

治療優先度を付加した 自動トリアージシステムの提案

長橋 健太郎^{†1} 栖 関 邦 明^{†1} 岡田 謙 ^{†2,†3}

災害時救急救命活動において特に緊急に治療を必要としない軽症患者や中等症患者の治療を一時的に遅らせることや、緊急度が高く助かる見込みのある傷病者をトリアージ (選別) することが災害時救急救命において行われている。現在のトリアージ活動において電子化がなされていないため傷病者の急激な容体の悪化などをリアルタイムで把握ができない。医療従事者が多数の赤タグ負傷者の搬送順を決められないことが問題点としてあげられる。本研究では我々は無線センサーネットワークを利用し、傷病者を従来の絶対基準によるトリアージ評価により分類した後、生体情報と外傷の情報をともに傷病者同士を相対的に比較し、同じ色に分類された傷病者集団の中でどのくらい治療を優先するのかを自動的に割り出すシステムを提案した。システム評価用にした人間のバイタルサイン発生装置バイタルサインジェネレーターを用いて評価したところ、システムがリアルタイムに変化する傷病者の生体情報を取得し、バイタルサインが急激に変化している傷病者を割り出すことが可能であるという結果が得られた。

A Proposal of the Automatic Triage System providing Treatment Priority

KENTARO NAGASHI,^{†1} KUNIAKI SUSEKI^{†1}
and KEN-ICHI OKADA^{†2,†3}

In this research, we proposed new system using a wireless sensor network which compares injured person relatively based on vital signs and the information of the wound, and then classify person by triage evaluation by the constant standard and calculating how to prior to transportation in a person group classified in the same color automatically. We evaluated the proposed system with the human vital signs generator which we made for the system evaluation called "vital signs generator". This evaluation shows that the system acquired the vital signs which changed in real time and to be able to calculate the person whom vital signs suddenly changed. This system can find the disabled who needs emergency for treatment. By using this system, acceleration of the activities is expected.

1. はじめに

JR 西日本での福知山線脱線事故のような人的ミスによる大規模な事故では、同時に多数発生した負傷者の治療の優先順位の判定、医療救護施設への迅速かつ確実な搬送、搬送先の医療機関における適切な医療の一連の3つの活動が重要となる。多くの傷病者が発生したときの中から早期に治療を要する重症患者を発見し適切な治療を受けさせることで、限りある医療資源を効率よく利用しより多くの人命を救うことができる。このため特に緊急に治療を必要としない軽・中等症患者の治療を一次的に遅らせることや、緊急度が高く助かる見込みのある傷病者をトリアージ (選別) することが災害時救急救命で行われている。トリアージを行うことにより避けられた死を大幅に減らすことができるが、事故において利用される場合課題が残る。例えば電子化がなされていないため傷病者の急激な容体の悪化などをリアルタイムで把握ができない。医療従事者が多数の赤タグ負傷者の搬送順を決められないことがあげられる。

我々はチーム型研究 CREST で「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」をテーマに、トリアージの電子化に取り組んできた。本研究で我々は無線センサーネットワークを利用し、傷病者を従来の絶対基準によるトリアージ評価により分類した後、生体情報と外傷の情報をともに傷病者同士を相対的に比較し、同じ色に分類された傷病者集団の中でどの程度治療を優先するのかを自動的に割り出すシステムを提案する。

2章に救急救命活動におけるトリアージを概観し、3章に本研究における提案を述べる。4章に提案に基づいた実装に関して記し、5章でシステムの評価を行う。

2. 救急救命時の医療活動

大事故が起きるとその地域の自治体を中心となり、救急隊、自衛隊、医療従事者チームに現場への出動要請を出す。JR 西日本福知山線脱線事故では事故発生後の早い時期から救急隊により緊急度や重症度で傷病者を分類するトリアージが行われた。日本では傷病者の緊急

^{†1} 慶應義塾大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

^{†2} 慶應義塾大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Keio University

^{†3} 独立行政法人 科学技術振興機構

JST

度や重症度を4段階に分類している。表1に一般的なトリアージカテゴリーを示す。

表1 トリアージカテゴリー

色	優先度	処置
赤(1)	1	生命を救うため直に処置を必要とする者 例) 大出血、ショック症状の傷病者
黄(2)	2	多少治療の時間が遅れても生命に危険がない者、 基本的には、バイタルサインが安定している者、 上記以外の軽易な傷病で殆ど専門医の治療を 必要としない者。
緑(3)	3	既に死亡している者、明らかに即死状態であり、 心肺蘇生を施しても蘇生可能性のない者。
黒(0)	4	

災害時の救急救命現場では人的、物的資源は限られる。このため、できるだけ多くの傷病者の救助を行うには、一人の傷病者に対しトリアージを一分以内で行うことが望まれる。日本では迅速にトリアージを行う方法としてSTART法(Simple Triage and Rapid Treatment)が採用されている。START法は、傷病者を「呼吸」「循環」「中枢神経」の順番で優先度を評価する。図1にSTART法を用いたトリアージのフローチャートを示す。

日本では図2に示すトリアージタグと呼ばれる4色のマーカー付きタグを傷病者に取り付け、不要な色の部分を切り取り、取り付けた傷病者の優先度を表す色を先端に残すことにより判断結果をわかりやすくしている。

災害が起きた場合、医療従事者が迅速に被災地に駆けつけ、トリアージや医療活動の補助、後方支援を行う。災害が起きたときの医療従事者の活動の流れを以下に示す。

- (1) トリアージポスト(トリアージを行うためのエアータント)に傷病者を搬送。
- (2) トリアージポストにて傷病者全員にトリアージタグを装着。
- (3) 医療従事者がトリアージを行いタグの色を決定。
- (4) トリアージされた傷病者をそれぞれの色のエアータントに搬送。
- (5) それぞれのタグの色に応じて搬送する医療機関、搬送する順番を決定する。
- (6) 決定に基づいて医療機関に搬送。(赤タグはドクターヘリなどで第3次医療機関へ)

3. 自動トリアージシステムの提案

3.1 トリアージに求められる要件

現在日本では紙製のトリアージタグを利用しているため、使用法が比較的簡易であるが、

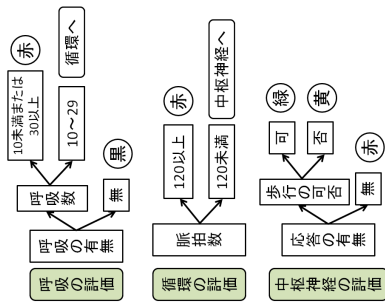


図1 START法を用いたトリアージ

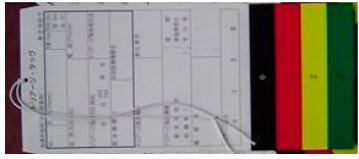


図2 トリアージタグ

傷病者の容態が変化すると交換しなくてはならない。また傷病者の容態の把握は、実際の現場では数回程度だと考えられる。このため傷病者の急変に気づくが遅れるということもあげられる。さらに大事故の場合多数の傷病者が発生するため、医療従事者は優先すべき傷病者を見つけにくいことや、赤タグの傷病者など緊急を要する傷病者の居場所や病状の急変が把握できないう問題点がある。また搬送の課題として、災害が発生した初期段階と時間が経過した段階では搬送に使える車両やヘリコプターの台数は異なるため、利用できる搬送資源を常に把握し分配する必要がある。従ってトリアージ作業を支援するためには、(a) 紙製のタグに変わりと成り、リアルタイムに傷病者の容態把握が可能な機材の使用、(b) 最小限の人的資源での傷病者対応、(c) 最小限の搬送資源を効率的に利用した傷病者の搬送の3つの要件がある。

ここで我々は災害故において、傷病者のリアルタイムでの容態把握、それに基づく治療と搬送資材の分配を自動的に行う自動トリアージシステムを構築する。

3.2 バイタルサインの遷移

図3に2名の赤タグ傷病者の脈拍推移の一例を示す。現在のこの2名の傷病者は脈拍数が120以上のため、START法に基づき赤タグと判定される。しかし傷病者1の方が、赤色と判断される脈拍数のしきい値120回/分からの外れ値が大きい。また傷病者1の脈拍数は急激に増加していることから、今後の増加も予想され容態が悪いことが予想できる。このこ

とから従来のような、ある一時の傷病者のバイタルサインで START 法により 4 分類するだけでなく、変化率や外れ値をもとに相対的に比較するトリアージが必要である。

従来のトリアージでは、リアルタイムに傷病者の経過観察をすることが難しい。本研究では第一にリアルタイムで傷病者の経過を観察するために、傷病者への生体情報センサの装着や自動的にトリアージを行う電子機器の設計が必要であると考えた。

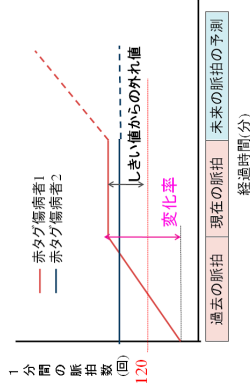


図 3 赤タグ傷病者の脈拍の推移

3.3 傷病者の搬送と治療

事故発生時に重症傷病者を遠方の第 1 次医療機関に搬送し、そこで医療を提供するといふ領域医療搬送が行われている。広域医療搬送においては、事故現場近くの広域搬送可能な重症患者を広域搬送拠点に集約し、そこからドクターヘリなどで遠方の医療機関へ航空搬送を行う。災害時においては、搬送し治療できる傷病者の人数が、自治体からの応援などを受け入れ先の医療機関により状況に動的に変化する。また限られた人数しか搬送ができないため、優先すべき傷病者を把握し、適切な病院に搬送し治療するためには非常に重要である。

これらのことから本研究では限られた搬送資源を有効活動するために、同じ色に分類された傷病者のバイタルサインの基準値からの外れ値と一定時間あたりの変化率をもとに相対的に治療を優先すべき傷病者を割り出すシステムを提案する。

4. 実装

4.1 システム構成

傷病者に生体情報センサを装着することを想定し、そのセンサから取得した呼吸、脈拍と歩行、意識、高エネルギー外傷の情報をもとに START 法に基づき傷病者を絶対評価により 4 段階に分類した後、同じ色に分類された傷病者集団の中でどのくらい治療を優先する

のかを自動的に割り出すシステムを構築する。チーム型研究 CREST において、生体情報センサに日本光電で開発された SAS-2100 を使用することが決定している。この生体情報センサにより START 法でのトリアージを行うのに必要な呼吸、脈拍を測定する。

図 4 にシステム構成を示す。

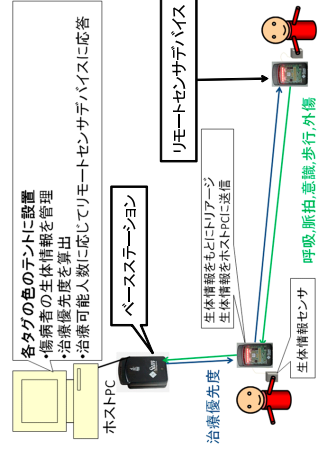


図 4 システム構成

各色のテントには、医療従事者への司令や医療機関からの情報を集約するためのホスト PC が設置される。このホスト PC で同一色の傷病者の生体情報を集約するために、無線センサネットワークデバイスを利用する。本研究では無線センサネットワークデバイスとして、サン・マイクロシステムズで開発された Sun SPOT を使用する。開発は Java を用いて、Windows XP 上で行う。Sun SPOT の無線通信方式は、IEEE 802.15.4/2.4GHz 準拠であり、マルチホップで通信を行う。ホスト PC に Sun SPOT ベースステーションを接続し、傷病者には生体情報センサと USB 接続が可能な Sun SPOT リモートセンサデバイスを着装する。ホスト PC と傷病者に接続されたリモートセンサデバイスが通信し、取得した傷病者の生体情報をホスト PC に集約する。リモートセンサデバイスには傷病者の生体情報を START 法をもとに 4 段階にリアルタイムリアレンジを行う機能とホスト PC への生体情報の送信機能、ホスト PC からの治療の優先度を受信する機能を搭載する。リアルタイムリアレンジは、外部から無線センサネットワークデバイスに 1 分間隔で入力される生体情報をもとに行う。リモートセンサデバイスには LED がついているので、従来の紙タグの色と同じ色の LED を点灯する。ベースステーションが取り付けられたホスト PC は、各傷病者の生体情報を受信し、相対的に比較し治療優先度を算出した後、さらにリモートセンサ

デバイスに送信する機能を持つ。

4.2 治療優先順位と治療優先レベルの算出

本研究では順天堂大学医学部の協力のもと、治療の優先度を決定するパラメータとアルゴリズムを策定した。治療の優先度は呼吸数、脈拍数の一定時間当たりの変化率、START法で決められている。各色に分類するための呼吸数、脈拍数それぞれのしきい値からの外れ値(しきい値から傷病者の呼吸数、脈拍数がそれぞれだけ離れているか)、高エネルギー外傷の有無の値により決定する。

アルゴリズムはバイタルサインが不安定な傷病者を優先する。傷病者の緊急を要する傷病者の順位の求め方は以下の通りである。

- (1) 脈拍の変化率が高い順に順位をつける。
- (2) 脈拍の変化率が同じ傷病者がいた場合、呼吸の変化率が高い順に順位をつける。
- (3) 脈拍、呼吸の変化率が同じ場合、脈拍の外れ値が高い順に順位をつける。
- (4) 脈拍、呼吸の変化率、脈拍の外れ値が同じなら呼吸の外れ値が高い順に順位をだす。
- (5) 脈拍、呼吸の変化率、外れ値が同じ場合、外傷の有無により順位をつける。

START法では呼吸が最初に考慮されたが、現在の医療器具では呼吸数の正確な測定が難しいため、本アルゴリズムでは脈拍から最初に判断することにした。

表2に傷病者が7名いたときの治療優先順位の決定例を示す。傷病者IDは傷病者を識別するために使用する。呼は呼吸を、脈は脈拍を表す。

表2 治療優先順位の決定例

ID	変化率	外れ値	外傷	治療優先順位
1	呼:0 脈:0	呼:0 脈:10	1	6
2	呼:0 脈:0	呼:0 脈:10	0	7
3	呼:10 脈:30	呼:20 脈:40	0	3
4	呼:0 脈:0	呼:20 脈:50	0	4
5	呼:20 脈:30	呼:20 脈:40	0	2
6	呼:0 脈:0	呼:10 脈:10	0	5
7	呼:0 脈:80	呼:20 脈:60	0	1

搬送優先順位を提示すると、短い時間で順位の変動が起こる可能性があるため現場に混乱をきたすと考えた。このことにより、3段階程度のレベルに分けることとした。本研究では、この治療優先順位をもとに治療優先レベルを決定する。このレベルが高いほど治療を

急ぐ緊急度の高い傷病者である。このレベルを算出し医療従事者に提示することによって、医療従事者はどの傷病者の容態が相対的に見て悪化しているのかを知ることができ、搬送を待っている間にも傷病者に対して応急処置や経過観察、診療を優先的に行うことができる。表2の例の場合の治療優先レベル3段階であり、この例ではレベル高はID7とID5、レベル中はID3とID4、レベル低はID6、ID1、ID2である。治療優先順位と治療優先レベルの算出機能は、ホストPCに搭載する。

4.3 ホストPCの設定と搬送可能人数入力GUI

この機能はホストPCに搭載する。搬送車両が到着し、一定数の搬送が可能になった時に、GUIから人数を入力する。図5に搬送可能人数と傷病者呼び出しを入力するためのGUIインターフェースを示す。

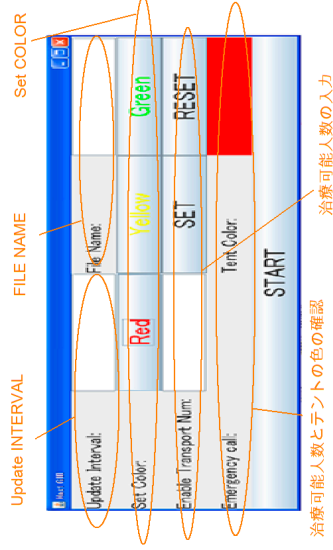


図5 入力GUI

入力GUIの詳細を説明する。あらかじめホストPCが置かれているテントの色をSet-COLOR ボタンで設定する。設定した色はTent Colorに表示される。また変化率を計算するための時間間隔をUpdate Intervalに入力する。FILE NAME テキストボックスに該当なファイル名を入力すると、傷病者から受信したバイタルサインとトリガーカラーを記録したテキストファイルが作成される。

Start ボタンを押すと治療優先順位の算出を始める。搬送車両が到着したら、その車両に乗れる人数を治療可能人数としてEnable Transport Num テキストボックスに入力する。仮に2と入力すると、そのカラーテントの中で1番目、2番目に搬送を優先させなければ

ならないほど危険な傷病者を割り出し、その傷病者のリモートセンサデバイスに返答する。治療可能人数とテントの色の確認が Emergency Call 欄に表示される。

5. 評価・考察

提案システムを評価するために、生体情報を生成するバイタルサインジェネレータを開発した。そしてこれを用いて提案システムの動作の評価を行った。

5.1 バイタルジェネレータの開発

本システムの動作を確認するにあたり、様々な病態、症状の人間を用意するのは困難である。そこで本研究では、提案システムを評価するにあたり、簡易に訓練も兼ねた評価が行えるバイタルサイン発生装置であるバイタルサインジェネレータが必要だと考えた。なお、本研究では、最初のプロトタイプとなるシステムの作成が目的となっており、現実の状態を考慮する第一ステップとなっている。このバイタルサインジェネレータをモバイル PC に搭載し、モバイル PC を USB 接続で無線センサネットワークデバイスに接続すれば提案システムの評価が視覚的に行うことができる。バイタルサインジェネレータは医学的観点から脈拍数の上限値を 250 回/分、呼吸を 70 回/分としている。さらに単位時間における生体情報の差分が 20 回以下になるようにし乱数を利用し発生している。図 6 にバイタルサインジェネレータの設定 GUI を示す。

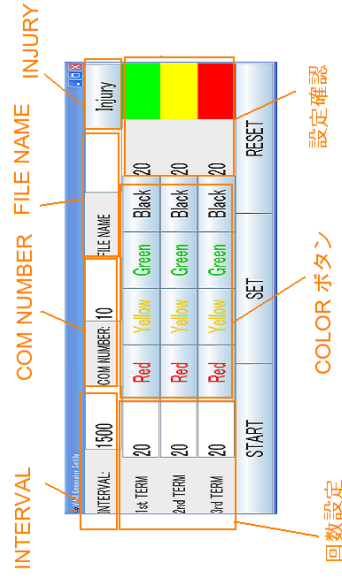


図 6 設定 GUI

まず INTERVAL テキストボックスにバイタルサインの入力間隔を設定する。1500 と入

力すると 1500ms 間隔でバイタルサインが発生する。FILE NAME テキストボックスに適当なファイル名を入力すると、発生したバイタルサインを記録したテキストファイルが作成される。COM NUMBER には接続するリモートセンサデバイスの COM 番号を入力する。さらにタグの色が変化する傷病者のバイタルサインを設定するために、各 3 段階に間隔を分け、その間隔で何色相当のバイタルサインを発生させるかを設定できるようにした。1st で COLOR ボタンで赤を押し、回数設定で 20 と入力するとバイタルサインジェネレータの起動と同時に赤相当のバイタルサインが 20 回発生し、提案システムに出力する。設定した回数と色は設定確認で確認できる。1st が終わると、2nd に移る。設定が終わったら SET ボタンで設定した値を確認する。START ボタンを押すとバイタルサインの出力を始める。

モバイル PC で動作するバイタルサインジェネレータで出力したバイタルサインは、USB 接続でリモートセンサデバイスに入力される。リモートセンサデバイス内のリアルタイムリニアージ機能によりトリアージが行われ、デバイスの LED が対応する色に点灯する。

5.2 設定環境

作成したバイタルサインジェネレータを用いて、提案システムの評価を行った。

- (1) 目的
治療優先度の妥当性についての評価
- (2) 想定環境
4 人の赤タグ傷病者が赤テントに存在する。途中で 2 名の治療が可能となる。
- (3) 実施事項
バイタルジェネレータで呼吸、脈拍ともに連続で 20 回生成する。本提案システムを用いて治療優先レベルを高、中、低に決定する。システムの動作途中でホスト PC から治療可能人数を 2 名と入力する。治療優先度の遷移と、誰が治療のために呼び出されたかについて記録する。

5.3 評価結果と考察

4 人の赤タグ傷病者であるので、バイタルサインジェネレータを 4 台用いて出力した。例 1 は傷病者 1 を、例 2 は傷病者 2 を、例 3 は傷病者 3 を、例 4 は傷病者 4 を表す。この 4 台をホスト PC を用いて相对比较させた。設定 GUI で UPDATE INTERVAL を 5 と設定した。したがって変化率はバイタルサインの 5 回の入力力で更新される。

図 7 に評価結果を示す。今回変化率に焦点を当てて評価結果を見るため 5 回の入力ごとに一区切りとし、その一区切りをそれぞれ区間と呼ぶ。

表 3 にリモートセンサデバイスがホスト PC から受信した治療優先レベルの結果を示す。

体の悪化などをリアルタイムで把握ができず、医療従事者が多数の赤タグ負傷者の搬送順を決められないことが問題となっていた。

本研究では無線センサネットワークを利用し、傷病者を従来の絶対基準によるトリアージ評価により分類し、生体情報と外傷の情報により傷病者同士を相対的に比較し、同色に分類された傷病者の中でどの程度治療を優先するかを自動的に割り出すシステムを提案した。

システム評価用に作成した人間のバイタルサイン発生装置バイタルサインジェネレータを用いて評価したところ、システムがリアルタイムに変化する傷病者の生体情報取得し、バイタルサインが急激に変化している傷病者を割り出すことが可能であるという結果が得られた。これにより現場の救急救命活動時において、治療に緊急を要する傷病者を見つけ、治療をする作業の迅速化が期待される。

7. 謝 辞

この研究の一部は、JST の戦略的創造研究推進事業 (CREST) の支援により行われた。また、本研究は順天堂大学医学部救急災害医学から協力を得て行われた。

参 考 文 献

- 1) 日本DMAT活動要領, 独立行政法人国立病院機構 災害医療センター DMAT(オンライン), 入手先:<http://www.dmat.jp/>(参照 2009-4-1).
- 2) 高知県災害医療救護計画・高知県災害救急医療活動マニュアル, 高知県健康福祉部医療業務課(オンライン), 入手先:<http://www.pref.kochi.lg.jp/>(参照 2009-4-1).
- 3) 災害概論とトリアージ, 高知医療センター 高知市消防局(オンライン), 入手先:<http://www2.khsc.or.jp/>(参照 2009-4-1).
- 4) J R福知山線列車事故における現地医療活動について, 兵庫県災害医療センター(オンライン), 入手先:<http://www.hemc.jp/>(参照 2009-4-1).
- 5) 園田 章人, 井上 創造, 岡 賢一郎, 藤崎 伸一郎: RFID を利用した救急トリアージシステムの実証実験, 情報処理学会論文誌, Vol.48, pp. 802-810(2007).
- 6) 災害時における医療施設の行動基準(第1版), 大阪府医師会 救急・災害医療部(オンライン), 入手先:<http://portal.osaka-bousai.net/>(参照 2009-4-1).
- 7) Tia Gao, Tammara Massey, Leo Selavo, Matt Welsh and Majid Sarrafzadeh, : Participatory User Centered Design Techniques for a Large Scale Ad-Hoc Health Information System. Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE, pp.43-48 (2007).
- 8) Susan P. McGrath, Eliot Grigg, Suzanne Wendelken, George Blike, Michael De Rosa, Aaron Fiske and Robert Gray: ARTEMIS: A Vision for Remote Triage and Emergency Management Information Integration. IEEE Transaction on Biomedical Engineering (2003).

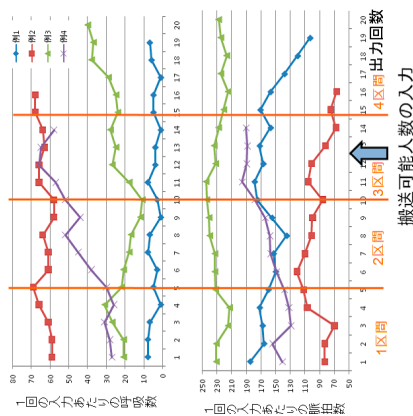


図 7 評価結果

表 3 治療優先レベルの評価結果

	例 1	例 2	例 3	例 4
1 区間	高	低	高	中
2 区間	高	高	低	中
3 区間	高	中	低	高
4 区間	呼	高	低	呼

高はレベル高, 中はレベル中, 低はレベル低, 呼ぶは治療呼び出しを示す。まず 1 区間を見ても、傷病者 1 と 3 が高となっている。これは 1 区間では変化率がまだホスト PC で計算されていないため、4 台すべての変化率が 0 となっており、アルゴリズムから脈拍の外れ値を見て治療優先度レベルを算出しているからである。2 区間になると変化率は更新されるので、変化率が一番大きかった傷病者 1 と 2 が高と判断される。4 区間では治療可能人数が 2 名と入力されたので呼び出しがかかる。3 区間の結果を引き継ぎ、レベル高だった傷病者 1 と 4 が治療呼び出しがかかる。この結果により、変化の激しい傷病者を察知し、治療呼び出しが行えたことがわかった。

6. おわりに

従来のトリアージに基づく医療活動では電子化が行われていないため、傷病者の急激な容