

災害時における救急車の搬送モデルについて

M2008MM008 波多野達

指導教員：伏見正則

1 はじめに

阪神・淡路大震災では6,434人の尊い命が奪われた。また、その後、福岡県西方沖地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震などの大地震が頻発しており、大地震はいつでもどこで発生してもおかしくない状況にあるとの認識が広がっている。

特に、東海地方では、近い将来に東海・東南海地震などの大地震が起きると言われている。また、近年の地層の検査により猿投断層をはじめ大地震を起こす断層が見つかっている。

今後起こりうる大地震に備え、被害を最小限にするためにさまざまな対策がとられている。しかし、大地震に対する対策はまだ不十分であり、現在の状況下では、人的被害が拡大することが十分に考えられる。特に負傷者に対しては、大地震に発生時には広域かつ同時多発的に発生するのでいかに早くトリアージをして治療が必要な負傷者を病院へ搬送して治療を行うか重要であると考えられる。

2 トリアージ

2.1 トリアージとは

現有する有限な医療資源（人的、物的）を最大限に活用しても、すべての患者に対して最善の医療が施せない状況下において、最大多数に最良の結果をもたらすための作業を行う最初のプロセスである。

地震などの災害時・非常時には、短時間に多数の方々がケガや病気になり、医療機関での診療・治療を必要とするようになります。医療機関の機能（医療スタッフや器材、医薬品など）にも限りがあり、災害時の制約された条件下で1人でも多くの傷病者に対して最善の治療を行うためには、病気やケガの緊急度や重症度によって治療や後方搬送の優先順位を決めることが必要になります。トリアージとは「病気やケガの緊急度や重症度」を判定して「治療や後方搬送の優先順位を決める」ことである。また、災害時のトリアージは3種類あり、1次トリアージ、2次トリアージ搬送トリアージがある。

2.1.1 1次トリアージ

1次トリアージは最初のトリアージであり、負傷者が発見された場所で実施されることが多いが、搬出人員があり、かつ狭い場所に多数の負傷者がいて、導線が確保できない場合や火災など負傷者を一刻も早く現場から脱出させたほうが良い場合は、まず安全な場所に搬出してから1次トリアージを行う。また、1次トリアージを行う際に、治療や応急処置を行わないが、気道確保と外出血に対する圧迫止血は許容されている。

2.1.2 2次トリアージ

2次トリアージポストは、現場救護所で行われる事が多い。1次トリアージを受けた負傷者を再トリアージし、重症度の順位付け、応急処置、医療機関への搬送順位決定をする。それに加え、ここで同じカテゴリーの中でも優先順位をつけ、「限られた資器材と搬送手順の範囲で、どの負傷者に資器材を投入し、同じカテゴリーの中でもどの負傷者から優先的に搬送・治療をするかを決定する」ことが必要となる。また、負傷者が搬送に耐え得る状態にあるか、搬送すれば状態が回復するかどうかを判断する。

時間経過とともにカテゴリーが変化することがあるので、2次トリアージ結果は繰り返し確認も必要である。

2.1.3 搬送トリアージ

搬送トリアージは、2次トリアージの情報と搬送可能医療機関情報をリアルタイムに入手し、搬送順位を決めていく。特定の医療機関に負傷者を集中させることなく受け入れ可能な医療機関を最大限活用するために必須のトリアージである。

原則、重症のカテゴリーから搬送するが、同じカテゴリーのうちどの順番でどの医療機関に搬送するかを決定するが、搬送直前に負傷者の状態が悪化することもあり、2次トリアージの並び替えにより搬送順位を変更せざるを得ない場合がある。

2.2 トリアージタグとは

トリアージタグとは、トリアージの際に用いる識別票のことである。災害現場で救助された負傷者は、トリアージ実施責任者によりトリアージ区分される。そして、その区分に基づき医療機関に運ばれ必要な処置、治療を受けることになる。タグに記載された内容は、適切な治療を受けるための重要な情報であり、被災地内の医療機関においては簡易カルテとして利用することも可能である。又、受入れ患者の総数や傷病程度別患者数をよりの確に把握することができる。

2.3 トリアージの区分

優先順位	色	重症度	身体状況
1	赤	重症	危機的状態で直ちに処置が必要
2	黄	中等症	数時間処置を遅らせても生命に影響なし
3	緑	軽症	軽度外傷、歩行可能
4	黒	死亡	生命兆候がない

3 東海・東南海地震

3.1 東海地震

東海地震はマグニチュード8クラスの巨大地震であり、静岡県・愛知県・岐阜県・三重県などで最大震度6強以上となることが予想され、揺れによる被害は比較的広範囲に及ぶと考えられている。また、揺れによる建物の倒壊や液状化現象、堤防の損傷や液状化による低地への影響など、多大に被害が想定されている。これに加え、東南海地震や南海地震などが発生すれば、日本の広範囲に拡大し、被害は阪神・淡路大震災を大きく上回ると予想されている。

3.2 東海地震による被害予測

東海地震の被害予測について、中央防災会議の結果は以下の通りになっている。

(建物被害)

項目	木造	非木造
揺れによる被害	約 140,000 棟	約 30,000 棟
液状化による被害	約 22,000 棟	約 3,600 棟
津波による被害	約 6,800 棟	
急傾斜地崩壊による被害	約 7,700 棟	
火災による被害	約 7,400 棟～約 19,000 棟	
合計	約 220,000 棟～約 230,000 棟	

(人的被害)

項目	人数
死者	約 7,900 人～約 9,200 人
死者(水門閉鎖不能の場合)	約 8,300 人～約 10,000 人
重傷者	約 15,000 人
要救助者	約 42,000 人

4 分析地域

4.1 対象地域について

本研究では一宮市全域を分析対象地域にし、災害時における救急車の搬送の分析を行う。一宮市は、平成17年4月1日に一宮市・尾西市・木曽川町が合併した。平成21年4月1日においては、人口約38万人、世帯数約14万世帯となり、国勢調査推計人口で愛知県内4位となっている。また、人口密度は：3,378人/km²である。

人口の割合としては14歳以下と65歳以上の人口の割合が全国平均が約33%に対し、一宮市は約35%とわずかながら高くなっている。

医療関係においては、災害拠点病院が3箇所(図1参照)あり、救急車が14台、救命救急士が64人である。

避難場所は、広域避難場所、一時避難場所など計181箇所とする。(図2参照)

4.2 対象地域の被害予測

本研究において、最悪な場合を想定しているので東海・東南海地震の被害想定を用いる。

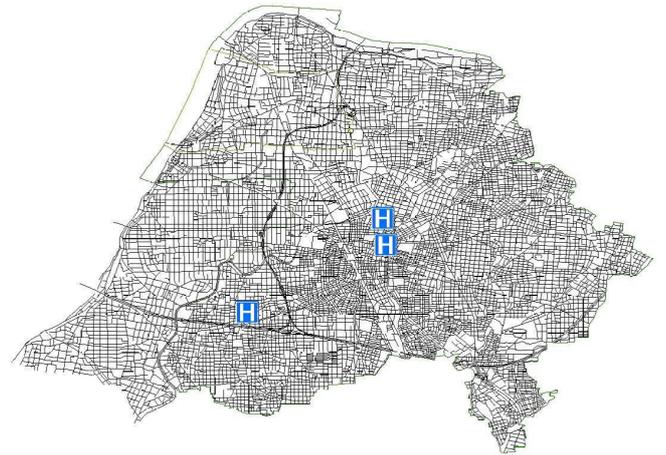


図1 災害拠点病院一覧

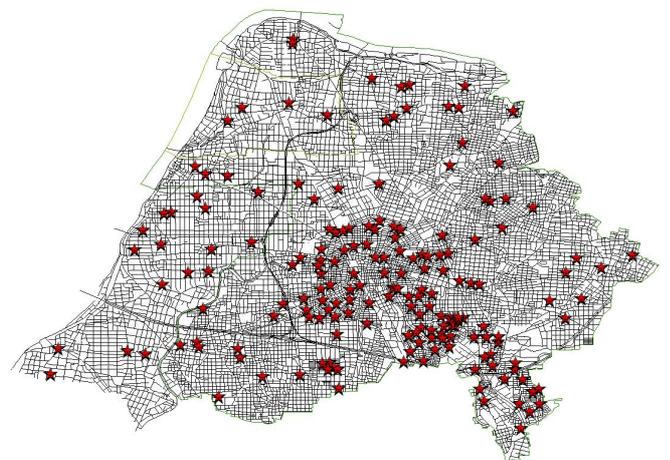


図2 避難場所一覧

- 大半が震度5強であり、西部は震度6弱及び一部では6強の揺れになる(図3参照)
- 死傷者は、死者は約130人、負傷者は約4,120人
- 全壊棟数は約7,660棟、半壊棟数は約18,800棟
- 火災焼失棟数は約6,480

5 データ作成

本研究本研究では、詳細な搬送ルートを求めるための道路ネットワークを作成する。これを用いることに直線距離ではなく実道路距離による移動距離となり現実的な搬送ルートを求めることができる。道路ネットワークを作成するにあたって一宮市の数値地図25000(空間データ基盤)の道路データを使用する道路データは以下の属性を持っている。

- 名称
- 種別(一般道, 高速道路, 石段, 庭園路など)
- 国道番号
- 幅員

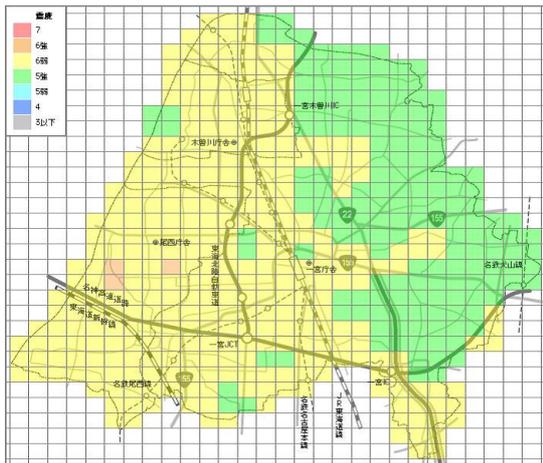


図 3 東海・東南海地震連動時の震度分布

道路データから必要な情報のみを抽出するその際に抽出したデータは以下のとおりである

- ノード番号
- 経度 (世界測地系, 進法秒単位)
- 緯度 (世界測地系, 進法秒単位)
- 接続しているノードの数
- 接続先のノード番号
- 接続先との道路間の幅員

また、一宮市の災害拠点病院と避難場所の経度と緯度については [6] の Geocoding - 住所から緯度経度を検索のホームページを使い調べ、距離の計算の仕方は以下の方法で行う。

ある 2 点の経緯度を、 (λ_1, ϕ_1) および (λ_2, ϕ_2) とし、日本付近での地球の半径を $R = 6370(\text{km})$ とすると

$$L = R\delta$$

となる。ただし δ は地球の中心より見た 2 点間の角度で

$$\delta = \cos^{-1}(\sin\phi_1 * \sin\phi_2 + \cos\phi_1 * \cos\phi_2 * \cos(\lambda_1 - \lambda_2))$$

とする。

6 シミュレーション

6.1 シミュレーションの条件

- 道路ネットワークは切断されないものとする。
- 負傷者人数は、一宮市のハザードマップより約 4000 人とする。
- 負傷者の生存時間が完全に把握できているものとする。
- 病院の受け入れ人数を考慮しない。
- 救急車はピストン輸送になると思われるので、出発地点を病院とする。
- シミュレーションの時間は救援部隊が到着するまでの発生から約 4 時間とする

- 救急車 1 台につき、負傷者 1 人を搬送する。
- 道路ネットワークについて、一方通行などの、道路規制を受けないものとする。
- ダイクストラ法を用いて最短経路で搬送する。

6.2 シミュレーションの流れ

STEP0

4 時間分の負傷者の発生時刻と生存時間を乱数で与える。

STEP1

負傷者が発生 (発見) した時刻を検索し、トリアージの区分に分ける。

STEP 2

区分が赤の人を搬送リストに登録する。

STEP3

搬送リストを生存時間の短い人順にソートする。

STEP4

救急車が空いているか調べる。空いていない場合は、空くまで時間を進める。

STEP5

負傷者の生存時間が、負傷者がいる場所から病院までの所要時間の 2 倍より大きい場合に出動する。小さい場合は出動しない。そして、次の負傷者を見る。

小さい場合は出動しない。そして、次の負傷者を見る。

STEP6

次の時間に移るとき、発見された負傷者の生存時間を減らす。また、中等症の負傷者を重症に移るかどうかを判別する。ここで、STEP1 を 1 次トリアージとし、STEP 2, 3 を 2 次トリアージ、STEP5 を搬送トリアージとする。

トリアージありの場合の概要を図 4 に示す。

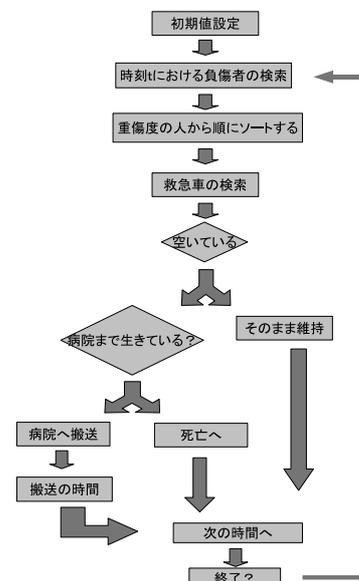


図 4 トリアージありの場合のシミュレーションの概要

6.3 初期値の設定について

本研究において、3 種類の初期値で行った。ケース 1

負傷者の発見時間を 0 分から 240 分の間で一様乱数でばら撒き、軽症、中等症、重症の重症度確率を等確率の $\frac{1}{3}$ にした場合
(負傷者のデータは、重症:1,335 人、中等症:1,338 人、軽症:1,327 人の合計 4000 人)

ケース 2

負傷者の発見時間はケース 1 と同様に、0 分から 240 分の間で一様乱数でばら撒き、軽症、中等症、重症の重症度確率を $\frac{1}{2}, \frac{3}{10}, \frac{2}{10}$ にした場合
(負傷者のデータは、重症:811 人、中等症:1,181 人、軽症:2,008 人の合計 4000 人)

ケース 3

負傷者の発見時間は、0 分から 240 分の間でガンマ分布に従う乱数でばら撒き、重症度はケース 2 と同様に軽症、中等症、重症の重症度確率を $\frac{1}{2}, \frac{3}{10}, \frac{2}{10}$ にした場合
(負傷者のデータは、重症:811 人、中等症:1,181 人、軽症:2,008 人の合計 4000 人)

7 シミュレーションの結果

ケース 1

項目	14 台	15 台	16 台	17 台
搬送されてない人	919	916	920	926
搬送待ちで死亡	327	326	309	308
搬送が間に合わない	1072	1057	1033	1020
搬送された人	345	363	383	390
平均人数	24.6	24.2	23.9	22.9

ケース 2

項目	14 台	15 台	16 台	17 台
搬送されてない人	679	669	657	666
搬送待ちで死亡	269	271	276	254
搬送が間に合わない	678	680	667	640
搬送された人	314	322	365	365
平均人数	22.4	21.5	22.8	21.5

ケース 3

項目	14 台	15 台	16 台	17 台
搬送されてない人	380	385	376	379
搬送待ちで死亡	630	634	611	598
搬送が間に合わない	1238	1251	1186	1171
搬送された人	355	373	411	423
平均人数	25.4	24.9	25.7	24.9

すべての場合において救急車を増やした場合一定の効果は得られたが、搬送待ちでの死亡や搬送が間に合わずに見捨てられる人が増えるなど、すべての面において改善の効果は得られなかった。また、ケース 3 においては急激に救急車の搬送依頼が出てくるので、搬送が間に合わない負傷者や搬送待ちで死亡する人が増えたと考えられる。また、トリアージの効果を確認するためケース 1 の救急車 14 台の場合におけるトリアージがある場合とトリアージがない場

合比較をする。

項目	あり	なし
搬送されてない人	919	927
搬送待ちで死亡	327	354
搬送が間に合わない	1072	1154
搬送された人	345	309
平均人数	24.6	22.0

このシミュレーションにおいて、トリアージなしの場合搬送されていない人が多い理由として中等症、重症の負傷者すべてが救急車の搬送を要請しているからである。しかし、救急車 1 台の平均搬送人数がトリアージありの場合がない場合よりも多く、かつ 36 人多いことからトリアージが有効だと言える。

8 おわりに

今回のシミュレーションでは、トリアージの効果がしつかりと確認できなかったが、トリアージを導入することによって病院から離れて住んでいる人に対し、搬送が間に合わないという傾向が出てきた。公共の医療という点からみると、病院から近い人は助かり、離れている人は助からないという不公平問題が分かり、何らかの対策をしなければならない。

今後の課題としてドクターヘリを入れた場合についてのモデルや、病院の受け入れ人数を考慮したモデルなどを考えて、災害時における救急車の搬送についての問題点をあげていきたいと思う。また、本研究では 1 つのデータしか用いていないので、負傷者の発生場所や時間を変え、何回もシミュレーションをやっていく必要があると思う。計算時においては、何度も発見地から病院や避難所までの計算しているため実行時間が約 6 時間かかってしまったので、CSV ファイルなどで距離行列を持って計算すれば、計算時間を短縮できると思う。

9 参考文献

参考文献

- [1] 稲川 敬介：救急車の適正配備における台数と場所の効果について．オペレーションズ・リサーチ，第 5 4 巻，pp.38-48，2009.
- [2] 中原 郷史，小澤 朋美，武田 好史：瀬戸市における資源ごみ回収ルートの最適化．南山大学卒業論文，2007.
- [3] 有澤 誠，斎藤 鉄也：『モデルシミュレーション技法』，第 1 版．共立出版社，東京，1997.
- [4] 中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」
www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tokai/index.html
- [5] 一宮市公式ホームページ
<http://www.city.ichinomiya.aichi.jp/>
- [6] Geocoding - 住所から緯度経度を検索
www.geocoding.jp/