

病院内トリアージ運用方法支援ツール TRISim の概要と応用

日大生産工（院） ○小林 篤史 日大生産工（研究員） 杉沼 浩司
日大生産工 古市 昌一

1 まえがき

規模の大きな災害が発生する場合や救急医療の場合、緊急度の異なる傷病者が診察や治療を受けに多数来院するため、医療機関は平時と異なる対応をする必要性が生じる。このような状況下における医療手法としてトリアージがある。トリアージとは一人でも多くの傷病者に対して最善の治療を行う手法である。日本では、日本救急医学会が2012年にJTAS (Japan Triage and Acuity Scale)¹⁾として標準化した。この手法は各病院の標準的なトリアージに基づいて使用されているが、病院ごとに利用されているトリアージプロトコルは異なっている。そのため、各病院の運用者は病院の特性に合わせて運用方法等を検討している。運用方法の検討にはトリアージプロトコル、緊急度基準及びトリアージ結果のような病院ごとの特性を考慮することが重要である。従来このような観点の研究では調査研究^{2,3)}やコンピュータシミュレーション研究がある。コンピュータシミュレーションによるものは待ち行列を利用した研究⁴⁾がよく行われている。マルチエージェントシミュレーションによる研究も近年されている^{5,6)}。このようなことからマルチエージェントシミュレーションによる検討が求められている。そこで、各病院の運用者へ病院の特性を考慮できるトリアージ運用方法検討マルチエージェントシミュレーションツールTRISim⁷⁾を提案及び開発した。さらに、設定されるパラメータを推定する手法である逆シミュレーション^{8,9)}を導入し、最適なトリアージ運用方法の提案が可能となるようにした。本研究ではTRISimの概要及びTRISimがトリアージ運用方法の提案及び検討に応用できることを示す。

2 TRISim の概要

図1にTRISimの概要を示す。患者が救急車
両あるいは徒歩により来院し、医師あるいは
トリアージナースからトリアージを受けて緊
急度が判定される。判定結果を基に患者は手
術あるいは処置を受けて入院し、病状が改善
次第退院するかあるいは診察を受けて、手術
あるいは入院、退院する。救急部門の一連の流

れをシミュレーションすることにより，トリアージ運用方法の提案及び検討ができるようなマルチエージェントシミュレーションツールがTRISimである．

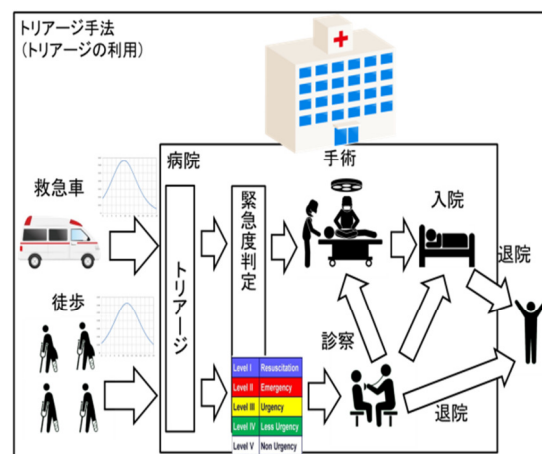


図1 TRISimの概要

3 TRISim システム構成

図 2 に TRISim のシステム構成を示す。TRISim システムは通常シミュレーションフェーズ及び逆シミュレーションフェーズから構成される。

通常シミュレーションフェーズでは各部屋の部屋数及びそこに所属するエージェントの人数、モデルのパラメータの設定といったシナリオ設定をする。シミュレーションを実行しシミュレーション結果を得る。結果の解析及び評価を行い、パラメータの変更後シミュレーションを実行するというプロセスを繰り返して必要な結果を得る。

逆シミュレーションでは初期パラメータ決定のための評価指標及び病院の救急部門を複数子設定し、構成される部屋にエージェントに関するパラメータをランダムに設定する。救急部門ごとにシミュレーションを実行して、結果を取得し、反映したパラメータと合わせて1粒子とみなし、逆シミュレーションエンジンに入力し、最適化計算を1サイクル実行する。算出したパラメータをそれぞれの救急部門において更新する。このプロセスを最適

Overview and applicability of TRISim as a tool to follow triage operation method in hospitals

Atsushi KOBAYASHI, Koji SUGINUMA and Masakazu HURUICHI

値に収束するまで繰り返し実行するというものである。得られたモデルパラメータを初期パラメータとして通常シミュレーションを実行し、解析評価を実施することが可能となる。

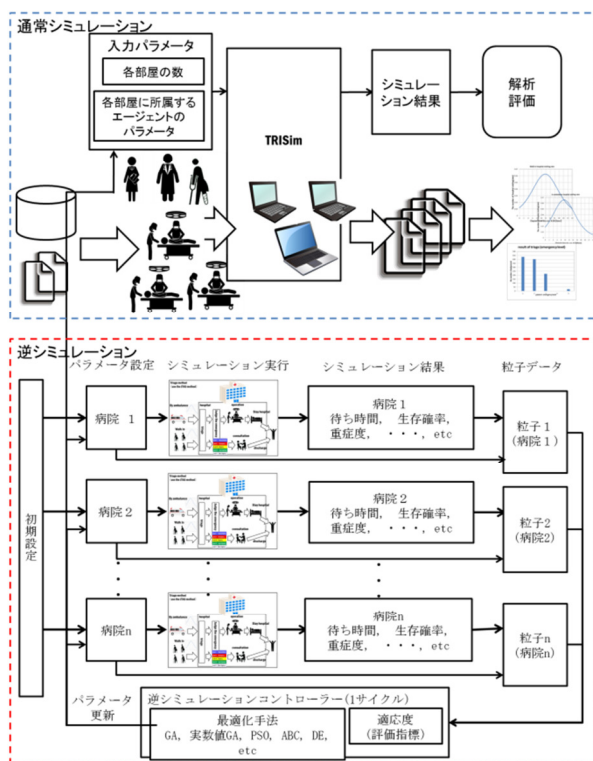


図2 TRISimシステムのシステム構成

シミュレーションの構成としては次の通りである。部屋の構成として診察室、手術室、初療室、観察室、重症観察室、ICU、HCU、一般病棟、待合室、X線室、CT室、MRI室、血管造影室とし、エージェントの構成として、医師、看護師、医療技師及び患者とする。各エージェントのふるまいは公刊文献上に記載されているプロセス等を基に構成されている。患者エージェントに関しては公刊文献を基にした詳細な傷病状態のモデル¹⁰⁾及び生存確率¹¹⁾を考慮したモデルとする。

4 シミュレーション実験

本研究において提案している TRISim システムが適切な結果の提示が可能かどうかを検証する。

4.1 シナリオ設定

日本の一般的な救命救急センターの救急部門を想定する。構成される部屋を救急部門に関連する部屋を含め、診察室、手術室、初療室、ICU、HCU、一般病棟、待合室、X線室、CT室、MRI室及び血管造影室とする。医師は診察室、手術室、初療室、ICU及びHCUに所属するものとする。看護師は診察室、手術室、初療室、ICU、HCU、一般病棟及び待合室に所

属するものとする。医療技師は ICU、HCU、X線室、CT室、MRI室、血管造影室及び Fast 室に所属するものとする。患者は1日約 103³⁾人来院するものとし、到達分布¹²⁾を図3とする。

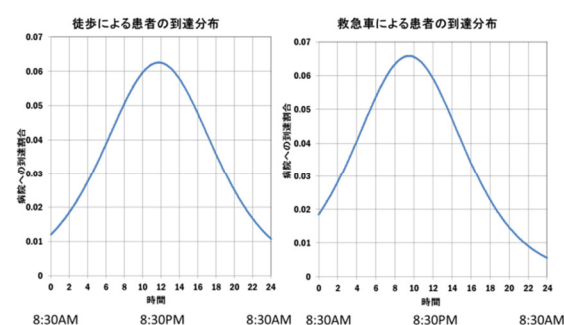


図3 患者の到達分布

図の左側が徒歩により来院する患者の到達分布を表し、右側が救急車により来院する患者の到達分布を表す。初期時間は AM8:30 とし最大を 24 時間後の AM8:30 とする。来院患者の時間単位での到達分布を本研究ではロジスティック分布に基づき設定するものとする。

逆シミュレーションの評価指標として、NEDOCS (National Emergency Department Overcrowding Study)¹³⁾を使用する。NEDOCS は救急部門における混雑状況を表した指標であり、(1)式により示し、表1に各変数を示す。

$$\begin{aligned} \text{NEDOCS} = & -20 + 85.8 \times \frac{\text{Total patients}}{\text{ED Beds}} \\ & + 600 \times \frac{\text{Admits}}{\text{Hospital Bed}} \\ & + 13.4 \times \text{Ventilators} \\ & + 0.93 \times (\text{Longest Admits}) \\ & + 5.64 \times (\text{Last bed time}) \quad (1) \end{aligned}$$

表1 NEDOCSのパラメータ

パラメータ	内容
Total patients	現時点での全患者数
ED Beds	救急部門の総ベッド数
Admits	救急部門における患者の数
Hospital beds	病院の病床数
Ventilators	救急部門における人工呼吸器をつけている患者の数
Longest admits	もっとも長く在院している患者の時間[時間]
Last bed time	最後に入院と判断された患者の病院到着から入院までの時間[時間]

NEDOCS はスコアによって混雑度合いの定義がされている．表 2 に詳細を示す．

表 2 NEDOCS の混雑度合い

NEDOCS 値	混雑状況
$0 \leq \text{Score} \leq 50$	通常業務
$51 \leq \text{Score} \leq 100$	忙しい (通常業務可能)
$101 \leq \text{Score} \leq 140$	混雑している
$141 \leq \text{Score} \leq 180$	厳しい混雑状況
$180 \leq \text{Score}$	災害レベルの状況

実験期間はシミュレーション時間で 1 日とし，それを実行後逆シミュレーションによりシミュレーションを実行する．逆シミュレーションの回数を 1000 回とする．推定したモデルの初期パラメータを用いて通常シミュレーションを実施する．シミュレーションを 50 回行った後に得られた結果を平均して解析検討を実施する．

4. 2 シミュレーション結果

図 4 に逆シミュレーションの結果を示す．

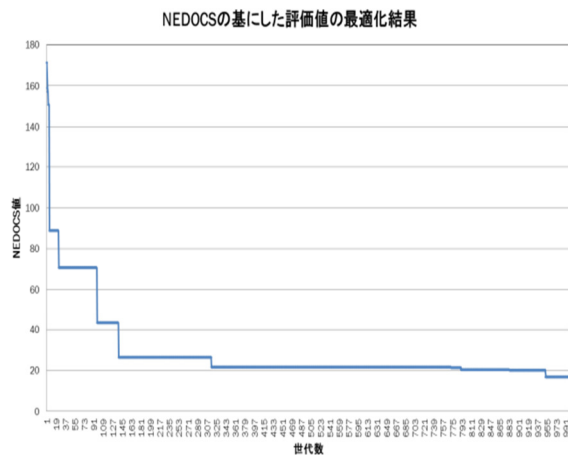


図 4 NEDOCS の最適化結果

縦軸が NEDOCS 値横軸が世代数を表す．初期状態では厳しい混雑状態であるが，世代を重ねるごとに NEDOCS 値が減少していき，世代が 1000 世代まで経ると通常業務可能程度の混雑度合いまで収束している．以上より，最適化計算が適切に実行されたことが確認できた．次に NEDOCS 値が収束状態及び初期状態における各部屋数及びエージェント数を用いて通常シミュレーションを実施する．表 3 に初期状態，表 4 に収束状態の設定パラメータを示す．

通常シミュレーション結果の 1 例として患者の待ち時間の結果及び診察室の可動率を示す．図 5 は初期状態での患者の待ち時間及び収束状態での患者の待ち時間を表す．縦軸に

表 3 初期状態の設定パラメータ

	部屋数	医師の数 (1部屋当り)	看護師の数 (1部屋当り)	医療技師の数 (1部屋当り)
診察室	1	6(6)	1(1)	0
手術室	3	30(10)	24(8)	0
初療室	4	6(24)	16(4)	0
観察室	5	0	40(8)	0
重症観察室	3	0	30(10)	0
ICU	5	25(5)	45(9)	0
HCU	5	10(2)	30(6)	0
一般病棟	1	0	8(1)	0
待合室	2	0	6(3)	0
X線室	5	0	0	10(2)
CT室	3	0	0	15(5)
MRI室	5	0	0	50(10)
血管造影室	3	0	0	30(10)
Fast室	4	0	0	40(10)

表 4 収束状態の設定パラメータ

	部屋数	医師の数 (1部屋当り)	看護師の数 (1部屋当り)	医療技師の数 (1部屋当り)
診察室	3	6(2)	12(4)	0
手術室	9	27(3)	90(10)	0
初療室	18	54(3)	180(10)	144(8)
観察室	23	0	46(2)	0
重症観察室	21	0	42(2)	0
ICU	17	34(2)	119(7)	0
HCU	30	30(1)	210(7)	0
一般病棟	17	34(2)	119(7)	0
待合室	1	0	70(70)	0
X線室	10	0	0	70(7)
CT室	10	0	0	70(7)
MRI室	10	0	0	70(7)
血管造影室	10	0	0	70(7)
Fast室	8	0	0	56(8)

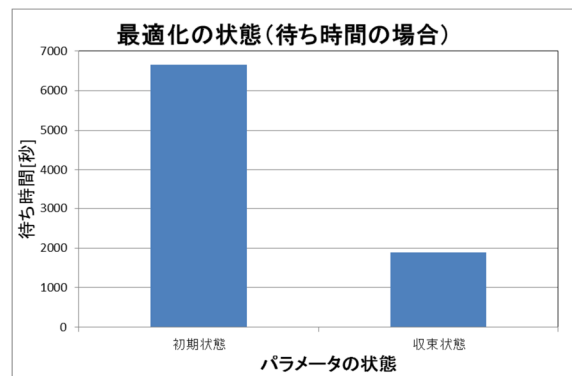


図 5 待ち時間の变化

待ち時間，横軸にパラメータの状態(初期状態と収束状態)を示す．初期状態と比較して収束時の患者の待ち時間が減少していることがわかる．図 6 に診察室の可動率を示す．縦軸に稼働率，横軸にパラメータの状態(初期状態及び収束状態)を表す．初期状態と比較すると収束状態では診察室の可動率が上昇していることから，より診察室の医師が効率よく診察していることがわかる．

このように最適化が適切に動作していることが確認することができた．以上よりトリアーゴ運用方法の検討を行うためのツールとして利用が可能であることがわかった．

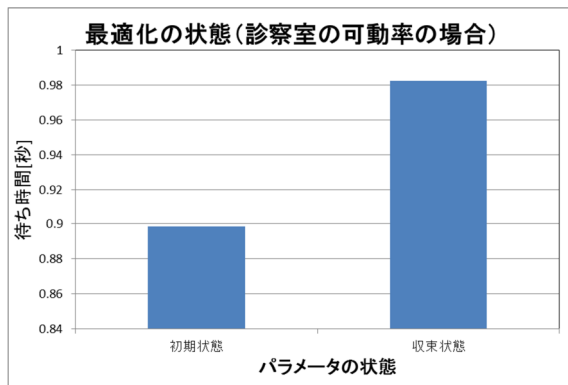


図6 診察室の可動率の変化

5 まとめ

TRISim が病院内トリアージ運用方法の提案及び検討に応用できることを確認した。これを確認するために、TRISim に逆シミュレーションを導入した TRISim システムを構成した。逆シミュレーションの評価指標として救急部門の混雑度合いを表した NEDOCS を用いて最適化を実施し最適値に収束した。さらに得られた初期パラメータが最適化されていることを通常シミュレーションを実施して確認した。以上より、トリアージ運用方法の検討を行うためのツールとして利用可能であることを確認できた。今後、逆シミュレーションエンジンの高性能化を行い、より TRISim システムのトリアージ運用方法提案機能に関する高度化を実施予定である。

「参考文献」

- 1) 日本救急医学会, 日本救急看護学会: 緊急度判定支援システム JTAS 2012ガイドブック, へるす出版(2012).
- 2) 衛藤真古都, 丹治直士, 大木容子, 芝岡多美子: 救急外来での院内トリアージにおける待ち時間の分析, 共済医報, 64-1 (2013) p. 44-49.
- 3) 上野幸廣: 看護師による救急外来でのトリアージシステムの質に関する検討, 日本救急医学会雑誌, 20-3, (2009) p. 116-125.
- 4) Di Lin · Jonathan Patrick · Fabrice Labeau: Estimating the waiting time of multi-priority emergency patients with downstream blocking, Health Care Manag Sci, 17, (2014) p. 88-99.
- 5) Ana Paula Centeno Richard Martin, Robert Sweeney: REDSim: A Spatial Agent-Based Simulation For Studying Emergency Departments, Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, (2013) p. 1431-1442.
- 6) Michael Schaaf, Gert Funkat, Oksana Kasch, Christoph Josten, Alfred Winter: Analysis and prediction of effects of the Manchester Triage System on patient waiting times in an emergency department by means of agent-based simulation, GMS Medizinische Informatik Biometrie und Epidemiologie 10-1 (2014) p. 1-10.
- 7) Atsushi Kobayashi; Furuichi Masakazu: "TRISim:TRIage Simulation of a Simulation System to Exploit and Assess Triage Operation for Hospital Managers", Spring Simulation Multi-Conference 2016. Society for Modeling and Simulation International (2016).
- 8) 倉橋節也, 寺野隆雄: 逆シミュレーション手法による人工社会モデルの分析, 計測自動制御学会論文集, 35-11, (1999) p. 1454-1461.
- 9) 大堀正人, 倉橋節也: 逆シミュレーション手法による排出権取引市場分析, 第21回人工知能学会全国大会, (2007).
- 10) 日本外傷診療研究機構: 日本外傷データバンク報告 2014, (2014) p. 1-64
- 11) 藤木直子, 阪本雄一郎, 本村陽一, 西田佳央, 野口昭治: ベイジアンネットワークを用いた生存率予測モデルの統計的学習と評価, 人工知能学会全国大会第23回, (2009)
- 12) 聖隷浜松病院クリニカルインディケーター 2015年度, <http://www.seirei.or.jp/hamamatsu/guidance/activity/clinical-indicators/>, (閲覧日 2016.10.18).
- 13) Steven L. Weiss, MD, Robert Derlet, MD, Jeanine Arndahl, MD, Amy A. Ernst, MD, Johnm Richards, MD, Madonna Fernandez-Frankelton, MD, Robert Schwab, MD, Thomas O. Stair, MD, Peter Vicellio, MD, David Levy, MD, Mark Brautigan, MD, Ashira Johnson MD, Todd G. Nick, PhD: Estimating the Degree of Emergency Department Overcrowding in Academic Medical Centers: Results of the National ED Overcrowding Study (NEDOCS), Journal of the Society for Academic Emergency Medicine, Vol.11, No.1, pp. 38-50. Academic Emergency Department (2004)