

マルチエージェントシミュレータを用いた住民による消火活動モデル開発の基礎的研究 ～防災まちづくり支援ツール開発の1つとして～

An experimental study of simulation model development to support community-based planning for disaster mitigation focused on firefighting activity of community residents using multi-agent system

著者：、河岸真広、郷内吉瑞、大貝彰、舩心治、加藤孝明、日高圭一郎、村上正治、渡辺公次郎、長崎浩紀

1. 研究の背景と目的

我が国は震災によって様々な被害を経験したが、老朽木造建物の密集、不十分な都市基盤整備により避難や消火活動、延焼危険性を持つ市街地が数多く存在する。この課題に対して、住民と行政・専門家などが協働で防災対策を検討する「防災まちづくり」が求められている。この防災まちづくり推進のためには、防災まちづくりの「計画」が必要となる。しかし、この計画策定に必要な専門的知識を持たない住民にとって具体的な計画づくりは難しいと考えられる。

防災まちづくりの推進にあたっては、様々な課題に取り組まなければならないが、一般的に老朽木造建物が密集する市街地での「防災まちづくり」では、火災による延焼の危険性が主たるテーマになると考えられる。特に大規模地震を想定した場合、同時多発的に火災・延焼が発生し公設消防だけでは対応が困難となるため、住民の消火活動の重要性は高いと考えられる。

以上を踏まえ、現状市街地で火災が発生した場合と、防災上ハード・ソフトの対策を施した場合の延焼と住民らによる消火活動についてのシミュレーション結果を定量的かつ視覚的に情報提供可能となれば、防災まちづくりのための意識啓発や防災まちづくりの計画策定に有用なツールとなり得るのではないだろうかと考えられる。

より効果的な意識啓発や有効な情報提供を目指すのであれば、現実の現象をより忠実に、そしてヴィジュアルでダイナミックに再現可能なモデル開発が望ましい。このようなモデル開発の手法の一つとして、社会現象の分析や理解にとって有望で、欧米の社会科学の学会などでも注目されているマルチエージェントシミュレータ(以下、MAS)の活用が考えられる。

以上の背景を踏まえ、本研究では MAS を用いて地震時火災に対する住民による消火活動のモデル開発を試みる。

2. MAS を用いた住民による消火活動モデル開発

2-1. モデル開発の基本的考え方

既往研究¹⁾を基に住民らによる消火活動を図1のように設定した。この内、図中点線で示される初期消火の部分が住民による消火活動の中で重要性が高いと考え、この部分についてモデル化した。MAS は、自律的な行動主体である「エージェント」と、エージェントに影響を及ぼす対象である「環境」が相互に影響し合うシステムである。本

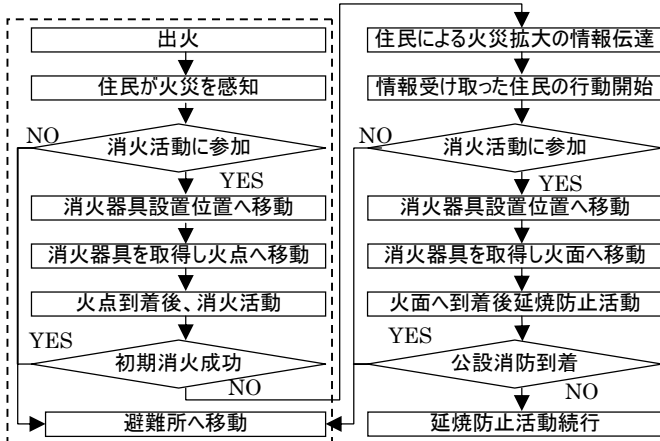


図1. 消火活動全体の概略フロー

研究では、歩行速度、消火器具保持、目的地を属性として持つ「住民」と、着火・燃焼・鎮火の延焼状態を属性として持つ「火」のエージェントそして、①建物、②道路、③空地、④消火器、⑤防災倉庫、⑥防火水槽、⑦避難所から構成される市街地空間を環境としてモデル化した。

2-2. モデル開発

開発したモデルの空間は、セルと呼ばれる最小空間単位の格子状の配列で構成されている。セル寸法は既往研究²⁾を参考に 1m とし、モデル中で用いる時間は 1 秒を最小単位とした。本モデルは延焼モデルと消火活動モデルで構成される。下記では、この2つについて説明する。

(1)延焼モデル

延焼モデルは、既往研究成果のセルラオートマタ (CA) を用いた延焼シミュレーションモデル²⁾を参考にした。このモデルの概要を下記に示す。

モデルの近傍型は図2に、またセルの状態変化は表3示すように定義した。セル ij の状態[1]から[2]への変化の判定では、延焼判定指標 F_{ij} が用いられている。

$$F_{ij} = (S_{ij} \cdot P_{ij}) \cdot W_{ij} \cdot p(t_{ckl}) \quad (1)$$

ここで、 S_{ij} は構造別パラメータ、 P_{ij} はセル ij 内における木造建物と防火木造建物の面積比率である。 W_{ij} は、風向と風速で決まるパラメータである。 $p(t_{ckl})$ は、燃焼中セル kl が持つ延焼加害能力を示すパラメータである。

(2)住民による消火活動モデル

火災が発生すると、感知時間 T_p [sec] 経過後、住民は消火活動参加割合 P_a [%] に応じて、消火活動に参加するか、避難所へ移動する。基本的に建物を避けつつ、目的地の方向を向き、距離が最少となるように、道路や空地进行移動する。

消火活動に参加する住民は、街頭消火器(以下、消火器)もしくは可搬式消防動力ポンプ(以下、消防ポンプ)のそれぞれの消火器具を扱えるか否かの属性を持っており、この属性に従って最寄りの消火器具の設置場所まで移動する。そして、消火器具の取得後住民は最寄りの火点へ道路閉塞状況や消火器具の保持状況に応じた歩行速度 S_f [m/sec] で移動し、消火活動を行う。

消火器の場合、消火器の単位火面長 A_e [セル] を消火するために必要な時間 T_e [sec] 経過後、消防ポンプの場合、消防ポンプの単位火面長 A_p [セル] を消火するために必要な放水時間 T_p [sec] 経過後、着火もしくは燃焼状態のセルは、 A_e もしくは A_p のセル数だけ住民の消火活動による鎮火セルに変化する。ただし、消防ポンプについては、放水量 V_a [m³/min] で防火水槽の容量 V_f [m³] を使い切るまで放水を続ける(表4)。

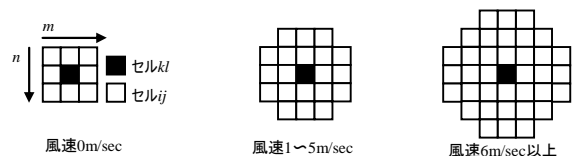


図2. モデルの近傍型

表3. セル mn の状態の変化

状態[0]	燃えない=燃えない又は燃えるものがない
状態[1]	燃えていないセル=火がつく可能性がある
状態[2]	着火=火がついたばかりで延焼に至らない
状態[3]	燃焼中=延焼する能力を有する
状態[4]	延焼最盛期終了=延焼する能力を持たない
状態[5]	消火活動によって鎮火=延焼する能力を持たない

延焼モデルと消火活動モデルのフロー図を図5に示す。

3. モデルの適用

愛知県豊橋市飽海地区の東西・南北共に約100mエリアに対して、図7に示す11のケースを設定し、開発したモデルを試験的に適用した。本モデルには確率的計算プロセスを含んでいるため、各ケースは風速0m/sec、出火点は2ヶ所で、50回ずつ試し、消火成功確率と焼失セル数(着火、燃焼中、鎮火セル数の合計)、住民の消火活動による鎮火セル数の平均値を求めた。消火成功確率とは、火災・延焼を完全に消火出来たか、否かを表す指標であり、着火・燃焼中セルが0の場合は消火成功として1、1つでもあれば失敗として0で表される。シミュレーション時間は火災発生後の初期消火の限界時間である10分間とした。シミュレーションの結果の一例を図6に示す。

図7より焼失セル数がさほど変わらないh-4とc-2を比較すると、ハード面での3種類の対策を施しているh-4の消火成功確率が25%程度なのに対して、ハード・ソフト各1種類だけの対策であるc-2のそれは約38%である。また、c-1とc-2を比較すると、消火成功確率はc-1の方が高いが、焼失セル数はほぼ変わらない。h-4は3種類、c-1は6種類もの対策を施している一方、c-2のそれは2種類であることを考慮すれば、費用や労力、実行可能性の観点から考えるとc-2の対策による効果の高さが窺われる。以上を踏まえると、ハード整備への偏重はあまり意味がなく、むやみに数多く対策を施してもさほど効果が期待できない。これはソフト対策とハード整備を吟味して実施することの重要性が示唆されているものと考えられる。

表4. 消火活動モデルのパラメータと設定値

パラメータ	設定値
感知時間 T_p [sec] ¹⁾	防災訓練あり:180 防災訓練なし:300
消火活動参加割合 P_a [%] ³⁾	防災訓練あり:50 防災訓練なし:34
歩行速度 S_f [m/sec] ⁴⁾	通常時:1.5 建物倒壊、建物内:0.75 消防ポンプ保持:0.5
消火器の単位火面 A_u [セル] ¹⁾	1
消火器の単位火面 A_e を消火するために必要な消火時間 T_{e1} [sec] ¹⁾	15
消防ポンプの単位火面 A_p [セル] ⁵⁾	10
消防ポンプの単位火面 A_p を消火するために必要な放水時間 T_{p1} [sec] ⁵⁾	85
防火水槽の容量 V_f [m ³] ⁶⁾	40
消防ポンプの放水量 V_p [m ³ /min] ⁷⁾	0.35

※ T_p 、 P_a 、 S_f 、 A_e 、 T_e 、 A_{fp} 、 T_{fp} 、 V_f 、 V_p の設定値はモデルを適用する市街地の

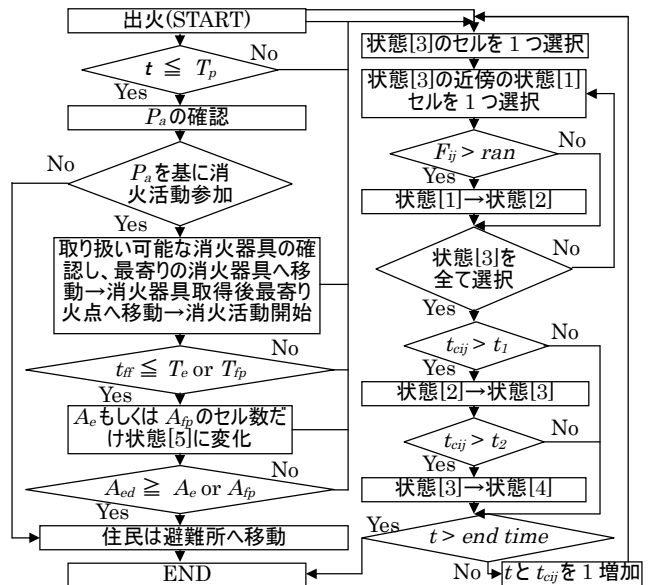
4. まとめ

本研究はMASを用いて住民の消火活動を定量的かつ可視的に情報提供可能なモデルを開発した。開発したモデルを様々なケースに適用した結果、ハード・ソフトの対策の種別、またそれらの数にかかわらず的確な対策を実施すれば、高い効果が得られることが示唆された。

今後の課題としては、延焼防止活動もモデル化し住民の消火活動の全体を再現するなど、改良する必要があると考えられる。

<参考文献>

- 1) 金井淳子、梶秀樹:市民による自主防災組織の初期消火能力に関する一考察 初期消火能力評価シミュレーションのフレームワーク、日本建築学会学術講演梗概集 F-1 都市計画 建築経済・住宅問題、Vol.2000, pp.433-434
- 2) A. Ohgai, Y. Gohnai and K. Watanabe: "Cellular Automata Modeling of Fire Spread in Build-up Areas: A Tool to Aid Community-Based Planning for Disaster Mitigation", International Journal of Computers, Environment and Urban Systems, Volume 31, Issue 4, pp.441-460, 2007
- 3) 阿部陽介: 豊橋市における地震防災に対する住民意識に関する基礎的研究、2005年
- 4) 渡辺公次郎: 避難シミュレーションモデルとGISを用いた津波防災まちづくり計画支援システムの開発、日本建築学会学術講演梗概集 F-1, 2007, pp.587-588
- 5) 消防研究所:消火活動支援システムの開発に関する研究報告書、2003, pp.173-174
- 6) 宅地開発事業により設置される消防水利施設に関する指導要綱、http://www.city.asahi.lg.jp/reiki_int/reiki_honbun/r1970427001.html
- 7) 日本火災学会: 1995年兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書、日本火災学会、1996。



t: シミュレーションの時間[sec], t_e : セル ij の着火後経過時間[sec], t_1 : セル ij が着火から延焼能力を有する状態に変化するまでの時間[sec], t_2 : セル ij が着火から延焼能力を失う状態に変化するまでの時間[sec], $end\ time$: シミュレーション終了時間[sec], F_{ij} : 延焼判定指標, ran : F の最大値から最小値までをとる乱数, t_{tr} : 各セルの消火開始後経過時間[sec], A_{ed} [セル] 消火済みセル数

図5. シミュレーションフロー

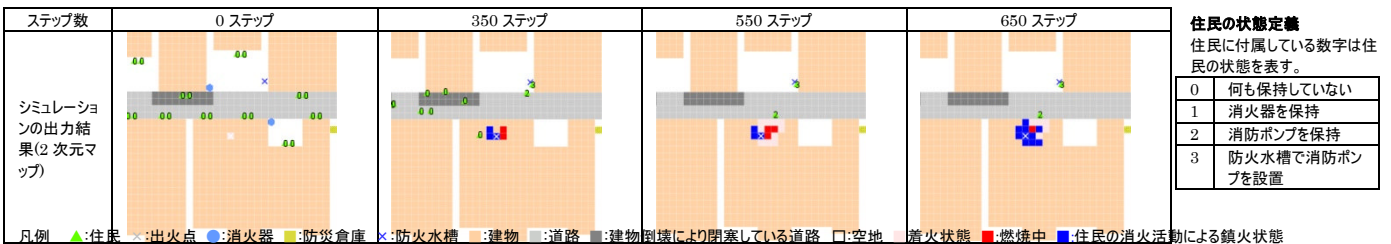


図6. 開発モデルによって得られた1つのシミュレーション結果

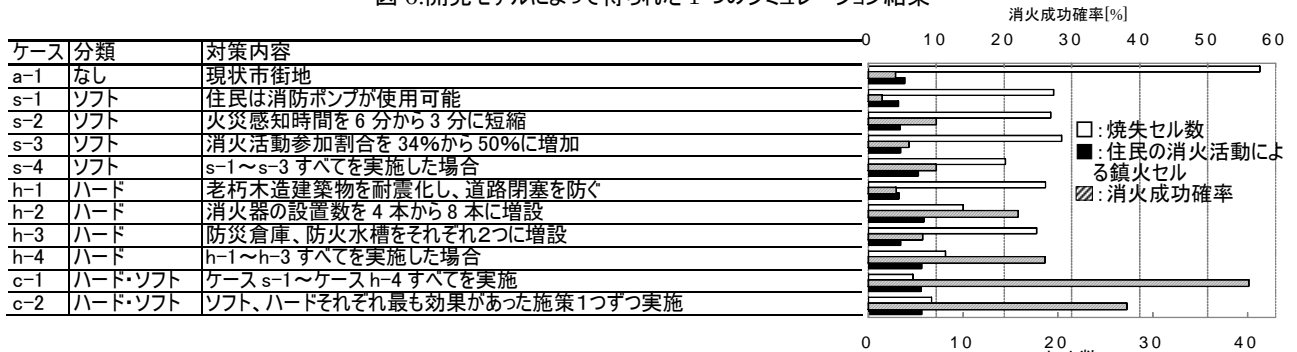


図7. シミュレーションケースとその結果(消火成功確率、焼失セル数、住民の消火活動による鎮火セル数)