

災害時における負傷者搬送活動の評価指標に関する基礎的考察

小池則満¹・秀島栄三²・山本幸司³・深井俊英⁴

¹正会員 博士(工学) 愛知工業大学講師 工学部土木工学科(〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草1247)

²正会員 博士(工学) 名古屋工業大学助教授 工学部社会開発工学科(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

³正会員 工学博士 名古屋工業大学教授 工学部社会開発工学科(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

⁴正会員 工学博士 愛知工業大学教授 工学部土木工学科(〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草1247)

大規模災害時の負傷者搬送活動計画の策定にあたっては、現場に長時間にわたり負傷者を留め置いてしまう危険、長時間搬送によって生じる負傷者への負担、集中搬送による医療機関の混乱などを評価し、負傷者が同時に多数発生することによるリスクに対応することが必要と考えられる。そこで、我が国における災害発生後の搬送活動において生じたと考えられるリスクを類型化するとともに、「留置リスク」、「長時間搬送リスク」、「医療混乱リスク」の定式化を行った。次に、航空機事故および列車事故を適用事例として取り上げ、負傷者搬送活動において指摘されている諸問題を、提案した各リスクによって説明できることを示すとともに、リスクの低減方法についても言及した。

Key Words: risk analysis, serious incident, medical transport

1. はじめに

航空機事故や列車事故は一度に数十人～数百人の負傷者が生じる局地災害であり、搬送活動のあり方に関する多くの議論がなされてきた。しかしながら、災害医学分野では事例研究などが議論の中心であり、負傷者搬送計画は過去の事故例などを参考にして定性的に決定されているのが現状といえる。

一方、土木工学分野においては、災害時の負傷者搬送活動を想定して、道路網評価や施設の最適配置などを論じた研究事例がある¹⁾。また、災害時の医療機関を結ぶ道路ネットワークのリダンダンシーについて論じた研究事例もある²⁾。これらの議論では、災害時における搬送活動に関わる要因とその影響を定量的に評価している点で有益であるが、いずれも搬送時間に関連した評価指標のみを用いており、医療機関の混乱や搬送車両の不足といった災害時の負傷者搬送活動における諸問題を十分に考慮したものとはいえない。土木工学分野で用いられる様々な手法から得られる知見を負傷者搬送計画に反映させるには、まず、災害医学分野と問題意識を共有できる評価指標を提案したのちに、社会基盤整備や交通規制に関わる搬送所要時間や、現場指揮本部等により判断される搬送車両の運用方法などを政策変数とした

分析を行うことが必要であると考えられる。

そこで本研究では、図-1に示すフローに従い、災害時における負傷者搬送活動の評価指標を提案し、搬送活動の定式化と計算事例を示して、リスクの低減方法について考察する。まず2.において災害医学分野における災害に対する考え方について概観し、評価指標に関する基礎的考察を行うとともに、過去の災害において指摘されたリスクについて定性的な分類を行う。3.において

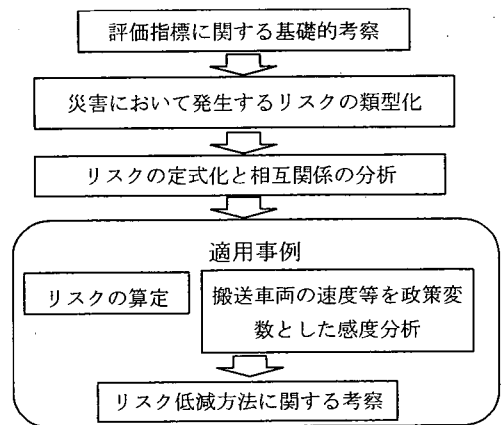


図-1 研究の概略

負傷者が負うリスクの定式化を行うとともに、各リスクの相互関係について分析する。4. では適用事例としてガルーダ・インドネシア航空機火災（以下、ガルーダ事故）および信楽高原鐵道列車事故（以下、信楽事故）を取り上げ、負傷者が負ったリスクを算定するとともに、活動記録において指摘されている問題点をあわせて考察する。また、主に搬送車両の速度を政策変数とした感度分析を行い、負傷者搬送活動におけるリスク低減方法について言及する。最後に5. において結論と今後の課題をまとめる。

2. 災害時の搬送活動に関する考察

(1) 搬送活動の評価指標に関する基礎的考察

災害医学分野における災害の定義について、まず山本が「その規模や負傷者数から通常的地域内の救急体制では対処出来ない場合」として「限られた人的物的資源のなかで一時的かつ多数発生した患者を一人でも多く救命しなければならないこと」が災害医療の要件であると述べている³⁾。杉本は、「物的損失があっても人的被害がなければ医療の対象とはなり得ない」とし、「初期の生存者が極めて少ない場合は、それが航空機事故のような重大な災害ではあっても医療の対象とはなり得ない」と述べている⁴⁾。

すなわち、医療の対象となる負傷者が同時に多数発生する事象が災害であり、医療機関の受入能力を大きく越えた時に初めて災害医療が展開されると考えられていることがわかる。そのような理由から、災害医療の対象となる災害は特に「集団災害」と呼ばれており、集団食中毒や1995年の地下鉄サリン事件なども災害として研究対象に取り上げられている^{5)・6)}。

一方で、我が国における地域防災計画の負傷者搬送計画に適用可能な定量的基準、たとえば地域における医療能力、目標とする搬送所要時間、搬送先医療機関の選択方法などは提案されていないのが現状である。これは、各災害において諸々の条件が異なることや、治療対象に個体差が存在し、治療と予後の関係を明確に示すことが難しい背景があるためと思われるが、こうした医療の評価方法として井上は、医療の評価は相対的なものであり、公正に精度よく過去の事例や他のケースと比較できる指標が必要であると指摘している⁷⁾。この意味は、以下のように解釈できる。たとえば、負傷者にとって搬送時間は一般に短い方が望ましいことはいうまでもないが、救急隊の判断によっては振動を与えないようにゆっくり搬送するケースもある。また、負傷の程度や搬送時間が同じ負傷者であっても、既往症や合併症の発生といった要因で予後が異なってしまうケースもありうる。した

がって、制限時間や目標時間のような絶対的な指標を設定することは、負傷の種類や程度が限定された状況ではある程度有効と思われるが、多数の負傷者を対象とする搬送計画を策定する際の指標としては適当とはいえず、想定される災害において、過去の事例と比較して相対的に搬送時間が長くないかどうかを判断できるような評価指標を提案することが重要といえる。

以上より、搬送活動の評価指標を提案する方針として次の2点を考える。

- ①集団で発生する負傷者に対応した評価を行えること。
- ②過去の事例との比較検討が可能であること。

(2) 搬送活動において負傷者が負うリスク

わが国における災害時の負傷者搬送活動の事例を取り上げ、負傷者が負うと考えられるリスクについて考察する。なお、リスクという言葉の定義については、「望ましくないことの発生に関する客観的な不確実性」あるいは「危険をもたらす確率×傷害の重篤度」と一般的に考えられているが⁸⁾、本研究では前者の定義に近い考え方をとり、「予後の悪化に関する客観的な不確実性」を示す用語として用いることにする。

まず、広域災害である阪神・淡路大震災において、被災地内の多くの医療機関では、多数の負傷者が殺到して混乱状態が生じ、転送が必要になったとされる⁹⁾。一方大阪市内をはじめとする受入側医療機関では、搬送された負傷者数が少なかったことから、大きな混乱もなく治療が行われた。このことから、阪神・淡路大震災では負傷者の殺到と後方医療機関への搬送がスムーズに行われなかったことによる現地医療機関の混乱と長時間の搬送が負傷者に対して大きなリスクになったと考えられる。

次に、杉本は大阪近郊における7件の局地災害を分析し、負傷者は通行人等によって迅速に現場から搬送されてはいるが、多くの場合、近隣の医療機関へ殺到し混乱が生じたことを指摘している¹⁰⁾。

また地下鉄サリン事件においては、現場近くの医療機関の受入能力が逼迫した状態での医療活動が展開されたが、救急車不足により転送が困難であったと指摘されている¹¹⁾。

大阪市で発生したニュートラム事故では、多数の軽傷者が現場に留め置かれたことや、近隣の医療機関へ集中搬送されたことが問題であると指摘されている¹²⁾。

これらの点を整理すれば、災害時の一連の搬送活動において負傷者が負うリスクは、次の3つに集約されると考えられる。

①留置リスク

現場の救護所や現地医療機関に長時間にわたって負傷者が留め置かれるリスクが考えられる。後方医療機関

表-1 各事例において指摘されたリスク

	留置リスク	長時間搬送リスク	医療混乱リスク
阪神・淡路大震災(転送)	○	○	
大阪近郊の局地災害			○
地下鉄サリン事件			○
大阪ニュートラム	○		○

への多段階の転送を行う場合、送り出し側である医療機関において、同様に留め置かれるリスクが生じる場合もある。現場で行われる治療や転送を念頭においた処置は応急的なものであるから、負傷者は留め置かれた時間の長さに応じて、迅速な搬送が行われた場合と比較してリスクを負わされたといえる。

②長時間搬送リスク

近隣の医療機関に収容できず、遠方の医療機関への長時間搬送を強いられるリスクが考えられる。

③医療混乱リスク

受入医療機関に負傷者が受入能力以上に集中して、医療機関に混乱が生じるリスクが考えられる。なお、さらに後方への転送が行われる場合には、受入医療機関が新たに送り出し側の医療機関となり、留置リスクと同じ性質のリスクを負うと考えられるようになる。したがって、多段階の転送活動を含む事例を取り上げる際には、対象とする搬送活動の段階を明確にしてから議論する必要がある。

上記の事例と各リスクとの対応を表-1にまとめる。すべてのリスクについて指摘された事例はなく、いずれかのリスクが生じていることがわかる。

3. リスクの定式化と相互関係の分析

(1) 搬送活動の概念

筆者らは航空機事故を想定した負傷者搬送シミュレーションモデルの構築を行い、災害時における負傷者搬送活動について論じてきた^{(3)・(4)}。コンピュータを用いたシミュレーションモデルはさまざまな条件下での

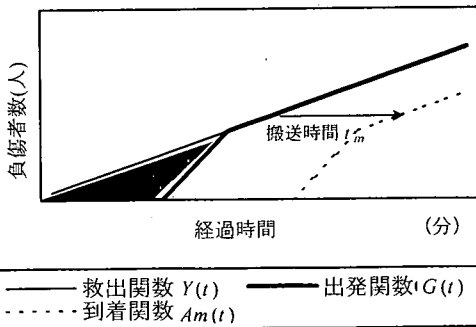


図-2 発生する負傷者と搬送活動の概念

計算が可能であるが、複雑かつ複数の可能性が結果として出力されるため、負傷者搬送活動に存在するリスクが持つ相互の関連性について分析する手法としては限界があった。また、設定した係数や評価指標が概念的で不明瞭な点も問題であった。そこで本研究では、数理モデルによって、より明確に負傷者のリスクを表現することを目指す。

まず、事故発生と同時に救助隊による負傷者の救出および応急手当、先着救急隊によるトリアージ(負傷程度の把握と選別)が開始され、搬送順位が定められて搬送待ち状態になる。ここで、救出が開始されてからの経過時間と救出されて搬送待ち状態となる負傷者の延べ人数の関係を $Y=Y(t)$ 、現場から搬送された負傷者数と経過時間の関数を $G=G(t)$ とする。以下、 $Y=Y(t)$ を救出関数、 $G=G(t)$ を出発関数と呼ぶことにする。

一般的に、発災初期では救出された負傷者が現場に滞留し、搬送活動が開始されると現場から搬送される負傷者数が、新たに救出される負傷者数を上回るようになる。したがって、救出関数 $Y=Y(t)$ と出発関数 $G=G(t)$ は一般的に交点を持つと考えられるが、救出された負傷者の総数が搬送された負傷者の総数を上回ることにはあり得ないことから、 $G=G(t)$ は図-2のように不連続な関数となる。

受入医療機関が1カ所の場合、現場から搬送を開始した救急隊が、現場出発とほぼ同じ時間間隔をもって次々と医療機関に到着する。したがって、出発関数 $G=G(t)$ と医療機関 m への到着関数 $A=A_m(t)$ は、搬送所要時間 t_m の分だけ平行移動した形になり、 $A_m(t)=G(t-t_m)$ となる。なお、医療機関が複数の場合、負傷者は分散されるので、医療機関 m への到着関数 $A=A_m(t)$ の値は小さくなる。

(2) 留置リスクの定式化

負傷者が現場から後方医療機関に向けて搬送されるまでに、搬送力の不足により現場に留め置かれるリスクが生じる。そこで本研究では、救出が開始されてから救出関数 $Y(t)$ と出発関数 $G=G(t)$ が交わるまでの平均留置時間 RI を以下の式で求め、留置リスクの指標とする。なお、事故発生から救出されるまでの時間とこれに関するリスクについては、救出活動の成否に帰するものであることから、本研究では評価の対象としない。

$$RI = \frac{1}{N_{Tw}} \int_0^{Tw} Y(t) - G(t) dt \quad (1)$$

ここに Tw ; 救出関数と出発関数が交差する時刻、 N_{Tw} ; 時刻 Tw までの延べ発生負傷者数

(3) 長時間搬送リスクの定式化

渋滞、あるいは長距離の搬送によって、長時間の搬送を強いられる場合が考えられる。本研究では、負傷者の

平均搬送時間 Rt を長時間搬送リスクと定義し、以下のように定式化する。

$$Rt = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^n t_m N_m \quad (2)$$

ここに、 N_m ；医療機関 m への搬送負傷者数、 t_m ；医療機関 m への搬送時間、 N ；発生負傷者の総数、 n ；医療機関の総数

(4) 医療混乱リスクの定式化

災害時における医療機関の混乱や受入能力に関する評価指標としては、大きく分けて2つの考え方がある。一つは、受入能力数を指標とするもので、今泉ら¹⁵⁾は阪神・淡路大震災を事例に、医療スタッフ数や医療機器から受入能力患者数を算出するモデルを提案している。一方で、単位時間当たりの到着人数や到着分布を問題として、大星ら¹⁶⁾はスタッフの運営を動的にシミュレートして受入能力について考察している。小池ら¹⁷⁾は単位時間当たりの到着人数と医療機関における混乱発生の関連について考察している。

静的モデルによって地域全体の医療需要と供給のバランスを捉えるのであれば受入能力数を用いることができるが、比較的短時間に起こる現象を動的に評価する場合には、単位時間当たりの到着人数を用いるのが適当と考えられる。すなわち、負傷者が多数発生する場合であっても、時間間隔において医療機関へ到着すれば対応できるが、同時に多数が到着すれば医療機関は混乱する可能性がでてくる。そこで本研究では単位時間当たりの到着人数を「医療混乱リスク」として定義することとする。ただし、同じ到着速度であっても医療機関の受入能力によってその意味は異なるものとなる。したがって、医療関係者により、個別の医療機関の特徴などを踏まえた詳細な検討を経て、防災計画の立案等に寄与する性質のものである。

まず、医療機関 m へ搬送する際の往復回数 G_m は、救急車の平均走行速度を V_m 、医療機関 m への距離を D_m とすれば次の式で計算できる。

$$G_m = \frac{V_m}{2D_m} \quad (3)$$

ここで救急車一台あたりの平均搬送人数を s 、救急車の割り当て台数を E_m とすれば、医療機関 m への単位時間当たりの到着人数 O_m は式(4)の通りに定式化できる。

$$O_m = \frac{V_m}{2D_m} s E_m \quad (4)$$

救急車の割り当て台数 E_m は現地指揮本部によって、決定される。通常は、各医療機関の受入状況に応じて動

的に変更されながら運用されるものであるが、本研究では最終的な受入負傷者数に応じた割り当てがなされるものと仮定する。

搬送活動全体の評価には、医療機関への単位時間当たりの平均到着人数 O を採用する。

$$O = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^n O_m \quad (5)$$

(5) 出発関数の導出

単位時間あたりの到着人数 O_m を経過時間 t で積分することで、医療機関 m の負傷者数が明らかとなることから、到着関数 $A=A_m(t)$ は式(6)で示すことが出来る。

$$A_m(t) = O_m t + C \quad (6)$$

ここに C ；積分定数

これらの負傷者が現場を出発するのは、搬送時間 t_m 前であるから、すべての医療機関に対するこの値を合計することで、出発関数 $G=G(t)$ を求めることが出来る。ここで救出関数 $Y(t)$ から算出される人数が出発した人数を上回る時間を t' とすれば、式(7)のように示すことが出来る。

$$G(t) = \begin{cases} \sum_{m=1}^n A_m(t + t_m) & (t < t') \\ Y(t) & (t > t') \end{cases} \quad (7)$$

(6) リスクの相互関係

本研究で提案した3つのリスクについて、相互の関係を考察する。

①「長時間搬送リスク」と「医療混乱リスク」の関係
「医療混乱リスク」を表す式(4)、を式(5)へ代入することによって、次式が導出される。

$$O = \frac{1}{2n} \sum_{m=1}^n \frac{s E_m}{t_m} \quad (8)$$

これより、「医療混乱リスク」は、式(2)で示される「長時間搬送リスク」と医療機関 m への搬送時間 t_m を共通の変数として反比例の関係になることがわかる。これは、医療機関数 n を一定としたときに、 t_m が小さい近隣の医療機関へ集中搬送すれば医療機関は混乱するが、遠方まで搬送を行えば搬送時間が長くなる様子を示している。

②「留置リスク」と「医療混乱リスク」の関係

医療計画に関するガイドライン¹⁸⁾の中で、「重大災害における病院への迅速な搬送は必ずしも迅速な処置を保証するものではない。そのような状況では、患者

にとっては現場で若干の時間的余裕を持ったほうがよりよいかもしれない」として、「医療混乱リスク」の増加を防ぐためには「留置リスク」の増加もある程度認めざるを得ない場合もありうることを示唆した指摘がある。

この関係について考えると、まず出発関数 $G=G(t)$ は式(6),(7)より、次の式で示すことが出来る。

$$G(t) = \sum_{m=1}^n O_m(t + t_m) + C \quad (9)$$

これを見ると、 $G=G(t)$ は医療機関への単位時間当たりの到着人数を傾きとした時間 t の一次関数であることがわかる。ところで、式(1)に示す留置リスクは $Y=Y(t)$ 、 $G=G(t)$ で囲まれる面積であり、図-2における網掛け部分である。したがって、搬送開始時間を定数とすれば、 $G=G(t)$ の傾きが大きくなれば減少し、小さくなれば増加する。すなわち、「留置リスク」と「医療混乱リスク」は相反する関係にあるといえる。

③「留置リスク」と「長時間搬送リスク」の関係

①と②の関係より、「留置リスク」と「長時間搬送リスク」は比例関係にあると考えられる。一般的に近隣の医療機関へ集中搬送すれば、ピストン搬送の効率がよくなり、留め置かれるリスクも減少するとともに、長時間搬送を行う可能性も低くなることから、妥当な関係といえる。

ところで表-1に示したとおり、大阪ニュートラム事故では「留置リスク」と「医療混乱リスク」が同時に発生している。搬送車両の不足が負傷者の留め置きにつながり、近隣医療機関への集中搬送が医療機関の混乱を生んだ原因として指摘されている¹⁹⁾。これは次のように説明できる。

まず、式(4)と式(9)より、出発関数 $G=G(t)$ は次のように示される。

$$G(t) = \sum_{m=1}^n \frac{sE_m}{2t_m}(t + t_m) + C \quad (10)$$

出発関数 $G=G(t)$ の傾きはそれぞれの医療機関への搬送車両の割り当て台数に比例していることから、搬送車両が不足すれば、 $G=G(t)$ の傾きが小さくなり「留め置きリスク」発生の原因となることがわかる。次に式(8)より近隣医療機関へ集中搬送すれば、搬送先の医療機関 n が小さくなることから「医療混乱リスク」が発生することもわかる。すなわち、出発関数の傾きである単位時間当たりの到着人数が小さくても、医療機関数 n が小さい場合には医療混乱リスクが生じる場合があり得ることがわかる。

その対策として搬送車両を増やせば、「留置リスク」

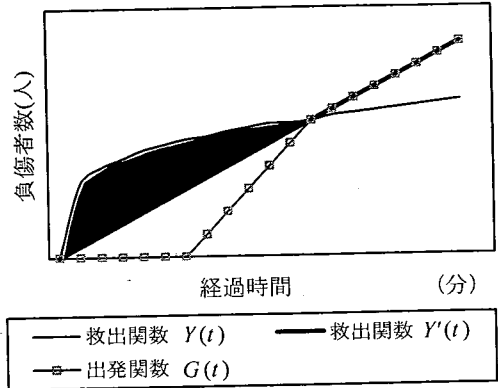


図-3 救出式と留置リスクの概念

の減少をはかることが出来るが、式(8)より「医療混乱リスク」が増加する。そこで、搬送先の医療機関数 n も増やすことで単位時間当たりの到着人数を抑えることを同時に行う必要があると考えられる。しかし、医療機関の数を増やすことでより遠い医療機関への搬送が行われると、「長時間搬送リスク」は増加する。

なお、「留置リスク」は救出関数 $Y=Y(t)$ の形状にも依存する。すなわち、図-3に示すとおり救出関数 $Y=Y(t)$ が発災初期に急速に立ち上がる場合には、線形である $Y=Y(t)$ の場合と比較して「留置リスク」は大きくなる。この場合には初動を改善し、より早い時期に搬送を開始することで、「留置リスク」を減少させることが出来ると考えられる。

以上の考察の通り、それぞれのリスクは救出関数 $Y=Y(t)$ 、救急車の割り当て台数 E_m 、搬送所要時間 t_m などを変数として相互に関連しており、これら进行操作することでリスクを変化させることが可能と思われる。以下では、交通規制や社会基盤整備などによって変化する搬送所要時間 t_m 、および搬送活動を司る現地指揮本部等の意志決定機関によって設定可能な救急車の割り当て台数 E_m を政策変数として、各リスクの変化と適切な対応方法について考察をすることとする。

4. 適用事例

(1) 航空機事故への適用

適用事例として、1996年に福岡空港で発生したガルーダ・インドネシア航空機火災を取り上げる。ガルーダ事故は、航空機のオーバーラン事故であり、乗客・乗員106名が搬送された。航空機の停止位置や天候、活動の状況などに特殊性は見られないことから、航空機事故への適用事例として適切であると考えられる。以下に必要なパラメータの設定方法について述べる²⁰⁾。

ガルーダ事故時において現場救護所で搬送待機とな

った負傷者の人数およびその時系列変化は不明であるが、ガルゲダ事故の搬送活動においては、搬送待ちの救急車があったなど、比較的余裕を持って搬送が行われたことから、後方医療機関に向けて出発した負傷者数と時間の関係式を救出関数として適用する。なお、決定係数 R^2 は 0.96 と高い値を得ることが出来た。

$$Ya(t) = -0.0023 t^2 + 0.9864 t \quad (11)$$

ここに、 $Ya(t)$: 経過時間 t における救出負傷者数(人)、 t : 経過時間(分)

次に、搬送開始時間は実績値である 26 分後とする。各医療機関への搬送速度は、現場駆けつけ時の平均速度である 31km/h(決定係数 $R^2=0.51$)に設定する。

救急車による搬送人数は通常 1~2 名であるが、災害時には軽傷者であれば 4 名搬送する場合もあり、緊急輸送車(赤色警光灯を備えたマイクロバス)で同時に多数を搬送することもある。本研究では、ガルゲダ事故時の平均値である 4.6 人/台と設定する。

以上の条件より与えられる出発関数は式(7)より式(12)のように与えられる。搬送人数が救出人数を上回る時間は、2 式の連立方程式を解くことで得られ、この場合は約 35 分後と計算とされる。

$$Ga(t) = \begin{cases} 3.515t - 91.39 & (t < 35) \\ -0.0023t^2 + 0.9864t & (t > 35) \end{cases} \quad (12)$$

ここに、 $Ga(t)$: 経過時間 t における出発人数(人)、 t : 経過時間(分)

計算された出発関数である式(12)と実際値を図-4に示す。出発の様子をおおむね再現しており、現実妥当性に問題はないと考える。特に初期の搬出状況については高い再現性を示している。

医療機関における到着の様子を図-5に示す。これを

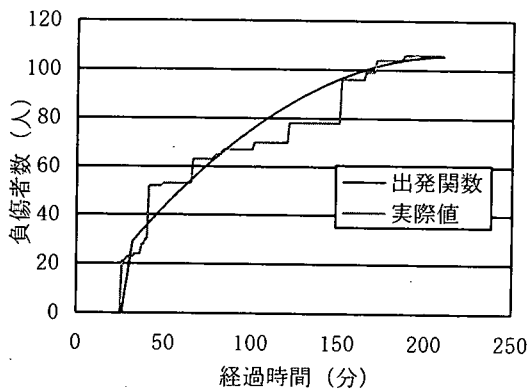


図-4 現場から出発した負傷者数

見ると、搬送活動の初期に多くの負傷者が到着し、その後は緩やかに到着することがわかる。したがって、初期の負傷者への対応が医療機関にとっては最も難しい場面になると考えられる。医療機関 B, G, H では、事故 40 分後頃から多数の負傷者が到着し、混乱リスクの高いことがわかるが、これらの医療機関で多数の負傷者による混乱が発生したという報告は特にない。

図-6 に搬送車両の走行速度を 31~39km/h まで向上させた場合におけるリスク値の計算結果を示す。「留置リスク」である平均待ち時間にはほとんど変化が見られないが、「医療混乱リスク」である単位時間あたりの到着人数は大きくなっている。一方で、速度向上に伴い、「長時間搬送リスク」である平均搬送時間は改善されている。したがって、もしガルゲダ事故において、医療機関の受入能力に余裕があったのであれば、走行速度を向上させることでよりよい結果が望まれるであろうし、受

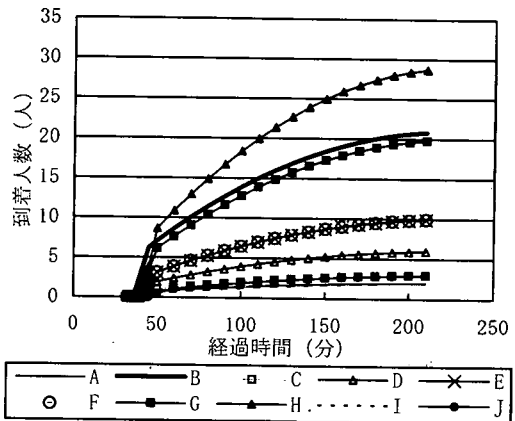


図-5 医療機関別の到着状況 (ガルゲダ事故)

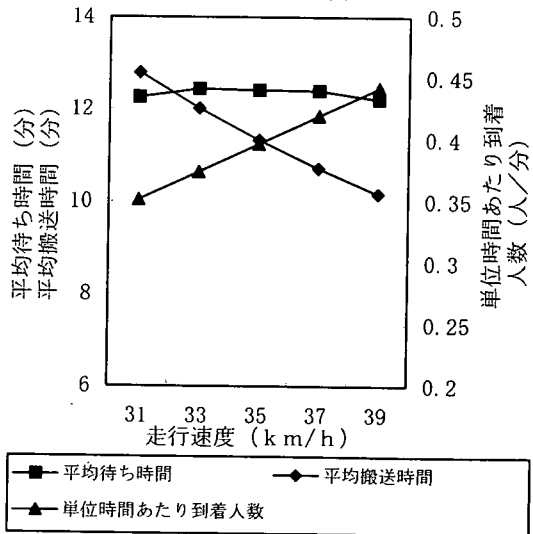


図-6 速度向上した場合のリスク変化

入能力ぎりぎりの活動を行っていたのであれば、走行速度を向上させて搬送を急ぐよりも、搬送中の治療を適切に行って「長時間搬送リスク」の抑制を医療側の対応として行う方が良い結果をもたらすと推察される。

(2) 列車事故への適用

列車事故の事例として、1991年に滋賀県信楽町で発生した信楽高原鉄道列車事故をとりあげる^{21)・22)}。信楽事故は列車同士の正面衝突事故で、航空機事故と同様、限られた区域で多数の負傷者が発生する典型的な局地災害である。

消防機関による推定救出人数は図-7のようであり、5時間後に66名が救出されたといわれる。しかし、全体の死傷者数は618名と報告されており、自力で脱出した負傷者が多数存在したと考えられる。そこで図-7中の回帰式に、対象医療機関が受け入れた死傷者数430名を乗じて、66名で除した式(13)を救出関数として設定する。

$$Yr(t) = \frac{430}{66}(-0.0006t^2 + 0.3883t) \quad (13)$$

ここに、 $Yr(t)$:経過時間 t における救出負傷者数(人)、 t :経過時間(分)

搬送車両については、救急車以外の車両も搬送に用いられたことから、救急車の台数に消防団車両を合わせた37台を搬送車両として設定し、搬送人数は4名/台とした。なお、ヘリコプターで搬送された4名の負傷者は省き、車両による搬送のみを対象とした。

以上の条件に基づいて式(7)より算出された出発関数 $G=Gr(t)$ を式(14)に示す。搬送人数が救出人数を上回る時間は、2式の連立方程式を解くことで得られ、この場合は約28分後と計算とされる。

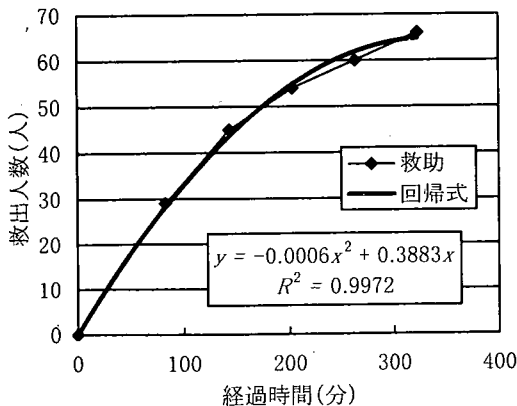


図-7 信楽事故における救出状況

$$Gr(t) = \begin{cases} 8.326t - 166.52 & (t < 28) \\ -0.0039t^2 + 2.530t & (t > 28) \end{cases} \quad (14)$$

各医療機関における負傷者到着の様子を図-8に示す。現場から数百m離れた医療機関Aでは、事故後20分後から受け入れが始まり、極めて多数の負傷者が短時間のうちに来院する結果となっている。実際に医療機関Aでは、約23分後から多数の負傷者が来院し、ロビーまで人があふれ出たといわれている。また、医療機関Bでも多数の負傷者による混乱の発生が報告されていることから、おおむね実態に即した「医療混乱リスク」の把握が行えているものと考えられる。

信楽事故において混乱の少なかった医療機関C~Hへ搬送する負傷者を、救急車の割り当て台数 E_m を変化させて1.0~1.6倍に増やし、直近の医療機関Aへの負

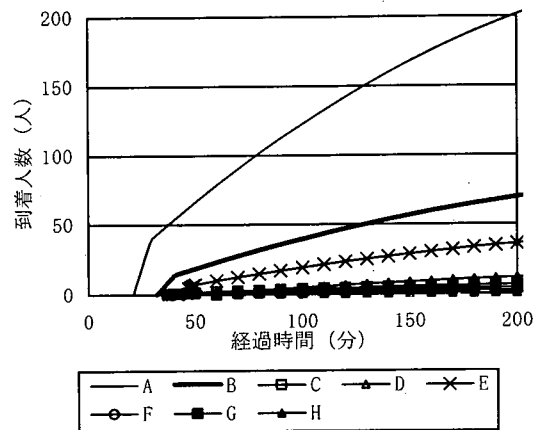


図-8 医療機関別の到着状況 (信楽事故)

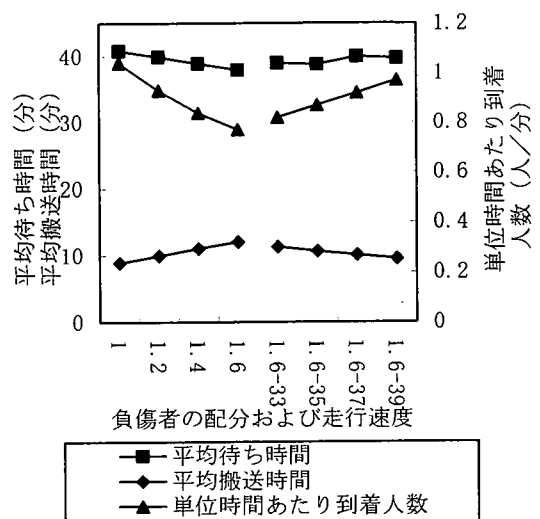


図-9 信楽事故における計算結果

傷者数を減らした場合の平均搬送時間と各医療機関の到着速度の変化を図-9にまとめる。これをみると、医療機関C~Hまでの負傷者数を1.6倍にすることで平均到着速度を3割程度低くすることが出来るが、遠方までの搬送が多くなるため、平均搬送時間は大きく増加する。そこで、医療機関C~Hまでの負傷者数を1.6倍にした状態で走行速度を39km/hまで向上させた場合の結果を、同じく図-9の右側に示す。平均搬送時間は低下するが、平均到着速度は大きく上昇し、結局、改善前に近い状況に戻ることがわかる。しかし、医療機関A, Bにおける平均到着速度は確実に改善されることから、全体としては良い結果がもたらされるものと期待される。

(3) モデルの適用範囲と利用方法

以上の考察の通り、それぞれのリスクは相互関係を持っており、単純に搬送車両の走行速度を向上するなどの施策をとっても全体のリスクを抑えられないことがわかる。しかし、搬送活動において発生するリスクの種類を変化させることは可能であるといえる。

ところで、医療システム側の対応によっても、リスクは解消もしくは増大する可能性があると考えられる。たとえば「医療混乱リスク」が同一値をとったとしても、医療機関の規模や状況によって、その意味は異なったものとなる。「留置リスク」についても応急手当の態勢によって、「長時間搬送リスク」も搬送中の治療レベルによって、それぞれ重みが異なるといえる。

したがって、本モデルで提案した指標は、搬送システム単体で完結した形での意思決定を求めるものではなく、医療システム側とリスク認識を共有し、医療による改善の難易度が高いリスクを搬送システム側が減じて全体のリスクを抑制するなどの改善策を模索するためのツールとして、有用であると考えられる。

5. 終わりに

本研究では、同時に多数の負傷者が発生する災害に対応した搬送活動の評価指標について考察した。本研究によって得られた主要な成果をまとめる。

- ①災害時における負傷者搬送計画の評価指標を考えるにあたって、負傷者が集団で発生することで生じる諸問題に対応する必要性を明らかにするとともに、相対的な評価指標を設ける方針を示した。
- ②過去の災害事例より、負傷者が負うリスクとして「留置リスク」、「長時間搬送リスク」、「医療混乱リスク」の存在を示すとともに搬送活動の定式化を行い、「平均待ち時間」、「平均搬送時間」、「単位時間あたりの到着人数」を各リスクに対応した指標として提

案した。これらの指標はいずれも負傷者の予後に関する絶対的な基準となるものでなく、相対的にみて少ない方がよいと判断できる性質のものである。

- ③航空機事故および列車事故に本モデルを適用して各リスク値を算出し、それぞれの搬送活動における特徴について考察した。その結果、それぞれの災害におけるリスク値と実際の搬送活動において指摘された問題点との関連性をみることができた。
- ④防災計画の策定において、医療システム側とリスク認識を共有し対策を立てるための指標として、本研究で示した評価指標は有用であると考えられる。

今後の課題としては、適用例を増やすことによって、医療従事者から指摘されている問題点とモデルから得られるリスク値の関係についてより詳細に検討し、モデルの妥当性や問題点について明らかにするとともに、カテゴリーデータを用意して搬送計画に資する必要がある。また、搬送車両の台数や収容先医療機関数については、応援協定や地元消防団との協力態勢等と関連があると考えられることから、防災組織の現状やあり方を考慮してこれらの変数を取り扱うモデルに発展させることも今後の課題である。

参考文献

- 1) たとえば、柏谷増男、朝倉康夫、二神透：災害時緊急医療サービスに着目した道路網整備効果、科学研究費補助金研究成果報告書（課題番号：09650590）、1999。
- 2) 南正昭、高野伸栄、加賀屋誠一、佐藤馨一：拠点医療機関へのアクセスを2系統で保証する道路ネットワーク構造、土木計画学研究・論文集、NO. 14、pp. 679-686、1997。
- 3) 山本保博：災害医学と災害医療、21世紀の災害医療体制、へるす出版、pp. 2-8、1996。
- 4) 杉本侃：救急医療と市民生活、へるす出版、1996。
- 5) たとえば、松尾吉郎、鶴岡卓、月岡一馬、鍛冶有登、塩見正司、広常秀人、鶴原常雄：集団災害としてみた堺市学童集団下痢症、日本集団災害医療研究会誌、Vol. 2、No. 1、pp. 32-36、1997。
- 6) 奥村徹：緊急招集、河出書房新社、1999。
- 7) 井上通敏：医療をよくするための医療情報学、医療情報学、20巻5号、pp. 369-372、2000。
- 8) 松原純子：リスク科学入門～環境から人間への危険の数量的評価、東京図書、1989。
- 9) 日本救急医学会災害医療検討委員会編：ドキュメント救急医療の試練－阪神・淡路大震災、メディカ出版、1995。
- 10) 上掲4)

- 11) 上掲 6)
- 12) 鶴飼卓, 高橋有三, 青野充: 事例から学ぶ災害医療, 南江堂, 1995.
- 13) 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.
- 14) 小池則満, 秀島栄三, 山本幸司: 航空機事故等緊急災害時における傷病者搬送計画に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, NO. 16, pp. 371-376, 1999.
- 15) 今泉恭一, 佐藤博臣, 室崎益輝: 病院の患者受け入れ能力に関する推定モデルの検討—震災時・医療制約の定量的評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, NO. 509, pp. 157-163, 1998.
- 16) 大星直樹, 黒田圭, 鎌江伊三夫, 高橋隆: 動的なワークフロー管理モデルによるトリアージシミュレーション—初期災害医療の評価, 医療情報学, 18 卷 3 号, pp. 195-204, 1998.
- 17) 小池則満, 秀島栄三, 山本幸司, 深井俊英: 到着速度の概念を用いた負傷者搬送計画策定方法の提案, 日本集団災害医学会誌, Vol. 6, NO. 1, pp. 10-16, 2001.
- 18) 小栗頭二監訳: 大事故災害時の医療支援—イギリスにおける実践より学ぶ, へるす出版, 1998.
- 19) 上掲 12)
- 20) 福岡市消防局: ガルーダインドネシア航空機火災活動報告書, 1996.
- 21) 甲賀郡消防本部: 信楽高原鉄道列車事故概要, 月刊消防, 8, pp. 72-83, 1991.
- 22) 藤田仁, 上條純成: 信楽列車事故, 救急医学, 15, 1793-1797, 1991.

(2001. 6. 18 受付)

THE EVALUATION METHOD FOR TRANSPORT PLANNING OF MANY INJURED AT SERIOUS INCIDENT

Norimitsu KOIKE, Eizo HIDEISHIMA, Koshi YAMAMOTO and Toshihide FUKAI

The transport for the injured is one of the important activity at a serious incident. However it has never been handled fully up to now in the incident response plan. The study aims to give evaluation indices for the many injured when a serious incident occurs. We define three kinds of risks; the transport risk, the medical confusion risk, the left behind risk. Then we try to calculate the value of each risk by a mathematic model. As the results of case studies that the Garuda Indonesian airplane accident and the Shigaraki train accident, it proves that it is available as benchmarks for evaluation of transport activity.