

都市の社会機能損傷評価に基づいた地震災害に対する次世代リスクマネジメント — 震災時の救急医療機能損傷評価と医療機関ネットワーク —

Next Generation Risk Management for Disaster Prevention through Consideration of Urban Social Functionality
— The Loss Evaluation of Emergency Medical Treatment Function and Network of Emergency Hospitals —

石田勝彦¹

¹(財)電力中央研究所, 上席研究員 工博

Katsuhiko Ishida, Central Research Institute of Electric Power Industry, k-ishida@criepi.denken.or.jp

SUMMARY

It is necessary that future earthquake disaster mitigation plans depend upon the evaluation of the loss of urban functions that play an important role for lives of residents in town. In other words, the paradigm changes from the evaluation of fragility of urban structures to the evaluation of fragility of urban functions for living in a urban community. The simulation analysis of the evaluation of the loss of medical treatment function during earthquake was presented to serve as an example to make clear the importance of the consideration of urban function. To simulate the loss of emergency medical treatment function, triage, treatment, and transportation of patients relation was modeled, considering the network of emergency hospitals.

キーワード: 地震防災, リスク管理, 都市機能, 医療機能, 患者選別-治療-転送モデル

Key words: Earthquake disaster mitigation, Risk management, Function of urban community, Medical treatment function, Model of triage-treatment-transportation of patient

1 序論

都市の地震防災においては、これまでは、シナリオ地震による建築構造物、土木構造物、ライフライン等の被害や地震火災等、都市構造物の物理的損傷評価とそれに基づいた損害額の推定や耐震補強等の防災計画の立案が主要な検討内容であった。

しかしながら、市民の都市生活という観点から都市を見ると、都市は上記の様々な構造物から構成されるシステムが提供する“機能”とそれぞれの機能が及ぼしあう“相互作用”によって、活性化されていると考えることが出来る。すなわち、都市における物流、輸送、情報、エネルギー、医療、行政、金融、教育等のような様々な社会活動機能と、それを支える工学的、社会学的システムの変化が都市の変化として現れると考えると、時間の推移や地域差による都市地震災害の様相の違いが理解出来る。

従って、都市の地震防災を考える場合は、都市構造物の被害状態を初期条件とした“都市機能と機能の相互作用”の損傷状況(損傷モード)とその損傷程度の評価に基づい

た地震危機管理と言う概念に、明確な基礎を置くことが必要であると考えられる。都市構造物の脆弱性評価から都市機能の脆弱性評価へのパラダイム変化が求められていると考える所以である。

しかしながら、現在、都市の社会機能の損失という視点からの震災評価は基本的になされておらず、防災計画も都市の機能の脆弱さに対する対策という明確な視点はない。又、限られた資源の配分によって住民生活の「Minimum Acceptable Risk」に対応した防災対策を実施するという視点も明確ではない。すなわち、現状ではシナリオ地震によるハザード想定から、「都市の構造物はどうなる」という想定結果と、では「どうする」という対応を求める流れまでで検討が止まっている。この「どうする」というレベルの評価も、一部の構造物の耐震補強に止まり、都市機能の地震災害に対する脆弱さに対して総合的に対応されているとは言いがたい状態である。さらに問題と考えられるのは、その「どうする」という事で実施した、又は、実施する対応策が妥当であるかどうかのフィードバックがなされていない事である。特に限られた資源で、望みうる最高

の防災対策を取らなくては成らない事を考えると、このフィードバック系による対策の試行と、それに基づいた意思決定のプロセスは防災行政には不可欠である。又都市の防災という、工学システムに加えて社会システムを包含している対象に対しては、その解(対応)が正解かどうかを数値解析的に検証する事は困難な事である。したがって、種々の条件下でのコンピュータシミュレーションが行われることに成るが、このような対象に対する危機管理には、その考え方にフィードバック系が構成されていることが不可欠である。そのためには評価基準となる指標が必要であるが、市民の都市生活という観点から都市防災を考える時、「機能の許容水準 (Acceptable Risk Level)」をその評価指標として採用する事になる。

以下の章において、医療機能を取り上げ、その損傷評価シミュレーションとその解析結果を考察し、都市地震災害を理解する上で都市の機能損傷に基づいた視点について概説する。

2 震災時の医療機能の損傷評価と救急医療ネットワーク

1995年兵庫県南部地震において、医療施設の被害、ライフライン設備、通信設備の被害により、医療機能が大きな損傷をうけた。医療施設の被害に加えて、水道・電気の供給停止は、重症患者の治療、手術、透析等直接人命にかかわる医療の停止につながっていた³⁾。これを Venn Diagram で表したのが図1である。

$$\text{医療機能損傷} = A \cup B \cup C \quad (1)$$

事象Aは医療施設の被害、Bは電気の供給停止、Cは水道の供給停止を表している。これら3事象のいずれかが発生すれば、医療機能は損傷を受けて、医療サービスが停止する(式(1))。

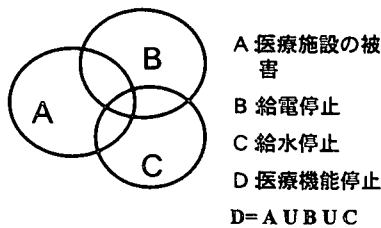


Fig.1 Venn diagram of loss of medical treatment.

事象A, B, C, の発生を単独で考慮するだけでは、災害地域での医療機能の損傷度を評価出来ない事がわかる。ここでは、医療機能の損傷に付いて考察しているので、医療施設の被害は医療機能別、すなわち、手術、透析などにかかわる施設というように分類する必要がある。手術を要する罹災者は外科がある病院に行かなくてはならないし、又透析を必要とする罹災者は、その設備が備わっている病院へ行かなくてはならない。

この3事象を考慮して災害時の医療サービスの流れを

見たものが図2である。これから、救急時の医療サービスにおいて、罹災患者の搬送が大きな課題のひとつである事がわかる。又、これから1995年阪神・淡路大震災や、1923年関東大震災のような大震災においては、災害地域内外の医療協力が不可欠であった事もわかる。医療協力のためには、特に救急医療病院間のネットワークの構築と、予想される罹災者の発生状況の下で、ネットワーク病院間での「患者の選別—治療—転送」過程をシミュレート出来るモデルが必要であり、そのモデルによるシミュレーションから、発生する状態を把握し対応計画を立案することが大切である。

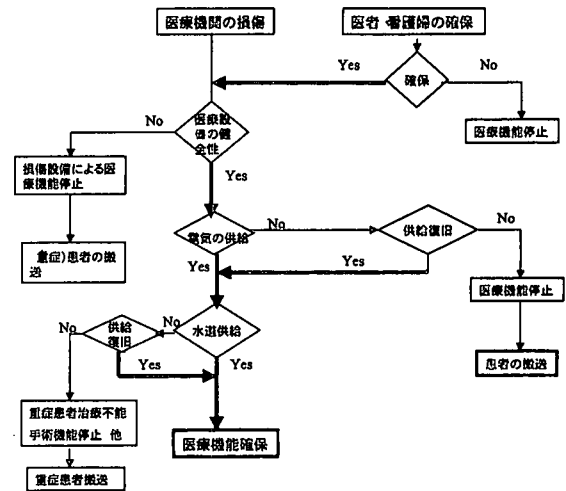


Fig. 2 The flow of responses for the loss of medical treatment.

2.1 救急医療における患者の選別—治療—転送モデル

日常における病院のネットワークが地震発生によって破壊され、健全な病院を中心とした救急医療病院ネットワークを再構築するとする。図3は、その概念モデルである。この場合、電気や水道の供給支障によって、震災発生直後から、或る時間医療サービスが停止し、電気又は水道の供給が再開された時点でその病院の医療サービスが復旧する病院 (No.2) も含まれる。

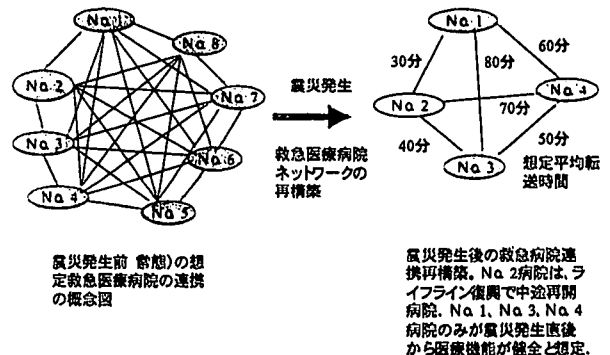


Fig. 3 The general idea of a reconstruction of network of emergency hospitals for patients after the occurrence of large earthquake

但し、非常用電源や医療用水が供給される状態で医療機能を維持できる状態の病院は、医療機能が健全な病院として扱う。ここでは、3病院が発災後も医療機能は健在で、1病院がライフラインの支障で二日後に医療機能が復旧したとしているが、この病院の状態と夫々の数は、任意に設定可能である。

図4は、地震災害による罹災患者の選別-治療-転送モデル(トリアージモデル)の概念図である。患者の症状は、①重傷患者(手術不要)、②重傷患者(手術要)、③透析対象患者、④重症者、⑤軽傷者、の5分類としている。夫々の症状の患者は、震災直後から夫々の地域の病院にランダムに到着すると考える。これら来院患者は症状別に上記の①~⑤に選別されて夫々の治療窓口へ配される。この場合、罹災患者の治療窓口への到着は、病院ごと、窓口ごとに異なるとし、又、1995年兵庫県南部地震の結果から、発災当日、二日目、三日目-と時間の経過でも異なる状態もモデルに組み込まれている。図4は、例として治療窓口数を夫々2としているが、モデルは、この窓口は任意の数に設定できるようになっており、又、症状別の窓口は、夫々独立としている。夫々の治療窓口が治療中であれば、その間に到着した患者は夫々の窓口で治療待ちという事になる。このとき、ネットワークを組んでいる病院間で患者の転送が踏られるが、その場合の条件は、或る患者が、その窓口で治療を受けるよりも、その患者を他の病院に転送したほうが、その患者が時間的に早く治療を受けられる場合には、患者をその病院に転送するというロジックにしている。各病院からの患者の転送について、ここでは、夫々の病院間の搬送時間を任意に仮定しているが、具体的な地域が設定された場合は、設定された緊急道路等による搬送時間を設定することが可能である。従って、定期的に他の病院での患者の待ち状態を、チェックするようにロジックが組まれている。患者の治療時間は、現実にはケースバイケースでランダムと考えられるので、ここでも治療時間の分布はランダム(正規対数分布、指数分布、一定時間、のケースを設定している)に与えている。軽傷者は、転送しないとしている。このようにして、治療が終わった患者は、その症状によってその病院に入院するか帰宅するか判断され、その累積数で必要なベッド数が算定される。又、患者の待ち状態を時系列で算定し、その状態が許容される状態かどうかの判定に反映される。すなわち、重傷者や、透析対象者、重症者は長く待たされれば、命にかかわることになり、救命という立場では、長く待つこと、すなわち待ちの行列が長い場合は、許容されないということになり、治療窓口やネットワークの病院数を増やすような方向の対応が必要となる。

このように、シミュレーション結果を、許容されるリスクレベル、又は設定されたリスクレベルに照らして、病院の治療窓口の大きさや、病院のネットワークの大きさ、さらには、そのネットワークを構成する病院の地域的選別などの設計を支援することが出来る。

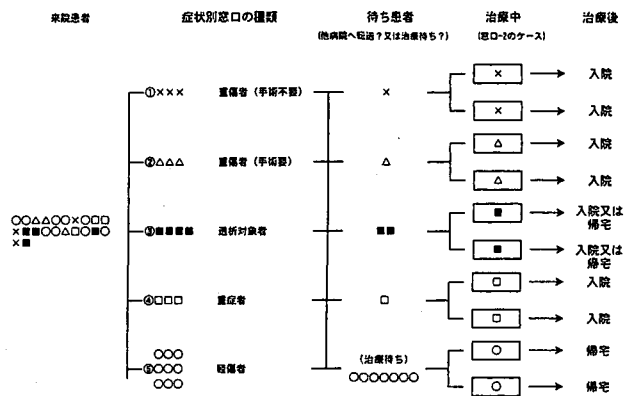


Fig. 4 The model of triage - treatment-transportation of patients (Triage model)

2.2 シミュレーション結果

表1は、設定したネットワークを構成する病院の症例別患者の来院と治療時間の分布の平均値(仮定値)を示したものである。治療窓口への患者の到着は、表1の平均値を持った指数分布であらわす。

又、治療時間は、正規対数分布で表わす。病院No. 2はライフラインの供給停止で、発災日と翌日の二日間は医療機能が停止し三日目から診療を再開したと設定している。病院No. 1とNo. 3は同じ平均値をもって来院患者が発生するとしているが、夫々独立に乱数を発生させているために、結果に多少の違いがある。病院No. 4の場合はそれよりも患者の来院数が少し少ない状態を設定している。No. 1とNo. 3の病院は地震被害が大きい地域にある病院、No. 4はそれよりも被害の少ない地域の病院と考えても良い。図5から図7はシミュレーション結果である。図5は、各病院の各窓口への患者の来院数の累積結果である。L-1は重傷患者(手術不要)、L-2は重傷患者(手術要)、L-3は透析対象者、L-4は重症者、L-5は軽傷者である。又、G-2は夫々の症状の治療窓口数は2であることを示している。計算は、発災日から三日間実行している。これは、救急医療にとって重要な日数を三日間と仮定して計算を実行したもので、任意の日数だけ計算は可能である。病院H-2(No. 2)は、発災三日目から医療業務再開しているために、治療窓口への来院は三日目(48時間後)から発生している。図6は、各治療窓口での待ち患者の累積数を時系列であらわしたもので、患者を他の病院に転送する条件の場合と、転送せずにその病院で全て治療するという二つの条件の下で、夫々計算した結果を重ね書きしたものである。透析対象患者(L-3)の場合、治療時間は一人3時間一定と仮定している。発災後三日目から診療が再開された病院H-2の場合は、診療再開が三日目と言う事で、罹災患者の来院数も少なくなっており、従って、手術を要しない重傷者(L-1)、重症者(L-4)、及び軽傷者(L-5)の窓口は、待ち患者はゼロである。一方手術を要する患者(L-2)の窓口では、発災時からの経過時間が4000分(2.7日後)あたりで、

数回一人の待ち患者が発生しているが、夫々待ち時間は短い。透析窓口では、患者の治療時間が3時間と長いこともあって、多くの待ち患者が発生している。H-1, 3, 4の3病院は震災直後から医療業務が行われている病院であるが、これらの病院では、頻りに待ち患者が発生していることがわかる。又、全ての患者をその患者が最初に来院した病院で治療をするというロジックで計算した結果と、転送を行うというロジックで計算した結果とでは、各治療別の窓口数を2とした本ケースでは、転送する場合のほうが待ち患者数が少ない結果となっている。待ち患者数は、患者の来院状況で大きく違うこともわかる。さらに、透析治療部門では、患者の待ちが大きすぎて、患者の救命に支障をきたす恐れが大きいことが想像される。手術を要する重傷者の治療窓口でも同様の状態が現出している。Acceptable Risk Level が患者の救命であるとすれば、今回の患者の来院分布に対して、上記3症状の治療窓口数は十分でなく、

Table 1: The conditions of simulation for the model of arrival-treatment-transportation of patients.

1. 重傷者 (手術不要)				
病院名	発災日	二日目	三日目	
平均到着間隔 (指数分布)	Na 1	30分/人 (48人/日)	45分/人 (12人/日)	60分/人 (24人/日)
	Na 2	休診	休診	再開120分/人 (6人/日)
	Na 3	30分/人 (48人/日)	45分/人 (12人/日)	60分/人 (24人/日)
	Na 4	60分/人 (24人/日)	90分/人 (16人/日)	120分/人 (12人/日)
平均治療時間 (対数正規分布) 変動係数=0.1* (平均値)	Na 1	30分/人	30分/人	30分/人
	Na 2	休診	休診	30分/人
	Na 3	30分/人	30分/人	30分/人
	Na 4	30分/人	30分/人	30分/人
治療窓口数	2, 3, 4, 5, 10 のケース			
2. 重傷者 (手術要)				
平均到着間隔 (指数分布)	Na 1	30分/人	45分/人	60分/人
	Na 2	休診	休診	再開120分/人
	Na 3	30分/人	45分/人	60分/人
	Na 4	60分/人	90分/人	120分/人
平均治療時間 (対数正規分布) 変動係数=0.1* (平均値)	Na 1	60分/人	60分/人	60分/人
	Na 2	休診	休診	再開60分/人
	Na 3	60分/人	60分/人	60分/人
	Na 4	60分/人	60分/人	60分/人
治療窓口数	2, 3, 4, 5, 10 のケース			
3. 透析治療者				
平均到着間隔 (指数分布)	Na 1	30分/人	45分/人	120分/人
	Na 2	休診	休診	再開120分/人
	Na 3	30分/人	45分/人	120分/人
	Na 4	60分/人	90分/人	120分/人
平均治療時間 (対数正規分布) 変動係数=0.1* (平均値)	Na 1	180分/人(一定)	180分/人(一定)	180分/人(一定)
	Na 2	休診	休診	再開180分/人(一定)
	Na 3	180分/人(一定)	180分/人(一定)	180分/人(一定)
	Na 4	180分/人(一定)	180分/人(一定)	180分/人(一定)
治療窓口数	2, 3, 4, 5, 10 のケース			
4. 重症患者				
平均到着間隔 (指数分布)	Na 1	30分/人	45分/人	120分/人
	Na 2	休診	休診	再開120分/人
	Na 3	30分/人	45分/人	120分/人
	Na 4	60分/人	90分/人	120分/人
平均治療時間 (対数正規分布) 変動係数=0.1* (平均値)	Na 1	20分/人	20分/人	20分/人
	Na 2	休診	休診	再開20分/人
	Na 3	20分/人	20分/人	20分/人
	Na 4	20分/人	20分/人	20分/人
治療窓口数	2, 3, 4, 5, 10 のケース			
5. 軽傷者				
平均到着間隔 (指数分布)	Na 1	10分/人	20分/人	60分/人
	Na 2	休診	休診	再開60分/人
	Na 3	10分/人	20分/人	60分/人
	Na 4	20分/人	40分/人	60分/人
平均治療時間 (対数正規分布) 変動係数=0.1* (平均値)	Na 1	15分/人	15分/人	15分/人
	Na 2	休診	休診	再開15分/人
	Na 3	15分/人	15分/人	15分/人
	Na 4	15分/人	15分/人	15分/人
治療窓口数	2, 3, 4, 5, 10 のケース			

さらに窓口数を増やすか、ネットワークを組む病院数を増やすというような、患者の待ち状態が Acceptable Risk Level を満足するような対策が求められる。このようなシミュレーションを実施して、対応可能な救急医療対応策を計画することが出来る。図7は、各病院窓口で治療済みの患者の、時系列累積人数の一例である。これによって必要なベッド数が推定され、これをもとに災害発生時に供給すべきベッド数を予想できる。

3 結論

都市災害とそれに対する防災を、Acceptable Risk Level との対比による危機管理の上から理解するために、都市の「機能」に立脚して考えることを提案し、諸機能のうち、医療機能における災害時救急医療ネットワークモデルとその解析例を示した。本論文における医療機能損傷評価モデルは、患者来院分布や夫々の治療時間分布、各治療窓口数やネットワークの病院数や患者の転送時間などの条件を任意に設定する事が出来る。従って、予想される様々な条件下でシミュレート出来る。又、「機能の損傷」を評価対象にしているために、その機能の要求レベルに従って、治療窓口数や、ネットワークの病院数選定やその各病院の患者処置能力などの対策を具体的に計画する事が出来るという利点がある。又、東海道新幹線のように多くの行政区域を運行している交通機関が地震災害に遭遇したような場合には、罹災者をどの医療機関に搬送すべきかなど、現在の救急医療体制の盲点と思われるような事象についても、このモデルは対応可能である。大震災時には、震災地域内外の病院間の医療協力が不可欠である。医療をひとつの「機能」としてその損傷評価を行うことで、具体的な対応策を立案できることを示したものと考えている。

4. 謝辞

(財)甲南病院院長 内藤秀宗医学博士には 1995 年阪神・淡路大震災での救急医療活動から得た貴重な御意見をいただいた。ここに深謝いたします。

5. 参考文献.

- 1) 石田勝彦:「都市の機能」の損傷評価に基づいた地震防災に対する次世代リスクマネジメント, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 187-188, 2001
- 2) 内藤秀宗: 阪神大震災に学ぶ医療と人の危機管理, はる書房, 1996
- 3) 阪神・淡路大震災復興し「第1巻, 第2巻」兵庫県(財)21世紀ひょうご創造協会, 1997

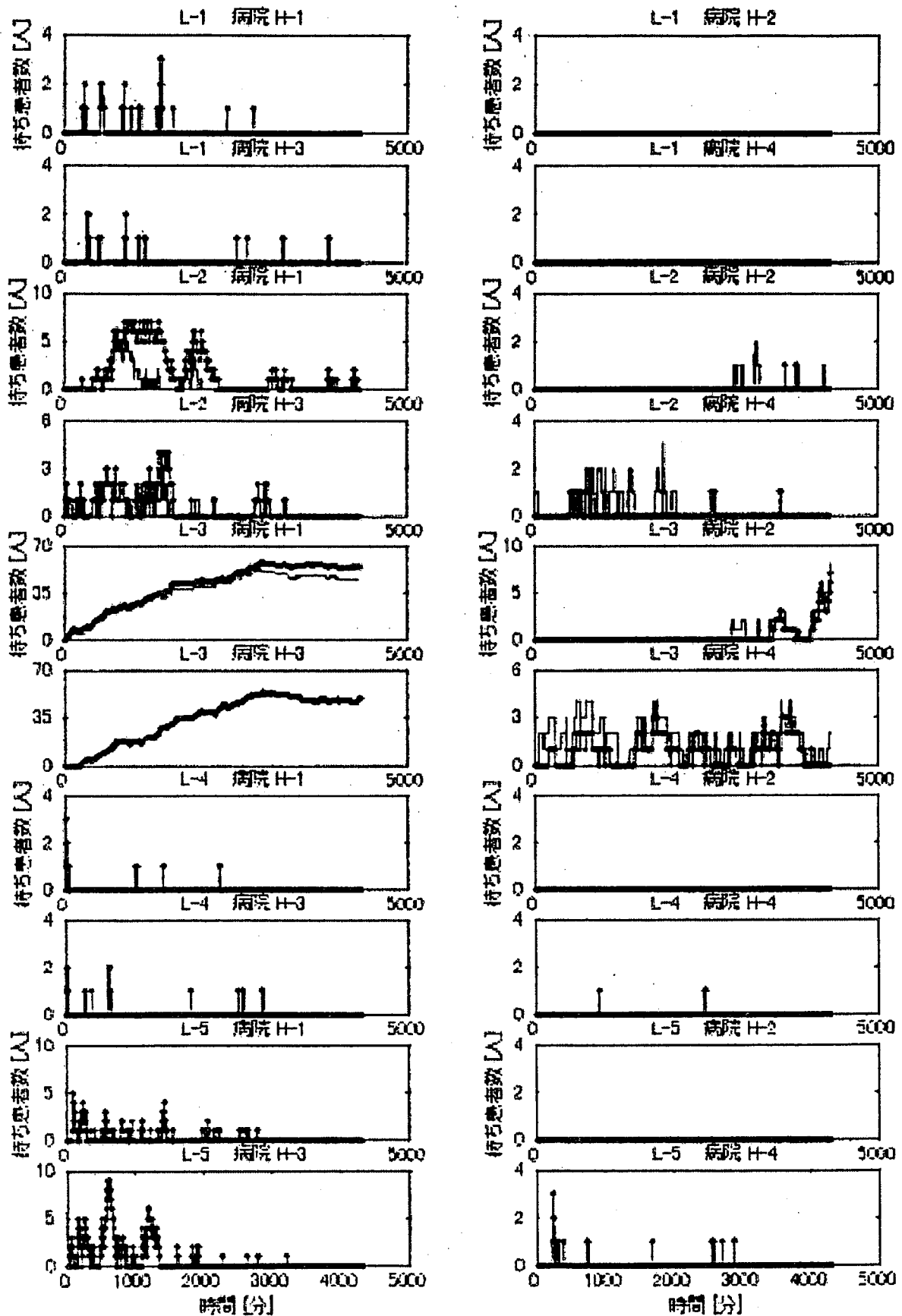


Fig. 6 The accumulated generating patient of each treatment condition.
 (Red line: With Transportation, Black mark: w/o Transportation)

累積来院数 [人]

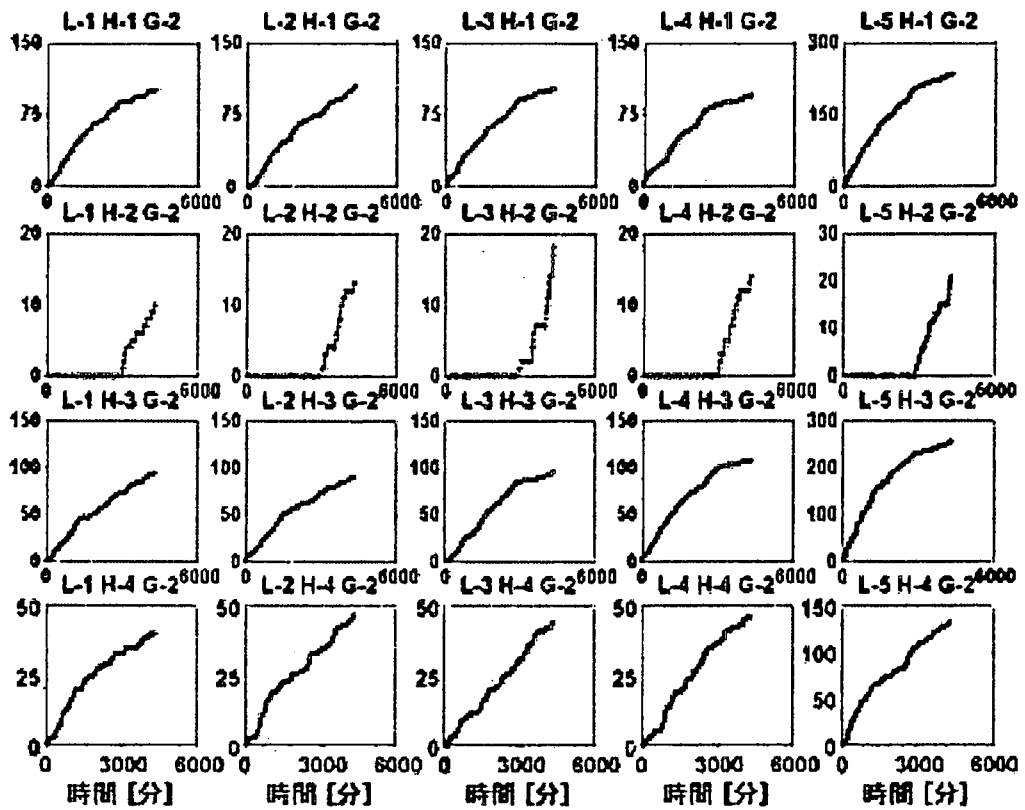


Fig. 5 The accumulated number of patients simulated according to the exponential distribution.
(Red mark: with transportation, Black line: w/o transportation)

累積治療者数 [人]

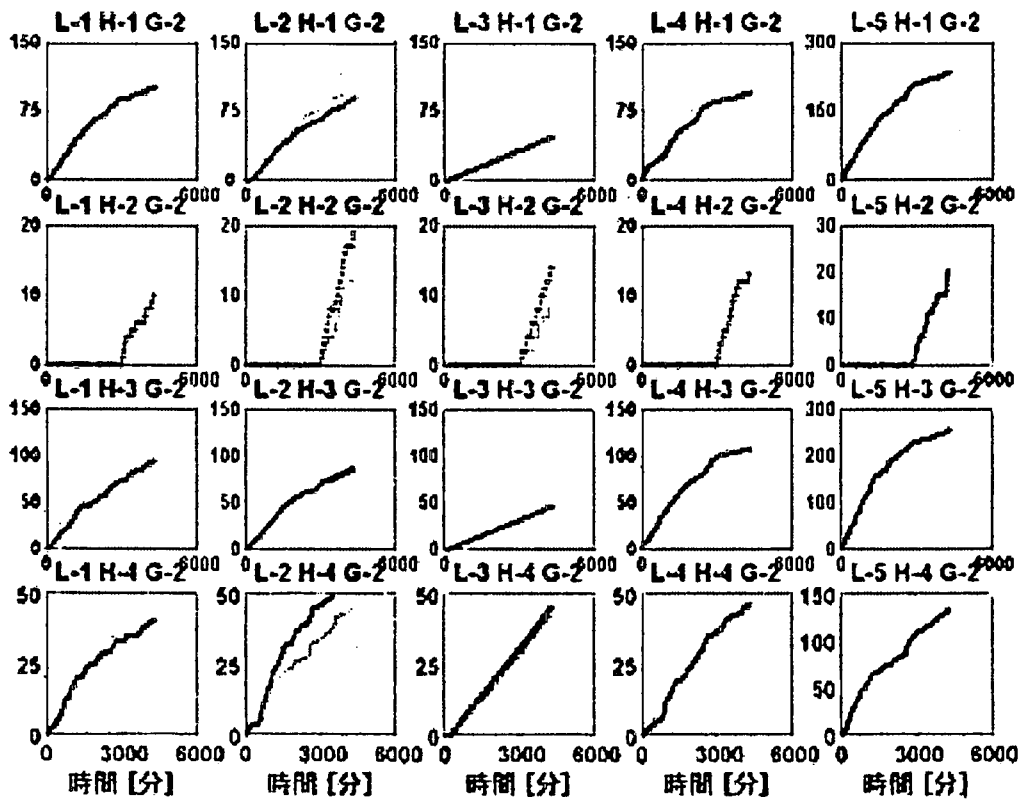


Fig. 7 The accumulated number of patients who have been completed medical treatment
(Red mark: with transportation, Black line: w/o transportation)