

災害医療シミュレータによる電子トリアージシステムの有効性評価

Evaluation of Electronic Triage System Using Disaster Medical Simulator

櫻山 文香^{†1} 野上 大樹^{†1} 内山 彰^{†1†3}
 Ayaka Kashiya^{†1} Daiki Nogami^{†1} Akira Uchiyama^{†1†3}
 中田 康城^{†2†3} 東野 輝夫^{†1†3}
 Yasuki Nakata^{†2†3} Teruo Higashino^{†1†3}

1. はじめに

近年、テロや地震・大事故など多数の傷病者が同時に発生した場合において、限られた医療資源ですできるだけ多くの傷病者を救命するため、トリアージと呼ばれる方式が導入されつつある [1, 2]。トリアージとは、脈拍などのバイタルサインを基に傷病者の治療優先度 (カテゴリ) を決定する方式であり、できるだけ多くの傷病者の命を救うことを目的としている。START (Simple Triage And Rapid Treatment) 法に基づくトリアージでは、傷病者を緑、黄、赤、黒の 4 段階に分類する。緑は救急での搬送の必要がない軽症なもの、黄は生命に関わる重篤な状態ではないが搬送が必要なもの、赤は生命に関わる重篤な状態で救命の可能性があるもの、黒は死亡もしくは現状では救命不可能とされるものである。治療の優先度は高い順に赤、黄、緑、黒となる。判定結果は紙製のタグなどを傷病者に装着することで表示する。しかし、現状のトリアージでは (i) 時間と共に変化する傷病者の容態に対して迅速に対応することができない、(ii) 傷病者の居場所の把握が困難であるといった問題点が指摘されている。

このような背景から我々は無線ネットワークを利用した電子トリアージシステムの設計開発を進めている [3]。電子トリアージシステムでは、生体情報を自動測定するセンサを備えた小型の電子タグを傷病者に装着する。この電子タグは ZigBee による無線通信機能を搭載しており、電子タグ間で無線アドホックネットワークを構築可能である。自動測定した各傷病者の生体情報は、構築されたネットワークを経由してサーバに収集され一元管理されるため、遠隔から傷病者の容態監視が可能となり、容態悪化を迅速に医療従事者へ通知することができる。また、救命救急活動を支援するため無線ネットワークを利用した電子タグの位置推定技術など、様々な機能を組み込んでいる。

このような電子トリアージシステムの普及を促進するためには、技術開発を進めるだけでなく医療従事者による災害を想定した模擬訓練を繰り返し行い、その有効性を示すことが必要である。電子トリアージシステムの設計開発は医療従事者と連携しながら進められており、その有効性を評価するため 2008 年、2009 年には病院の災害時対応訓練にて実証実験が行われた。また、現在は順天堂大学医学部附属浦安病院の救急診療科で試験運用による継続的評価が行われている。しかし、災害時を想定した環境での電子トリアージシステムの有効性を確認す

るためには大規模な模擬訓練を行う必要があり、準備に必要な労力が大きい。そこで模擬訓練を容易に行う方法としてシミュレーションが挙げられる。シミュレーションでは目的に応じて必要な事柄を再現する必要がある。電子トリアージシステムの有効性検討のためには、傷病者の救命率がトリアージによってどのように変化するかを再現しなければならない。電子トリアージシステムが提供する機能の中でも、容態悪化通知は傷病者の治療優先度の入れ替わりを促し救命される傷病者を変化させるため、救命率への影響がおおきい。したがってシミュレーションでは容態悪化通知の有無による救命率の差異を確認できることが求められる。

現在、医療機関では災害時の対応訓練を行う目的で、Emergo Train System[®] (ETS) [4] と呼ばれる机上シミュレーションが行われることが多い。ETS では複数のホワイトボードを災害現場や病院などのエリアに見立て、ホワイトボード上に配置した傷病者や医療従事者、医療資源などを表す札を一定のルールに基づき移動させながらシミュレーションを行う。ETS は大規模な災害を想定した訓練を実施可能であるが、机上シミュレーションであるという性質上、傷病者の容態変化を再現することは難しい。一方、Sim-Patient [5] のように傷病者の呼吸音や外見などのリアリティを追究する試みもなされているが、これらのシステムでは単一傷病者を対象としているため、多数傷病者に対してトリアージを行う環境を想定していない。

本研究では電子トリアージシステムの容態悪化の通知機能に着目し、その有効性評価を目的としたシミュレータの設計開発を行った。開発したシミュレータでは与えられたシナリオに従って傷病者の容態変化を再現し、医療従事者の操作による処置を可能とする。各傷病者は必要処置を与えられたデッドラインまでに行わなければ死亡するため、救命率を向上させるには適切にトリアージを行い治療・搬送の順序を決定することが求められる。

開発したシミュレータはサーバ、マスタークライアントおよび複数のプレイヤークライアントで構成され、参加者はプレイヤークライアント、シミュレーション実施者はマスタークライアントを操作する。サーバ・クライアント間は有線または無線ネットワークにより接続され、サーバによってクライアント間のシナリオ同期や操作情報の記録が行われる。各プレイヤークライアントには災害現場や病院などのエリアを割り当て、同時に複数の参加者で複数のエリアの処置を分担することができる。マスタークライアントには各傷病者の容態や医療資源の配置などがシミュレーションシナリオとして入力される。シミュレーションシナリオに各時刻における傷病者の容態を記述することで、シミュレータ上での容態変化を実現する。電子トリアージシステムによる容態悪化の通知機能を再現するため、生体情報があらかじめ指定された条件を満たした場合はプレイヤークライアント上で該当する傷病者の位置と容態をリア

†1 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

†2 市立堺病院

Sakai Municipal Hospital

†3 独立行政法人科学技術振興機構, CREST

Japan Science Technology and Agency, CREST

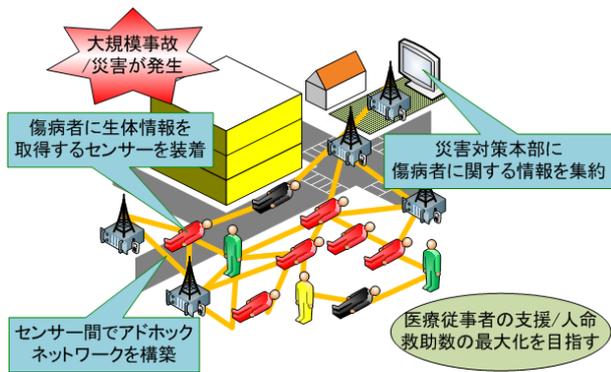


図 1 電子トリアージシステムの概要

リアルタイムに提示する。電子トリアージシステムの容態悪化の通知機能の有効性を評価するため、容態悪化の通知機能の有無を設定することで比較実験を可能にしている。本シミュレータにより、電子トリアージシステムの有効性評価が可能となるだけでなく、従来の机上シミュレーションに必要な手間が削減される。また、本シミュレータを災害時対応訓練で日頃から利用することで、電子タグの利用方法を学ぶことができるため、大事故や災害発生時における電子トリアージシステムの適切な運用に貢献することが期待される。

電子トリアージシステムの有効性評価のために医療関係者 12 名を対象に比較実験を行った結果、容態悪化を通知する場合は救命率が 20% 向上し、特に容態悪化する傷病者の救命率は 2 倍になることが分かった。さらに、医療従事者 10 名を 2 グループに分け、各グループ内で災害医療シミュレータ上の複数エリアの処置を分担して比較実験を行った。その結果、容態悪化を通知する場合は救命率が 17% 向上し、容態悪化する傷病者中では救命率が 33% まで向上した。これらの結果より、容態悪化の通知機能は救命率向上に有効であることが確認できた。

2. 電子トリアージシステム

トリアージの救命率向上を目指すため、多数の傷病者の生体情報をリアルタイムで一括監視し、現場での救命活動を支援する電子トリアージシステムの研究開発が実施されている [3]。電子トリアージシステムの概要を図 1 に示す。このシステムでは、電子タグを傷病者に取り付け、タグに取り付けられた生体情報を自動測定するセンサと二択の簡単な質問に対する入力から START 法によるカテゴリ判定を自動的に行うことができる。電子タグは無線アドホックネットワーク構築機能を有し、タグを装着した傷病者の生体情報を、構築したネットワークを経由して現場に臨時で設置された災害対策本部のサーバへと集約する。サーバでは各個人の生体情報を自動的に監視し、傷病者の容態が悪化した場合は警告を発し管理者に通知を行う。また、医療従事者は専用端末を保持し、傷病者情報を把握することができ、同様に傷病者の容態悪化通知を受け取ることができる。同時に、端末間の無線接続の有無を用いて傷病者や医療従事者の位置を推定し、現場全体の傷病者と医療従事者の位置関係を災害対策本部で一元表示することで、容態が悪化した傷病者への迅速な対応を可能としている。

本研究で開発したシミュレータでは電子トリアージシステムの主な機能のうち、容態悪化の通知機能、自動カテゴリ判定機

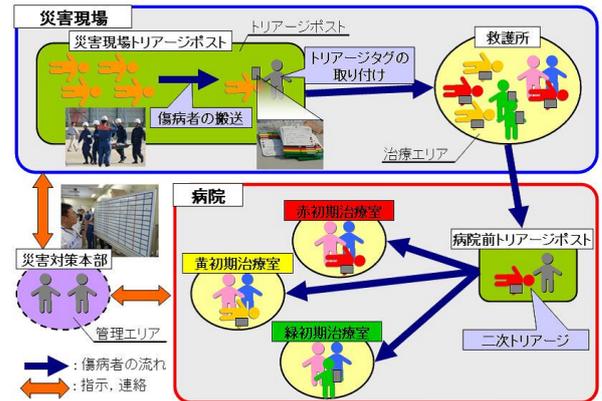


図 2 プレホスピタルの概要

能を再現しており、その機能の有無による救命救急医療への影響について評価が可能である。

3. 関連研究

トリアージ訓練のため、医療機関では机上シミュレーションが行われることが現在多い [6, 7]。例えば Emergo Train System[®] (ETS) [4] では、ホワイトボードを複数台用意し、災害に関連する災害現場や治療室、病室などのエリアを再現する。訓練参加者はホワイトボード上で傷病者や医療資源、医療従事者を表すマグネット付きの札などを操作する。治療などの各操作には予め規定された時間が必要となる。各傷病者の札にはシナリオが用意されており、一定時間内に規定の治療が行われていなければ死亡と判定される。死亡判定はインストラクターが手作業で生存条件を満たしているかを随時確認することで行う。これらの机上シミュレーションは札を用いているため容態変化を再現することが難しく、厳密なルール管理も困難である。

一方、コンピュータシミュレーションによる教育を目的とした SeriousGame と呼ばれる分野でも、様々な医療訓練を対象としたシステムが提案されている。仮想空間を提供する SecondLife から派生した SecondHealth [8] では架空の病院内を自由に移動することができ、病院の仕組みや機器の使用方法を学ぶことができる。また、SimSurgery [9] では手術の訓練を行うことができる。文献 [10, 11] では、複数の傷病者の症例に対してトリアージ訓練を行うシステムを提案している。文献 [5, 12] では、3D グラフィックを用いて、傷病者の外傷や呼吸音、反応を再現することでよりリアリティを追究した、災害救助に特化したシステムを提案している。また、ヘッドマウントディスプレイやセンサを用いた仮想現実による災害訓練ツールも存在し [13, 14]、複数のデバイスを複数人が装着することによって協調作業が可能なシステムも考案されている [15]。これらのシステムは単一の傷病者に対する治療訓練におけるリアリティの追究を目的としているため、災害時における全体の流れを再現することはできず、電子トリアージによる救急医療全体の円滑化の程度を検証することは難しい。

4. 多人数参加型災害医療シミュレータ

4.1 シミュレータの概要

本シミュレータで対象とするプレホスピタルの概要を図 2 に

示す。プレホスピタルに関わるエリアは大別してトリアージポスト、治療エリア、管理エリアの3種類が存在する。以下でそれぞれのエリアで行われる事項を説明する。

トリアージポスト： 災害現場のトリアージポスト、病院のトリアージポストが存在する。トリアージポストでは傷病者の容態を確認し、治療や搬送の優先度を決定する。

治療エリア： 災害現場の救護所、病院での各カテゴリの治療室が存在する。治療エリアには処置台が用意されており、医師・看護師による傷病者の処置が可能である。実施する処置は症状を基にシミュレーション参加者が決定し、各処置にはエリア毎に実行可能な上限回数が定められている。

管理エリア： 災害対策本部が該当する。傷病者の名簿作成や症状の記録、搬送先の確認などを行い、全体の情報を管理する。また、救命活動が円滑に進むようにするため、医師・看護師、治療器具などの医療資源の割り当て管理を行う。

本シミュレータではプレホスピタルの各エリアにプレイヤークライアントを割り当て、クライアント間のシナリオ同期をサーバが行うサーバ・クライアント型で実現している(図3)。プレイヤークライアントはシミュレーション参加者が操作し、シミュレーション実施者はマスタークライアントを操作して各エリアや全体のシミュレーション状況を管理する。以降では特に指定のない限りシミュレーション参加者・シミュレーション実施者をそれぞれ参加者・実施者と記述する。サーバは各エリア間のメッセージ仲介やクライアント間の時刻同期、シナリオに沿った容態変化などを実現すると同時に、シミュレーション実施中の操作ログをデータベースに収集する。医師、看護師などの医療従事者及び傷病者はアイコンで画面上に表示される(図4)。これらの初期配置や各傷病者情報(生体情報など)は、シミュレーション開始前に予めマスタークライアントを介してサーバに送信され、データベースに保存される。各プレイヤークライアントは適宜サーバを介してこれらの情報をデータベースから取得する。

プレイヤークライアントには各エリアが割り当てられるが、複数のプレイヤークライアントを1つのエリアに割り当てることもできる。シミュレータ上にはシミュレーション時刻が存在し、シミュレータ上の操作に要する時間やシナリオ上の時刻は全てこの時刻に従う。実施者は傷病者シナリオを作成し、シミュレーション開始前にマスタークライアントへ入力する。傷病者シナリオには生体情報の初期値、所見、容態変化が発生する時刻及び容態変化後の生体情報、必要な処置、死亡時刻などをCSV形式で記述する。また、マスタークライアントではシミュレーション時間の操作(一時停止、早送りなど)、各傷病者や医療従事者の状況確認(存在エリア、容態など)、手動での容態悪化など、様々な操作が可能である。

4.2 シミュレーションの流れ

参加者はそれぞれ担当のエリアを持ち、対応するプレイヤークライアントを操作する。傷病者、医師、看護師、警察官は図4に示すアイコンでプレイヤークライアントの画面上に表示され、参加者はこれらのアイコンを操作することでシミュレーションを進める。全ての傷病者が病院での治療を終了するか、死亡が確定すれば終了となる。

傷病者のアイコン(図4(a))を選択すると氏名などの傷病者に関する情報や症状、生体情報などが表示される。また、傷病

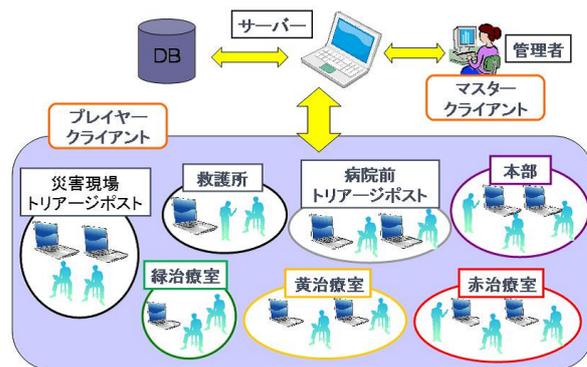


図3 提案シミュレータの構成

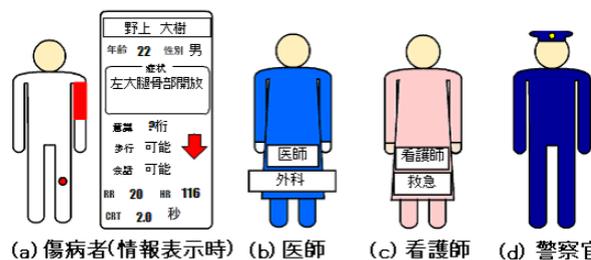


図4 シミュレータで用いるアイコン

者の様子を表す写真を表示することもできる。外傷部位は傷病者のアイコン上に赤い丸印で示され、トリアージ後はカテゴリを表す色が左腕に表示される。医師、看護師のアイコン(図4(b), (c))には役職や専門分野が表示される。また、警察官のアイコン(図4(d))も用意されており、死亡判定を行う際に必要となる。

シミュレーション開始後、災害現場のトリアージポストを割り当てられたクライアントを操作する参加者は(図3の災害現場トリアージポスト)、画面上に点在する傷病者を現場エリアに設置されたトリアージポストに移動させ、トリアージによるカテゴリ判別を行う。続いて災害現場の救護所を操作する参加者は(図3の救護所)傷病者の容態に応じて治療台で応急処置を施し、救急車による病院搬送を行う。病院前トリアージエリアでは(図3の病院前トリアージエリア)災害現場から搬送されてきた傷病者の再トリアージを行い、カテゴリに応じた治療室に搬送する。各治療室(図3の緑、黄、赤治療室)では搬送されてきた傷病者に対して治療を行う。その後状況に応じて集中治療室(ICU)、手術室、後方病院へ傷病者を搬送する。以上がプレホスピタルにおける傷病者の救出・治療の流れである。これとは別に災害対策本部では(図3の本部)、skypeなどのIP電話やトランシーバー、口頭などにより情報の収集・伝達を行う。

4.3 クライアントとサーバの機能

4.3.1 プレイヤークライアント

各プレイヤークライアントには任意のエリアが割り当てられる。赤治療室エリアを割り当てられたプレイヤークライアントのスクリーンショットを図5に示す。直感的操作による入力を可能とするため、入力操作はマウスやタッチスクリーンに限定している。また、複数の参加者が連携して同一エリアでのシ

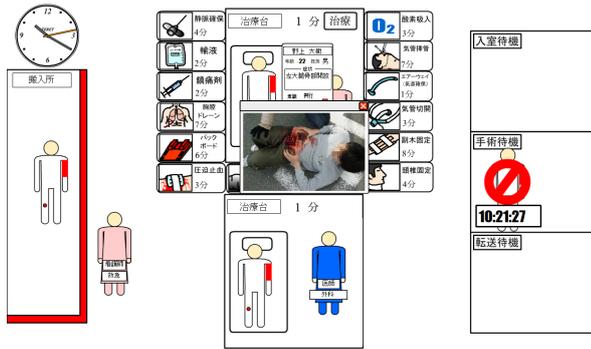


図 5 プレイヤークライアントのスクリーンショット

アイコン	内容	所要時間	アイコン	内容	所要時間
	静脈確保	4分		体位ドレナージ	5分
	輸血	2分		頸椎固定	4分
	鎮痛剤	2分		副木固定	8分
	胸腔ドレイン	7分		気管切開	3分
	バックボード	6分		エアウェイ (気道確保)	1分
	圧迫止血	3分		気管挿管	7分
	保温	1分		酸素吸入	3分

図 6 治療内容と所要時間

ミュレーションを行えるようにするため、同一エリアを複数のプレイヤークライアントに割り当てることが可能であり、サーバを介して同期通信を行うことで同一エリアを割り当てられたプレイヤークライアントには他プレイヤークライアントの操作内容がリアルタイムに表示される。プレイヤークライアントの具体的な操作方法を以下に示す。

アイコンの移動・搬送： エリア内の移動はアイコンを選択してドラッグ&ドロップする。エリア間の移動は、各エリア内に用意された搬出区画に傷病者のアイコンを移動させることで行う。搬出区画は移動先毎に存在する。医療従事者、警察官は対象のアイコンをダブルクリックして移動先を選択することでエリア間の移動を行う。災害現場から病院への搬送は、救急車に空きがある場合のみ実施可能とする。救急車1台に対して搬送可能な人数には制限がある。エリア間移動は移動先に応じて予め定められた所要時間が経過するまで操作不能となり、その後移動先エリアに移動する。同一エリアを複数のプレイヤークライアントで操作する場合、別のプレイヤークライアントが操作しているアイコンは半透明になり操作できなくなる。

治療： 治療を行うには、治療室内に対象傷病者と医師・看護師が少なくとも1名ずつ必要である。条件を満たせば治療区間に治療内容選択ボタンが出現し(図5中央上)、治療内容を選択できる(複数可)。各治療内容には治療にかかる時間が決められており(図6)、選択した治療の治療時間の合計と治療にあたる医師・看護師の人数に応じて定められる治療所要時間が経過するまで、治療に関わる医療従事者や傷病者のアイコンは操作不能となる。治療終了後には完了した治療のアイコンが対象傷病者のアイコン上に表示される。治療所要時間 C は式(1)で定義される。ここで α は研修生を含まない医師と看護師のペア数、 β は研修生を含む医師と看護師のペア数をそれぞれ表す。

$$C = \begin{cases} \text{合計治療時間} \times 0.6^{\alpha-1} \times 0.8^{\beta} & (\alpha \geq 1) \\ \text{合計治療時間} \times 1.5 \times 0.8^{\beta-1} & (\alpha = 0) \end{cases} \quad (1)$$

トリアージ： トリアージの実施には、トリアージポスト内にトリアージ対象の傷病者と医師、看護師、救命士のいずれか1名が存在する必要がある。条件を満たせばミュレーション内容に応じたトリアージ選択画面が表示される。電子トリアージシステムを使用しない場合は、トリアージタグの色を選択するボタン(赤、黄、緑、黒の四色)を選択

表 1 マスタークライアントの機能

機能	詳細
傷病者シナリオ入力, 変更	各傷病者に関する情報が表形式で表示され、変更や新規作成を行う。CSV形式で作成した外部ファイルを読み込むことも可能。
電子トリアージの有無, 選択	電子トリアージシステムで提供される機能(容態悪化通知及び電子タグによるカテゴリ判定)の有無を選択する。
ミュレーションの停止, 再開	ミュレーションの一時停止, 再開を行う。一時停止を行った場合、全プレイヤークライアントはミュレーションを再開するまで操作不能になる。
ミュレーション時刻の経過速度変更	ミュレーション上の時計の速さを1倍速, 2倍速, 3倍速, 6倍速から選択する。
傷病者のリアルタイムな情報表示	ミュレーションで使用されている傷病者の現在地, 治療内容, トリアージのカテゴリをリアルタイムに表示する。
医療従事者の配置, 医療資源の配送	医療従事者の専門分野や人数, 配置対象エリアを選択すると、対象エリアに指定した医療従事者を配置することができる。医療資源の種類と数を指定すると災害対策本部に指定された医療資源が配送される。
傷病者の容態悪化, 突然死	指定した傷病者を容態悪化させたり、突然死させたりする。

することでトリアージを行う。電子トリアージシステムを使用したトリアージを行う場合を行う場合は、電子トリアージタグに表示された項目に対してOK, NGを選択する。子供やお年寄りなどの災害弱者に対して、判定されたカテゴリよりも優先度を上げる判定を行うことがあるため、カテゴリを強制的に変更することも可能である。

4.3.2 マスタークライアント

マスタークライアントのスクリーンショットを図7に示す。マスタークライアントはミュレーション開始前のシナリオ入力機能とミュレーション開始後のシナリオ操作・管理機能を備えている。マスタークライアントの各機能は表1に示す通りである。

4.3.3 シナリオ管理サーバ

サーバではクライアント間の同期処理や、操作ログの収集を行う。各クライアントでの操作内容は全てサーバに通知され、操作ログとして記録される。データベースにはマスタークライアントから入力された傷病者シナリオが記録されており、各プレイヤークライアントにおける傷病者に対する操作をリアルタイムに反映し、関連するクライアントに通知することで同期を取る。サーバ・クライアント間の通信はTCP/IPを利用し、メッセージ形式はXML、データベースにPostgreSQLを用いている。

表 2 傷病者シナリオの入力項目

個人情報	氏名(年齢)性別		
症状	外見, 外傷部位. 外見は予め与えられている写真から選択		
必要処置	必要処置毎の制限時間		
容態悪化時刻	容態悪化を起こす時刻		
生体情報	容態悪化前(必須項目)	容態悪化後	全治療完了後
循環	安定/不安定		
意識レベル	清明, 1~3 桁から選択		
会話	可能/不可能	適宜入力	適宜入力
RR	1 分当たりの呼吸数(回/分)		
CRT	毛細血管再補充時間(秒)		
HR	1 分当たりの心拍数(回/分)		



図 7 マスタークライアントのスクリーンショット

4.4 シナリオ記述方法

4.4.1 傷病者シナリオ

シミュレータに与える傷病者シナリオの各項目と入力内容を表 2 に示す. 生体情報の項目として循環, 意識レベル, 会話, Respiratory Rate(RR), Capillary Refill Time(CRT), Heart Rate(HR) を与えることができる. 電子トリアージシステムの容態悪化を通知する機能による効果を評価するため, 傷病者シナリオには容態悪化前, 容態悪化後の生体情報を入力する. また, より現実的な生体情報の変化を再現するため, 全処置完了後の生体情報を入力することもできる. 容態悪化後の生体情報を入力する場合は容態悪化時刻も同時に与える.

傷病者の生体情報の変化は, 経過時間とそれまでに行われた治療処置に依存した条件分岐により再現される. 条件判定の時刻及び条件毎の生体情報は予め指定する. 傷病者の生体情報の変化例を図 8 に示す. ここで選択可能な処置の集合を $T = t_1, t_2, \dots, t_m$ とする. 傷病者 p には m_p 個の必要処置が存在し, それぞれの必要処置 $t_i^p \in T$ に対して制限時刻 d_i^p が与えられる ($1 \leq i \leq m_p \leq m$). 必要処置と対応する制限時刻の組を $T_i^p = (t_i^p, d_i^p)$ とし, それらの集合を $T^p = \{T_1^p, T_2^p, \dots, T_{m_p}^p\}$ とする. 傷病者 p に処置 t_i^p が行われた場合, T^p から T_i^p を削除する. d_{min}^p を T^p の各要素 T_i^p の制限時刻の中で災害発生時刻に最も近い時刻とすれば, $d_{min}^p <$ 現在時刻となった場合に p は死亡する. 死亡した場合, 傷病者 p のアイコンは画面上から削除される. また, 傷病者 p に容態悪化後の生体情報が与えられている場合は, 現在時刻が容態悪化時刻になったときに $T^p \neq \phi$ であれば容態悪化後の生体情報に変化する. その際容態悪化を通知する機能を有効にしている場合は, 容態悪化の表示と警告音を発する. $T^p = \phi$ となった場合, 治療済み生体情報に遷移する. 必要治療がない傷病者も配置することができる.

4.4.2 災害医療環境に関するシナリオ

その他のシミュレーションシナリオとして地理的制約と医療資源制約, 医療行為制約を設定することができる. 地理的制約には, 各エリア間の移動時間が存在する. 現実の災害現場や病院の位置関係を移動時間に反映することで, より現実的な災害医療シミュレーションを可能にする. 医療資源制約には各エリアに配置する医療従事者の数や処置台の数, 医療器具の数, 病院搬送に必要な救急車の数が存在する. これらを調節することで想定に近い環境でのシミュレーションを可能にするだけでなく各エリアでの傷病者を処置する能力を変更し, シナリオの

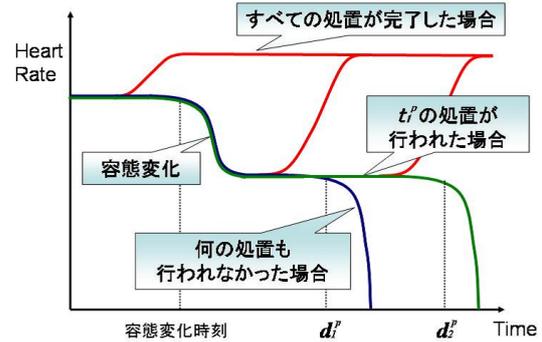


図 8 時間経過及び処置による生体情報の変化

難易度を調節できる. ただし, 各エリアでの処置を複数の参加者で分担する場合は分担人数を考慮した医療資源制約にする必要がある. 医療行為制約は各種治療の所要時間や問診時間, 病院搬送での送り時間が挙げられる. これらは処置にあたる医療従事者の処置能力を表し, 医学的根拠を基に設定する必要がある.

5. 電子トリアージシステムの有効性評価

5.1 評価環境

電子トリアージシステムの有効性評価を行うため, 開発したシミュレータによる実証実験を医療従事者の協力を得て行った. まず, 5.2 節では電子トリアージシステムの有効性評価を効率良く行うため, 個人でのシミュレーションが可能な実験用プレイヤー端末(図 9)を用いた実験結果を示す. 実験用プレイヤー端末はプレホスピタルで最も傷病者の優先度判断が重要になる災害現場付近の救護所, 及び病院搬送エリアを対象にしている. シミュレーションシナリオは予め設定されており, シミュレーション時間に従って傷病者がトリアージポストから運び込まれてくる. 実験用シナリオでは, 事故発生から 50 分経過した時点から約 30 分間について実時間の 2 倍速でシミュレーションを行う. 使用したシミュレーションシナリオを表 3 に示す. また, 傷病者シナリオの例を表 4 に示す.

本実験では死亡時刻までに病院へ搬送された場合は救命完了とみなす. 病院までの所要時間は片道 3 分とし, 救急車は搬送終了後申し送り時間 1 分と復路分の時間が経過してから再使用可能になる. その他の医療資源は増減しないものとした. 被験者は医師, 看護師, 研修生を含めた 12 名とし, ランダムに電子トリアージシステムあり, なしを実装したシミュレータに割り振り実験を行った.

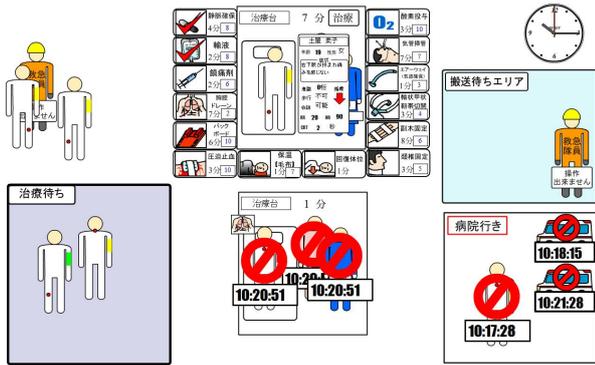


図 9 個人用プレイヤー端末

表 3 単一エリアの個人処置による実験に用いたシミュレーションシナリオ

傷病者数 (赤, 黄, 緑)	12(2, 9, 1)
急変患者数	7
治療台の数	2
救急車の数	2
医療従事者数 (医師, 看護師, 救急隊)	6(2, 2, 2)
被験者数 (電子トリアージ有, 無)	12(6, 6)

次に 5.3 節では複数のプレイヤー端末を用いた多人数での有効性評価実験の結果を示す。実験用プレイヤー端末に割り当てるエリアは災害現場兼トリアージポスト、災害現場の救護所兼搬送エリア、病院前トリアージエリア、赤初期治療室、黄初期治療室とした。実験シナリオは 5.2 節の実験と設定の異なる傷病者 12 名を用意し、実験開始時に災害現場に予め配置した。事故発生から 30 分経過した状態を想定して訓練を開始し、全ての傷病者の生死が判定された時点で終了するものとした。医療資源は増減しないものとし、医師、看護師のエリア移動は禁止した。被験者は医師、看護師を含めた 10 名であり、5 名を電子トリアージあり、残りの 5 名を電子トリアージなしの 2 グループに分けて同時に実験を行った。シミュレーションシナリオを表 5 に示す。

どちらの実験も評価指標には以下の 4 つを用いた。

- 救命率：出現した傷病者中救命した傷病者の割合。
- 急変患者中の救命率：出現した急変患者のうち、救命した傷病者の割合。
- 過不足処置数：適切な処置選択が行われているか。
- 死期と救命時刻の差：どれほど早く治療にかかることができたかを表す。救命時刻は全必要処置が完了した時刻、または病院搬送が完了した時刻である。

5.2 単一エリアの個人処置による有効性評価

表 6 に個人でのシミュレーションが可能な実験用プレイヤー端末を用いた実験結果を示す。この結果より電子トリアージシステムを導入した場合、非導入時と比べて救命率は約 20% 向上していることが分かる。また、急変患者中での救命率は約 2 倍の向上が見られた。この理由は、電子トリアージシステム導入時に容態悪化が通知され、早急に治療に取り掛かることができるためと考えられる。電子トリアージシステム導入時に不足処置数が少ない理由は、必要処置を行うことでより多くの傷病者を救うことができているためである。また電子トリアージシステム導入時に過剰処置数が多い理由として、容態悪化が通知された患者に対して手厚い治療を行う傾向にあるためと考えら

表 4 傷病者シナリオの例

症例 1	黒田 夕佳 (38) 女	
症状	見当識障害あり、左頭頂部に皮下出血	
必要処置	(気管挿管, 15:10:00), (酸素吸入, 15:10:00), (手術, 15:30:00)	
容態変化時刻	12:00:00	
バイタルサイン	容態変化前	容態変化後
循環	安定	安定
意識レベル	1 桁	3 桁
会話	可能	不可能
RR	15 回/分	10 回/分
CRT	1 秒	1 秒
HR	90 回/分	40 回/分
症例 2	小柳 孝 (21) 男	
症状	腹痛, 腸管脱出	
必要処置	(静脈確保, 11:00:00), (輸血, 11:00:00), (手術, 12:00:00)	
容態変化時刻	なし	
バイタルサイン	容態変化前	容態変化後
循環	不安定	-
意識レベル	1 桁	-
会話	可能	-
RR	32 回/分	-回/分
CRT	2 秒	-秒
HR	100 回/分	-回/分

表 5 多人数処置分担による実験に用いたシミュレーションシナリオ

	災害現場	救護所	病院前	赤初期	黄初期
傷病者数 (赤, 黄, 緑)	12(3, 8, 1)				
急変患者数	7				
処置台の数	1	2	3	2	3
救急車の数	-	3	-	-	-
前エリアとの移動時間	-	60[s]	180[s]	60[s]	120[s]
医療従事者数 (医師, 看護師)	2(1, 1)	4(2, 2)	4(1, 3)	8(4, 4)	6(3, 3)
被験者数 (電子トリアージ有, 無)	10(5, 5)				

表 6 単一エリアの個人処置による実験の結果

	容態悪化の通知あり		容態悪化の通知なし	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
救命率	75.2%	12.38	55.9%	12.19
急変患者中での救命率	67%	14.23	32%	18.54
不足処置数	6.2	3.43	11.9	3.6
過剰処置数	11	4.05	9	7.93

れる。

図 10 は死期と救命時刻の差の累積比率分布を示している。グラフの横軸は死期と救命時刻の差であり、縦軸の累積比率は死期と救命時刻の差が対応する値以下である傷病者の割合を示している。例えば死期と救命時刻の差が 200 秒以下であった傷病者の割合は電子トリアージなしで 30%、電子トリアージありで 50%であることがグラフから読み取れる。図 10 を見ると、電子トリアージシステム導入時の方が非導入時と比べて死期と救命時刻の差が短い傷病者が多い。この理由は、電子トリアージシステム導入時により多くの傷病者を救命可能となり、処置に時間がかかるためである。これらの結果より、電子トリアージシステムは救命率の向上に寄与することが推測される。

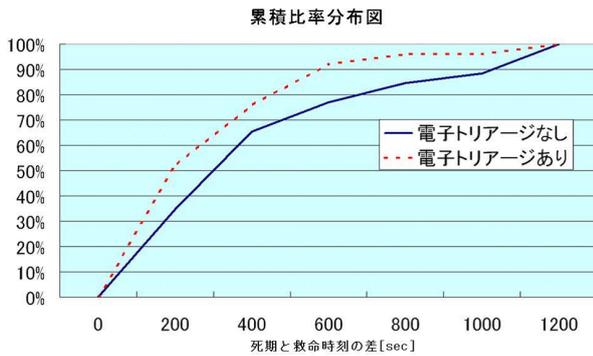


図 10 単一エリアの個人処置での死期と救命時刻の差

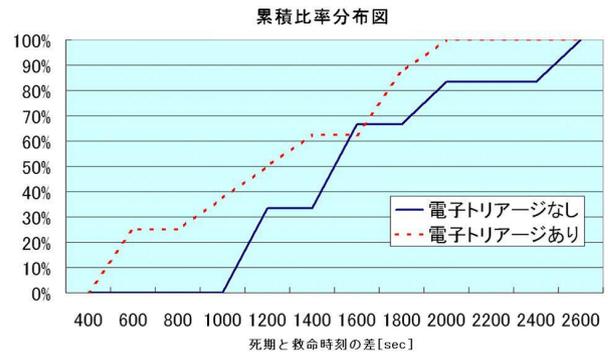


図 11 複数エリアの多人数処置分担での死期と救命時刻の差

表 7 複数エリアの多人数処置分担による実験の結果

	容態悪化の通知あり	容態悪化の通知なし
救命率	92%	75%
急変患者の中での救命率	83%	50%
不足処置数	1	6
過剰処置数	27	33

5.3 複数エリアの多人数処置分担による有効性評価

表 7 に複数のプレイヤー端末を用いた多人数参加による実験の結果を示す。この結果より電子トリアージシステムを導入した場合、非導入時と比べて救命率は 17% 向上していることが分かる。また、急変患者中での救命率は 33% の向上が見られた。5.2 節の個人用プレイヤー端末による結果との相違はほぼなく、電子トリアージシステムによる容態悪化通知は有効と考えられる。また、5.2 節の実験と同様に不足処置数についても電子トリアージありの場合は少なくなっている。一方、過剰処置数に関しては電子トリアージなしの場合が若干多く、5.2 節の実験の傾向とは異なる結果が得られた。この理由としては、多人数参加型訓練の試行回数が十分でないため結果が偏っている可能性が考えられる。実際、実験記録からも電子トリアージありの班では必要最低限の治療を行う傾向にあることが分かった。

次に図 11 は複数エリアの多人数処置分担での死期と救命時刻の差を示している。結果は 5.2 節の実験結果に近い傾向を示しており、電子トリアージシステムによって容態が悪化した（死期が近い）傷病者を迅速に把握し、処置を行っていることが分かる。これらの結果より、シナリオの難易度や設定が異なる 5.2 節と 5.3 節のどちらの実験の場合でも、電子トリアージシステムは救命率の向上に寄与することが分かった。

6. おわりに

本研究では、電子トリアージシステムの容態悪化通知機能の有効性評価を目的とした災害医療シミュレータを設計開発した。開発したシミュレータでは傷病者情報や医療従事者および医療資源の配置をシミュレーションシナリオとして与えることができ、複数参加者による災害医療シミュレーションを実施可能である。また、予め与えられた傷病者シナリオに基づき傷病者の容態を変化させることで、シミュレータ上で容態悪化通知機能を再現する。開発したシミュレータを用いて医療関係者を対象に実験を行った結果、プレホスピタルでの処置順決定にお

いて電子トリアージシステムが提供する容態悪化を通知する機能の有効性が確認された。

今後の課題として、より多くの医療従事者を対象とした有効性評価があげられる。また、この災害医療シミュレータを医療従事者向けの電子トリアージ訓練ツールとして使うことを検討している。そのために、災害医療シミュレータに機能の追加を行う予定である。

参考文献

- 1) Group, A. L.S., 小栗頭二, 杉本寿, 吉岡敏治 (訳): 大事故災害への医療対応 現場活動と医療支援-イギリス発, 世界標準-, 永井書店 (2005).
- 2) 東京救急協会: 救急・災害現場のトリアージ, 荘道社 (2001).
- 3) 木山昇, 楠田純子, 藤井彩恵, 内山彰, 廣森聡仁, 梅津高朗, 中村嘉隆, 大出靖将, 田中裕, 山口弘純, 東野輝夫: 災害時救急救命支援に向けた電子トリアージシステムの設計開発, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.9, pp. 1916-1929 (2010).
- 4) Emergo Train System, <http://www.emergotrain.com/>.
- 5) Sim-Patient, <http://www.rti.org/page.cfm/SimPatient>.
- 6) 小原真理子: トリアージ机上シミュレーションの展開と学習効果の検証, 日本集団災害医学会誌, Vol.7, No.1, pp. 55-62 (2002).
- 7) 石井あかね, 菊地龍明, 中村京太: 机上シミュレーションを利用した手術室災害訓練の経験, 日本手術医学会誌, Vol.29, No.2, pp.133-136 (2008).
- 8) SecondHealth, <http://secondhealth.wordpress.com/>.
- 9) SimSurgery, <http://www.simsurgery.com/>.
- 10) McGrath, D. and Hill, D.: UnrealTriage: A Game-Based Simulation for Emergency Response, *Proceedings of the Huntsville Simulation Conference* (2004).
- 11) Jarvis, S. and de. Freitas, S.: Evaluation of an Immersive Learning Programme to Support Triage Training, *Proceedings of the IEEE International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*, pp.117-122 (2009).
- 12) TruSim, <http://www.trusim.com/>.
- 13) Vincent, D., Sherstyuk, A., Burgess, L. and Connolly, K.: Teaching Mass Casualty Triage Skills Using Immersive Three-Dimensional Virtual Reality, *Academic Emergency Medicine*, Vol. 15, No. 11, pp. 1160-1164 (2008).
- 14) Kizakevich, P., Furberg, R., Hubal, R. and Frank, G.: Virtual Reality Simulation for Multicasualty Triage Training, *Proceedings of the Interservice/Industry*

- Training, Simulation & Education Conference (2006).*
- 15) Stansfield, S., Shawver, D., Sobel, A., Prasad, M. and Tapia, L.: Design and Implementation of a Virtual Reality System and Its Application to Training Medical First Responders, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.9, No.6, pp.524-556 (2000).
-