

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19710159  
 研究課題名 (和文) マルチエージェントモデルを用いた医療ロジスティクスを最適化する  
 災害対応計画の提案  
 研究課題名 (英文) Proposal of post-disaster work plan optimizing medical logistics  
 by Multi Agent Simulation  
 研究代表者  
 荒木 康弘 (ARAKI YASUHIRO)  
 神戸大学・自然科学系先端融合研究環重点研究部・助教  
 研究者番号：40435582

## 研究成果の概要：

巨大地震発生時における被災者の人的被害を最小限に軽減する災害対応計画の提案を主たる目的として、地震時における傷病者搬送に関わる関係機関 (=エージェント) の行動を予測するため、実地震災害時におけるエージェント機関の行動の実態を調査・分析を行なった。分析結果に基づき地震災害時に傷病者搬送に関するエージェントの行動則を考慮可能な MAS モデルを構築した。構築した MAS モデルを用いて新潟県中越沖地震における傷病者搬送のシミュレーションを実施した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,100,000	0	2,100,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	390,000	3,790,000

研究分野：複合新領域・災害シミュレーション  
 科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学 B  
 キーワード：地域防災計画・政策、地域の防災力評価

## 1. 研究開始当初の背景

1995 年兵庫県南部地震における死者数は 6400 人以上、そのうち揺れによる家屋の倒壊や火災に起因する直接死は約 85% の 5500 人程度と報告されている。直接死のうち大多数は家屋の倒壊による即死または火災による焼死と考えられるが、病床数 100 以上の被災地域内病院 48 箇所および後方病院 47 箇所の入院診療記録を調査した初期救急医療実態調査によると、発災後 15 日間での被災地内病

院の新入院患者および住居地が被災地内で後方病院へ入院した患者総数 6107 人のうち、入院後に死亡した人数は 527 人であり、被災地内病院と後方病院における座滅性症候群・外因・疾病という傷病構造別にみた死亡例の割合を見ると、外因での被災地内病院の死者数 (115/1765) は後方病院の死者数 (13/581) の約 3 倍、被災地内病院の座滅性症候群の死者数 (36/196) は入院患者の約 20% と報告している ([死者数]/[入院患者数])。こ

の報告より、被災地内医療機関における医療活動能力が大幅に低下していたことが示唆されるが、その原因としては、医療施設および医療スタッフが被災することに加え、医療活動を行うために必要な医療機器が地震による故障やライフラインの被害により使用不可能であったこと、また短時間のうちに大量の被災者が医療機関に来院したため、重症の被災者に迅速かつ適切な治療を施すことが困難であったことが報告されている。このような、平常時と同じレベルの治療を受けることができれば「防ぎ得た死 (Preventable deaths)」を防ぐためには、傷病者が特定の医療機関に集中することなく負傷度に応じて適切な医療機関に搬送される必要があるが、そのためには傷病者が災害現場から救助され医療機関へ搬送された後、医療機関で適切に治療を受けるまでの傷病者の搬送活動を適切にモデル化する必要がある。

筆者らは特に地震災害時における「防ぎ得た死」を最小限に軽減することを目的として、まず2005年4月に発生したJR福知山線列車事故における傷病者の搬送活動の再現を試み、関係する各エージェントの特性、行動則等のモデル化の妥当性の検証を行った。しかし、本研究で検討しようとしている地震災害時における傷病者搬送過程を予測するためには実地震災害時における各エージェントの行動則等の実態を調査する必要がある。

## 2. 研究の目的

巨大地震発生時における被災者の人的被害を最小限に軽減する災害対応計画の提案を主たる目的として、地震時における上述の課題を解決すべく以下の2項目を研究目的とする。

- (1) 災害時の医療機関の医療活動能力に影響を与える要因について調査・分析し、これら影響要素を考慮した医療機関の医療活動能力を定量化する。
- (2) 巨大地震発生時における被災者の救助から治療に至る過程に関連する人や組織 (= エージェント) の行動則について調査・分析し、地震災害時に関係するエージェントの行動則を考慮可能なMASモデルを構築する。

## 3. 研究の方法

本研究では2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震 (以下「中越沖地震」とする) における傷病者搬送に関係する各エージェント機関の活動の実態および地震被害の影響についてヒアリングおよび文献調査を行い、医療機関の活動能力のモデル化および地震災害時における各エージェント機関の行動則を考慮可能なMASモデルを構築した。

中越沖地震において傷病者搬送に係る

るエージェント機関として、本研究では以下の機関に注目した。

(1)医療機関, (2)消防機関, (3)DMAT, (4)自衛隊・海上保安庁, (5)自治体, (6)傷病者

### (1)医療機関

被災地内の医療機関について、震度6強を経験した柏崎市内の医療機関は特に耐震対策はなされていない。そのため建物および医療機器の損傷、室内医療器具等の散乱、ライフラインの途絶等のために、平常時と同程度の医療活動、特にレントゲンや手術を伴う治療を行うことは不可能であった。そこで解析においては、耐震対策されていない医療機関は基本的に軽症者のみ治療可能とし、中等症以上は受け入れても治療できないと仮定した。受け入れた傷病者は要転送者とみなす。一方、被災地外の医療機関は平常時と同様の医療活動を行っていた。中越沖地震において地震により被災した傷病者を受け入れた医療機関のうち、特に重傷者の受入状況はICU病床を有する医療機関に搬送されていた。そのため解析においてもICU病床を有する医療機関に重傷者を搬送することとした。

### (2)消防機関

被災地内の消防機関である柏崎市消防本部の活動としては、

(a)通報に基づく部隊出動

(b)中越地域・新潟県内消防機関への応援要請、緊消防隊の要請

(c)医療機関への連絡員の派遣

があげられる。

(a)通報に基づく部隊出動

柏崎市消防本部の発災当日の通報軒数を参考とし、被災地内消防本部には、発災後から最初の1時間は30秒に1件、続く1時間では1分に1件の通報があると仮定し、重傷者の通報に対しては部隊を出動する。通報を受けた消防本部は、保有する救急車両までは通報に従い部隊を出動するが、全ての部隊が出動した後は、通報は受理するが、出動した部隊が任務を終了し帰還するか応援部隊等が来るまで部隊を派遣することができない。

(b)応援要請

柏崎市消防本部によると、発災後まもなくして119番通報が殺到したことから、応援要請の判断を決定したという。そこで、発災後各1時間内の通報件数が10件を超えた場合に近隣市町村消防機関への応援要請を行い、15件を超えた場合に県内消防機関への応援要請を行い、20件を超えた場合に県災害対策本部を通じて消防庁に対し緊急消防援助隊 (緊消防隊) の要請を行うと仮定する。

(c)医療機関への連絡員の派遣

県内消防機関への応援要請を行った時点で被災地内消防機関は、管轄内の医療機関に

対し連絡員を派遣する。連絡員の任務は主に病院の状態に関する情報収集と消防本部への報告とする。

一方被災地外消防機関の活動としては、被災地内消防本部からの応援要請に基づく出動と、被害に関するメディアからの情報を通じて自主判断により出動する場合が考えられる。本研究では、被災地外消防本部の出動については、被災地内消防本部からの応援要請に基づくケースについて検討する。応援部隊の範囲としては、県内消防本部全てを考慮し、応援部隊数は各消防本部につき1隊と仮定する。また緊急消防援助隊における航空隊については、新潟県に隣接する県からの出動を仮定する。

### (3)DMAT

#### 1)出動のタイミング

被災県内 DMAT については自主判断により出動が可能であるが、被災地県外 DMAT についてはやはり原則は被災県からの要請を待つことが通例で、新潟県中越沖地震においても多くの県外 DMAT の要請があるまで待機したが、一部の DMAT は自主判断により被災地へ出動した。本研究においては、県内 DMAT については県内で震度 6 弱以上を経験した場合、被害の恐れのある医療機関に自主判断で出動すると仮定した。一方被災地外 DMAT については被災県からの応援要請の時期をパラメータとした。

#### 2)現場での活動

現場に到着した DMAT の活動として、以下のものを仮定する。

##### (a)指揮命令・連絡調整体制の確立

指揮命令・連絡調整体制の確立は最初に到着した DMAT の隊員が行う。

##### (b)情報管理

最先着の DMAT が到着後、以下の情報管理が行われると仮定する。まず重症者のヘリ搬送手配のための県対策本部との専任連絡係を1名配置する。連絡は衛星携帯電話を使用して行う。傷病者情報について、2)(c)で述べる再トリアージ後にホワイトボード等に傷病者情報を書き記すことにより傷病者情報の共有を行う。また、郡病院のスタッフの協力を得て周辺医療機関の状況確認を行う。

##### (c)トリアージ支援

DMAT 到着前に病院に来院し、病院スタッフ等によりトリアージを受けた傷病者、および新規来院傷病者に対しトリアージを実施する。トリアージスタッフの人数の上限について、本研究では6名を上限とした。トリアージにより、中等症以上と軽症者とを選別する。

##### (d)診療支援

中等症以上の傷病者に対しヘリ搬送また

は救急車両による搬送に耐える程度の安定化処置を行うと仮定する。治療時間について、傷病者1名に対し15分の処置時間を仮定する。軽症者の治療については、郡総合病院および県内応援医療機関のスタッフにより行われ、傷病者1名に対し5分の処置時間を仮定する。

##### (e)転院搬送

主に重症者を対象として被災地外へのヘリコプター等による搬送を手配する。まず搬送先医療機関を選定し、重傷者に帯同する医療スタッフを設定する。ヘリポートが病院から離れている場合はヘリポートまでの救急車両を確保し、救急車両によって臨時ヘリポートに搬送する。ここで搬送先医療機関選定方法をパラメータとする。

### (4)自衛隊・海上保安庁

#### 1)部隊の範囲

解析で対象とする自衛隊としては、陸上自衛隊、航空自衛隊、海上保安庁を想定する。

#### 2)活動内容

解析における自衛隊機の活動内容としては、情報収集、被災県への連絡員の派遣、傷病者搬送を想定する。搬送開始地点は傷病者搬送のためのヘリポートとする。

### (5)自治体

発災後、被災県はまず災害対策本部の設置し情報収集を行う。被災地内消防本部からの要請に応じて総務省消防庁に対し、緊消防隊の要請を行う。また消防や警察、自衛隊などの他機関からの連絡員によって広域応援・救助班を設置する。緊消防隊の要請と同時に被災県消防防災航空隊による情報収集を開始する。中越沖地震の際、県対策本部から応援要請を受けた被災県消防防災航空隊は、現地に部隊を派遣、主要道路および主要機関の上空からの被害状況の把握、また中越沖地震時には、傷病者搬送の際に臨時ヘリポートとなる佐藤池球場駐車場の被害状況を把握し、十分搬送拠点と機能することを確認した。本研究においても被災県消防防災航空隊の最初の任務は被害情報の収集とし、任務終了後は、状況により被害情報の収集か傷病者搬送を行うと仮定する。

### (6)傷病者

傷病者の負傷状態を「重症者」、「中等症者」、「軽症者」の3種類を仮定した。各負傷状態を評価する指標として、救出されてから何も治療を施さなければ回復不可能な状態に至るまでの時間 ( $RmnT$ [min.]) を仮定し、各負傷状態と  $RmnT$  の関係を表6のように仮定した。傷病者が医療機関に来院する時間を仮定した。また各傷病者は119番通報を行い、1分間に2名の傷病者が被災地内消防本部に

通報可能とした。

#### 4. 研究成果

構築した MAS モデルを用いて重傷者被災地外搬送シミュレーションを行う。

##### (1) 想定被害

想定する地震被害について、建物およびライフラインの被害は中越沖地震と同様、つまり柏崎市内に被害が集中していることを想定する。対象とする被災地内医療機関としては郡総合病院のみをとし、病院およびライフライン被害のために、重傷者の治療は不可能とする。以下に解析において想定するパラメータについて述べる。

##### (2) 想定するパラメータ

###### 1) 解析時間

10 時 13 分発災から 10 時間 (600 分) を解析対象時間とする。時刻は 1 分とする。なお本解析では、発災の時間帯による各エージェントの行動則への影響は考慮していない。

###### 2) 対象とする傷病者

郡総合病院に被災地外への搬送が必要な重傷者を含む傷病者が多数来院すると仮定する。対象とする傷病者数は 400 人で、そのうち重症者は 30 人、中等症者は 30 人、軽症者は 30 人とした。中越沖地震では発災から 3 時間以内に 8 割以上の傷病者が来院したことから、来院時間の時間推移を図 1 のように仮定した。

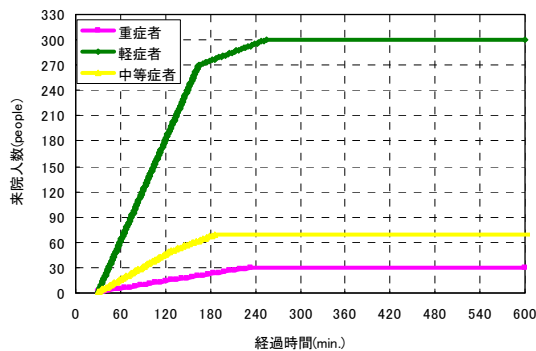


図 1 傷病者の来院時間の時間推移

###### 3) 重傷者の搬送方法

中越沖地震における被災地外医療機関への傷病者搬送は、地元消防連絡員、転送傷病者に同行する医療関係者、搬送先決定者 (統括 DMAT)、ヘリポートが病院敷地内に無い場合は、敷地外ヘリポートまでの搬送用車両が必要であった。また同乗医療従事者は、多くの場合 DMAT が担当した。本研究における傷病者搬送も同様の過程を想定する。

搬送先の選定条件としては、中越沖地震における搬送先選定方法を考慮して、以下の 3

ケースを想定した。

##### (a) 現場 DMAT・応援医療機関所属機関へ搬送

現場に到着している DMAT の所属医療機関、および応援医療機関の所属医療機関で、ICU 病床を有する医療機関を搬送先とする。搬送先病院の能力および受入可能状況についての確認が比較的容易であると考えられる。

##### (b) 近隣拠点病院を中継地点とした域外搬送

長岡赤十字病院は郡総合病院のある柏崎市の隣市である長岡市に位置し、県内 14 カ所にある災害拠点病院の 1 つであると同時に全県 1 ヶ所の基幹災害拠点病院である。中越沖地震の際は長岡市も震度 6 強を経験したものの、病院機能には特に影響は無く、平常時と同様の医療活動が可能であった。中越沖地震におけるヘリ搬送では、途中から長岡赤十字病院に佐藤池球場駐車場臨時ヘリポートから傷病者をまずヘリ搬送し、長岡赤十字病院から必要な場合は他医療機関へ転院搬送する方針に変更し、統括 DMAT のヘリ搬送の調整に要する労力が大幅に軽減され、またヘリ搬送もスムーズに行われた。そこで、中越沖地震と同様に長岡赤十字病院を中継地点とし、必要な場合そこから転院搬送するケースを想定した。

##### (c) 被災県内および近隣県の災害拠点病院

被災県内の災害拠点病院で ICU 病床を有する医療機関にまず優先的に搬送し被災県内の医療機関で受入が不可能な場合に、近隣県の拠点病院に搬送する過程を想定する。災害発生時に被災地域をはじめ全国の指定医療機関に被災状況や患者の受入可否などの情報を入力してもらうことで、被災地の被害状況や要請情報、被災していない地域の支援体制などの情報を、各医療機関や中央官庁、自治体、消防、保険所といった関係者で共有し、迅速かつ効果的な救援活動をサポートするためのシステム (広域災害救急医療システム: EMIS) が全国で導入されているが、このシステムが災害時に被災地域内でも効果的に起動した場合を想定している。

#### 4) 県外 DMAT 要請のタイミング

3) (a) より、DMAT の到着時間が搬送先選定条件に関係すると考えられる。また県外 DMAT が早期に被災地内医療機関に到着することで、マンパワーを確保することが可能となる。そこで、被災県から DMAT への応援要請の時期としてのパラメータを設定した。

##### (d) 緊消隊の要請と同時に要請

##### (e) 緊消隊の要請から 1 時間後に要請

##### (f) 緊消隊の要請から 3 時間後に要請

その結果、解析ケースとしては表 1 に示す 9 ケースについて解析を行った。表 7 中の (a) ~ (f) は、3) および 4) で説明した解析パラメ

一タを意味する。

表1 解析ケース

	重傷者搬送先	県外 DMAT 要請
Case1-1	(a)	(d)
Case1-2	(a)	(e)
Case1-3	(a)	(f)
Case2-1	(b)	(d)
Case2-2	(b)	(e)
Case2-3	(b)	(f)
Case3-1	(c)	(d)
Case3-2	(c)	(e)
Case3-3	(c)	(f)

5) 重傷者搬送先医療機関

重傷者の搬送先医療機関としては新潟県内および近隣県の災害拠点病院で、ICU 病床を有する医療機関とした。表2に想定する医療機関を示す。想定する医療機関は敷地内ま

表2 重傷者の搬送先医療機関

都道府県*	医療機関(カッコ内の数値はICU保有数)
新潟県(8)	厚生連長岡中央総合(10)、長岡赤十字(4)、立川総合 県立新発田(6)、済生会新潟第二(9)、新潟市民(8) 新潟県立中央(8)、新潟大学医歯学総合(10)
山形県(5)	公立置賜総合(8)、山形県立日本海(6)、鶴岡市荘内(6) 山形県立中央(8)、済生会山形済生(4)
福島県(5)	太田西ノ内(10)、会津中央(9)、福島県立医科大学付属 南相馬市立総合(4)、いわき市立総合岩城共立(6)

たは敷地外にヘリポートを有する。

(3) 解析結果

図2に各病院における重傷者数の時間推移を示す。

1) 転送先選定条件が搬送時間へ与える影響

Case1-1, Case2-1, Case3-1を比較すると、郡総合病院に搬送された全ての重傷者が転院される時間は、Case1-1が発災から570分程度、Case2-1は420分程度、Case3-1は410分程度であった。県外DMATの出動要請が緊消隊の要請と同時期である場合(d)であっても、現場到着DMATおよび応援医療機関の所属医療機関へ搬送(Case1-1)では、長岡赤十字病院を中継地点とした被災地外への搬送(Case2-1)よりも120分程度、被災県内および近隣県の災害拠点病院に搬送する場合(Case3-1)とは、160分程度、重傷者搬送が遅くなる。EMISが災害時にも効果的に機能する仕組みを構築することが重要であることは当然であるが、被災地内医療機関近隣で、医療機能を喪失していない拠点病院を中継地点として被災地外へ傷病者を搬送する方法の有効性も本解析結果から示唆される。

2) DMAT 要請時期が搬送時間へ与える影響

Case1 シリーズ (Case1-1, Case1-2, Case1-3)を比較すると、郡総合病院に搬送された全ての重傷者が転院される時間は、Case1-1(緊消隊の要請と同時期)が発災から

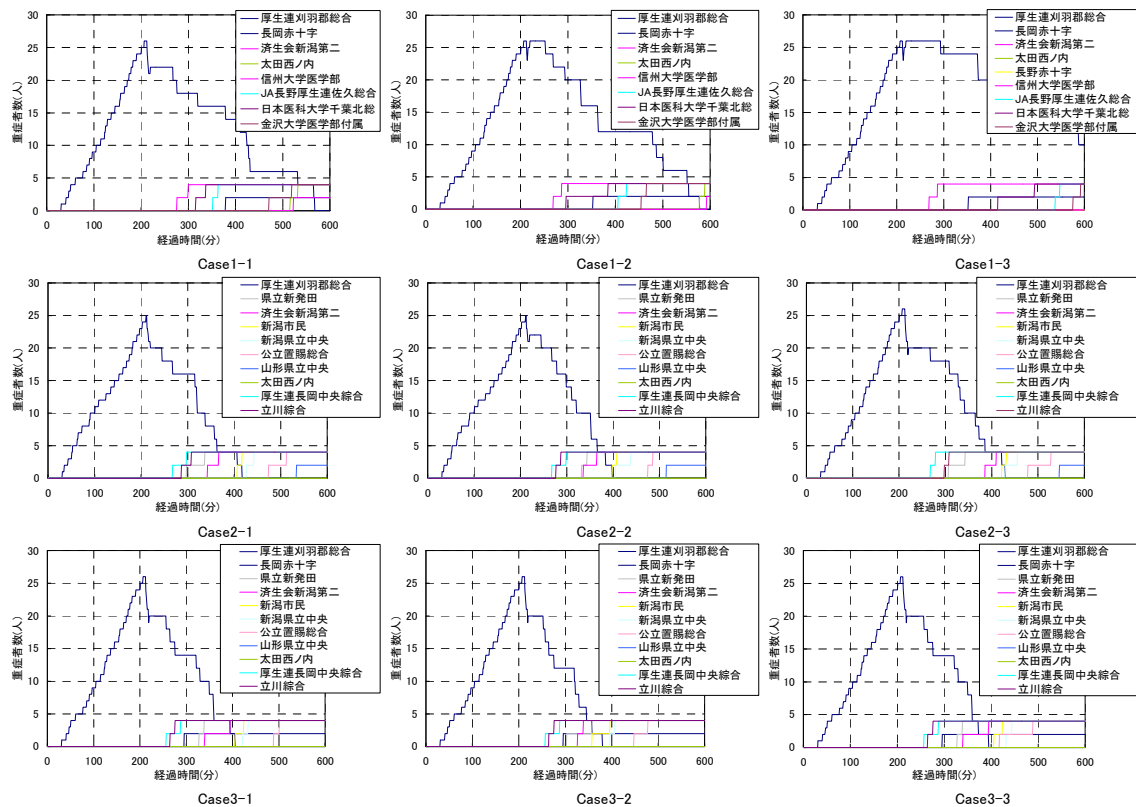


図2 各病院における重傷者数の時間推移の解析結果

570 分程度, Case1-2(緊消防の要請から1時間後)が580分程度であり, 今回の解析条件では, 1時間の要請時間の遅れは転送時間の遅れにそれほど影響しないことを示唆している. しかしCase1-3(緊消防の要請から3時間後)では600分を超え690分程度となる. 2時間の要請時間の遅れがそのまま2時間程度の転送時間の遅れにつながることを示唆している. 一方Case2シリーズ(Case2-1, Case2-2, Case2-3)を比較すると, 郡総合病院に搬送された全ての重傷者が転院される時間は400分~430分の間, Case3シリーズ

(Case3-1, Case3-2, Case3-3)を比較すると380分~410分の間であり, 県外DMAT要請のタイミングの遅れが搬送に与える影響は少ないことが示唆される.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 荒木康弘, マルチエージェントシミュレーションを用いた地震災害時多数傷病者搬送活動のモデル化に関する研究—2007年新潟県中越沖地震時の傷病者搬送活動を考慮した事例—  
地域安全学会論文集 No. 10, pp. 1-10, 2008年, 査読有
- ② 荒木康弘, 災害時医療ロジスティックモデルの構築に関する研究、2008年度日本建築学会大会学術講演梗概集B1、pp. 831-832, 2008年, 査読無

[学会発表] (計 1 件)

- ① 荒木康弘, 災害時医療ロジスティックモデルの構築に関する研究、2008年度日本建築学会大会学術講演梗概集B1、pp. 831-832, 2008年9月18日 広島大学

[その他]

ホームページ等

<http://www2.kobe-u.ac.jp/~yarak/agent.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

荒木 康弘 (ARAKI YASUHIRO)

神戸大学・自然科学系先端融合研究環重点研究部・助教

研究者番号：40435582

(2) 研究分担者  
無し

(3) 連携研究者  
無し