

大規模災害時における傷病者搬送計画に関する基礎的考察 Transport Planning of Those Who Injured at Large Scale Disaster

小池則満* 秀島栄三** 山本幸司**

by Norimitsu Koike, Eizo Hideshima, Koshi Yamamoto

1. はじめに

我が国における大規模災害の常として、傷病者が被災地近辺の医療機関に殺到し、しばしば医療活動の混乱を招いている。また、管制されている消防機関による搬送活動においても管内の特定の医療機関へ集中的に搬送した例が見受けられ、傷病者の適正な分散収容が行われるような搬送態勢の構築を行なう必要がある¹⁾。一方、Moriokaらは阪神・淡路大震災を事例とした医療機関リスクの評価樹形図の中で「傷病者の後方医療機関への搬送の困難性」をリスク事象のひとつに挙げ、その要因として「交通渋滞」「後方医療機関に関する情報不足」「ヘリコプターによる広範囲な搬送の遅れ」の3点を指摘している²⁾。また、航空機事故における医療活動に関しても、後方医療機関への動線の不安を訴える声がある³⁾。したがって、大規模災害発生時において医療機関への適正な分散収容を図るには後方医療機関への動線確保が重要な課題であり、今後の地域防災計画では隣接地域への傷病者搬送を想定したアクセスルートの設定と整備が不可欠といえる。

ところで、こうした医療活動の評価に関わる研究を土木計画分野で行なう場合においても、傷病者の予後の改善がどのくらい図られるかを説明する指標を設定すべきではあるが、医療活動の結果にはさまざまな要因が複雑に絡むことから、簡単に表現できる性質のものではない。そこで本研究では、リスク・アセスメントの考え方をういて「搬送活動において傷病者が負担を被る可能性のあるもの」をリスクと定義し、これを評価指標とすることを試みる。

2. 搬送活動に関する考察

(1) 災害時の搬送活動

災害時の搬送活動について概観すると図-1のようになる。まず、傷病者は自力もしくはマイカー、救急車等によって現場救護所もしくは被災地域内の医療機関に搬送される。航空機事故のように被災範囲が狭い場合は、担架による搬送も有り得る。ここで、傷病者は応急手当とともにトリアージと呼ばれる選別を受ける。特に傷病度が高く、もしくは医療機関の被災により現場での処置が難しいと判断された傷病者は後方医療機関に搬送される。本研究ではこの2段階の搬送を区別するため、被災地内での移動・搬送を1次搬送、後方医療機関への搬送を2次搬送と呼ぶことにする。

1次搬送は自家用車などによる搬送が多く、そのコントロールは難しいと考えられるが、2次搬送先において傷病者の集中が起きないようにコントロールすることは可能と考えられる。また、一般に2次搬送は1次搬送と比較して長距離搬送となるため、搬送活動の効率化が非常に重要となる。そこで、本研究では2次搬送の方法について議論を進める。

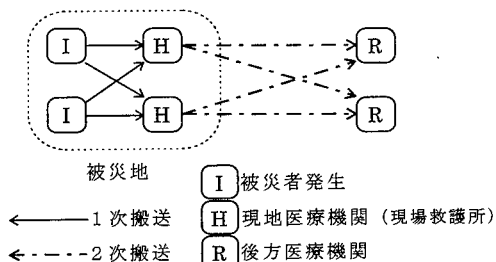


図-1 災害時における搬送フロー

(2) 搬送活動の要点

以上のような災害時における傷病者の搬送活動を考えるにあたり、以下の施策が必要であると考えられる。

キーワード：防災計画、計画情報、傷病者搬送

* 正員 工修 名古屋工業大学 社会開発工学科

**正員 工博 名古屋工業大学 社会開発工学科

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町

Tel 052-735-5496. Fax 052-735-5496

①集中搬送の回避

予想される被害から傷病者数を推定し、医療機関の受入能力を設定することによって、各医療機関に搬送される傷病者数を予測できる。これにより、後方医療機関の選定などの収容計画を立て、傷病者が特定の医療機関に集中しないようにすることが必要である。

②搬送計画の策定

収容計画に沿った搬送計画を策定し、アクセスや搬送手段の確保を検討する必要がある。

3. 医療活動に関する考察

(1) 医療ポテンシャルの定義

災害時においては、医療機関は入院患者の一時的な退院によるベッド数の確保、非番職員の招集等で、その医療機関の最大限可能な対応態勢を整えて傷病者の到着を待つ。しかし、医療機関自身が直接的、間接的被害を受ければ受入可能数は減少する。医療活動とは、人員、医薬品、ライフラインの状況、施設などの条件がそろってはじめて機能するシステムであり、受入可能数は医療システムの総合的能力によって決定される数値といえる。本研究では、この同時に受け入れることの出来る傷病者数を医療ポテンシャルと呼び、そのような値が設定し得るものと仮定する。救命救急センター程度の施設の場合、軽傷者であれば数十名の同時対応も可能だが、重傷者では3名程度でも大変であるといわれている⁶⁾。

(2) 医療混乱リスクの定義

搬入された傷病者はその処置が終了するまでの時間、医療ポテンシャルを占有する。その傷病者に対する処置が終了すれば、医療ポテンシャルは開放され次の傷病者へ投入される。いうまでもなく、一人の傷病者が占有する医療ポテンシャル量と占有時間は、傷病度によって異なる。ここで、時刻 t において医療機関が持つ医療ポテンシャルから治療中の傷病者に投入されているポテンシャル（以下、治療ポテンシャル）を差し引いたものを受入余力と呼ぶことにし、下記に示すような式で定式化する。

$$Y_t = F_t - N_t \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 Y_t ：時刻 t における受入余力、 N_t ：時刻 t における治療ポテンシャル、 F_t ：時刻 t における医療ポテンシャル

図-2は、医療機関の医療ポテンシャル F_t と治療ポテンシャル N_t 、そして受入余力 Y_t の推移を示したものである。この場合、対応開始から60分後までは F_t ；5名、 N_t ；4名、 Y_t ；1名で推移している。職員非常召集などで60分後には F_t ；7名、 Y_t ；3名に増えたが、その後4名の傷病者が搬入され、 Y_t ；-1名に低下している。ここで対応能力以上の傷病者を受け入れた状態が生じており、傷病者1名は十分な治療を受けられない危険（リスク）を負わされたことになる。本研究では災害医療活動の終了時間までに生じるマイナスの受入余力 Y_t を医療混乱リスクと呼ぶことにする。

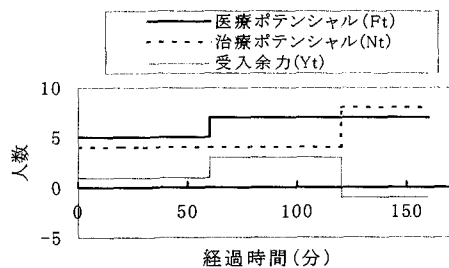


図-2 医療活動の一例

これを定式化すれば、次のようになる。

$$m = \sum_k \int_{t_k'}^{t_k''} Y_t dt \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 m ：医療混乱リスク、 Y_t ：時間 t におけるマイナスの受入余力、 k ：マイナス受入余力が生じる回数、 t_k' 、 t_k'' ： k 回目に生じている受入余力の発生時間

この医療混乱リスクを低減する方法としては、医療ポテンシャル F_t を高くする、広範囲の医療機関に搬送し傷病者を分散させる、情報管理によって適切な医療機関を選択・搬送する、といった方法が考えられる。また、どの程度までのリスクならば社会的に容認されるのかについて議論する必要がある。

(3) 総医療混乱リスクの定義

医療混乱リスクはある時刻 t における医療機関の対応能力と処置中の傷病者数により決まる。すべての搬送先医療機関が負う総医療混乱リスク M_r は

次式で計算できる。

$$Mr = \sum_j m_j \quad \dots\dots (3)$$

ここに、Mr；総医療混乱リスク、 m_j ：医療機関 j の医療混乱リスク、 j ；医療機関番号

医療混乱リスク m_j は、前述の通り、医療ポテンシャルと治療ポテンシャルによって算出される。式（３）では、医療機関数が増えるほど医療混乱リスクの合計が増えるように見えるが、医療機関数が増えれば分散収容が進み受入余力がマイナスになっていくため、結果として全体の医療混乱リスクは減少すると考えられる。

4. 搬送活動に関する考察

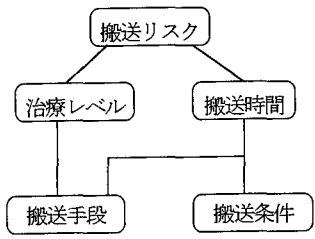
（１）搬送リスクの定義

傷病者の予後に対しては、搬送中の管理方法と搬送時間が大きく影響を及ぼすと考えられている⁴⁾。本研究では、こうした傷病者の管理と搬送時間を構造化して搬送リスクと呼び、傷病者の予後に影響を及ぼす可能性の指標とする（図－３）。

搬送リスクの要因には、搬送手段の治療レベルと搬送時間の２種類があると考えられる。治療レベルは搬送中に傷病者が施される治療のレベルであり、搬送手段が備えている人的、物的治療能力によって評価できる。その一例を表－１に示す。

次に搬送時間は搬送手段、搬送条件の２因子によって構成されていると考えられる。搬送手段には、

表－１に示したような手段が考えられ、それぞれの搬送手段に対応した搬送条件によって搬送時間が算出される。



図－３ 搬送リスクの評価樹形図

表－１ 搬送手段の治療レベル評価の一例

傷病度	救急ヘリ コプター	ドク ターカー	高規格 救急車	救急 車	緊急輸 送車	自家用 車
I（重傷者）	◎	◎	◎	○	△	×
II（中等傷者）	◎	◎	◎	◎	○	△
III（軽傷者）	◎	◎	◎	◎	◎	○

◎最適、○適、△可、×望ましくない

（２）総搬送リスク

全傷病者にかかる搬送リスク Tr の合計は次式で定義できる。

$$Tr = \sum_i \sum_j r_{ij} \times I_j \quad \dots\dots (4)$$

ここに、 Tr ；総搬送リスク、 r_{ij} ；現地医療機関 i から後方医療機関 j への搬送リスク、 I_j ；後方医療機関 j に搬送される傷病者数

（３）社会基盤施設との関連

搬送リスクを事前に引き下げ、よりの確に後方医療機関へ傷病者を搬送するための社会基盤整備が必要であると考えられる。それに関係する因子は図－３の搬送条件に含まれていると判断できる。たとえば、搬送手段が救急車の場合は搬送距離のほか一般交通量や道路幅員などが⁵⁾、ヘリコプターの場合はヘリポートの設置状況などが搬送時間に影響を及ぼすと考えられる。また、災害拠点病院などの配置計画を策定する際にも、こうした搬送リスクの考慮は重要である。

5. 搬送活動の評価方法に関する考察

（１）医療混乱リスクと搬送リスクの関係

前述した総医療混乱リスクと総搬送リスクが、搬送活動において傷病者が負うリスクと考えられる。したがって、搬送活動に限定すれば、傷病者の予後の最善化は、両リスクの最小化によって達成されるといえる。しかし、搬送範囲を外延化すれば、医療機関数は増え総医療混乱リスクは減少するが、搬送距離が長くなり、総搬送リスクは増加する。一方、搬送範囲を狭くして近隣の医療機関へ傷病者を集中搬送すれば、総医療混乱リスクは増加するが総搬送リスクは減少する。このように、総医療混乱リスクと総搬送リスクは搬送範囲を共通の変数として

競合する関係にあり、両者の最小点が一致することは難しいと考えられる。そこで、両者の値を変数として扱う場合の最善点の探索方法を考える必要がある。

(2) シミュレーションによる最善点の探索

本問題は総搬送リスクと総医療混乱リスクの2つの目的関数の最小化を目指せばよいが、医療機関の外延化に伴う総医療混乱リスクの変化は動的なものであり、多目的計画法のような静的な最適化計算手法の適用は困難と考えられる。

そこで、シミュレーションによる搬送活動の予測を行ない、くり返し計算によって最善点を探索する方法が考えられる。具体的には、次に掲げるような手順が必要となろう。

- ①運ばれる傷病者数とその傷病度を想定する。
- ②後方医療機関を選定する。初期条件としては、被災地直近の医療機関とする。
- ③搬送手段の動きを追跡し、医療機関への到着時間と搬入人数を出力する。
- ④総搬送リスク Tr と医療混乱リスク Mr を算出する。
- ⑤医療機関数を増やし、再びシミュレーションを繰り返して実行する。
- ⑥医療混乱リスク Mr が十分に小さくなったところで計算を終了し、選択された医療機関と両リスクの数値の変化を調べ、最適点を決定する。

(3) ケーススタディ

災害事例として、関西国際空港における航空機事故を想定し、搬送シミュレーションを行なった。傷病者の発生状況や救急車の到着時間予測などは既往研究に準じた⁷⁾。医療混乱リスクについては、救命救急センターの医療ポテンシャルを4名、通常の救急告示病院では2名とし、重傷者1名が医療ポテンシャルを占有する時間は一律60分間とした。

紙幅の都合上、搬送対象者を重傷者(25名)のみとした場合の結果を図-4に示す。後方医療機関を空港前島から半径10km以内の3箇所から半径15km以内の7箇所まで増やした時、医療混乱リスクは大きく改善されるが、搬送リスクはそれほど大きく増加しないことがわかる。これは、空港から比較的近い地域に医療機関が存在しているためと考えられる。また、総医療混乱リスクは6箇所の医療機関へ搬送する場合においてすでに0となっていることから、これ以上遠い医療機関へ傷病者を搬送する必要はなく、この範囲内において交通規制等を行なう

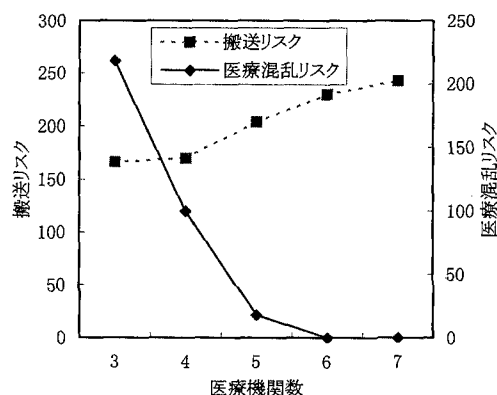


図-4 シミュレーション結果

防災計画を策定すればよいと判断できる。

6. 終わりに

これまで地域防災計画等において十分に扱われて来なかった傷病者搬送の計画方法について、傷病者の適正な分散収容という視点からの一考察を提示し、ケーススタディを示した。今後、医療従事者の声を反映させたモデル作成を行なうとともに、社会基盤整備との関連性について考察を進める。

【参考文献】

- 1) 杉本侃：救急医療と市民生活，へるす出版，1996。
- 2) Tohru Morioka et al. : Risk Management in Rescue and Life Support in KOBE Earthquake, Japanese Journal of Risk Analysis 8 (2), PP. 94~103, 1997.
- 3) 名古屋空港旅客機（中華航空）墜落炎上事故対応検討委員会：名古屋空港旅客機（中華航空）墜落炎上事故対応検討報告書，1994。
- 4) 和藤幸弘：災害時の医療とトリアージの概念，Medic Media, PP.1393~1398, 1996。
- 5) 木俣昇、鷲見育男：消防防災システムの阻害要因のペトリネットシミュレーションに関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集 NO.14, PP. 393~400, 1997。
- 6) 上掲1)
- 7) 小池則満，山本幸司：海上空港施設計画策定のための航空機事故発生時の負傷者搬送シミュレーション，土木計画学研究・論文集 NO.14, PP.401~408, 1997。