

MAS を用いた被災情報の有無を考慮した災害救助シミュレーション

A Simulation of Rescue Activity in Disaster Considering Whether or Not Information of Damage using Multi Agent Simulation

○浅野 航輝*¹, 山邊 友一郎*²
Koki ASANO*¹ and Yuichiro YAMABE*²

*¹ 神戸大学大学院工学研究科 大学院生

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kobe University

*² 神戸大学大学院工学研究科 准教授 博士 (工学)

Association Professor, Graduate School of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.

キーワード: マルチエージェントシステム; シミュレーション; 災害救助; 救助隊; 情報

Keywords: Multi Agent System; simulation; disaster relief; rescue team; information.

1. はじめに

地震による被害拡大を防ぐためには、効率的に救助活動を進めることが非常に重要である。その際、被災情報の取得が果たす役割は大きいと考えられるが、どのような情報が有効であるかは明らかではない。そこで、様々な情報の有無をパラメータとしてマルチエージェントシステムを用いた災害救助シミュレーションを実行し、有効な情報の種類について検討する必要がある。

災害救助シミュレーションの先行研究として、山村ら¹⁾は過去の研究データから地震による住居建築の倒壊被害、人的被害について予測するシステムを構築し、救助隊による救助シミュレーションに関する研究を行っている。しかしこの研究では、救助隊があらかじめ要救助者の位置や人数に関する情報を入手出来ているものと仮定してシミュレーションを行っており、要救助者や建物の被災程度に関する情報が救助隊の行動に与える影響については考慮されていない。

そこで、本研究では地震被害予測システムを用いることで、地震が発生した場合の救助活動をシミュレーションし、要救助者や建物の被災程度に関する情報が救助隊の救助活動に与える影響を明らかにすることを目的とする。

本稿では救助隊による救助と住民による救助を区別し、それぞれの救助数や住民の健康状態を考察することで、救助活動を行ううえでどのような情報が効果的か、あるいは優先的に取得すべきかを検討する。

2. 災害救助シミュレーションシステム

本システムは「初期被害予測パート」と「救助活動パート」の2つのパートから構成されている。初期被害予測パートでは、既往の研究^{2) 3)}より、以下に示す住居の倒壊判定式や住民の閉じ込め率を適用することで、地震

発生直後の仮想都市モデルを構築する。

$$Y_{ZENKAI} = 100 / \{1 + 2800 \exp(-0.0082x)\} \quad (1)$$

$$Y_{HIGAI} = 100 / \{1 + 2000 \exp(-0.0105x)\} \quad (2)$$

$$Y_{HANKAI} = 2(Y_{HIGAI} - Y_{ZENKAI}) \quad (3)$$

$$Y_{HANKAI} = 1 - Y_{ZENKAI} \quad (4)$$

Y_{ZENKAI} : 全壊率 (%), Y_{HIGAI} : 被害率 (%),
 Y_{HANKAI} : 半壊率 (%), x : 地表面実効加速度 (gal)

表 1. 損壊度ごとの住居内閉じ込め率

| | 損壊なし | 半壊 | 全壊 |
|-------|------|-----|-----|
| 閉じ込め率 | 10% | 17% | 35% |

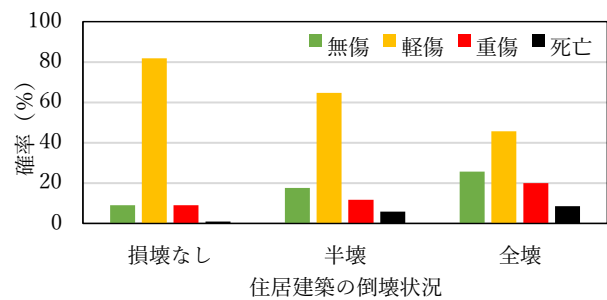


図 1. 損壊度ごとの健康被害予測

2 つ目の救助活動パートでは、住民と救助隊の 2 種類のエージェントによる救助活動を再現し、地震による人的被害の時間的推移をシミュレートする。この時、救助隊の取得できる情報をパラメータとして変化させ、情報の救助活動への影響を検証する。図 2 に本研究で構築したシステムのフローチャートを示す。

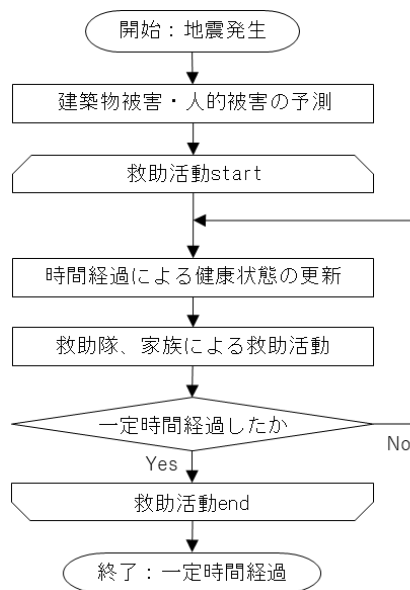


図 2. システムのフローチャート

2.1. 仮想都市モデル

シミュレーションを行う空間である仮想都市モデルは、セルを構成単位とする 2 次元平面として定義されている。1 セルの単位長さは現実世界の 10m に相当する。本システムでは兵庫県宝塚市の地図情報⁴⁾をもとに仮想都市モデルを作成した。図 3 に本システムで作成した仮想都市モデルを示す。

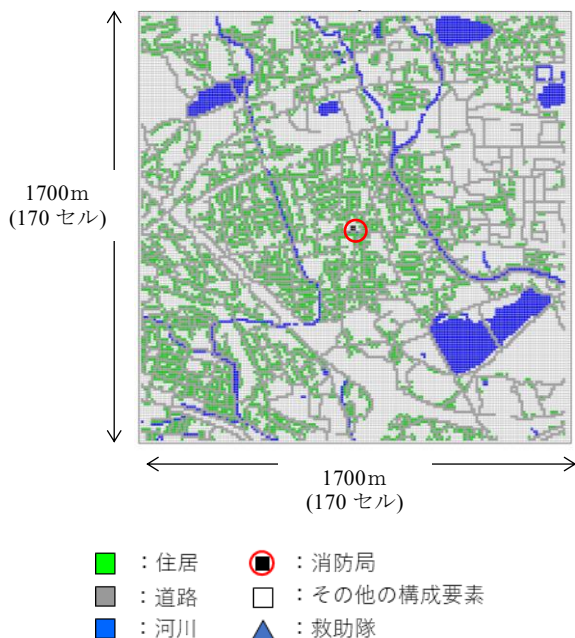


図 3. 仮想都市モデル

2.2. エージェント

2.2.1 住民

地震による住居の被害に応じて健康被害を受け、「無

傷」、「軽傷」、「重傷」、「死亡」の 4 種類の健康状態となる。住民は住居に閉じ込められていると次第に健康状態が悪化し、やがて死亡するものとし、その確率は、太田ら⁵⁾によって提唱された余命特性値をもとに作成した余命特性値曲線(図 4)を用いて計算した。

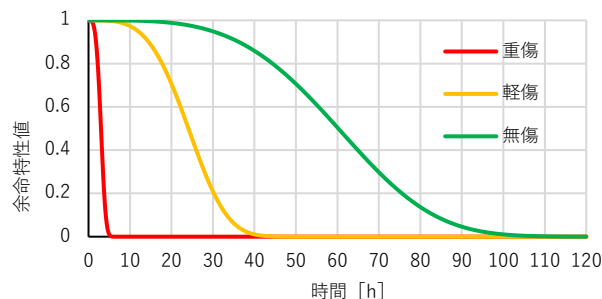


図 4. 余命特性値曲線

また健康状態が「無傷」または「軽傷」で、住宅内に閉じ込められていなければ、自助や共助を行う。自助は、自分の家族に対して行う救助活動を、共助は、近隣住民に対して行う救助活動を指す。

2.2.2 救助隊

救助隊は地震による被害を受けないものとする。また救助隊は住民の 60 倍の速度で救助活動を行うことができるエージェントとした。救助隊の行動として「救助活動」、「搜索活動」、「救助支援」、「優先救助」の 4 つを設定した。それぞれの活動について、表 2 に示す。

表 2. 救助隊の救助活動

| | |
|------|---|
| 救助活動 | 要救助者のいる住宅に対して救助活動を行う。 |
| 搜索活動 | 住宅を一戸ずつ、安全確認を行いながら救助活動を行う。安全確認は 15 分を要すものとする。 |
| 支援活動 | 救助中の住民がいる住宅を対象として救助活動を行う。 |
| 優先救助 | 条件を満たす住宅に対して優先的に救助活動を行う。条件は得られる情報によって異なる。 |

救助隊は順次救助活動を進めるが、救助活動の進展に伴い救助対象となる住宅が周囲に少なくなると、「搜索活動」に移行する設定とした。「搜索活動」へと移行するタイミングは、以下の式(5)~(7)で決定する。これはいくつかの予備検討を行った結果、救助隊の救助対象が減少し、救助活動が停滞してしまうのを防ぐために設けた設定である。また実際の救助活動における行方不明者の搜索活動を想定している。ここでは、救助隊の救助増加率という概念を導入し、救助増加率が地震発生直後から 2 時間の救助増加率の 1/2 以下になった時に、移行するものと

した。以下の式において、 R_{rate} :救助増加率、 R_{first} :初期救助増加率 N_i : i 時間経過後の救助隊による救助数とする。

$$R_{rate} = (N_{i+120} - N_i)/120 \quad (5)$$

$$R_{first} = (N_{120} - N_0)/120 \quad (6)$$

$$R_{rate} < R_{first}/2 \quad (7)$$

2.3 情報の効果

救助隊は取得できる情報に応じて行動を変化させる。情報の種類は、①「閉じ込められている住民の有無」、②「閉じ込められている住民の健康状態」、③「住宅の損壊度」の3つを想定しており、住宅の前を通過した際に、該当住宅に関する情報を取得できる設定とした。情報が取得できた場合の救助隊の行動の変化を表3に示す。

表3. 情報の有無に応じた救助隊の行動変化

| 情報 | 救助活動 | |
|--------|--------------------------|--------------------------|
| | $R_{rate} > R_{first}/2$ | $R_{rate} < R_{first}/2$ |
| 情報なし | 救助支援 | 搜索活動 |
| 在室者の有無 | 救助活動 | |
| 損壊度 | 優先救助 「半壊」「全壊」 | 搜索活動 |
| 健康状態 | 優先救助 「軽傷」「重傷」 | 救助活動 |

3. シミュレーションの設定

住民による共助の有無と救助隊が取得できる情報の有無をパラメータとして8通りのシナリオのもとでシミュレーションを実行する。また得られた結果を考察し、救助隊の取得できる情報の有無が、地震による被害状況に及ぼす影響について検証する。表4、5に各シナリオに共通な設定とシナリオ毎の詳細設定を示す。

すべてのシナリオで、住民の人数や住宅数、初期被害は共通とし、救助活動パートのシミュレーションを実行する。救助隊は救助活動のみを行うものとして、救助が完了した住民に対しては、その時点で救助活動を終了し、要救助者の運搬等は行わない設定とした。

表4. シミュレーションの共通設定

| | |
|----------|--------|
| 実行時間 | 100 時間 |
| 地表面加速度 | 700gal |
| 住民の数 | 9087 人 |
| 住宅の数 | 4557 戸 |
| 救助隊の部隊数 | 4 部隊 |
| 救助隊の移動速度 | 12km/h |

表5. 各シナリオの詳細設定

| | 共助 | 情報 | | |
|-----|----|-----|-----|------|
| | | 在室者 | 損壊度 | 健康状態 |
| 1-1 | なし | × | × | × |
| 1-2 | | ○ | × | × |
| 1-3 | | × | ○ | × |
| 1-4 | | ○ | × | ○ |
| 2-1 | あり | × | × | × |
| 2-2 | | ○ | × | × |
| 2-3 | | × | ○ | × |
| 2-4 | | ○ | × | ○ |

4. シミュレーションの実行結果と考察

4.1. 初期被害予測

表6、7に初期の人的被害と建物被害を示す。これは、表4に示した地表面加速度をもとに、参考文献2、3)に示された方法を参照して求めた予測結果である。これらの状況を、救助活動シミュレーションのスタート時点の被害状況として、共通で利用する。

表6. 初期人的被害予測

| 状況 | 脱出 | 閉じ込め (1542) | | | |
|------|------|-------------|-----|-----|----|
| | | 無傷 | 軽傷 | 重傷 | 死亡 |
| 健康状態 | 無傷 | 無傷 | 軽傷 | 重傷 | 死亡 |
| 人数 | 7545 | 275 | 998 | 203 | 66 |

表7. 初期建物被害

| 損壊度 | 損壊なし | 半壊 | 全壊 |
|-----|------|------|-----|
| 戸数 | 976 | 3107 | 474 |

4.2. 救助シミュレーション実行結果

表8にシナリオ毎の最終的(100時間後)な死亡者数と閉じ込められている人数、住民と救助隊による救助数に関する結果を示す。また図5にはケース2のシナリオ毎の救助隊による救助数の時間推移を示している。

表8. 救助シミュレーション実行結果

| | 死亡 | 閉じ込め | 救助数 | | |
|-----|------|------|------|-----|------|
| | | | 住民 | 救助隊 | 総数 |
| 1-1 | 1067 | 279 | 1012 | 251 | 1263 |
| 1-2 | 1086 | 205 | 1040 | 297 | 1337 |
| 1-3 | 1098 | 282 | 1024 | 236 | 1260 |
| 1-4 | 1052 | 210 | 1028 | 304 | 1332 |
| 2-1 | 854 | 239 | 1094 | 209 | 1303 |
| 2-2 | 854 | 112 | 1135 | 295 | 1430 |
| 2-3 | 874 | 243 | 1103 | 196 | 1299 |
| 2-4 | 817 | 106 | 1147 | 289 | 1436 |

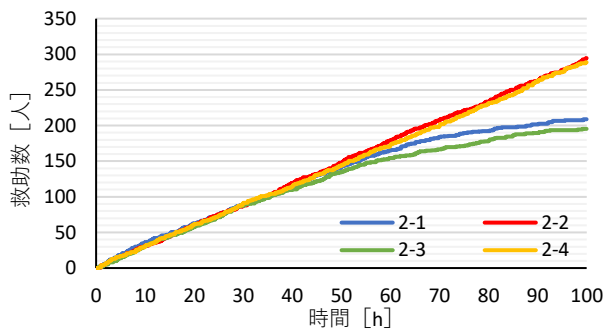


図5. 救助隊による救助数の時間推移 (ケース2)

4.3. 考察

ここでは情報の効果について、取得できる情報の種類による考察を行う。

表8より、在室者の有無に関する情報を取得できるシナリオでは、在室者の情報が取得できないシナリオに比べて、救助隊による救助数が共助なしでは46人、共助ありでは86人増加した。これは救助隊が要救助者の場所を把握することで、安全確認をする必要なく効率的に救助活動を実施できたためと考えられる。このことは、図5より、在室者に関する情報が取得できるシナリオでは、災害発生から60時間経過後の救助数が、情報がない場合と比べて増加率が高くなっていることから見て取れる。

次に、損壊度に関する情報が取得できるシナリオでは情報がない場合と比べて、最終的(100時間後)な死亡者数と閉じ込められている人数の両方ともあまり変化は見られなかった。これは、救助が必要な住宅のほとんどが「半壊」の住宅であるため、救助隊の行動に与える影響が小さいことが要因と考えられる。

最後に健康状態に関する情報を取得できる場合について考察する。この情報が取得できる場合ではそうでない場合に比べて最終的(100時間後)な死亡者数が共助なしでは15人、共助ありでは37人減少した。これは軽傷の住民を死亡するよりも早く救出することができたためと考えられる。図6からも軽傷の住民の死亡者数の差と死亡者数の総数の差がほとんど一致していることが分かる。

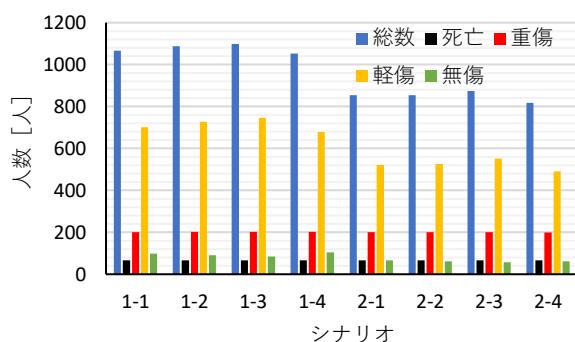


図6. 健康状態別の死亡者数

5. まとめ

本研究では、救助隊の取得できる情報を考慮し、救助隊や住民による救助活動に及ぼす影響を、シミュレーションを通して検討を行った結果、以下の知見が得られた。

- ①住宅内の要救助者の有無に関する情報を救助隊が取得できた場合、要救助者の搜索活動を行う時間を短縮することができるため、救助活動が効率化され、救助隊による救助数が増加した。
- ②閉じ込められている住民の健康状態に関する情報を取得できる場合、健康状態により救助に優先順位をつけることで、緊急度の高い住民をより多く救出することにより、死亡者数が減少した。
- ③住宅の損壊度を情報として持つ場合、救助隊の行動にはほとんど影響を与えなかった。

以上より、各種情報の有無が、救助隊の活動に及ぼす影響を把握することができた。救助隊が救助活動を行う上で、災害による死亡者数を減らすのに最も有効な情報は在室者の有無に関する情報であり、次に有効な情報は住民の健康状態であることを示した。これらを精度良く推定可能なセンシング環境の開発・導入が望まれる。

なお、本研究では空間構成やエージェントの行動ルールを簡略化してシミュレーションを行っているため、現実の救助活動と異なる点もある。今後は、救助スピードや救助隊の部隊数をパラメータとしてシミュレーションを行うことで、シミュレーションの再限度を向上させる必要がある。加えて、今回の研究では行わなかった、得られる情報から事前に救助隊の行動を最適化するケースについてもシミュレーションを行うことで、本システムがより実用的なものになっていくと考える。

【謝辞】

本研究はJSPS 科研費(20K04381)の助成を受けたものです。

【参考文献】

- 1) 山村貴史, 河村廣, 瀧澤重志, 谷明勲: エージェントシステムによる地震被害と救助シミュレーション, 日本建築学会近畿支部研究報告書. 計画系 43 巻, pp293-296, 2003. 05.
- 2) 能島暢呂, 杉戸真太, 清水浩二, 金澤伸治: 実被害情報の逐次処理による地震被害のリアルタイム推定モデル, 東濃地震科学研究所報告 Seq.No.7 地震防災分野, pp171-185, 2001.
- 3) 村上ひとみ, 竹田宏樹, 鎌田泰子, 高田至郎: 兵庫県南部地震における東灘区の住家倒壊と閉じ込めに関する実態追跡調査, 東濃地震科学研究所報告 Seq.No.7 地震防災分野, pp101-123, 2001.
- 4) 生活地図サイト MapFan, 入手先< <https://mapfan.com/>>, (参照 2022. 07. 03).
- 5) 太田裕, 小山真紀, 和藤幸弘: 震後余命特性曲線の試算 -1995 年兵庫県南部地震の場合-, 東濃地震科学研究所報告 Seq.No.7 地震防災分野, pp93-100, 2001.