

論文審査の結果の要旨

氏名：小 林 篤 史

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：人間行動モデルとシステムの最適化に関する研究

審査委員：(主 査) 教授 古 市 昌 一

(副 査) 教授 角 田 和 彦

教授 三 井 和 男

日本では数年に 1 回の割合で大規模災害が発生する。大規模災害がひとたび発生すると避難所へ住民が避難し、大量の負傷者が病院へ来院し、来院した負傷者は処置を受けることとなる。このような事例に対して、住民の避難方法、負傷者の最適な病院搬送、病院内トリアージの運用方法の研究がなされている。特に負傷者の病院搬送及び病院内での処置に関してトリアージと呼ばれる手法が使われている。トリアージとは大量の傷病者が来院し、通常の医療手法では救える患者が救えない可能性がある場合、一人でも多くの負傷者に対して最善の治療を行う手法である。

トリアージ手法には現場トリアージ及び病院内トリアージがあり、用いる手法が異なる。さらに日本と海外とで利用されるトリアージ手法が異なっている。日本ではSTART法を、海外ではSTART法及びMTS法などが使用されている。病院内トリアージに関しては日本では2012年に標準化されたJTAS法が使用されている。海外ではESI, MTS, CTASなどが使用されている。さらに日本では各病院の特徴に合わせて異なったトリアージ緊急度基準、トリアージ手法が利用されている。そのようなことから、病院ごとに最適なトリアージ運用方法の検討が重要となってくる。病院内トリアージの運用方法の検討をするために病院の運営者はトリアージ手法、緊急度レベル及びトリアージ結果を基にした事後解析を利用する。これらの作業は一般的に机上で行うが、机上検討では多くの病院関係者を集めて行われるため、多大な時間を要する。さらに、様々なシナリオパターンを行う場合、時間及び人員を要することから、机上検討を補足する支援ツールとして、あるいは運営者自身が独力で机上と同等の検討ができる必要があると考えられる。

このツールを実現する方法として、様々な手法が存在する。特に医師、看護師、医療技師及び患者の個々人の特徴を模擬し、さらに医師間、看護師間の相互作用を模擬できるようなツールを実現することが適切であると考えられる。このような手法としてマルチエージェントシミュレーション(MAS)がある。マルチエージェントシミュレーションとは1人1人をエージェントという与えられた行動やルールのもと、自律的に意思決定及び行動する対象として仮想空間上に登場させ、各エージェントによる相互作用をシミュレーションする手法である。

当初は計算機性能から数百エージェント程度のシミュレーションしか実施できなかったが、近年では、大規模なシミュレーションを実施できるようになった。トリアージ運用方法検討支援ツールを対象として、MASを利用する場合、診察室、初療室などの部屋数、医師、看護師及び医療技師の人数といった設計パラメータをそのツールに入力して、シミュレーションを実行し、各エージェントの行動データを基に待ち時間、診察時間といった解析評価を行う。これを順シミュレーションという。さらに運用方法としてその評価内容を設計パラメータに反映させるというプロセスを繰り返し行う。その結果として病院の性能が同等あるいは向上する結果を求められるパラメータを得ることが可能となる。しかし、最適結果を得るにはある程度の回数シミュレーションを実施する必要がある。さらにシミュレーションに対する知識や経験が必要であるため、シミュレーションの実行者には多大な労力及び能力が要求される。このようなことから労力を軽減し、かつ最適なパラメータを得るにはパラメータの自動推定手法が必要であると考えられる。

パラメータ推定手法としては、最適な結果を得るための目的関数及び各パラメータに対する制約条件を

設定し、その条件下で目的関数を最大、あるいは最小にする手法が用いられる。この手法の1つとして逆シミュレーション手法がある。逆シミュレーション手法は、順シミュレーションを実行して得られたパラメータ及び入力パラメータを目的関数及び制約条件に利用して、目的関数を最大、あるいは最小にするパラメータを推定する手法である。この逆シミュレーション手法を利用して得られた推定パラメータを用いて、順シミュレーションを実施することにより、目的関数を最適にする結果が得られる。以上より、シミュレーション実行者の負担が大幅に減少すると考えられ、効率よくシミュレーションを実施することができると考えられる。さらに、シミュレーション実行者の知識や経験に関係なく最適な結果が得られると考えられる。

そこで本研究の目的として、順シミュレーション方式による人間行動モデルの実現及び、逆シミュレーション方式によるシステム最適化の実現である。

1つ目は人間行動モデルの実現としてトリアージ運用方法検討支援ツールを対象とする。

シミュレーション方式を人間の行動モデルを表現するのに適しているMASを利用する。ツールは診察室、初療室などの部屋数、医師、看護師及び医療技師の人数といった設計パラメータを入力して、シミュレーションを実行し、各エージェントの行動データを基に待ち時間、診察時間といった解析評価を行うことができるようにする。さらに、ツールが人間行動モデルを適切に実現できていることを確かめるために、妥当性及び応用可能性評価を実施し、妥当性があること応用可能性があることを示す。

2つ目はシステムの最適化として病院の部屋数の増減による待ち時間の減少、あるいは診察室の稼働率上昇といった病院自体の最適化を対象とする。このシステムの最適化の方式として、ある評価指標を基に対象シミュレーションを用いて、設計パラメータを推定する逆シミュレーション手法を利用する。

まず、逆シミュレーション方式に適用する最適化手法を提案する。次に逆シミュレーション方式を構築したシミュレーションに導入し、ある評価指標に基づいて、最適な設計パラメータを自動推定できることを性能評価とともに示す。さらに応用可能性として、公表データを用いて、逆シミュレーションを実施し、ある評価指標に基づく最適なパラメータが得られることを示す。推定したパラメータを順シミュレーションに適用し、現時点での状況よりも、同等かそれ以上の結果が得られることを示す。

本論文の構成を示す。

第1章では、本研究における研究背景及び研究目的に関して述べる。

第2章では、関連研究に関して述べ、さらに本研究との比較に関して述べる。

第3章では、本研究における順シミュレーション方式による人間行動モデルの実現方式として、病院内におけるトリアージ運用方法検討を対象として、マルチエージェントシミュレーション方式を利用する。このシミュレーションツール TRISim に関して、人間行動モデルの実現及びシミュレーション環境の構築に関して述べる。

第4章では、構築した TRISim の妥当性確認及び応用可能性を示す。妥当性確認に関して、実データとシミュレーション結果との比較及び統計的検定を利用して評価を実施し、妥当性があることを示す。応用可能性では、妥当性評価において使用した病院以外の病院を用いてシミュレーションを実施し、結果である各エージェントの行動データを基に待ち時間、診察時間、処置時間等の解析評価が可能であることを示す。さらに、各種パラメータを変更することにより待ち時間の減少や診察室の稼働率上昇といった病院の性能向上といった解析が可能であることを示す。

第5章では本研究におけるシステムの最適化として、目的関数及び制約条件からパラメータを推定する手法である逆シミュレーション手法を TRISim に付加した InverseTRISim を構築する。InverseTRISim では最適化手法としてメタヒューリスティック手法の1つであり、他の手法と比較すると大域的最適解へ収

束しやすい人工蜂コロニーアルゴリズム(ABC アルゴリズム)を利用する。ここでは、従来手法の ABC アルゴリズムよりも、より高速に大域的最適解へ収束する手法である UX-ABC アルゴリズムを提案し、アルゴリズムの性能評価に用いられる標準関数を利用して、他の ABC アルゴリズムよりも高速に大域的最適解へ収束することを示す。これらの結果を基に InverseTRISim の性能評価及び応用可能性を示す。性能評価に関しては、InverseTRISim へ UX-ABC アルゴリズム及び ABC アルゴリズムを適用し、計算時間、収束可能性及び推定パラメータの観点から比較検討を行い、提案手法である UX-ABC アルゴリズムが高性能であることを示す。応用可能性に関して、病院の公表データを InverseTRISim へ適用することにより、実際の病院に関してある評価指標に基づく最適なパラメータ推定が可能であり、提案可能なことを示す。

第 6 章では TRISim を将来発生すると予想される大規模災害へ応用する。その環境下における院内のトリアージ運用方法に関して妥当性確認を実施し、応用可能性を示すことによって、大規模災害においても TRISim が院内トリアージ運用方法へ適用可能であることを示す。

第 7 章では本研究におけるまとめを述べる。

以上、本研究で得られた成果により、地震等大規模災害が多い我が国において、災害発生時における院内におけるトリアージ運用方法を病院の経営者等が平時において検討をするために効果的にシミュレーション手法が具体化され、災害時における院内の人間行動モデルと、トリアージ方法を考慮した病院の最適化が可能となり、その妥当性と効果が実験により確認された。

この成果は、生産工学、特に数理情報工学に寄与するものと評価できる。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成 30年 3月 8日