

無線ネットワーク技術を用いた 災害時救命救急支援

内山 彰 (大阪大学大学院情報科学研究科)

■ トリアージ命を選別する ■

2005年4月25日、JR 発足以来最悪の惨事が起きた。JR 福知山線脱線事故である。事故発生後、各所から消防隊員や救急隊、看護師、医師らが続々と駆けつけた。こういった状況下では手当たり次第に負傷者を運んではならない。多数の負傷者がいる中では、まず救命の優先順位を決めてから処置にあたるのが最終的に多くの命を救うことになるからである。歩けるか？意識はあるか？脈拍は？呼吸は？30秒以内に目の前の負傷者が最優先で治療が必要かどうか—あるいは現状では救命不可能か—を判断しなければならない。これがトリアージである。

トリアージは1995年に発生した阪神淡路大震災の教訓から総務省消防庁で制定され、JR 福知山線事故の際に制定後初めて大規模に適用された。その後も2007年の中部沖地震や2008年の秋葉原無差別殺傷事件などで適用されている。トリアージではSTART (Simple Triage And Rapid Treatment) 法と呼ばれる判定基準に基づき、負傷者を重症度の低いカテゴリから順に緑、黄、赤、黒の4段階に分類する(表-1)。カテゴリ判定が行われた負傷者の手首には紙製のトリアージタグ(図-1)が付けられる。通常、トリアージは1次トリアージと2次トリアージの2段階で実施される。JR 福知山線事故の現場見取り図を図-2に示す。傷病者は事故・災害現場から運び出され、トリアージポストと呼ばれる場所でSTART法による判定を受けた後、対応するカテゴリのタグを装着される(1次トリアージ)。緑以外の判定を受けた者は、担架などでカテゴリごとに分類された2次トリアージテントに運ばれる(緑タグの者は自力で歩いて該当のテントに向かう)。その後、救命の優先度が最も高い赤タグの傷病者から優先的に病院や救急センターに搬出される。

分類	重症度
黒(O)	死亡もしくは現状の医療資源では救命困難
赤(I)	生命にかかわる重篤状態で緊急の処置が必要
黄(II)	重篤な状態ではないが早期の処置が必要
緑(III)	救急での搬送は不要

表-1 重症度と色(カテゴリ)の対応



図-1 トリアージタグ

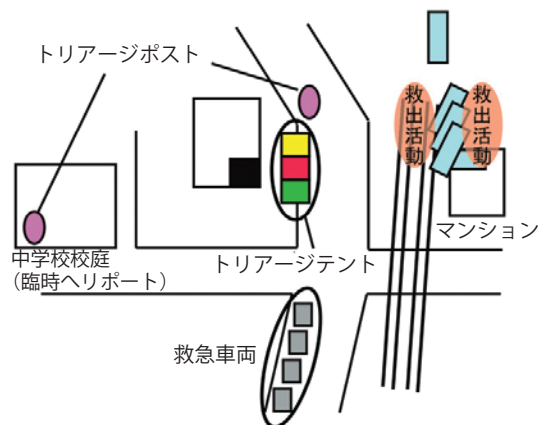


図-2 JR 福知山線脱線事故現場での医療展開

このとき、同じ色の判定を受けた傷病者内での搬送優先度を決定するため、より詳細な優先度決定(2次トリアージ)を実施する。

■ 現行トリアージの課題

トリアージは効率の良い救助を目的とした手法だが、事故現場およびその後の実施評価から、現行方式に対する問題点が指摘されている¹⁾。

- (1) 傷病者の病状変化に対応しきれない：出血や骨折であれば外見の症状からある程度重症度の判断が可能だが、強い打撲や圧迫を受けた場合は時間の経過とともに外傷性ショック^{☆1}やクラッシュ症候群^{☆2}に移行

☆1 外傷による損傷の範囲が広く、急激な血圧の低下や大量の出血または内出血でショック状態を引き起こすこと。

☆2 長時間の筋肉圧迫により筋肉細胞が壊死し、解放された後に壊死した筋細胞から大量のカリウムが流失して高カリウム血症になり、心停止などを起こすこと。

する可能性がある。そのため、トリアージ当初は黄や緑の判定を受けた傷病者の容態が突然悪化する場合がある。

- (2) 同カテゴリ内での搬送順の決定が困難である：トリアージでは傷病者の優先度を4段階にしか分類しないため、2次トリアージにおいて同カテゴリに分類された多数の傷病者の搬送順を医療従事者が瞬時に決定できない。
- (3) 傷病者・医療従事者の居場所が把握できない：通常、トリアージではカテゴリ別の仮設救護所が設置され、トリアージを受けた傷病者は各カテゴリの救護所へ搬送される。しかし傷病者が多数発生する場合は、救護所に収容しきれなかったり、搬送者数が不足したりすることもあり、トリアージを受けた傷病者が必ずしも適切な救護所に存在するとは限らない。そのような状況では傷病者の適切な位置管理が不可欠となる。また、医療従事者についても混乱する現場では現在位置を把握することが困難である。
- (4) 日本では医療従事者間の情報伝達が難しい：日本の災害医療組織は複数の独立組織からなるため、トップダウン式の組織構成をとることができない。災害時の情報共有の難しさは多くの報告で強く主張されており、災害時の救命救急において克服すべき重要な課題である。
- (5) 医療従事者の心理的負担が大きい：カテゴリ判定を行うトリアージ実施者には、肉体的疲労に加え相当な精神的疲労がのしかかる。業務後のストレス解放、精神科医の診察は不可欠であるとの意見が多く聞かれる。
- (6) トリアージタグが紙製であることに起因する問題：紙製のトリアージタグは、雨や血液、泥などで濡れたり濡れたりすると記入や記載事項の読み取りが難しくなる。また、トリアージが一般にも広く知られるようになると傷病者が早く治療を受けるために自分でカテゴリを変えてしまうことも考えられるため、医療従事者のみがカテゴリの変更を行えるタグが望まれる。
- (7) トリアージの記録不足：被災者情報の管理のため、トリアージタグは転写式の3枚綴りになっており、それぞれが災害現場、医療機関などで回収される。しかし慌ただしい現場ではタグ回収が非常に困難である。

■ 無線ネットワーク技術を用いたトリアージ支援

● 現行トリアージの課題解決

前述のような現行のトリアージにおける課題は、その多くが無線ネットワーク技術を利用したトリアージを支援する取り組みにより解決できる。さまざまなトリアー

ジ支援システムが提案されているが、共通の特徴として傷病者の生体情報を自動計測するセンサを用いて容態を自動監視することが挙げられる。計測した生体情報は携帯電話網やIEEE802.15.4などの無線ネットワークによってサーバへ集約する。また、GPSや無線ネットワークを利用した位置推定機能により各端末の位置を特定する機能を持つシステムも存在する。

このようなシステムにより傷病者の生体情報を自動的に集約し、一元管理してリアルタイムに監視することで、傷病者の容態変化をアラームなどで医療従事者に知らせることができる。同時に傷病者の生体情報という客観的データを示すことで同カテゴリ内での搬送順決定の支援や、医療従事者の心理的負担の軽減ができる。さらに何らかの外部的要因によりカテゴリが変更されてしまう問題もなくなる。集約したデータはすべてサーバに蓄積されるため、トリアージの記録が確実に残るというメリットもある。また、GPSや位置推定機能を搭載すれば、傷病者や医療従事者の居場所を容易に把握できるようになる。加えてこれらすべての傷病者と医療従事者の位置や生体情報がサーバで一元管理され、随時参照できるため、医療従事者間の情報共有支援が可能である。

● 米国での取り組みと日本での課題

特に米国では、大事故や災害時だけでなくテロ対策や戦場での利用が考えられるため、NASAやFEMA、NLMなどのプロジェクトで、アドホックネットワークを用いたトリアージのIT化や高度化に関する研究が盛んに行われている。たとえばAID-N (Advanced Health and Disaster Aid Network) プロジェクト²⁾はその1つであり、生体情報の収集機能やGPSを搭載した電子トリアージシステムを開発している。

米国では平地などの比較的スペースがある領域での運用を主に想定しているが、それと比較して土地が極端に少ない日本では地下街やビルなどの建築物が林立している環境が多く存在する。したがって位置推定機能をGPSだけに依存することは避けるべきである。地下街ではGPSの電波が届かないため、位置を特定することができない。また、ビルの陰や屋内などにおいてもGPSの電波が届きにくくなり数十m以上の誤差が生じる可能性がある。Assisted GPSなど、基地局を併用することでGPSの電波が微弱な場合でも高精度に位置推定可能な手法も利用されているが、災害時を想定している以上、できるだけ準備の手間が少なくかつインフラレスでも動作することが望ましい。



図-3 電子タグ(Light：指先装着型)

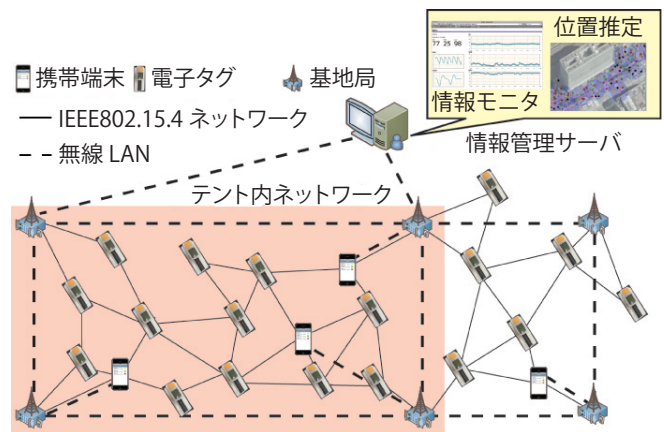


図-5 電子トリアージシステムの全体像



図-4 電子タグ(Full：腕部装着型)

患者1	患者2	患者3
更新時間 2009-08-28 11:02:06	更新時間 2009-08-28 11:02:06	更新時間 2009-08-28 11:02:06
脈拍 呼吸数 SpO2	脈拍 呼吸数 SpO2	脈拍 呼吸数 SpO2
109 100 91	68 16 95	72 16 97
患者4	患者5	患者6
更新時間 2009-08-28 11:02:06	更新時間 2009-08-28 11:02:06	更新時間 2009-08-28 11:02:06
脈拍 呼吸数 SpO2	脈拍 呼吸数 SpO2	脈拍 呼吸数 SpO2
72 16 97	72 16 97	109 100 91
患者7	患者8	患者9
更新時間 2009-08-28 11:02:06	更新時間 2009-08-28 11:02:06	更新時間 2009-08-28 11:02:06
脈拍 呼吸数 SpO2	脈拍 呼吸数 SpO2	脈拍 呼吸数 SpO2
67 15 97	113 100 92	72 15 96

図-6 生体情報の一覧表示画面

■ 日本的電子トリアージシステムの実現

日本的な電子トリアージシステムでは、さまざまな環境における位置推定機能、および生体情報や位置情報の一元管理が重要となる。このため、筆者の所属する研究グループでは電子タグ(図-3、図-4)を用いたトリアージ支援システムを設計・開発している^{☆3}。図-5に本システムの全体像を示す。

現場にはいくつかの基地局が配置される。基地局にはIEEE802.15.4のベースステーション機能とGPSを搭載し、メッシュネットワークの構築や位置推定時の基準に利用する。さらに基地局には無線LANのアクセスポイント機能を持たせることで、他の基地局とのIEEE802.11メッシュネットワークを構築可能とし、データ送信経路に

冗長性を持たせて信頼性の向上を図っている。基地局にはバッテリーが搭載されているノートパソコンなどを利用する。

傷病者の生体情報や位置を把握するための端末である電子トリアージタグは、生体情報を取得する生体センサ、IEEE802.15.4ネットワークノード、人体通信送受信機の3つの機器を組み合わせたセンサノードである。IEEE802.15.4ネットワークノードとしてはSun SPOTを利用しており、Javaによるプログラム実装が可能である。指先に装着可能な型(Light(図-3))と腕部に装着可能な型(Full(図-4))の2種類があり、いずれも装着した傷病者に負担がかからないサイズを目標として開発した。Lightでは血中酸素濃度(SpO2)ならびに脈拍数が測定可能であり、Fullではチューブを装着することでLightの機能に加えて呼吸数を測定できる。これらの自動測定されたデータはIEEE802.15.4により近隣の端末や基地局と形成されるメッシュネットワークを介してサーバへ送信される。送られたデータはサーバのデータベースに登録され、ブラウザなどを用いてWeb経由でアクセスすることで任意の情報を表示できる。図-6は生体情報の一

^{☆3} 本研究は科学技術振興機構(JST)における戦略的創造研究推進事業(CREST)の支援を受けている。

覧表示画面である。傷病者の容態が急変すると自動的に該当する傷病者の生体情報が最上部に移動し、赤色でハイライト表示されるとともにアラームなどで通知されるため発見が容易になる。

また、医療従事者間の情報共有を容易にするため、電子タグにより測定した傷病者情報や現場の地図、各端末の位置情報などを現場で救命活動にあたる医療従事者が容易に確認できるようにする必要がある。そこで、タッチスクリーンを搭載した iPod touch 用のアプリケーションを開発している (図-7)。このアプリケーションでは IEEE802.11 ネットワークを介して傷病者の生体情報一覧や過去の生体情報のグラフ、現場の地図や対策本部からの指示など、任意の情報をサーバとやりとりすることができる。また、傷病者の取り違えを防ぐため、人体通信機能により触れた傷病者の電子タグ ID を取得し、その情報を画面上に表示する。

位置推定には IEEE802.15.4 ネットワークにおける隣接端末との接続情報を利用した手法を用いる。各電子タグの隣接端末情報をサーバに収集し、それらの情報をもとにサーバで各端末の位置を推定する。したがって、どのような環境でもいくつかの基地局を分散配置すれば位置推定を開始することができる。また、医療従事者にも IEEE802.15.4 を搭載した小型デバイスを持たせておくことで位置推定が可能である。

■ 今後の展望

本電子トリアージシステムによる第2回目の実証実験が 2009 年 9 月 6 日に順天堂大学医学部附属浦安病院で行われた。この実験を通して医療関係者からは多くの意見が寄せられ、開発者側でも多くの課題を発見できた。得られた知見をもとに改良を行い、2009 年 11 月現在、病院の救急外来の待合室での試験運用が開始されている。今後医療関係者からの意見をもとにさらに改良を重ね、実用化に向けて開発を進めていく予定である。本システ



図-7 医療従事者用の携帯端末 (iPod touch)

ムの関連情報や最新情報については Web ページ³⁾を参照されたい。

参考文献

- 1) 丸川征四郎：経験から学ぶ大規模災害医療—対応・活動・処置、永井書店 (2007)。
- 2) Gao, T., et al. : Wireless Medical Sensor Networks in Emergency Response : Implementation and Pilot Results, Proceedings of IEEE Conference on Technologies for Homeland Security, pp.187-192 (2008)。
- 3) 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, <http://etriage.jp/>

(平成 21 年 11 月 2 日受付)

内山 彰 (正会員)

utiyama@ist.osaka-u.ac.jp

2008 年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報科学)。日本学術振興会特別研究員、イリノイ大学客員研究員を経て、2009 年より大阪大学大学院情報科学研究科特任助教。