに治療が施される場合の生存率を予測するTRISS法[3]、[4]などの手法が救命救急に応用されている[5]。この予測生存率は、実際の死亡率と関連しており、医療機関での治療時に予測生存率が30%未満であった傷病者の75%以上が、実際に死亡していることが明らかになっている。そのため、電子トリアージタグと予測生存率を組み合わせることで、より救命率を高める傷病者の搬送計画を実現できる可能性がある。

本研究では、限られた数の救急車を用いて、多数の傷病者を医療機関に搬送する傷病者搬送計画問題を解決する。予測生存率と実際の死亡率の関係から、傷病者を救命するためには、医療機関での治療時における予測生存率がある程度高い状態で搬送する必要がある。傷病者の容態は医療機関で治療を受けるまでの時間が長くなるほど悪化するため、予測生存率も時間とともに低下していくと考えられる。そこで、本研究では傷病者が命をとりとめる可能性がある生存率の下限を α と定義し、傷病者の予測生存率が α 未満になる時間(搬送限界時刻)までに医療機関に到着しなければ生存の可能性がないと考える。したがって、傷病者搬送計画問題は、医療機関の収容能力の制約を満たしながら、予測生存率が α 以上の間に医療機関に到着する傷病者の数を最大化することを目的とする。この問題の解決のため、電子トリアージタグを用いた傷病者搬送計画システムおよび、搬送計画手法の提案を行う。

MCIのように搬送する傷病者が多くなる状況では、傷病者の搬送待ち時間が長くなることから、予測生存率の低下

が早い傷病者を先に搬送したい。そのため、各傷病者の予測生存率がどのように減少するかモデルを作成する必要がある。生存率が時間とともに変化するモデルとしてカーラの救命曲線[6]、[7]やドリンカの生存曲線[8]などが存在する。これらのモデルに近似する曲線を予測生存率曲線として作成し搬送計画に用いる。提案システムでは、まず応急救護所でのトリアージ時に記録された医療従事者の所見と、電子トリアージタグからリアルタイムに得られる生体情報をTRISS法にあてはめ、予測生存率を算出する。算出された予測生存率と傷病者の搬送待ち時間、そして搬送待ちの間に計測、算出された予測生存率をカーラの救命曲線にあてはめ、各傷病者の予測生存率曲線(予測生存率推定関数)を作成する。そして、傷病者の予測生存率推定関数や位置情報、救急車や医療機関の情報などを利用して傷病者の搬送計画を算出する。

傷病者搬送計画問題は、医療機関、救急車、現場救護所、各現場における傷病者数が増加するほど、組合せ数が爆発的に多くなるNP困難問題であるため、実行時間内に最適解を算出できない。提案手法では、予測生存率推定関数を用いて予測生存率がちょうど α になる搬送限界時刻を算出し、その時間が早い傷病者から順にグリーディに救急車を割り当てることで、短時間で傷病者の搬送リストを作成する。しかし、単純にグリーディな手法で搬送リストを決定するだけでは、1人を助けることにより、より多数の傷病者が救命できなくなるケースが発生する場合がある。このようなケースを発生させないように、提案手法では各順位の傷病者に対し、搬送する場合としない場合の両方を探索し、より救命者数の多くなる搬送リストを作成する。

提案手法と既存の搬送計画手法とを比較するため、大規模災害を想定したシミュレーションを行った。その結果、提案手法は他の手法と比べてより多くの傷病者を、生存に最低限必要な予測生存率として設定した30%以上を保った状態で搬送できることを確認した。

以降、2章では関連研究について述べ、3章では本研究が想定する前提条件、問題設定について説明する。4章では提案手法の詳細を述べる。5章では、提案手法のシミュレーションによる実験について述べ、その結果について考察を行う。最後に、6章で結論を述べる。

2. 関連研究

医療資源が傷病者の数を上回るMCIでは、傷病者の緊急度・重症度を評価し、搬送や治療の優先順位を決定するトリアージが行われる。トリアージでは、START法[9]に基づいて傷病者の容態を、緑(優先度:低、軽傷で専門的な治療が必要ない)、黄(優先度:中、多少治療が遅れても生存率に影響がない)、赤(優先度:高、生命に関わる重篤な状態で、生存の可能性が高い)、黒(すでに死亡しているか、生存の可能性がない)という4つのカテゴリに分類し、



図 1 トリアージタグ

Fig. 1 Triage tags made of paper.

簡単な所見とともに図 1 のような紙のタグ（トリアージタグ）に記録し傷病者に取り付ける。また、トリアージは応急救護所での治療優先度を決定する 1 次トリアージと、応急処置後に医療機関への搬送順位を決定する 2 次トリアージに分けられる。現在は紙で作られたトリアージタグが使用されているため、(1) 傷病者の容体変化への対応が困難、(2) 同カテゴリ内で優先順位が不確定、(3) 短時間で判断するため誤判定が発生、(4) 医療従事者の重圧が大きい、などの問題がある。

現在の災害医療における傷病者搬送は、紙のトリアージを使用していることから重傷者（赤カテゴリ）から手当たり次第に搬送するのが一般的である。これは本質的に同一カテゴリ内でランダムに搬送することと同じである。傷病者の搬送を指揮する指揮所は、電話やトランシーバ、メモなどを使って傷病者の情報や医療機関の空き情報を収集しており、これらの情報に基づいて救急車の派遣先を決定する。しかし、各応急救護所から傷病者の情報が逐次報告されるため、計画を行う傷病者が増加するほど、再計画や調整を行うことが難しく、応急救護所の医師の判断や、報告された順番などに従って傷病者を搬送することになる。そのため、必ずしも救命率を最大化する順番にはなっていないケースが多いと考えられる。Jotshi らは、収集する情報に誤りがあることを考慮した搬送計画手法を提案している [10]。この手法では、地図上の傷病者が集中している地域をクラスタと定義し、クラスタごとの傷病者の人数、救急車からの距離、クラスタから医療機関までの距離という 3 つの要素を考慮して救急車を派遣するクラスタを決定する。傷病者にはそれぞれ、赤か黄色のトリアージ結果が与えられている、すなわち、重みが設定されているものとする。これにより、赤色の傷病者が多いクラスタに救急車が派遣されやすくなっている。この手法は個々の傷病者の情報に誤りがある場合に、無駄な救急車の派遣を防ぐことができる。しかし、傷病者が少ないクラスタに対して、救急車が派遣される可能性が少ないため、人数が少ないクラスタに所属する赤色の傷病者は放置される可能性が高くなったり、救急車から遠いクラスタへ派遣される可能性も低くなったりする。また、クラスタ内の傷病者の搬送順序の決定まで行われていない。

近年、紙のトリアージタグの問題を解決するために、

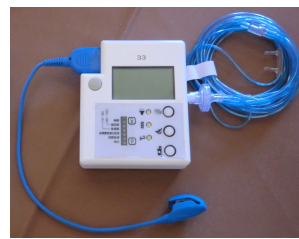


図 2 e-Triage (フル機能版タグ)

Fig. 2 Electronic triage tag “Full”.



図 3 e-Triage (小型軽量版タグ)

Fig. 3 Electronic triage tag “Light”.

トリアージタグの電子化に関する研究が世界中で活発に行われている。Gao らは AID-N プロジェクトにおいて、ETag というセンシング機器を実装した電子トリアージタグを開発している [11], [12]。また日本国内でも、災害時救命救急支援を目指した人間情報センシングシステムプロジェクトにおいて、電子トリアージタグを開発している [2], [13], [14], [15]。このプロジェクトで開発されている電子トリアージタグ e-Triage は、ETag と比べ小型の機器で生体情報を収集可能である。図 2 のフル機能版タグでは、呼吸数、脈拍、血中酸素濃度の測定が、図 3 の小型軽量版タグでは、脈拍、血中酸素濃度の測定が可能である。特に小型軽量版タグは指先に挟み込むだけで簡単に生体情報を測定でき、傷病者の装着負担を軽減することができる。e-Triage は IEEE802.15.4 規格の ZigBee を用いて、サーバにデータを送信できる。サーバで傷病者の情報を管理することで、すべての傷病者の生体情報を一目で確認でき、傷病者の生体情報の変化を監視することができる。このような、電子トリアージを用いたシステムの研究も行われており、Gunawan らは化学災害を想定し、電子トリアージタグを所持した歩行可能な傷病者（緑トリアージ）の移動を追跡し、適切な場所へと傷病者を避難させるシステムを提案している [16]。また、栖関らは電子トリアージから得られた生体情報から、傷病者の呼吸数や脈拍数が、START 法で定められている各色に分類するための呼吸数、脈拍数からどれだけ離れているかで、同じカテゴリに分類される傷病者に対して治療や搬送の優先度を決定する手法を提案している [17]。

医学の分野では、傷病者の重症度を評価するための手法が研究されており、これらを用いて傷病者の救命率や死亡率を予想することが可能になっている。評価手法とし

て、生理学的指標と、解剖学的指標、そしてそれらを組み合わせた指標が存在する。その中でも生理学的指標である RTS [18] と解剖学的指標である ISS [19] を組み合わせた TRISS 法 [3], [4], [5] が有名である。TRISS 法を用いることで傷病者の予測生存率が算出可能であり、この予測生存率が 30%未満になった傷病者の 75%が実際に死亡していることが日本外傷データベース (JTDB) のデータから明らかになっている [20]。また、TRISS 法より正確な予測生存率を算出するための研究も行われており、33,950 例の外傷データベースを用いて提唱された HARM [21] や、NTDB に登録されている 702,229 人の患者のデータを用いて提唱された TPM [22] などがある。これらの研究で用いられている外傷データベースのように、世界中で外傷データベースへの外傷データの登録が進んでおり、今後もより多くの外傷データを使って評価手法が提唱されることが予想される。また、時間経過と死亡率の関係を表した評価指標が以前より提唱されており、カーラの救命曲線がよく参考にされている。これによると、心臓停止は 3 分、呼吸停止は 10 分、多量出血は 30 分放置すると死亡率が 50%に達するとされている。福田らはカーラの救命曲線を表す関数式を算出し、医療情報デジタル伝送システム導入時の人的損失額の算出や傷病者の情報を基地局まで搬送するために必要なアンテナの設置場所の検討に利用している [6], [7]。カーラの救命曲線では、3 つの傷病に対する救命曲線しか見ることができない。しかし、今後電子トリアージの実用化が進み、時間経過にともなう生体情報の変化や予測生存率の変化を大量に記録することができれば、各傷病や生体情報に応じた救命曲線を導出できる可能性が高い。

本研究では、救急車による傷病者の搬送計画問題に着目し、電子トリアージから得られる傷病者の生体情報をパラメータとして、予測生存率や予測生存率の時間変化を推定する関数を算出し、最大多数の傷病者を搬送・救命できる搬送計画をリアルタイムに策定する手法を提案する。既存の搬送計画手法では、紙のトリアージタグを利用することを前提としているため、多人数の傷病者の容態をリアルタイムに監視することはできなかった。そのため、傷病者ごとの予測生存率の時間変化を考慮した搬送計画手法は存在しなかった。提案手法では、電子トリアージタグが計測した生体情報の変化から、時間経過に対する予測生存率推定関数を導出し利用することで、個々の傷病者の容態を考慮した搬送計画を行うことができる。また、脱線事故のような応急救護所が 1 か所にしか存在しない場合だけではなく、複数の応急救護所が距離的に離れた位置に存在する地震災害の場合にも対応できるように、災害現場全体を見通した搬送計画を考える。著者らは文献 [23] で、すべての傷病者が搬送可能な状態であり予測生存率が線形に低下するという仮定のもとでの搬送計画を行うアルゴリズムの提案と評価を行った。しかし、文献 [23] では、予測生存率の

減少を計算する方法は考えられておらず、傷病者の追加や急変を考えない限定的な設定での評価であった。本論文では、電子トリアージの測定結果を使って傷病者の予測生存率の減少を推測する予測生存率推定関数の作成を繰り返すことで、実時間で限界搬送時刻を更新し、搬送計画に反映できるようにした。さらに、シミュレーション実験では、傷病者が時間の経過とともに追加され、一定確率で急変の傷病者が発生することを考慮したより現実的な設定で評価を行った。

3. 多数傷病者搬送計画問題

本章では、対象とする搬送計画問題に関して、前提条件を示したあと問題設定を行う。

3.1 前提条件

各傷病者 p に対し、ある時刻 t での予測生存率を算出できる関数 $Ps(p, t)$ が与えられるとする (関数の詳細は 4.2.1 項で述べる)。

日本外傷データバンクによると、傷病者の医療機関到着時刻での予測生存率が 10%未満では 95%、20%未満では 80%、30%未満では 75%が実際に死亡してしまう。そのため、傷病者が最終的に生存するために最低限必要な予測生存率の閾値を α とし、閾値未満に予測生存率が減少した傷病者については生存可能性がないものとして扱う。

3.2 問題設定

本研究で対象とする問題は、傷病者の予測生存率が α 以上の間に医療機関へ搬送できる人数を最大化する搬送スケジュールを算出する問題である。傷病者の集合を P 、現場の応急救護所の集合を S 、医療機関の集合を H 、救急車の集合を Am とする。被災地内には、多数の傷病者 P が発生し、複数の応急救護所 S のいずれかにそれぞれ搬送済みとする。傷病者は応急救護所で処置された後、複数の医療機関 H の中から最適と思われる場所へ搬送される。傷病者を搬送するために、複数の救急車 Am が、応急救護所と医療機関の間を往復している。救護所 s から医療機関 h への片道搬送時間は、関数 $Tt(s, h)$ ($s \in S, h \in H$) で求めることができる。傷病者を現場から医療機関に搬送する過程は図 4 のようなネットワークモデルで表現できる。ある時刻 t に医療機関 h_1 に位置する救急車 am が、救護所 s の傷病者 p を医療機関 h_2 に搬送する場合の搬送完了時刻 at は、 $at = t + Tt(h_1, s) + Tt(s, h_2)$ である。また前節の仮定より、傷病者 p の搬送完了時刻 at での予測生存率 ps は関数 $Ps(p, at)$ を用いて算出できる。搬送計画により、傷病者の搬送情報リスト TL を作成する。搬送情報リスト TL は、どの救急車が、どの傷病者を、どの医療機関に搬送するかを表す搬送情報 tl の集合である。搬送情報 tl を、 $\langle$ 傷病者 p , 救急車 am , 救急車の派遣元医療機関

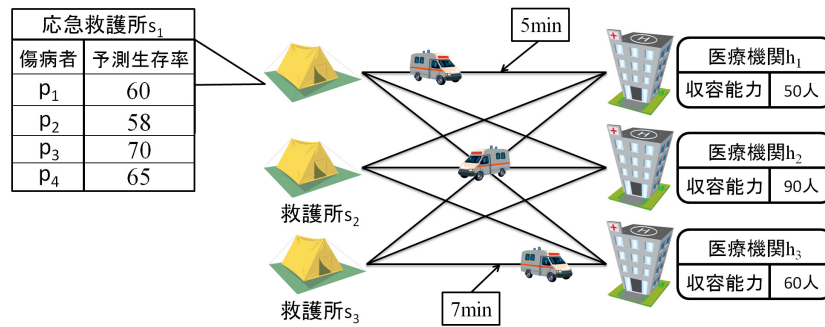


図 4 傷病者搬送計画問題のネットワークモデル

Fig. 4 A network model for the problem of patients transportation.

h_{start} , 派遣先救護所 s , 搬送先医療機関 h_{end} , 出発時刻 st , 到着時刻 at と表記する. 搬送情報 tl で搬送される傷病者 $tl.p$ が閾値 α 以上の予測生存率で医療機関に到着するかどうか (すなわち, 治療後生存可能かどうか) を 1, 0 で表す関数を $Survive(tl)$ とする. 関数 $Survive(tl)$ を式 (1) に定義する.

$$Survive(tl) \stackrel{\text{def}}{=} \begin{cases} 0 & \text{if } Ps(tl.p, tl.at) < \alpha \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

各医療機関 $h \in H$ に対し, 収容可能傷病者数を $h.cap$ と表記する. 搬送情報リストの中で医療機関 h が搬送先になっている搬送情報 tl の数, すなわち, h に運ばれる傷病者数を関数 $count(TL, h)$ で表す. 各医療機関 h に運ばれる傷病者は, 収容可能傷病者数 $h.cap$ 以下でなければならない, この制約を式 (2) で表す.

$$\forall h \in H, count(TL, h) \leq h.cap \quad (2)$$

式 (2) を満たしながら, 予測生存率が α 以上の間に医療機関に搬送される傷病者数 (以後, 救命者数と呼ぶ) を最大化する搬送情報リスト TL を求めることが本問題の目的である. よって, 本問題の目的関数を以下の式 (3) で定義する.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize : } \sum_{tl \in TL} Survive(tl) \\ & \text{subject to (2)} \end{aligned} \quad (3)$$

NP 困難問題である最短ハミルトン路問題を本問題に帰着することができるため, 本問題は NP 困難である (証明は文献 [23] 参照).

4. 搬送計画システムと搬送計画手法

本章では, 傷病者搬送計画問題を解決するための, 電子トリージを用いた搬送計画システムの構成および搬送計画手法について説明する.

4.1 搬送計画システム

搬送計画システムは指揮所で機能し, 応急救護所の電子

トリージから得られた傷病者情報, 医療機関から得られる収容可能人数の情報に基づき, 傷病者の搬送リストを作成し, 救急車に提供する. システムの構成と実行される処理を図 5 に示す.

各医療機関は収容可能人数が変化した場合にサーバに通知を行う. 救急車は現在位置および状況 (傷病者を搬送中かどうか), 目的地のいずれかに変更があった場合に更新情報を指揮所に送信する. 指揮所は救急車に対して次に搬送する傷病者の情報, 応急救護所や医療機関などの情報を送信する. 応急救護所では, 傷病者に取り付けられた電子トリージタグによって, 生理学的指標を算出するための生体情報をリアルタイムに測定する. また, 応急救護所内の医療従事者は治療または二次トリージ時に, 意識レベルなどの一部の生理学的指標に必要な情報および, 解剖学的指標を算出するために必要な情報を, 携帯端末を用いて入力する. そしてそれぞれサーバに情報を送信する. サーバは受信した情報を基に傷病者の予測生存率を算出する. 予測生存率が算出された後, カーラの救命曲線に近似する予測生存率推定関数を作成し, 搬送計画を行う. 予測生存率の算出, 予測生存率推定関数の作成, そして搬送計画は, 救急車が医療機関に到着する直前, 極端に予測生存率が減少した傷病者を検出した場合, 新たに傷病者が搬送待ち状態に変わった場合, そして, 現場の医療従事者の判断で搬送する傷病者が変わった場合に行う.

4.2 搬送計画手法

傷病者搬送計画問題は NP 困難であるため, 最適解を実用時間で求めることは難しい. そのため, 提案手法では, 準最適解を短時間で求めるヒューリスティックアルゴリズムを用いて搬送計画を行う. 本節では, 傷病者の予測生存率の減少を推定する関数の作成方法とヒューリスティックアルゴリズムを提案する. まず, 傷病者の予測生存率の減少を推定する予測生存率推定関数の作成方法を提案する. 次に, 予測生存率推定関数を用いて搬送限界時間を算出し早い傷病者から順に搬送するグリーディ法に基づいた基本アルゴリズムを提案する. 最後に, 基本アルゴリズムで算

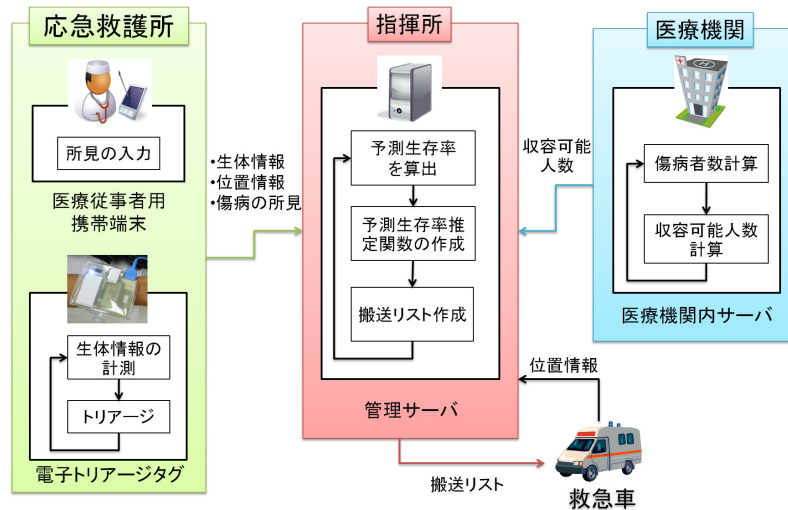


図 5 搬送計画システムの構成と処理

Fig. 5 Structure and process for transportation scheduling system.

出した搬送順序に対して，一部の傷病者を搬送しないことによる救命数の向上を試みる深さ制限付き全探索アルゴリズム (DkBFS) を提案する．これらの詳細を以下で順に説明する．

4.2.1 予測生存率推定関数

本研究では福田らが算出したカーラの救命曲線式 (4) を参考に予測生存率推定関数を作成する．

$$R = 1 - \left(\frac{1}{1 + \exp(4.80861 - a\alpha t)} \right) \quad (4)$$

ここで， R ：生存率を表す関数， α ：救命救急士の応急救護処置効果， t ：搬送時間， a ：定数項である．本研究では一般の救急医療とは違い，搬送前に応急救護所で応急処置が行われることを想定する．そのため，定数項 a の値に救命救急士の応急救護処置効果が含まれると想定する．また，カーラの救命曲線は受傷時点からの生存率を表しているが，本研究では応急救護所での治療の際に予測生存率が算出されており，すでに応急処置も済まされていることを想定する．そのため，受傷した時点での予測生存率からではなく，応急処置が完了した時点（搬送待ち開始時点）での予測生存率から減少するように，パラメータを変更する．作成した予測生存率推定関数 $Ps(p, t)$ を式 (5) のように定義する．

$$Ps(p, t) = p \cdot ps_0 \left(1 - \frac{1}{1 + \exp(4.80861 - a \cdot t)} \right) \quad (5)$$

ここで， $Ps(p, t)$ ：予測生存率推定関数， $p \cdot ps_0$ ：搬送待ち開始時点の予測生存率， a ：定数項， t ：時間である．定数項 a を変化させると，曲線の下降速度が変化し，搬送限界時刻も変化する．そのため，各傷病者ごとの定数項 a を算出することで，予測生存率推定関数を作成する．予測生存率推定関数の作成処理では，現在時刻や，現在の予測生存率，そして傷病者の搬送待ち開始時の予測生存率をそれぞ

表 1 TRISS 係数

Table 1 TRISS coefficient.

	b_0	b_1	b_2	b_3
鈍的外傷	0.4499	0.8085	0.0835	-1.734
鋭的外傷	2.5355	0.9934	0.0651	-1.136

れ式 (5) に代入し，定数項 a を算出する．

現在の予測生存率は，表 1 の係数 (b_0, b_1, b_2, b_3) と電子トリアージタグが取得した生体情報から算出した RTS，そして医者からの所見から算出した ISS を TRISS の式 (6) に代入することで算出する．

$$Ps = \left[\frac{1}{1 + e^{-b}} \right] \quad (6)$$

$$b = b_0 + b_1 \times RTS + b_2 \times ISS + b_3 \times \text{Age}$$

予測生存率推定関数は，時々刻々と変化する傷病者の容態に対応するために，定期的に更新を行う．

4.2.2 基本アルゴリズム

救命者数を増加させるため，傷病者の予測生存率が，救命のために最低限必要な予測生存率 α 以上である間に医療機関に搬送したい．そのため，傷病者 p の予測生存率が α 未満になる搬送限界時刻が早い傷病者から順に搬送を行う．この搬送限界時刻を算出するため，4.1 節で算出した予測生存率推定関数を用いて，搬送限界時刻 t を各傷病者 p ごとに求め，この時間の昇順に傷病者をソートした搬送順位リスト PL を作成する．このリストの上位ほど，早く搬送しなければ死亡してしまう可能性が高い．傷病者 p_1, p_2, p_3 の予測生存率推定関数が図 6 のように与えられた場合， α を 30% と設定すると，傷病者の搬送順位リスト PL は $[p_1, p_2, p_3]$ となる．

基本アルゴリズムは， PL の順序で，各傷病者に対し，空きのある最寄医療機関を選択し，最も搬送が早い救急車を割り当てる．また，それぞれの傷病者が医療機関に搬送

される時刻を計算し、その時刻における予測生存率を計算する。基本アルゴリズムでは、搬送順位リストの先頭から順に計画を行うため、1人を助けることで、搬送順位が遅い2人以上が救命されないケースが発生する。これを解決し、できるだけ多くの傷病者を救命されるように最適化を行うアルゴリズムを次項で提案する。

4.2.3 深さ制限付き全探索 (*DkBFS*) アルゴリズム

改善の方針は、「1人をあきらめることにより、2人以上多く助かる」可能性を探ることである。本アルゴリズムでは、予測生存率が α 未満になる時刻が早い順に全傷病者をソートした搬送順位リスト PL に対して、それぞれの傷病者が搬送される/されないの2通りを考慮する。この場合、全傷病者のそれぞれに対し2通り、すなわち、 n 人の傷病者に対し 2^n 通りの組合せについて救命者数をすべて計算すれば、最適な搬送情報リストを求めることができる。しかし、 n の数が大きくなると、実行時間内に最適解を求められない。そこで、搬送順位リスト PL の n 人中 k 人ずつ全探索を行う深さ制限付き全探索アルゴリズムを示す。

(1) PL 中の先頭の k ($|PL| < k$ のときは、 $|PL|$) 人のそれぞれの傷病者が搬送される/されない場合、すなわち、 2^k 通りの組合せに対する救命者数を求める。その際、 $k+1$ 番目以降の傷病者については、基本アルゴリズムに従って搬送するかどうかを決める。

(2) 2^k 通りの中で最も良い解を持つ組合せに含まれる傷病者およびその順位を搬送順位として確定し、各傷病者の搬送情報を作成し搬送情報リスト TL に加える。

(3) PL から先頭の k 人 ($|PL| < k$ のときは、 $|PL|$ 人)を取り除き、(1) から繰り返す。 PL が空になったら終了する。

たとえば、 $PL = [p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5]$, $k = 3$ のとき、 p_0, p_1, p_2 がそれぞれ搬送される/されない場合のすべての組合せ、 $\{\{p_0\}, \{p_1\}, \{p_2\}, \{p_0, p_1\}, \{p_0, p_2\}, \{p_1, p_2\}, \{p_0, p_1, p_2\}\}$ について考える。 $\{p_0\}$ のとき、 p_0 は先頭 k 人に対するすべての組合せを探索するために、3.2 節の式 (1) を満たさなくても必ず搬送し、 p_1, p_2 は必ず搬送しない(黒カテゴリに仕分けされる)、残りの p_3, p_4, p_5 に対しては、基本アルゴリズムに基づいて搬送計画を行い、予測

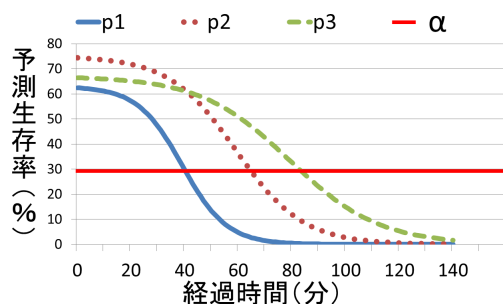


図 6 傷病者の予測生存率減少例

Fig. 6 Exmample of decreasing model of patients.

生存率が α 以上で搬送される傷病者の人数と、予測生存率の平均を求める。同様の処理を、他の組合せに対しても行い、式 (3) の目的関数の値が最も高い組合せを、搬送情報リスト TL に追加する。そして、次の k 人に対しても、組合せを作成し、同様の処理を行う。これを傷病者リストの最後になるまで繰り返す。

5. シミュレーション実験と評価

提案手法の性能を評価するため、大規模災害を想定したシミュレーション実験を行い、既存の搬送計画手法と比較を行う。

5.1 シミュレーションの設定

本実験では、近畿地方で大規模地震が発生した場合を想定し、奈良県生駒市内における傷病者の搬送をシミュレーションする。想定する災害状況の設定を表 2 に示す。

本実験では、複数の応急救護所が離れた位置に設置される地震災害を想定する。また医療機関 5 カ所については、奈良県生駒市周辺の救急科を持つ医療機関の位置情報を、応急救護所については、生駒市内に存在する 10 カ所の学校・総合公園の位置情報を参考に、救急車の片道移動時間を最短 3 分、最長 31 分に設定する。また、傷病者数を阪神淡路大震災時のある地方自治体における傷病者数を参考に 400 人と設定する。医療機関の収容能力はすべての傷病者が搬送可能であり、かつ、1つの医療機関では収容能力が不足するよう均等に 80 人と設定する。

傷病者に関しては表 3 に示す設定を用いる。本実験では、救命のために最低限必要な予測生存率 α を 30%と設定する。これは JTDB の調査結果 [20] により 30%未満で搬送された傷病者のほとんどが医療機関で治療を受けても死亡しているからである。傷病者の予測生存率の初期値は、搬送待ち状態になった時点(搬送待ち開始時点)とした場合、受傷から時間が経過しているため予測生存率が 100%であるとは考えられない。そこで、傷病者の初期予測生存率について、60%から 80%が妥当だと考え、各傷病者にこの範囲でランダムに設定する。本実験では、傷病者はカーラの救命曲線に近似して時間とともに予測生存率が減少すると仮定する。そこで、応急処置を受けても血液を失い続けている多量出血の傷病者を最も緊急な傷病者と考え、30分前後で予測生存率が 50%未満に減少するように、式 (5) の定数項 a を 0.12 と設定する。また、トリアージにおいて 1 時間以上搬送しなくても救命に支障がない傷病者は赤タグに分類されないため、赤タグ傷病者の中で緊急度の低

表 2 想定する災害状況に関する設定

Table 2 The status of the assumed disaster area.

応急救護所	医療機関	各医療機関の収容能力	傷病者
10 カ所	5 カ所	80 人/医療機関	400 人

表 3 傷病者に関する設定

Table 3 Simulation parameters for patients.

閾値 α	初期 Ps	定数項 a	急変確率	急変時増加定数
30 (%)	60–80 (%)	0.06–0.12	0–20 (%)	0.01

表 4 各ケースに関する設定

Table 4 Simulation parameters for each case.

	変化させた項目	設定した値
CASE1	急変確率	0%, 5%, 10%, 15%, 20% (他のケースでは 10%)
CASE2	各傷病者に割り当てる a (0.12, 0.10, 0.08, 0.06) の割合	{100, 0, 0, 0}, {50, 50, 0, 0}, {25, 25, 25, 25}, {0, 0, 50, 50}, {0, 0, 0, 100} (他のケースでは {25, 25, 25, 25})
CASE3	追加する傷病者数	2, 4, 6, 8, 10 人/20 分 (CASE1, 2 では 4 人, CASE4 では 10 人)
CASE4	救急車数	10, 20, 30, 40, 50 台 (他のケースでは 30 台)

い傷病者の定数項を、最低でも 1 時間前後で予測生存率が 50%未満になる 0.06 と設定する。0.12 から 0.06 まで 0.02 ずつ減少させた 4 種類の定数項 a (0.12, 0.1, 0.08, 0.06) を設定した予測生存率算出関数を傷病者に設定する。

本実験では、様々な設定での提案手法の性能を評価するために、(1) 急変確率、(2) 定数項 a に関する分布、(3) 時間あたりに追加される傷病者数、(4) 救急車数、を変化させた複数のケースで実験を行い、各ケースに対して救命者数 (予測生存率が α 以上の間に搬送された傷病者数) を評価する。各ケースに関する設定を表 4 に示す。

傷病者は時間の経過とともにショック状態など傷病者の容態が急変する場合があります。急変した場合は搬送限界時刻も早くなる。CASE1 では、急変する傷病者が多い場合や存在しない場合での提案手法の性能を評価するため、10 分ごとに急変確率 0%–20% で急変を発生させる。また、CASE1 以外では急変確率を 10% として設定する。急変した傷病者に対して予測生存率推定関数の定数項 a に 0.01 加算することで搬送限界時刻を早める。CASE2 では、予測生存率の減少が早い (搬送限界時刻が短い) 傷病者が多い場合や少ない場合での提案手法の性能を評価するため、予測生存率推定関数 4 種類 ($a \in \{0.12, 0.10, 0.08, 0.06\}$) を {100, 0, 0, 0}, {50, 50, 0, 0}, {25, 25, 25, 25}, {0, 0, 50, 50}, {0, 0, 0, 100} という割合で割り当てる。CASE2 以外では、25% ずつ均等に割り当てる。傷病者は応急救護所で応急処置を受けた後、医療機関に搬送されるために救急車を待つ、搬送待ち状態になる。搬送待ち状態の傷病者が多くなればなるほど、救急車で効率良く搬送しなければ、搬送が間に合わなくなり、救命者数が低下する。CASE3 では、各応急救護所に対して搬送待ち状態として追加する傷病者数を 2, 4, 6, 8, 10 人と変化させることにより、提案手法の効率を評価する。また、20 分ごとに設定した人数を搬送待ち状態として各応急救護所に追加する。CASE4 では 10 人ずつ、CASE1 と 2 では 4 人ずつ追加されるように設定する。同様に救急車の台数が変化したときの提案手法の性能を評価

するために、CASE4 では救急車を各医療機関に 2, 4, 6, 8, 10 台 (各合計 10, 20, 30, 40, 50 台) 設定する。

各ケースに対して 100 回実行した後、評価項目の、最大、最小、平均を算出し既存手法との比較を行う。

5.2 評価項目と比較手法

以下に実験で使用する比較手法の処理を示す。

基本アルゴリズム (Base) および提案手法 (DkBFS) : BASE は 4.2.2 項、提案手法 (DkBFS) は 4.2.3 項で定義したアルゴリズムを用いて計画を行う。BASE は単純に搬送順位リストの先頭から順に計画を行い、DkBFS は、深さ k で搬送される/されない場合を探索する。DkBFS は、搬送計画の対象となる傷病者数 n 人に対して 2^n の組合せをすべて計算すれば最適解を算出できる。しかし、傷病者数が多くなるほど計算時間が長くなることや、傷病者の人数や容態が変化するたびに再計画が必要であることから、搬送順位が遅い傷病者の計画が無駄になる。また、搬送計画は救急車が救護所や医療機関に到着するまでに行えばよいが、傷病者の追加や容態変化が急に起こった場合にすぐに再計画を行えるように、計算時間を短くしたい。そのため DkBFS では、搬送順位リストの先頭 k 人に対し全探索を行い、 k 人以降は BASE で一意に計画し、 2^k 個の組合せの中から最適解を求めることで、短時間で計画を行っている。著者らは文献 [23] において、傷病者 100 人の搬送計画に対し k の値を 20 まで変化させ、搬送計画を 1 回行うために必要な計算時間とその計画によって搬送する場合の傷病者の合計予測生存率を確認した。予備実験の結果から k の増加とともに予測生存率も増加したが、 $k = 10$ 以降は計画時間の方が大きく増加し、 $k = 16$ 以降で 1 分以上、 $k = 20$ 以降では 10 分以上必要とした。また、合計予測生存率が $5 \leq k \leq 15$ では大きな差がなかったため、本実験では最も計画時間が短い 5 を k として設定した。

Jotshi's method : Jotshi らの手法 [10] は、クラスタ (傷病者が密集したある地域) への救急車の派遣と、医療機関

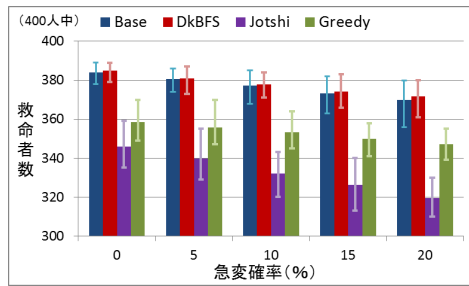
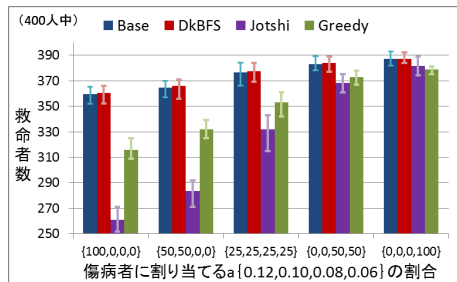


図 7 CASE1: 急変確率を変化させた結果

Fig. 7 CASE1: result for different sudden change rate.

図 8 CASE2: 各傷病者に割り当てる a の割合を変化させた結果Fig. 8 CASE2: result for different a .

への傷病者の搬送という 2 つの処理を行うことで搬送計画を行う。派遣先応急救護所の決定には、傷病者の人数、救急車からクラスタまでの距離、クラスタから全医療機関への距離の合計を用いて選択する。搬送先医療機関の決定には、医療機関の収容能力、医療機関に搬送された傷病者の人数、クラスタから医療機関への距離を用いて選択する。本実験ではクラスタを応急救護所、応急救護所から医療機関までの距離を時間と置き換えそれぞれの処理を行う。Jotshi らのアルゴリズムは応急救護所の選択は行っているが、その中からどの傷病者を搬送するかを決定していない。そのため、本実験では、救急車が応急救護所に到着した時点での、応急救護所内で予測生存率が α 以上で最も低い予測生存率の傷病者を選択する。

Greedy method: 救急車が医療機関に到着した時点で、最も近い応急救護所に位置する傷病者の中から、予測生存率が α 以上で最も低い予測生存率の傷病者を選択する。最も近い応急救護所に傷病者が存在しない場合は、次に近い応急救護所から傷病者を選択する。搬送先の医療機関は搬送する傷病者が位置する応急救護所から最も近い医療機関を選択する。医療機関の収容能力を超えている場合は、次に近い医療機関に搬送する。

5.3 実験結果と評価

実験結果において、基本アルゴリズムは Base、提案手法は DkBFS、Jotshi's method は Jotshi's、Greedy method は Greedy と表記する。各ケースの実験結果を図 7, 図 8, 図 9, 図 10 に示す。

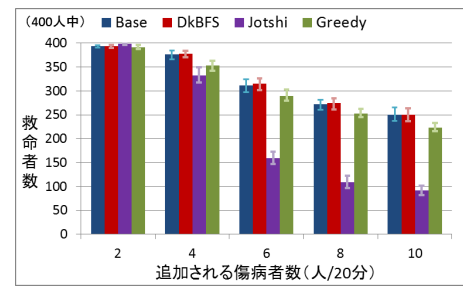


図 9 CASE3: 追加する傷病者数を変化させた結果

Fig. 9 CASE3: result for different number of added patients.

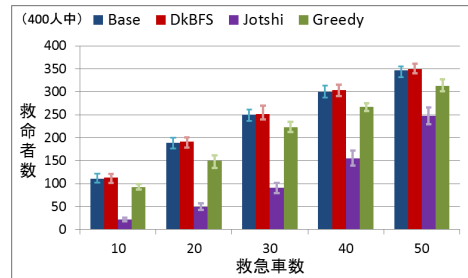


図 10 CASE4: 救急車の数を変化させた結果

Fig. 10 CASE4: result for different number of ambulances.

各表の縦軸は救命者数、横軸は CASE ごとに変化させた値を表しており、各手法での最大、最小、平均を表示している。

図 7 (CASE1) の結果から、急変確率が増加すると、すべての手法で救命者数が減少していることが分かる。また、最大・最小値の幅も長くなる傾向にあることが分かる。急変確率によらず DkBFS は他の手法と比べて最も救命者数が多いことが分かる。

図 8 (CASE2) の結果では、既存手法は搬送限界時刻の長い傷病者が多くなると、救命者数が大きく増加することが分かる。一方、DkBFS でも搬送限界時刻の長い傷病者が多くなると、救命者数が増加するが、他の手法と比べて大きく増加していない。このことから、DkBFS は搬送限界時刻が短い傷病者が多い場合でも効果的な搬送計画が行えているといえる。また、すべての手法で搬送限界時刻の長い傷病者が多くなると、最大・最小値の幅が短くなることが分かる。

図 9 (CASE3) の結果では、追加される傷病者数が最も少ない 10 人（各応急救護所に 2 人追加）の場合には、DkBFS と他の手法との間に救命者数の差が少ない、これは、救急車の台数が十分足りているからだと考えられる。同様に、追加される傷病者が多くなると、すべての手法で救命者数が減少しているのは、救急車の台数が足りなくなっているからだと考えられる。Jotshi's は特に救命者数が減少している。これは、救急車を派遣する応急救護所を決定する際に傷病者の予測生存率を考慮していないため、効率的な搬送計画を行えていないからだと考えられる。また、DkBFS は Greedy よりも救命者数が多いことから、

表 5 統計検定の結果 (CASE1)

Table 5 Result of statistical test for CASE1.

	急変確率				
	0%	5%	10%	15%	20%
p 値	0.01183	6.36e-04	7.40e-03	7.89e-07	2.78e-06
$p < 0.05$	true	true	true	true	true

表 6 統計検定の結果 (CASE2)

Table 6 Result of statistical test for CASE2.

	各傷病者に割り当てる a の割合 {0.12, 0.10, 0.08, 0.06}				
	{100%, 0%, 0%, 0%}	{50%, 50%, 0%, 0%}	{25%, 25%, 25%, 25%}	{0%, 0%, 50%, 50%}	{0%, 0%, 0%, 100%}
p 値	1.55e-06	2.21e-07	2.61e-04	0.003108	0.05092
$p < 0.05$	true	true	true	true	false

表 7 統計検定の結果 (CASE3)

Table 7 Result of statistical test for CASE3.

	各救護所に追加する傷病者数 (20 分ごと)				
	2 人	4 人	6 人	8 人	10 人
p 値	0.1165	0.002265	7.34e-09	3.92e-04	0.0284
$p < 0.05$	false	true	true	true	true

表 8 統計検定の結果 (CASE4)

Table 8 Result of statistical test for CASE4.

	救急車の台数				
	10 台	20 台	30 台	40 台	50 台
p 値	1.64e-04	5.04e-06	1.04e-05	6.40e-09	2.09e-12
$p < 0.05$	true	true	true	true	true

単純に搬送時間が短い応急救護所と医療機関の間を往復するよりも、効果的な搬送計画を行えているといえる。

逆に図 10 (CASE4) では、追加される傷病者に対する救急車の増加による救命者数の変化が確認できる。傷病者が各応急救護所に 10 人 (合計 50 人) 追加されるのに対して、救急車の台数が各医療機関に 2 台 (10 台) と圧倒的に足りない場合でも、DkBFS は他の手法より救命者数が多くなっている。また、救急車の台数を多くしていくごとに救命者数が増加しているが、Greedy より増加率が高くなっているため、救急車を効果的に活用できているといえる。

すべての CASE において BASE より DkBFS の救命者数が多いことがグラフから確認できる。しかし、他の手法より救命者数の差は少なく、各 CASE の 100 回の実験結果の中には、DkBFS より BASE の救命者数が多い場合が存在した。筆者らは文献 [23] において急変が起こらず、傷病者も追加されないような、傷病者の搬送限界時刻の順位が変化しない環境での評価を行い、BASE より DkBFS の方が救命者数が必ず多くなることを確認している。これは、DkBFS は BASE の搬送計画も含めた組合せの中から、救命者数の多い搬送計画を選択しているからである。しかし、本実験のように、急変が発生し、傷病者が追加される環境では、搬送限界時刻に基づいた搬送順位が時間によって更新されるため、傷病者追加前に計算された DkBFS の

計画 (すでに途中まで実行済みで後戻りできない) が、傷病者の追加により最適でなくなる (傷病者追加前に計算された BASE の計画の方が良くなる) 場合がある。そのため、5.1 節、および表 4 で設定した 4CASE と各パラメータ 5 種類の合計 20 種類の実験から得られた実験結果に対して、R 言語を用いて統計的な検定を行い有意差を確認した。検定では有意水準を一般的に用いられる 0.05 (5%) に設定し検定を行った。2 群間のデータに対応がある場合には、正規分布に従うかによって検定方法が変わるため、まず、シャピロー-ウィルク検定を行い正規性を確認した。その結果、正規性が認められなかったため、ウィルコクソンの符号付き順位和検定を行い有意差を確認した。ウィルコクソンの符号付き順位和検定は、正規分布ではない対応のある 2 群間のデータの差に対して順位付けを行い、その順位和を検定統計量として有意差の検定を行うノンパラメトリックな検定法である。本検定では帰無仮説を「2 群間に差がない」、対立仮説を「2 群間の差の中央値が 0 より大きい」と仮定し検定を行った。各検定の結果を表 5、表 6、表 7、表 8 に示す。

表 5 から、CASE1 ではすべての結果で、有意確率 p が有意水準 0.05 以下であること、つまり「有意差がある」ことが分かる。そのため、急変確率にかかわらず、DkBFS は BASE より効果的な搬送が行えるといえる。表 6 から、

CASE2 では {0%,0%,0%,100%} の場合 (すべての傷病者の a が 0.06 の場合), つまりすべての傷病者の限界搬送時刻が遅い場合に, 有意確率 p が 0.05092 で有意水準を上回るため, 「有意差がない」ことが分かる. しかし, それ以外の場合では有意水準以下であることから, DkBFS は限界搬送時刻が早い傷病者が多い場合に BASE より効果的な搬送が行えるといえる. 同様に表 7 から, CASE3 では「各救護所に 20 分ごとに 2 人ずつ傷病者を追加する」ような救急車の搬送能力が十分足りる場合に, 有意確率 p が 0.1165 で有意水準を上回るが, それ以外の場合には有意水準以下であるため, DkBFS は傷病者数が救急車の搬送能力を上回る場合に BASE より効果的な搬送が行えるといえる. 表 8 から, CASE4 ではすべての結果で, 有意確率が有意水準以下であり「有意差がある」ことが分かる. CASE4 では追加される傷病者数を 10 人に設定しているため, CASE3 のように救急車の搬送能力が足りる場合がない. そして, 救急車を増加させることで p 値が減少する傾向にあるため, DkBFS は救急車の搬送能力が足りない場合に, 救急車数の増加による効果が大きいといえる.

6. おわりに

本研究では, 多数傷病者事故における救命率の向上を目的とし, 傷病者の搬送計画問題に着目し, 電子トリージタグを用いた搬送計画システムを提案した. また, 搬送計画問題は NP 困難問題であるため, 救命率を向上させながら, 短時間で準最適解を算出できるヒューリスティックなアルゴリズムを提案した. 提案システムでは, 電子トリージタグを用いることで得られたリアルタイムに得られた傷病者の生体情報から予測生存率を算出し, その予測生存率から時間経過にともなう予測生存率の変化を算出できる予測生存率推定関数を作成する. そして DkBFS アルゴリズムによって, 限界搬送時間が短い順に k 人ずつ選択し, それぞれが搬送される場合と搬送されない場合のすべての組合せの中から, 最も救命者数が多くなる組合せの搬送計画を探索する. シミュレーション実験を通して, 提案手法は既存の搬送計画手法と比べて, より多くの傷病者が生存できる搬送計画を行えていることを確認した.

今後は, 提案手法の実用化を目指し, 医療機関と協力し, 傷病ごとの生存率曲線のモデル化や, より現実的な問題への搬送計画問題の拡張, そしてアルゴリズムの改良を行いたい.

参考文献

- [1] 大友康裕: プレホスピタル MOOK シリーズ 4 多数傷病者対応, 永井書店 (2007).
- [2] 東野輝夫: 災害時救命救急支援を目指した人間情報センシングシステム, 入手先 (<http://etriage.jp>) (参照 2011-10-22).
- [3] Champion, H.R., Copes, W.S. and Sacco, W.J.: The Major Trauma Outcome Study: Establishing National Norms for Trauma Care, *J. Trauma*, Vol.30, pp.1356–1365 (1990).
- [4] 藤本直子, 阪本雄一郎, 本村陽一ほか: ペイジアンネットワークを用いた生存率予測モデルの統計学的学習と評価, 人工知能学会全国大会 (2009).
- [5] 日本外傷学会, 日本救急医学会: 改訂第 3 版外傷初期医療ガイドライン JATECTM, へるす出版 (2009).
- [6] 福田正輝, 高山純一, 中山晶一郎: 三次救急搬送活動を対象とした医療情報デジタル伝送システム運用のためのアンテナ基地局配置方策の検討, 土木学会土木計画学研究発表会講演集, Vol.39, p.88 (2009).
- [7] 福田正輝, 高山純一, 中山晶一郎: 三次救急搬送活動を対象とした医療情報デジタル伝送システム運用のためのアンテナ基地局配置方策に関する研究, 土木学会中部支部研究会発表会公演概要集, pp.397–398 (2010).
- [8] 守谷 俊, 丹正勝久: 救命救急活動の現状—どのようなプレホスピタルケアが必要なのか, 国際交通安全学会誌, Vol.34, No.3, pp.6–15 (2009).
- [9] Benson, M., Koenig, K.L. and Shultz, C.H.: Disaster triage: START, then SAVE-A New Method of Dynamic Triage for Victims of a Catastrophic Earthquake, *Pre-hospital Disaster Med*, Vol.11, No.2, pp.117–124 (1996).
- [10] Jotshi, A., Gong, Q. and Batta, R.: Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion, *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.43, No.1, pp.1–24 (2009).
- [11] Gao, T., Massey, T., Selavo, L., et al.: The Advanced Health and Disaster Aid Network: A Light-weight Wireless Medical System for Triage, *IEEE Trans. BCAS*, Vol.1, No.3, pp.203–216 (2007).
- [12] Gao, T., Pesto, C., Selavo, L., et al.: Wireless Medical Sensor Networks in Emergency Response: Implementation and Pilot Results, *Proc. HST'08*, pp.187–192 (2008).
- [13] 楠田純子, 木山 昇, 内山 彰ほか: 無線センサネットワークを利用した電子トリージシステムの実現, 電子情報通信学会技術研究報告 (MoMuC, モバイルマルチメディア通信), Vol.109, No.204, pp.33–38 (2009).
- [14] 木山 昇, 楠田純子, 内山 彰ほか: 災害時救急救命支援に向けた電子トリージシステムの設計開発, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル DICOM2009 シンポジウム論文集, pp.1837–1848 (2009).
- [15] 安倍史江, 山本 匠, 西垣正勝: 人体通信による電子トリージタグへの情報伝達: システムの実装, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル DICOM2009 シンポジウム論文集, pp.1849–1854 (2009).
- [16] Gunawan, L.T., Voshell, M., Oomes, A.H.J., et al.: Envisioning Collaboration at a Distance for the Evacuation of Walking Wounded, *Proc. ISCRAM'07*, pp.431–437 (2007).
- [17] 桧岡邦明, 杉山阿葵, 長橋健太郎, 岡田謙一: 治療優先度を付加した自動トリージシステムの提案, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.1, pp.2–13 (2010).
- [18] Champion, H.R., Sacco, W.J., Copes W.S., et al.: A revision of the trauma score, *J. Trauma*, Vol.29, pp.623–629 (1989).
- [19] Baker, S.P., O'Neil, B., Haddon, W. Jr., et al.: The injury severity score: A method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care, *J. Trauma*, Vol.14, pp.187–196 (1974).
- [20] 日本外傷診療研究機構: 日本外傷データバンク, 入手先 (<http://www.jtcr-jatec.org/traumabank/index.htm>) (参照 2011-10-22).
- [21] West, T.A., Rivara, F.P., Cummings, P., et al.: Har-

borview assessment for risk of mortality: An improved measure of injury severity on the basis of ICD-9-CM, *J. Trauma*, Vol.49, pp.530–541 (2000).

- [22] Osler, T., Glance, L., Buzas, J.S., et al.: A Trauma Mortality Prediction Model Based on the Anatomic Injury Scale, *Ann. Surg.*, Vol.247, pp.1041–1048 (2008).
- [23] Mizumoto, T., Sun, W., Yasumoto, K., et al.: Transportation Scheduling Method for Patients in MCI using Electronic Triage Tag, *Proc. eTELEMED*, pp.156–163 (2011).



水本 旭洋 (学生会員)

2009 年近畿大学理工学部卒業。2011 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。現在、同研究科博士後期課程在学中。ユビキタスコンピューティングに関する研究に従事。



孫 為華 (正会員)

2003 年, 2005 年, 2008 年にそれぞれ大阪大学基礎工学部卒業, 同大学院情報科学研究科博士前期課程修了, 同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。2008 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教。博士

(情報科学)。モバイルアドホック, 車車間通信に関する研究に従事。IEEE 会員。



安本 慶一 (正会員)

1991 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1995 年同大学大学院博士後期課程退学後, 滋賀大学経済学部助手。2002 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授, 2011 年より同研究科教授。博士 (工学)。

モバイルコンピューティング, ユビキタスコンピューティングに関する研究に従事。電子情報通信学会, ACM, IEEE 各会員。



伊藤 実 (正会員)

1977 年大阪大学基礎工学部卒業, 1979 年同大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。1979 年より大阪大学基礎工学部助手。1986 年より大阪大学基礎工学部講師。1989 年より大阪大学基礎工学部助教授。1993 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。現在に至る。工学博士。データベース理論, 効率的なアルゴリズム開発等の研究に従事。ACM, IEEE, 電子情報通信学会各会員。