Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-12-05

Computer-Simulated Assessment of Methods of Transporting Severely Injured Individuals in Disaster-Case Study of an Airport Accident

井上，弘樹

(Degree)
博士（医学）
(Date of Degree)
2006-03-25
(Resource Type)
doctoral thesis
(Report Number)
甲3581
(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003581

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

【 102 】

氏　　名・（本　籍）	井上　　弘樹	（　岡山県　）
博士の専攻分野の名称	博士（医学）	
学　位　記　番　号	博い第1724号	
学位授与の　要　件	学位規則第５条第１項該当	
学位授与の　日　付	平成18年3月25日	

【 学位論文題目 】

Computer-Simulated Assessment of Methods of Transporting Severely Injured Individuals in Disaster-Case Study of an Airport Accident
（コンピュータシミュレーションによる空港災害時の重傷者搬送方法の検討）

審　査　委　員

主 査　教　授　石井　　昇
教　授　春日　雅人
教　授　西尾　久英

1. 背景と目的

一般に重傷度に応じた病院への適正搬送、早期治療開始は患者の予後を改善することが期待される。集団災害のような発生が稀なイベントにはコンピュータを用いた解析が特に有用であり、これまでにもワークフロー・モデルを用いた Oboshi らの研究がある。本研究は災害現場と病院間で重傷者を搬送する仮想のモデル上で、以下に述べる患者搬送法の最適化が、予後を向上させる可能性を推計するためのコンピュータシミュレーションシステムを構築した。また、同システムに入力したサンプルデータの実行例についても検討を行った。

2.設定と設計

従来の患者搬送法(トリアージで最優先群と判定された者から順に搬送)を First in first out 法(FIFO 法)と称した。これに対し今回検討を行う患者搬送の最適化は、経時的予後が短い重傷患者の前病院時間が短縮されるようにより細かく搬送順序を最適化する方法で、配列型データの整列処理に相当する。実際の整列操作は、対象患者を数名毎に分けその中で並び替え処理が順次行われると考えられるため、この最適化法を、サブグループソーティング法(以下 SGS 法)と称した。

本モデルで n 番目に搬送される患者の前病院時間 Tp(n)は「現場救護所での重傷度判定と並び替え作業に要する時間」と「判定後救急車に載せられるまでの待ち時間=(n - 1)×救急車の発着間隔」と「病院到着までの救急車の搬送時間」の合計とした。

個々の患者の搬送効果の評価指標として、救命可能率を設定した。n 番目に搬送される重傷者の救命可能率 Lsr(n)は Tp(n)の関数であり、救急治療が開始されるまで経時的に単調減衰していくと考え、生物の非線形曲線モデルに関する過去の研究と、救急患者の経時的な死亡率に S 字型曲線を当てはめた Cara の研究を元に、生物の生存曲線によく用いられる Gompertz 曲線で近似した。

3.システムの説明

本プログラムは Microsoft[R] Visual Basic[R]. net™ を用いて記述され、以下の処理からなる。

①サブグループ数の入力
②変数入力
③各サブグループ内の各患者救命可能率初期値の整列
④前病院時間の計算
⑤病院到着時救命可能率の計算
⑥全患者の到着時救命可能率を平均し、平均救命可能率を算出。

SGS 法は①から⑥までを順次行うが、FIFO 法は①と③を行わない点が異なる。②で入力する変数は、各サブグループの患者人数、搬送患者総数、搬送作業の最初に行なわれる患者の重傷度評価に要する時間、救急車の速度と発着間隔、現場と病院間距離などである。もし救急車の台数が不足する場合は、一度出発し戻ってきた救急車を再利用する。患者数 10 人の場合の SGS 法を行った場合の患者のグループ設定の表記法であるが、例えば SGS(4,4,2)はサブグループ数 3 で、1 グループ目 4 人、2 グループ目 4 人、3 グループ目 2 人を意味する。SGS(10,0)は 10 人全員を一度で並び替えた場合とする。以下同様に SGS の(2,2,2,2,2)、(3,3,3,1)、(4,4,2)、(5,5)、(6,4)、(7,3)、(8,2)、(9,1)、(10,0)と 9 通りのグループ分けを設定した。上記

システム上で両法の平均救命可能率の算出をモンテカルロ法で行った。

4.シミュレーションの実行例

人工島上に位置し点災害現場として本モデルがよく適合する Kobe Airport での仮想災害をサンプルデータとして用いた。搬送先病院は K 病院(現場との距離 5km)と H 病院(現場との距離 9km、K 病院との距離 4km)の 2 つ、重傷者数は過去の我が国における主要航空機事故 22 件を元に 10 人、救急車の平均移動速度は神戸市警防部救急救助課により 45km/h、救急車の発着間隔 1 分、救急車 1 台当たりの患者数は 1 人とした。これらの値を入力し、種々の条件でシミュレーションを実行し以下の結果を得た((i)から(iv)までの並び替え作業前の各患者の重傷度判定に要する時間は 0 分である)。

(i).重傷患者の搬送を FIFO 法に基づいた場合と、SGS 法に基づいた場合で比較した。

(i-a) K 病院のみに搬送
(i-b) 最初の 5 人を K 病院に搬送し、残りの 5 人を H 病院に搬送(K 病院+H 病院と略す)
(i-c) H 病院のみに搬送

上記 3 つのいずれも、サブグループが減少し、一度に整列する患者数を多くするほど SGS 法の平均救命可能率の向上傾向が見られた。FIFO 法と比較すると、SGS(10,0)で(i-a)の場合は 5.1%、(i-b)の場合は 8.1%改善した。

(ii).(i-a)、(i-b)について救急車の移動速度を変化させ同様に計算。
(i-a)、(i-b)で時速 45km、SGS(10,0)で SGS 法を用いた場合の平均救命可能率は、それぞれ時速 70km、80km で FIFO 法を用いた場合にほぼ相当した。

(iii).(i-b)について 2 病院間の距離を変化させた。
(i-b)では SGS(4,4,2)よりも SGS(5,5)の方が平均救命可能率がやや低下していた。この現象を解釈するために、(i-b)について 2 病院間の距離のみを変化させ同様の計算を行った。この「逆転」は 2 院間の距離を短くすると消失し、長くすると増すことが確かめられた。

(iv).(i-a)、(i-b)について救急車の発着間隔を変化させ同様に計算。
いずれも発着間隔が長いほど、FIFO 法に比べ SGS 法の平均救命可能率の改善が大きくなる傾向が見られた。

(v).患者の重傷度評価に要する時間経過を加味した場合。
(ii-a)、(ii-b)で SGS(10,0)で SGS 法を用いた場合において、並び替え作業前の各患者の重傷度判定に要する時間を 0 分から 10 分まで変化させ、それぞれ計算を行った((v-a)、(v-b))。
搬送作業の最初に行なわれる患者の重傷度評価に要する経過時間 1 分あたり(v-a)では約 2.2%、(v-b)では約 2.5%平均救命可能率の低下が見られた。救急車の移動速度を速めても、同様な平均救命可能率の低下が認められた。

5. 考察

システムの適用範囲について：本システムでは患者数、サブグループ数を変化させることが可能である。ただし、患者数が多くなればなるほど、実行結果は現実の運用とかけ離れていく恐れがあり、経路選択、分散搬送などの最適化も加味することが必要となる。次に、並び替え操作に要するトリアージ指揮者の短期記憶の保持能力には限界がある。1サブグループは7人前後で構成するのが実際的かもしれない。

救命可能率への曲線近似について：様々な傷病者に対して救命可能率初期値の範囲の取り方、受傷部位や受傷機転の相異する患者間の重傷度の比較をどのように行うのかという問題がある。Larsen らや Shiogai らの報告からも、近似曲線は疾病により色々な形を取り得る余地が残されている。外傷患者の初期重傷度判定と経時変化の関連、搬送時間と予後の関連に対する疫学的な研究で大規模、詳細なもの、他の生物学的モデルを当てはめた研究は極めて少ないのが現状であるが、本システムは将来の知見をコード変更により比較的容易に取り入れることが可能であると考えられた。

実行例について：(i)の結果は、FIFO 法と比較して SGS 法で搬送した場合の平均救命可能率に改善が認められたことから、同じトリアージ最優先群でもさらにその中で重傷度にもとづく搬送順位の最適化を考慮する可能性を示している。重傷度の高い患者が短い前病院時間で済むように、すなわち高い優先度になるように搬送順位を変更したため、その患者の救命可能率が上昇したと考えられる。(iv)で示すように救急車の発着間隔が長いほど SGS 法の効果は高くなることより、救急車の台数が不足する場合、本操作を考慮する選択もあると思われる。また(ii)の結果では、SGS 操作が救急車乗員の負担を軽減する可能性を示唆している。しかし、(v)で示すように、患者全員の重傷度判定に時間がかかった場合は逆に平均救命可能率が著しく低下しており、優先順位を決める際に費やされる重傷度判定のための時間の影響は重大であることが定量的に確かめられた。一度に並び替えする人数が多いほど、かつサブグループ数が少ないほど SGS 法の平均救命可能率は改善していくと思われたが、(i-b)のように2つのサブグループの並び替えが3つのサブグループの場合と比べ、平均救命可能率が低下している場合も見られた。この「逆転」は(iii)に示すように、2病院間の距離が長い場合に顕著になる。距離の離れた複数の病院に患者列を分割して搬送する際、サブグループ化には最適な構成が存在し得ることが示唆される。本シミュレーションを行う場合は個々の地域において地理的条件を加味し個別に算定を行い評価する必要があると思われる

6.結論と今後の課題

FIFO 法と比較して、SGS 法が予後を改善する可能性を推計するため、コンピュータシミュレーションシステムを構築した。地理的条件その他の入力変数の設定により様々な想定事例を再現可能なコンピュータシミュレーションが緊急時医療の試算に有用であることが示された。実行例では、ある条件では SGS 法が FIFO 法よりも優れていたが、実際の効果を期待するためには、搬送作業の最初に行なわれる患者の重傷度評価に要する時間をできるだけ短くする必要があり、短時間で精度の高い判定が可能な重傷度判定法の開発などが求められる。さらに、要搬送重傷者数が既知でない場合や救急車の配備状況、道路事情、ヘリコプターや他の搬送手段を併用した場合、病院の緊急時対応力など、動的な条件をどうモデルに生かしていくかは今後の検討課題である。

神戸大学大学院医学系研究科（博士課程）

論文審査の結果の要旨

受付番号	甲 第 1726 号	氏 名	井上 弘樹
論文題目 Title of Dissertation	Computer-Simulated Assessment of Methods of Transporting Severely Injured Individuals in Disaster - Case Study of an Airport Accident コンピュータシミュレーションによる空港災害時の重傷者搬送方法の検討		
審査委員 Examiner	主査 Chief Examiner 石井 昇 副査 Vice-examiner 斎田 雅人 副査 Vice-examiner 西尾 久英		
審査終了日	平成18年 2月16日		

（要旨は1，000字～2，000字程度）

災害現場の重傷者搬送に対する最適化を検証するため、現場と病院間で患者を搬送する仮想モデル上で、以下に述べる患者搬送法の最適化が、予後を向上させる可能性を推計するためのコンピュータシミュレーションシステムを構築した。また、同システムの実行例について検討を行った。

従来の患者搬送法は救出後、トリアージで最優先群と判定された者から救出順に搬送されることが考えられ、First in first out (FIFO)法と称した。対して今回検討する患者搬送の最適化は、経時的予後が短い患者の前病院時間が短縮されるようにより細かく搬送順序を整列する方法である。実際は患者列を数名毎に分割し、その中で並び替え処理を順次行うと考えられるため、この最適化法を、サブグループソーティング(SGS)法と称した。

評価指標として前病院時間の関数である救命可能率を設定した。各患者の前病院時間は、現場救護所で重傷度判定や並び替え作業に要する時間と搬送開始までの待ち時間と病院到着までの搬送時間の合計とした。救命可能率曲線は、生物の非線形モデルの研究と、Cara の患者死亡率曲線を元に Gompertz 曲線で近似した。

本システムは次の処理からなる。

①サブグループ数入力②変数入力③各サブグループ内の各患者救命可能率初期値の整列④前病院時間の計算⑤病院到着時救命可能率の計算⑥全患者の到着時救命可能率を平均し、両法の平均救命可能率を算出し比較。

FIFO 法は①と③を行わないが、SGS 法は①～⑥を順次行う。SGS 法時の患者列のグループ設定は、患者数 10 人で SGS(4,4,2)の場合はサブグループ数 3 で、第 1 グループ 4 人、第 2 グループ 4 人、第 3 グループ 2 人を意味する。SGS(10,0)は 10 人を一度で並び替えた場合である。同様に種々のグループ設定を行った。

シミュレーションの実行例として、神戸空港の災害を想定した。搬送患者数は過去の事例より 10 人、救急車 1 台当りの患者 1 名、搬送先病院は K 病院と H 病院の 2 つとした。ただし、現場病院間距離、救急車の移動速度、救急車の発着間隔、搬送開始前に行われる重傷度判定と並び替え作業に要する時間は数値変更可とし、色々な条件下でシミュレーション可能とした。

(1)患者全員を近くの K 病院のみに搬送

(2)まず 1 番目から 5 番目の患者を K 病院に搬送し、残り 6 番目から 10 番目の 5 人を H 病院に搬送

(3)患者全員を遠くの H 病院のみに搬送、

の 3 通りの搬送経路について計算を行った。いずれもサブグループ数が減少し、一度に整列する患者数が増えるほど SGS 法の平均救命可能率の向上傾向が見られ、FIFO 法と比較すると、SGS の(10,0)で(1)では 5.1%、(2)では 8.1%改善した。

実行例は、同じトリアージ最優先群の中で更に重傷度に基づく搬送順位の最適化を考慮する可能性を示している。重傷度の高い患者が短い前病院時間で済むように、すなわち高い優先度になるように搬送順位を変更したため、その患者の救命可能率が上昇したと考えられる。本システムの適用範囲は、患者数が多くなるほど、実行結果は現実の運用とかけ離れていく恐れがあり、経路選択、分散搬送などの最適化も加味することが必要となる。同時に、並び替え操作を行うトリアージ指揮者の短期記憶保持能力の限界も考慮する必要がある。救命可能率曲線について、様々な傷病者に対して救命可能率初期値の取り方、受傷部位や受傷機転の異なる患者間の重傷度や経時変化の比較という問題があるが、本システムは将来得られるであろう、より妥当な近似曲線をコード変更により取り入れることができると考えられた。

FIFO 法と比較して、SGS 法が予後を改善する可能性を推計するため、コンピュータシミュレーションシステムを構築した。実行例では SGS 法が優れていたが、実際の効果を期待するためには、短時間で使用でき高精度な重傷度判定法の開発が求められる。要搬送者数が既知でない場合や救急車の稼動状況、道路事情、病院の緊急時対応力など、動的な条件を考慮したモデルの作成は今後の課題である。

本研究は、災害時の重傷者搬送方法について研究したものであるが、コンピューターシュミレーションシステムを用いた患者搬送の最適化について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、本研究者は、博士（医学）の学位を得る資格があると認める。