

## 災害現場での分散協調による被災者捜索・救助手法の検討 Study of search and rescue methods for disaster victims through decentralized cooperation at disaster areas

田邊 隼士†  
Hayato Tanabe

尾崎 敦夫†  
Atsuo Ozaki

### 1. はじめに

近年、日本では地震の頻度や規模が増加傾向にあり、近い将来には南海トラフや首都直下型地震などの大規模災害が発生すると予測されている。しかし、災害の正確な発生日時の予測は困難であるため、被害を抑制するための対策が必須である。また、被災から 72 時間が経過すると生存率が大幅に低下すると言われており、これを人命救助におけるタイムリミットの目安として「72 時間の壁」や「黄金の 72 時間」と呼ばれている[1]。これらのことから、大規模災害後の人命救助は人員や救命装置などの限られた資源を適切に配分し、迅速かつ効率的な救助活動を行うことが求められる。本稿では、この課題解決を目的に、救助隊間での分散協調による被災者捜索・救助手法の提案を行う。

### 2. 関連研究

先行研究として、大型イベント時の混雑回避を考慮した避難誘導手法[2]があるが、避難誘導が対象であり、災害時の救助について考慮されていない。また、実際の災害を基に行った災害救助シミュレーションの先行研究[3]もあり、道路閉塞と火災延焼などの複雑な事象が考慮されているが、救助者間での要援護者に関する位置情報の共有が行われていないことが課題としてあげられる。

### 3. 提案手法

我々は、救助者は各々が発見した被災者の位置情報を共有することで分散協調による探索活動を行い、被災者を発見時に適切な搬送先へ移動させる手法を提案する。本手法では、救助者は、各セルにおける探索回数と救助活動中に発見した被災者の位置情報を共有することで、効率的な探索活動を行う。

#### 3.1 被災者エージェント

被災者はシミュレーション開始後、ランダムに重症度と初期配置を設定し、被災者の搬送先を重症度によって決定する。重症度はトリアージタグ[4]を参考に付与し、緊急性の高い被災者は赤色のタグ、重症度が軽度である被災者は黄色のタグを付与する。被災者は救助者によって、赤色のタグが付与されている場合は医療機関に、黄色のタグが付与されている場合は避難所へと搬送される。また、被災者には時間経過により低下する生存率  $\alpha(t)$  を定義しており、兵庫南部地震での被災者の生存率を回帰曲線式(1)で表した数値を用いる[5]。

$$\alpha(t) = -5.950 \times 10^{-6} t^4 + 1.262 \times 10^{-3} t^3 - 0.07597 t^2 - 0.0573 t + 100 \quad (1)$$

#### 3.2 救助隊エージェント

救助者は、被災者の捜索を行う探索活動と発見した被災者の搬送を行う救助活動が主な行動である。探索活動中は、各セルにおける探索回数と救助活動中に発見した被災者の位置情報を共有しながら、最も探索回数の少ないセルへ移動することで被災者の捜索を行う。探索活動中に被災者を発見した場合には、重症度によって適切な搬送先へと移動させ、救助活動中に被災者を発見した場合、他の救助者に発見した被災者の位置を共有し、最も近くににいる救助者が被災者のもとへ向かう。そして、情報共有された被災者の位置に向かって別の被災者を発見した場合、先に発見した被災者の救助を行った後、共有された被災者の位置へと向かう。図 1 に探索活動時のイメージを示す。図内の青丸は救助者エージェントの位置、赤い円は移動先候補、マス内の数値は各セルにおける探索回数を表している。

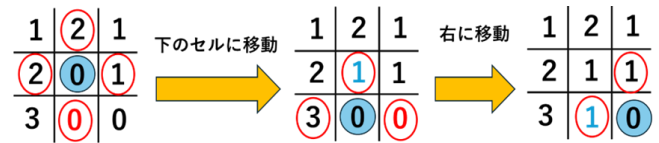


図 1 被災者捜索のイメージ

### 4. 評価方法

本手法の評価は、大阪府枚方市のイベントである「枚方宿くらわんか五六市」(以下五六市)[6]を対象とし、大規模地震が発生した場合の災害救助シミュレーションを MAS[7]で作成し、実行することで、被災者の救助人数や救助完了時間、被救助者の生存率を求める。そして、分散協調を用いた被災者の捜索・救助方式と、比較検討するためのランダム探索する場合における被災者の位置情報共有を行う場合と行わない場合での捜索・救助方式の合計 3 つの実行結果を比較することで、提案手法の有効性を評価する。具体的には、縦 700×横 900 のセル空間で表した五六市会場に被災者は 50 人をランダムに、救助者は枚方市駅付近に 3 名、枚方公園駅付近に 2 名を配置した条件下で検証する。図 2 に評価対象の空間を示す。黄色・赤色の円は、黄タグ・赤タグ被災者それぞれの搬送先を示している。

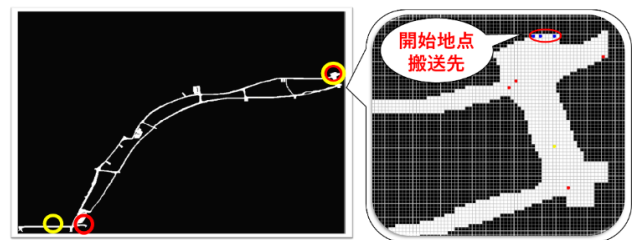


図 2 評価対象を模したセル空間

† 大阪工業大学 Osaka Institute of Technology

5. 結果

5.1 未発見者の人数推移

4 章で述べた各方式における救助人数の結果を図 3 に示す。3 つ全ての方式で被災者全員を救助することができなかったが、未発見者の被災者人数は、位置情報共有を行わないランダム探索の場合では 25 人、位置情報共有を行ったランダム探索の場合では 18 人、分散協調を行った探索の場合では 4 人となり、分散協調を用いた探索を行った際の結果が最も被災者を救助することが可能であった。

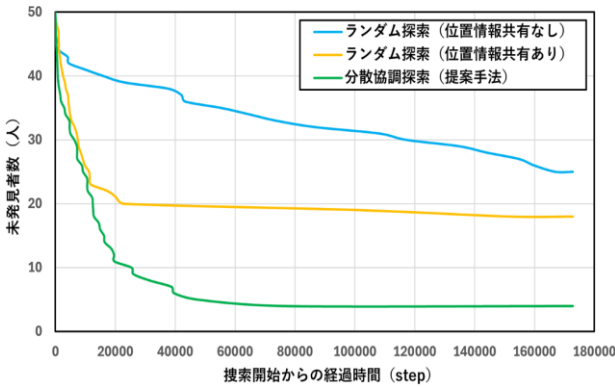


図 3 各方式における未発見者の人数推移

5.2 被救助者の生存確率

また、各方式における被救助者の生存率分布をヒストグラムにまとめたものを図 4 に示す。吹き出し内の数値は、各方式における生存率分布の最頻値を表しており、位置情報共有を行わないランダム探索の場合では 35%未満と 65%~75%の階級が 9 人、位置情報共有を行わないランダム探索の場合では 65%~75%の階級で 24 人、分散協調を行った探索の場合も同じく 65%~75%の階級で 25 人となった。

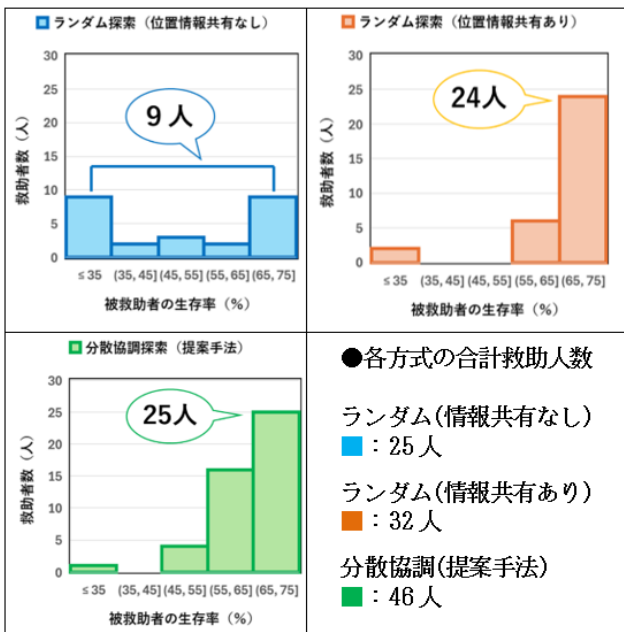


図 4 被救助者の生存率分布

6. 考察

図 3 のグラフから、ランダム探索であっても位置情報共有の有無により、被災者の救助人数が変化することがわかる。特に、探索開始直後における被災者の発見頻度が多い。さらに、図 4 の生存率分布を比較すると、情報共有を行ったランダム探索の方が、被救助者の生存率も高い傾向がある。そのため、発見した被災者の位置情報を共有することで、被救助者の生存率の向上につながると考える。また、分散協調探索と位置情報共有を行ったランダム探索では、分散協調を用いた探索の方が救助できた被災者の人数が多く、被救助者の生存率が高い傾向があった。そのため、救助隊間において分散協調を用いることにより、多くの被災者を短時間で救助できると考えられる。一方、被災者の位置情報を共有した回数は、ランダム探索では 7 回、分散協調を用いた探索では 5 回であった。また、探索回数の少ないセルを移動することで、より効率的にイベント会場の隅々を探索できていた。これらのことから、被災者探索において位置情報の共有も有効であるが、探索回数の少ないセルを移動することがより有効であると考えられる。

7. まとめと今後の課題

本稿では、五六市を対象とした災害救助シミュレーションを作成・実行し、救助隊間における分散協調による被災者の探索・救助手法での救助人数および被救助者の生存率分布から提案手法の有効性を評価した。結果として、分散協調を用いた場合、位置情報共有の有無に関わらず、ランダムに探索する場合よりも多くの被災者を救助することができた。また、被救助者の生存率についても、本手法の方が生存率の高い救助者の割合が多いことがわかった。これらのことから、救助者間における分散協調を用いた被災者探索および救助手法の有用性を確認できた。今後の課題としては、道路閉塞・火災延焼などの二次災害や重症度変異の考慮、各救助者における探索範囲の動的な割り当てや強化学習による被災者探索・救助経路の最適化といった被災者探索・救助方式の改良などがあげられる。

参考文献

- [1] 国土交通省 近畿地方整備局 震災復興対策連絡会議 “阪神・淡路大震災の経験に学ぶ,” “死者を減らすために,” 平成 14 年 (2002 年) 1 月, (<https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/daishinsai/1.html>)
- [2] 山田 千尋, 福谷 颯真, 竹本 和弘, 尾崎 敦夫 “大規模イベントを対象とした協調型避難誘導手法 ~混雑分散化の基礎検討~, ” 情報・システムソサイエティ特別企画 ジュニア & 学生ポスターセッション予稿集, ISS-P-040, 2022.
- [3] 上田 遼, 瀬尾 和太, 元木 健太郎, “道路閉塞・火災延焼被害を考慮した地震時における災害時要援護者救助シミュレーション” 地域安全学会論文集 No.8, 2006.11
- [4] 小笠原 智子, 小井土 雄一, “図説 災害医療シリーズ No.1,” “災害トリアージ,” 国立医療学会, IRYO Vol.64, No.1 (63-67), 2010
- [5] 小谷 稔, “ベイズ推定を用いた災害被災情報の曖昧さ分析と被災規模早期予測による災害対応に関する基礎的研究,” 神戸大学大学院工学研究科, 2017-03-01
- [6] 枚方宿くらわんか五六市 (<https://www.gorokuichi.net/>)
- [7] 構造計画研究所 MAS COMMUNITY 「マルチエージェント・シミュレーションとは？」 (<https://mas.kke.co.jp/about/>)