

震災時における傷病者行動特性と搬送計画に関する一考察

Study on behavior and transport plan of the injured at earthquake disaster

小池則満* 宇治和幸** 秀島栄三*** 山本幸司**** 深井俊英*****

by Norimitsu Koike, Kazuyuki Uji, Eizo Hideshima, Koshi Yamamoto, Toshihide Fukai

1. はじめに

地域防災計画の策定にあたっては、避難誘導計画とともに傷病者の搬送計画が重要となるが、これに関する記述が十分でないとの指摘がある¹⁾。傷病者の救護計画や搬送計画の策定にあたっては、傷病者数の予測とともにその動態を明らかにする必要があるが、マイカーなどの私的交通で傷病者を搬送する場合における傷病者の行動や搬送先医療機関の選択方法に関する研究事例はほとんどない。このために、多くの地域防災計画において傷病者発生数の予測、あるいは被災地外医療機関への転送の必要性について簡単な記述を設けるにとどまっているといえる。

そこで本研究では、搬送システムに関する概要と問題点を述べた後に、各医療機関に来院する傷病者数の予測方法を提案する。次に、これを阪神・淡路大震災時の兵庫県西宮市に適用して現実妥当性を検証するとともに、道路閉塞に関する条件によって来院する傷病者数の変化を観察し、地域防災計画における傷病者搬送計画に対していくつかの提言を行うことを目的とする。

2. 傷病者搬送システムに関する考察

災害医療とは、山本が災害の定義を「その規模や傷病者数から、通常の地域内の救急体制では対処出来ない場合」としているように²⁾、一時的に医療の需要と供給のバランスが大きく崩れた状態の下での医療であると解釈できる。対策としては、被災地内へ迅速に医療スタッフを投入し供給を増やすとともに、傷病者を被災地外に搬送して被災地内の需要を減らすことが考えられる。

傷病者を被災地外へ搬送するシステムとして災害医学分野で広く紹介されているものを図-1に示す。これは、現地医療機関や救護所に到着した傷病者に対してトリアージと呼ばれる選別を行い、重傷者を基幹的医療機関へ、さら

に後方医療機関へ搬送することで、最大限の医療活動の成果を出そうというものである。以下、この搬送システムをトリアージ・システムと呼ぶ。

トリアージ・システムは、実際の防災計画の中にも取り込まれつつあり、厚生労働省による災害拠点病院の整備も、こうした後方医療機関への搬送の際に窓口となる医療機関の整備を考えたものである。しかし、吉岡らによれば、阪神・淡路大震災における初診医療機関への交通手段は、図-2に示すように、担架や自力歩行、自家用車を合わせた私的交通手段によるものが4割を超えていたとされる³⁾。したがって、現地医療機関や現場救護所に集まる傷病者数はトリアージ・システムの制御にかかわらず、条件として与えられるべきものとなる。すなわち、トリアージ・システムを防災計画に組み込むには、どの現地医療機関へどの程度の人数が集まるかに関する予測が不可欠となる。

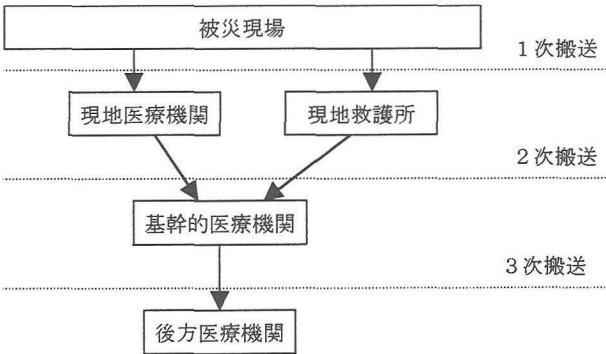


図-1 トリアージ・システムの概略

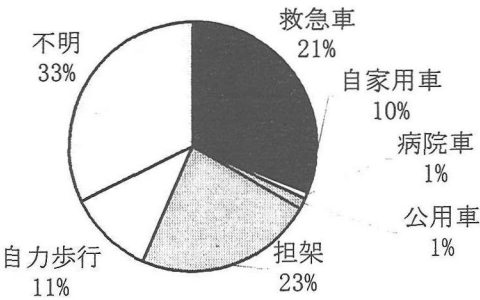


図-2 震災当日における傷病者の搬送手段³⁾

キーワード：防災計画

* 正員 修(工) 愛知工業大学土木工学科

***** 正員 工博 愛知工業大学土木工学科

〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247

Tel 0565-48-8121(2523). Fax 0565-48-3749

** 学生員 名古屋工業大学社会開発工学専攻

*** 正員 博(工) 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 052-735-5484. Fax 052-735-5484

3. 傷病者行動モデルの構築

(1) 傷病者の行動に関わる要因

傷病者が医療機関を選択する際に影響を及ぼす要因としては、次のようなものが想定される。

①現在地から医療機関までの距離

杉本は過去の災害において傷病者は近隣の医療機関へ殺到し、やや離れた場所の医療機関へは向かわないという特徴を指摘している⁴⁾。鶴飼らは我が国における災害の事例を調査し、特に阪神・淡路大震災において激甚な被害地区内にある医療機関へは1000人以上の傷病者が殺到したのに対し、数km離れた医療機関には100名に満たない傷病者しか来院しなかったと報告している⁵⁾。また、移動距離の短い方が傷病者にとって良いことはいうまでもないことから、被災者の所在地から医療機関までの距離は、傷病者の医療機関選択において最も影響の大きな要因であると考えられる。

②医療機関魅力度

医療機関の規模やその地域における知名度、かかりつけ医師の存在、地域の基幹病院としての機能を通常時より果たしているか、といった背景によって決定される魅力度が、医療機関選択に影響をおよぼす要因のひとつであると考えられる。

③道路状況

災害時には完全情報下での交通行動は期待できないが、報道や口コミ等による交通情報を利用することにより、交通が寸断されている道路区間を使用しなければ到達できない医療機関や被害の大きい医療機関への傷病者の移動は少なくなるものと考えられる。たとえば、阪神・淡路大震災においては、六甲大橋は通行不能というデマが発生したために、対岸から六甲アイランド内の医療機関へ向かった傷病者は少なかったといわれる⁶⁾。したがって、現在地から目的医療機関への最短経路上で最も通行阻害が大きいと考えられる区間の道路状況も大きな影響因子の一つであると考えられる。

医療機関の選択は、以上のような因子が複合した形で決定されていると考えられる。この「距離」、「医療機関魅力度」、「道路状況」という3つの因子によって決定される、医療機関の患者を集める力（商業施設の集客力に相当するもの）が概念的に存在するものと仮定し、本研究ではこれを医療機関ポテンシャルと呼ぶことにする。

(2) モデルの構築

前節の考察に基づき、本研究では、式(1)のようなロジスティック曲線によって医療機関ポテンシャルを決定する。

$$P_{ij} = 1 - \frac{1}{1 + 10^{m_j} \cdot \exp(-k_{ij} \cdot D_{ij})} \quad \dots (1)$$

P_{ij} : 地区 i からみた医療機関 j の医療ポテンシャル、 D_{ij} : 地区 i から当該医療機関 j までの距離、 m_j : 医療機関 j の魅力度、 k_{ij} : 道路閉塞係数

式 (1) のロジスティック曲線は、距離 D_{ij} が短く、医療

機関魅力度 m_j が高いほど医療機関ポテンシャルが高くなるが、道路閉塞係数 k_{ij} が大きい場合は、徒歩圏である2～3 km 圏内の傷病者のみが来院する確率が高くなるような形状変化をする。

次に、地区 i から医療機関 j へ向かう傷病者数 N_{ij} は、次式で算出するものとする。

$$N_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^n P_{ij}} \cdot N_i \quad \dots (2)$$

ここに、 N_{ij} : 地区 i から医療機関 j へ向かう傷病者数、 N_i : 地区 i で発生する傷病者の総数

この N_{ij} 値を用いることによって、医療機関 j が対応する傷病者数 N_j は次式で表されることになる。

$$N_j = \sum_{i=1}^n N_{ij} \quad \dots (3)$$

ここに、 N_j : 医療機関 j に搬入する傷病者の総数

4. ケーススタディ

(1) 計算方法

本研究の計算フローを図-3に示す。

まず対象地域をゾーニングし、それぞれの地区における家屋倒壊率や、高架橋の落橋状況、医療機関への来院傷病者数の総計を調査する。これらのデータに基づいて、各ゾーンの発生傷病者数、医療機関魅力度、道路閉塞係数、移動経路を設定する。次に、各ゾーンの中心からみた各医療機関の医療ポテンシャル値を式(1)にしたがって求め、さらに式(2)、(3)によって、各医療機関への来院傷病者数を算出する。

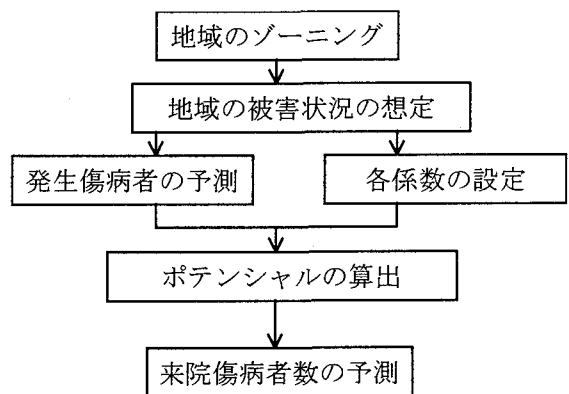


図-3 計算フロー

(2) 条件の設定

本研究では兵庫県南部地震時の兵庫県西宮市における原データを用いて、3. において構築したモデルの現実妥当

性を検証する。西宮市は、阪神淡路大震災の被災地域の中ではもっとも東に位置しており、被害の大きな地区は市の南西部から北東に向けて帯状に広がっている。人口は被災前の平成6年10月で約42万人であった。

まず、対象地域を西宮市の中部、南部として小学校単位35区にゾーニングした。北部は地震被害が小さかったことから省略した。

医療機関については、西宮市内の主要医療機関14箇所を対象として取り上げた。震災当日の来院傷病者数については、文献調査および聞き取り調査を行った。対象とした医療機関の来院傷病者数は合計5271名である。西宮市における死傷者数は7512名とされていることから、残りの死傷者については、診療所や市外の医療機関で診療を受けたと考えられる。なお、当日の混乱により正確な来院傷病者数の記録が残っていない医療機関が多く、これらの値はいずれも概数である。

傷病者数については、まず、各小学校区の全壊全焼世帯率が u_i の時の入院患者数地区人口比 $C(u_i)$ は式(4)のように示される⁷⁾。なお、決定係数は $R^2=0.77$ と高い相関を示している。

$$C(u_i) = 0.01 + 0.0039u_i \quad \dots (4)$$

ここで、入院患者数が傷病者発生数に比例すると仮定し、傷病者の総数が研究の対象人数となるように式(5)を用いて各小学校区の傷病者数を推定した。

$$N_i = \frac{C(u_i)B_i}{\sum_{i=1}^a C(u_i)B_i} \cdot N \quad \dots (5)$$

N_i : 地区 i における傷病者数, N : 対象となる全傷病者数, B : 対象地区全体の人口, B_i : 地区 i における人口, a : 対象地区の総数

次に、中平ら⁸⁾、大森ら⁹⁾、大西¹⁰⁾ は、アンケート調査の結果から、震災当日、傷病者の約半数が認知度の高い大・中病院において受診しており、依存度が高かったことを指摘している。また、小病院や診療所で受診した傷病者は大・中病院の1/3程度であったとしている。そこで、医療機関魅力度については、ベッド数が100床以上の医療機関を大・中病院として $m_j = 1.0$ 、100床以下を小病院等として $m_j = 0.5$ とし、さらに、地域における知名度を考慮して救急指定病院および公立病院は係数を1.0ずつ高く設定した。これは、小病院と比較して救急指定病院や公立の大・中病院が平均で約3倍程度のポテンシャルを持つ設定である。

傷病者の移動距離については、各小学校を各ゾーンの出发点とし、各医療機関との最短経路を移動距離として設定した。

道路被害の状況は、落橋により車両の通行が極めて著しく困難であったと思われる「阪神高速道路3号神戸線倒壊地点—浜脇町、市庭町付近」、「阪急電鉄今津線をまたぐ国

道171号線の陸橋落地点—門戸付近」、「阪急電鉄神戸線の落橋地点—室川町付近」、「山陽新幹線の落橋—上田市町付近」を通行する場合には道路閉塞係数 $k_j = 2.0$ 、それ以外の場所については、 $k_j = 1.0$ とした。図-4に、道路閉塞係数 $k_j = 2.0$ 、医療機関魅力度 $m_j = 0.5, 1.0, 2.0$ の場合の医療機関ポテンシャルを式(1)より算出した結果を示す。これを見ると、ほぼ4km以内の徒歩圏のみにポテンシャルが及び、それよりも遠い医療機関には、医療機関の魅力度に関わらず、ポテンシャルの値が極めて小さくなることがわかる。

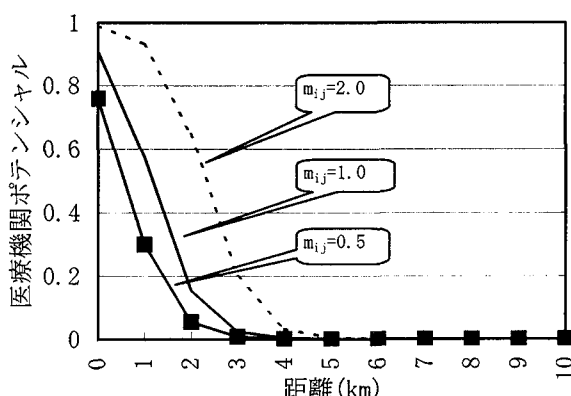


図-4 経路上に落橋がある医療機関ポテンシャル

(3) 計算結果

実際の来院傷病者数と計算値との関係を図-5に示す。相関係数 R は0.85と高い相関を得ることができたことから、現実妥当性は十分高いと考えられる。ここで、完全な相関を示す45度の線からはずれた病院についてみると、実際の来院者数が計算値よりもかなり大きくなっているa病院では、隣の芦屋市からの流入があったためと思われる。また、逆に計算値が大きくなっているb病院は、被害の大きな地区に位置し、基幹的医療機関であるため計算値は高くなったものの、実際には周辺がオフィス街で地震発生が早朝であったために、家屋の被害ほどの傷病者が発生しなかったものと推察される。

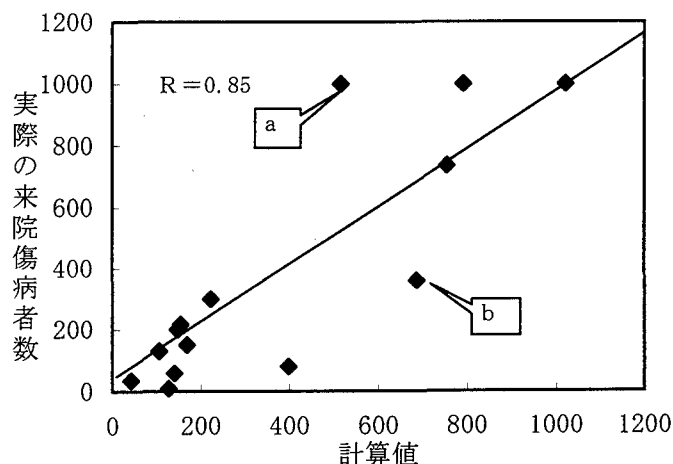


図-5 実際の来院傷病者数と計算値の関係

次に、各医療機関における単位ベッド数あたりの来院傷病者数を算出し、その平均と分散を求めることで、医療機関の規模と来院傷病者数との偏りを調べた。これは医療機関の対応能力に応じて傷病者が来院しているかどうかを示す指標であり、平均が大きくなるほど、規模の小さい医療機関に多数の傷病者が集まった状態を示す。また、分散値が大きくなるほど、各医療機関の単位ベッドあたりの来院傷病者数にばらつきが生じ、一部の医療機関に負担が集中することを意味する。逆に分散値が小さければ、傷病者がそれぞれの医療機関のベッド数に比例して来院していることになる。なお、ここでは医療機関の対応能力が保有ベッド数に比例していると仮定している。

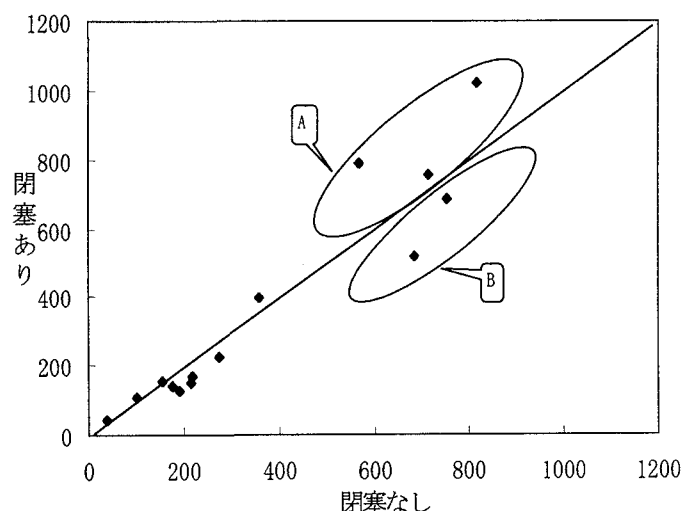
計算結果を表－1にまとめる。これをみると、実際の値よりも本モデルを用いて計算を行った値である「計算値（標準）」の方が、単位ベッドあたりの傷病者数の平均が大きく、分散は小さいことが分かる。したがって、計算結果を防災計画に反映させる際には、特定の医療機関への集中がより大きく発生する可能性に留意する必要がある。

表－1 単位ベッドあたりの傷病者数の平均と分散

	平均	分散
実際値	2.02	4.35
計算値（標準）	2.33	2.81
計算値（閉塞なし）	2.46	2.62
計算値（南東部）	2.26	2.34

（4）高架構造物倒壊の影響調査

当日は被害の大きい地区にある医療機関へ傷病者が集中したが、高架構造物の落下がなかった場合に、こうした集中を防ぐことができたかどうかを検証する必要がある。そこで、すべての道路閉塞係数を 1.0 と設定した場合と比較した。縦軸に閉塞あり、横軸に閉塞なしの値をプロットしたものが図－6である。変化なしの状態を示す 45 度の直線から左上へプロットされれば、閉塞によって傷病者数が増



図－6 道路閉塞を考慮しなかった場合の来院傷病者数

加したことを示し、逆に右下の場合には傷病者が減少したことを示す。これをみると、閉塞がない場合の方が来院傷病者数の少ない医療機関（図中、A群）がある一方、逆に傷病者の集中を招いている医療機関（B群）が見受けられる。単位ベッド数あたりの傷病者数の平均と分散を、表－1の「計算値（閉塞なし）」に示す。これをみると、分散が「計算値（標準）」よりも減少しているため、全体に各医療機関のベッド数に比例した来院状況となるが、平均が大きくなっていることからベッド数の少ない医療機関への配分が多くなったと考えられる。したがって、高架構造物の倒壊がなければ、各医療機関へ傷病者がより均等に向かっていたとは必ずしもいえない。

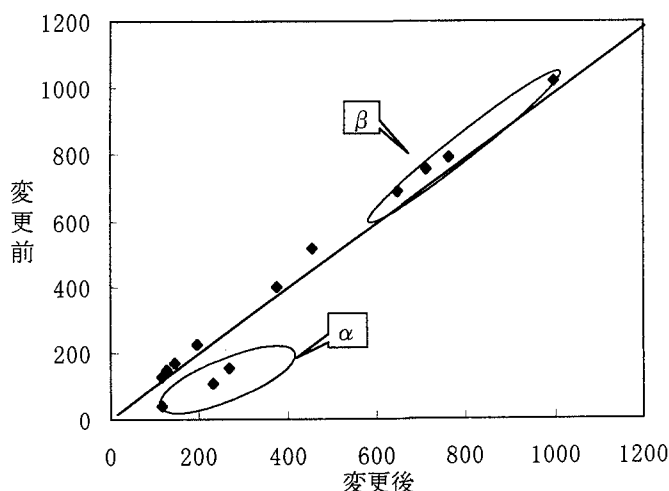
以上の結果より、今回の震災において、高架構造物の落下が特定の医療機関への傷病者の集中を促したとは一概にはいえないことがわかる。

（5）余裕のある医療機関への分散

西宮市では、特に南東部の医療機関において比較的余裕をもって治療が行われたといわれる。そこで、中心部の医療機関に集中した傷病者を、南東部の医療機関へ移動するよう促す方法を考える。ここでは、交通整理が適切に機能し、阪神高速神戸線より南の地区および西宮市東部の傷病者が他地区よりも南東部へスムーズに移動できると仮定して、当該区間の道路閉塞率を 1.0 から 0.5 に変更して計算を行った。これは、医療機関魅力度 $m_j = 1.0$ の医療機関であれば、約 10km 離れた地区まで医療機関ポテンシャルが及ぶ設定である。

縦軸を変更後、横軸を変更前として値をプロットしたものが図－7である。これをみると、市南東部に位置する 3 病院（図中、 α 群）で来院傷病者数が増加し、市中心部に位置し、傷病者が集中した医療機関（ β 群）の来院傷病者数はそれぞれ減少している。表－1の「計算結果（南東部）」に本ケースの平均と分散を示す。これをみると、平均、分散ともに減少しており、改善が見られるが、値の変化は小さいことがわかる。

したがって、若干の効果が認められるがいずれも大きな



図－7 南東部の医療機関への移動を促した場合

変化ではなく、傷病者の集中が激しい医療機関の負担を大きく軽減するほどの効果を得られるとはいえない。

(6) 防災計画への提言

地域防災計画の策定作業への提言をまとめると以下のようになる。

①高架構造物の落下が、傷病者の集中を促すとは一概にはいえない。したがって高架構造物倒壊による地区の孤立が原因となる傷病者の集中を検討すると同時に、高架構造物に被害のない状態における対応も併せて予測する必要がある。

②交通整理などによって余裕のある医療機関へ傷病者の移動を図っても、全体の傾向を変えるのは難しい。したがって、医療機関への傷病者の集中には、トリアージ・システムや臨時救護所の迅速な展開によって対応するとともに多くの傷病者の発生が予想される地区に医療機関を立地させることが必要と考えられる。

5. おわりに

本研究では、震災時における傷病者の搬送システムの概要と問題点を指摘するとともに、医療機関ポテンシャルを定義し、来院傷病者数の予測手法を提案した。これを兵庫県西宮市に適用して現実妥当性を確認するとともに、地域防災計画に対していくつかの提言を行った。

本モデルによって、地域における傷病者行動をマクロ的に予測することが可能となり、地域防災計画における傷病者搬送計画の策定に有用な情報を得ることができる。また、本モデルは小学校区単位のゾーニングと最短経路の距離を探索することで簡易に来院傷病者数を予測できることから、実用性も高いと考える。

今後の課題としては、周辺からの傷病者の流入や、災害時における傷病者の行動と道路被害の程度を詳細に調査してモデルに組み込むことで、より高い精度が期待される。また、震災当日に住民同士で伝達された医療機関の診療状況に関する情報が医療機関の選択に及ぼした影響を考慮することも課題である。

【参考文献】

- 1) 金田正樹：地域防災計画における災害医療，日本集団災害医療研究会誌，NO. 3, pp. 126-130, 1998.
- 2) 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.
- 3) 吉岡敏治，田中裕，松岡哲也，中村顕；集団災害医療マニュアル，へるす出版，2000.
- 4) 杉本侃：救急医療と市民生活，へるす出版，1996.
- 5) 鶴飼卓，高橋有三，青野允：事例から学ぶ災害医療，南光堂，1995.
- 6) 日本救急医学災害医療検討委員会編；救急医療の試練-阪神・淡路大震災-，メディカ出版，1995.
- 7) 上掲3)
- 8) 中平最映子，室崎益輝，大森寿雄：阪神・淡路大震災における負傷と医療に関する調査研究，日本建築学会大会学術梗概集，pp. 59-60, 1996.
- 9) 大森寿雄，室崎益輝：震災時における地域災害医療に関する研究，平成9年度日本建築学会近畿支部研究報告集，第37号（計画系），pp. 433-436, 1997.
- 10) 大西一嘉：地震時人的被害と災害医療・救護マネジメント，東濃地震科学研究所報告，NO. 3, 2000.

震災時における傷病者行動特性と搬送計画に関する一考察

小池則満 宇治和幸 秀島栄三 山本幸司 深井俊英

本研究では震災時における傷病者の移動について文献レビューを行い、その問題点を指摘するとともに、医療機関ポテンシャルを定義して来院傷病者数の予測手法を提案した。本モデル式ではロジスティック曲線を基本に、距離、医療機関の魅力度、道路閉塞の有無を考慮している。これを兵庫県西宮市に適用して高い現実妥当性を確認するとともに、傷病者が特定の医療機関へ集中するのは、医療機関のロケーションに問題があること、高架構造物の落下による交通の寸断が原因とは一概にはいえないことを明らかにし、地域防災計画に対していくつかの提言を行った。

Study on behavior and transport plan of the injured at earthquake disaster

by Norimitsu Koike, Kazuyuki Uji, Eizo Hideshima, Koshi Yamamoto, Toshihide Fukai

The characteristics of the behavior of injured in Nishinomiya City at the Hanshin-Awaji Earthquake Disaster are analyzed to propose an estimation method of the number of the injured to medical

institutions. This estimation method is composed of the logistic curve with some parameters, and correlated with the true value. Through a case study, it becomes clear that the location of medical institutions would bring the over-concentration of the injured and that the traffic jams by broken bridges would not be main factors. Transport plan of the injured should be handled explicitly into local disaster prevention plan.
