

追従行動や災害情報の影響を考慮した地震火災時 避難シミュレーションモデルの構築と避難誘導方法に関する考察

久壽米木 瞳子*・大佛 俊泰**

Construction of Evacuation Simulation Model Considering the Influence of Following Behavior and Disaster Information for Analysis of Evacuation Guidance

Toko KUSUMEGI, Toshihiro OSARAGI

Abstract : There are many studies that have analyzed the effects of evacuation guidance in earthquake fires using simulations. However, most of them extremely simplify or idealize the evacuation behavior. In this paper, we develop the simulation model that describes detailed evacuation behavior such as obtaining disaster information or following other evacuees. Moreover, using the simulation model, we analyze the relationships between the two-stage evacuation and human damage and the effect of few evacuees' behavior on the whole casualties.

Keywords: 避難行動 (evacuation behavior), 広域避難 (wide-area evacuation), マルチエージェントシミュレーション (multi-agent simulation), 追従行動 (following behavior), 避難誘導 (evacuation guidance)

1. はじめに

地震火災時における避難誘導の効果や合理的な避難方法について避難シミュレーションを用いて検証した研究は多い。しかし、避難行動については、極端に理想化・単純化されているものが多く、他の避難者への追従行動など、避難行動について詳細な議論を行った研究は少ない。筆者らは、これまで、アンケート調査を用いて地震火災時の避難行動について避難者の情報取得を考慮したモデルの構築を行い、過去の実災害の行動調査との整合性を検証してきた(久壽米木・大佛, 2019)。

本稿では、これらの行動モデルを用いて避難者の災害情報の取得や他者への追従行動を考慮した避難行動シミュレーションを構築する。さらに、避難方策や少数の避難者の行動パターンを変化させた場合の人的被害を比較することで、合理的な避難方法について考察する。

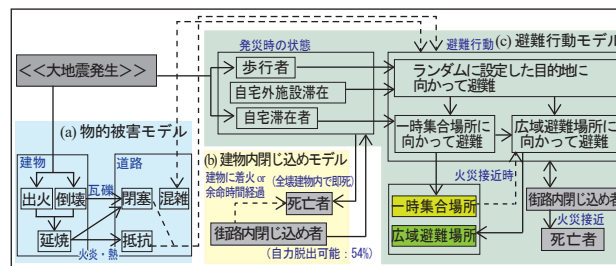


図-1 シミュレーションモデルの全体像

2. シミュレーションモデルの構築

2.1. モデルの全体像

シミュレーションモデルの全体像を図-1に示してある。物的被害モデル・建物内閉じ込めモデル(大佛・沖, 2011)と避難行動モデル(久壽米木・大佛, 2019)を統合したマルチエージェントシミュレーションモデルを構築した。本シミュレーションモデルでは、対象地区内の被害状況や都市内滞留者の状態・行動を一定の時間間隔(本研究では15秒)で更新することで、物的被害と都市内滞留者の相互作用を考慮しながら物的・人的被害を推定する。

* 学生会員 東京工業大学環境・社会理工学院 (Tokyo Institute of Technology)
〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 E-mail: kusumegi.t.aa@m.titech.ac.jp

** 正会員 東京工業大学環境・社会理工学院 (Tokyo Institute of Technology)

2.2. 避難者の初期状態と避難行動タイプ

本研究では、対象エリア内における自宅滞在者、自宅外施設滞在者と屋外歩行者のみをシミュレーションの対象とする。また、各避難者の避難行動パターンは、土地勘の程度や発災時の滞留場所に応じて変化すると考え、3種類の避難行動タイプを設定した(図-2)。

自宅外施設滞在者と屋外歩行者は土地勘が無く、避難場所から50m以内に到達するまで、ランダムに設定した目的地への移動を繰り返すものとした。

2.3. 避難開始時間・経路選択のモデル化

建物内滞留者の避難開始時間は、滞留建物への火災接近と近隣住民への追従を考慮した避難確率モデル(久寿米木・大佛, 2019)に従うものとする(図-3)。

避難経路の選択方法は、大佛・田中(2017)の分析結果に基づき、経路長・ターン回数・道路幅員を総合的に考慮して確率的に経路を選択するようモデル化した(図-4)。

なお、避難者は移動中に遭遇した道路閉塞を逐次記憶し、経路上で道路閉塞に遭遇した場合は、記憶している閉塞状況を考慮して経路を再探索する。避難時の移動速度は、避難者の性別・年齢と周辺の混雑度を考慮し、一定の時間間隔で更新する(図-5)。

2.4. 追従行動のモデル化

避難者の追従行動を図-6のようにモデル化した。避難者は各交差点において他者に追従するかどうかを判断する。具体的には、まず、周囲の避難者の移動方向を考慮した上で自らの進行方向を確率的に決定する(図-6①)。

さらに、決定した進行方向へ進む避難者の中からランダムに1人選択し、目的地および避難経路を自身の目的地・避難経路として保持するものとした(図-6②)。

ただし、選択した対象者が自身よりも土地勘のない避難者の場合は追従せず元の経路を保持するものとした。

3. シミュレーション条件と比較シナリオ

本稿におけるシミュレーション条件を図-7に示してある。分析対象地域として東京都足立区千住地域と世田谷区太子堂地域を設定した。次に、避難方策(二段階避難・直接避難)、制御避難者数および制御ルールを変化させた計10個のシナリオを想定した(図-8)。

この時、制御避難者の制御ルールとして、

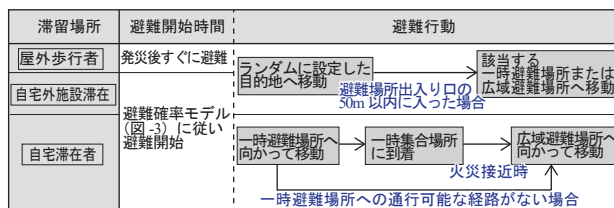


図-2 滞留場所と避難行動タイプ

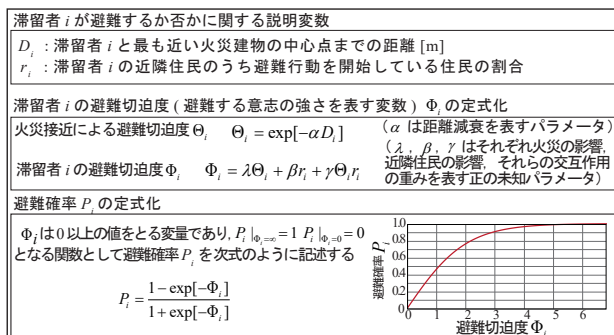


図-3 避難確率モデル

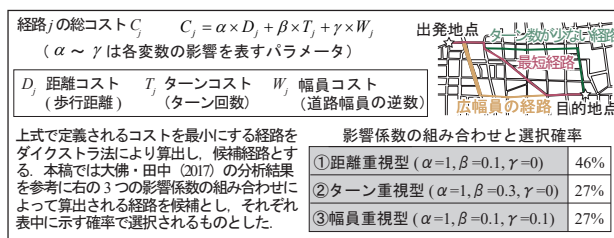


図-4 経路選択モデル

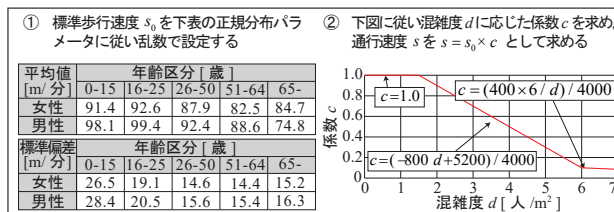


図-5 歩行速度の設定方法

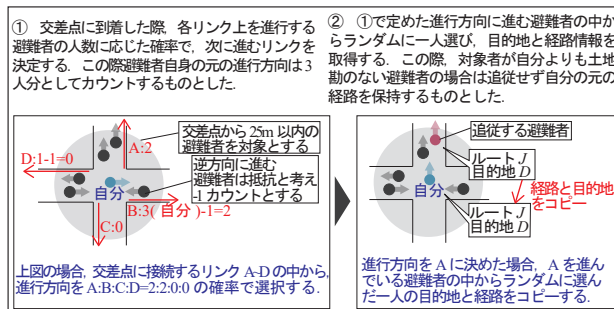


図-6 追従行動モデル

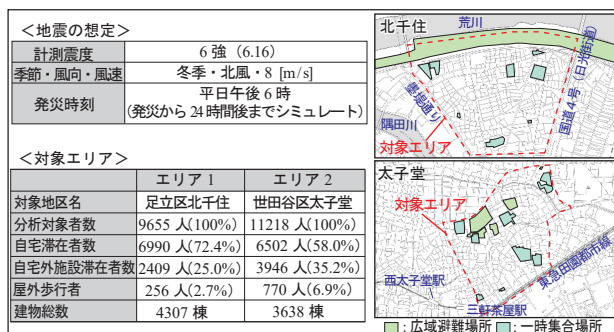


図-7 シミュレーション条件

即時避難、全知全能避難、主要道路避難、混雑回避避難の4つを設定した。

4. 二段階避難と直接避難の比較

4.1. 二段階避難の有無と死者数の関係

二段階避難（シナリオ(A)）と直接避難（シナリオ(B)）を想定した場合の死者数の比較を図-9に示す。

ほとんどの物的被害ケースにおいて死者数に大きな差はみられないが、北千住エリアにおいて二段階避難の方が直接避難よりも1000人近く死者数が多いケースが存在する。北千住エリアでの焼損建物数上位30ケースの死因別死者数を見ると（図-11）、二段階避難でのみ、稀に路上での火災による大量死が発生している。また、二段階避難時の北千住エリアにおける死者数の最大値の時間推移をみると（図-10左）、発災の約16時間後に大量死が発生している。これは、一時集合場所から広域避難場所への再避難を試みた避難者が火災により街区内に閉じ込められたため、火災に巻き込まれ、大量死が発生したケースである。

一方で、太子堂エリアでは直接避難と二段階避難で死者数に大きな差は見られなかった（図-10右、図-12）。太子堂エリアでは北千住エリアに比べ焼損建物数が少なく、路上での火災による死亡者が発生しづらいためと考えられる。

4.2. 大量死の発生と空間性状の関係

北千住地域における、二段階避難で死亡した避難者の空間分布および、直接避難で死亡した避難者の空間分布を図-13に示す。北西部の一時集合場所周辺において、二段階避難で死者数が極端に多く、広域避難場所へ再避難する過程で大量死が起きていることが確認できる。

以上より、多くの場合、二段階避難の方が人的被害が小さくなる傾向にあるが、火災危険度が著しく高い地域では、広域避難場所への逃げ遅れによる大量死が発生するリスクがある。

5. 制御避難者の行動が避難者全体に与える影響

5.1. 制御避難者の避難開始時間が人的被害に与える影響

制御避難者が発災後すぐに避難した場合（シナリオ(C)、(D)）、全体の死者数に与える影響を分析する（図-14）。死者数が多い物的被害ケースについては、

避難方策	制御避難者	制御ルール (制御避難者の行動ルール)	二段階避難…自宅から一時集合場所に避難し、火災が迫ったから広域避難場所に再避難する。
(A) 二段階避難	無し	無し	直接避難…自宅から広域避難場所に直接避難する。
(B) 直接避難	無し	無し	制御避難者…本研究では、一部の避難者の行動パターンを変化させることで一部の避難者の行動が全体に与える影響を検証する。このとき行動を変化させる避難者を「制御避難者」とする。
(C) 二段階避難	自宅滞在者の0.5%	発災後即時避難	他の避難者同様（経路選択モデル（図-4）に従う）
(D) 直接避難	自宅滞在者の1%	即時避難	他の避難者同様（経路選択モデル（図-4）に従う）
(E) 二段階避難	自宅滞在者の0.5%	他の避難者同様	全知全能避難…対象エリア内の全道路リンクの閉塞状況を把握したうえで、避難場所への最短経路を選択する。
(F) 直接避難	自宅滞在者の1%	他の避難者同様	全知全能避難…対象エリア内の全道路リンクの閉塞状況を把握したうえで、移動時間が最短となる経路を選択する。
(G) 二段階避難	自宅滞在者の0.5%	避難確率モデル（図-3）に従う	主要道路避難…主要道路（幅員8m以上の道路）へ移動したうえで、避難場所へ避難する。
(H) 直接避難	自宅滞在者の1%	避難確率モデル（図-3）に従う	主要道路避難…主要道路（幅員8m以上の道路）へ移動したうえで、避難場所へ避難する。
(I) 二段階避難	自宅滞在者の0.5%	他の避難者同様	混雑回避避難…対象エリア内の全道路リンクの混雑を把握したうえで、移動時間が最短となる経路を選択する。
(J) 直接避難	自宅滞在者の1%	他の避難者同様	混雑回避避難…対象エリア内の全道路リンクの混雑を把握したうえで、移動時間が最短となる経路を選択する。

図-8 想定シナリオ

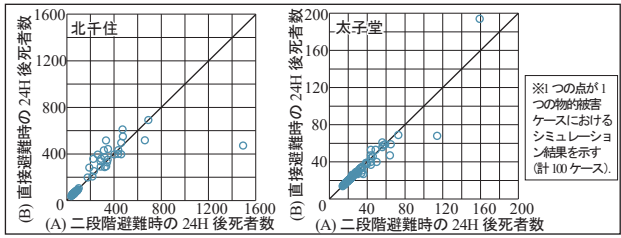


図-9 直接避難・二段階避難における死者数

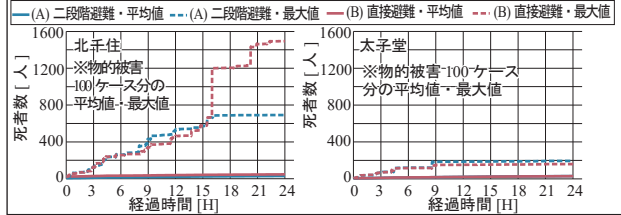


図-10 死者数の時間推移

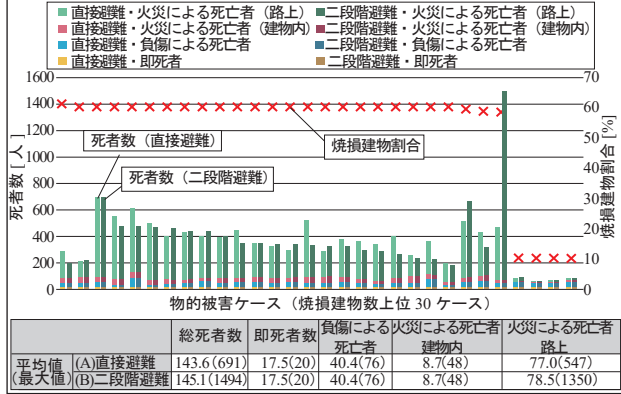


図-11 焼損建物数と要因別死者数（北千住エリア）

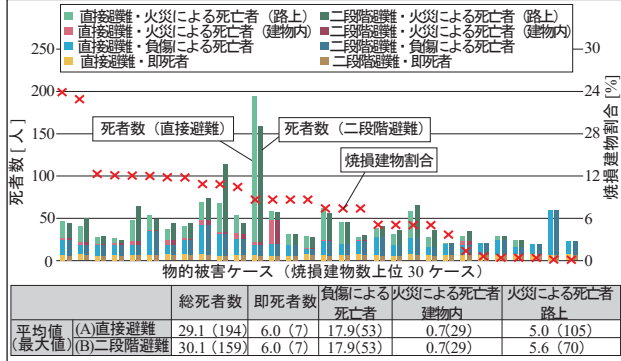


図-12 焼損建物数と要因別死者数（太子堂エリア）

全体の1%の避難者が発災後、即時避難することで死者数が100人程度減少することがわかる(図-14右)。

5.2. 制御避難者の経路選択方法が人的被害に与える影響

制御避難者が全知全能避難(シナリオ(E),(F))、主要道路避難(シナリオ(G),(H))、混雑回避避難(シナリオ(I),(J))を行った場合の人的被害軽減効果をそれぞれ分析した(図-15～図-17)。死者数が多い物的被害ケースにおいては、経路選択方法によらず、全ての想定で死者数の低減がみられた。このことは、避難初期期においてごく一部の避難者に、閉塞状況などの物的被害状況をリアルタイムに提供することで人的被害が低減される可能性を示唆している。また、主要道路を優先的に利用する避難経路や、混雑を避けた避難経路への誘導は、ごく一部の避難者のみが従った場合でも大きな人的被害低減効果を示す可能性があることを示している。

6. おわりに

避難者の追従行動や災害情報の取得を考慮したシミュレーションモデルを用いて、合理的な避難方法について考察した。火災危険度が非常に高い地域においては、二段階避難により大量死が起こる可能性があることを示した。また、一部の避難者の行動が数百人の生死に影響を与える可能性があることや、災害情報の提供や避難誘導の有効性を示した。

謝辞

本稿の作成にあたりご助言をいただきました,東京工業大学の沖拓弥准教授,田頭まき助教に感謝致します。

参考文献

- 久寿米木瞳子・大佛俊泰(2019) 避難者の情報取得を考慮した地震火災時の避難行動モデル。地理情報システム学会講演論文集, **28**
- 大佛俊泰・沖拓也(2011) 密集市街地における地震火災時の避難困難率について。日本建築学会計画系論文集, **77**(681), 2561-2567
- 大佛俊泰・田中あずさ(2017) 経路選択に関わる要因分析と歩行者行動のモデル化。日本建築学会計画系論文集, **82**(734), 895-903

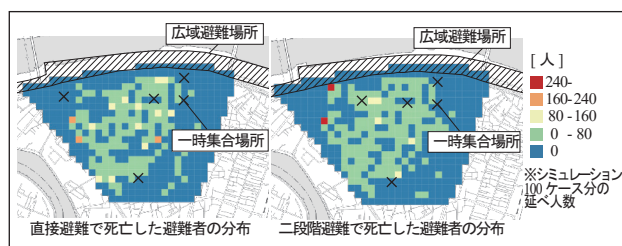


図-13 死者数の空間分布(北千住)

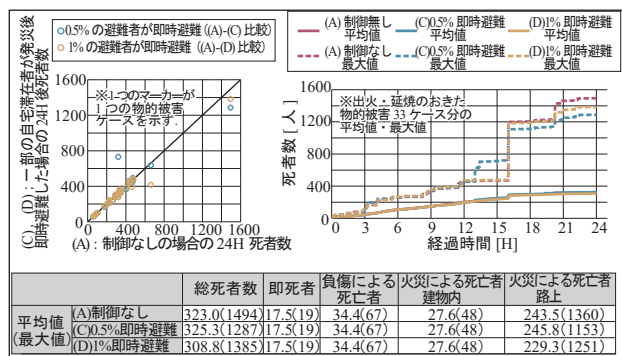


図-14 一部の避難者の避難開始時間が及ぼす影響

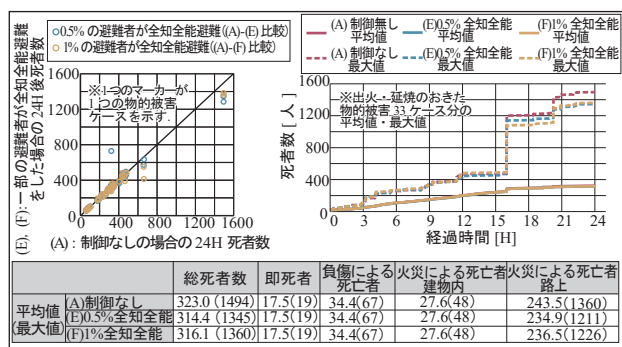


図-15 一部の避難者が全知全能避難を行うことの影響

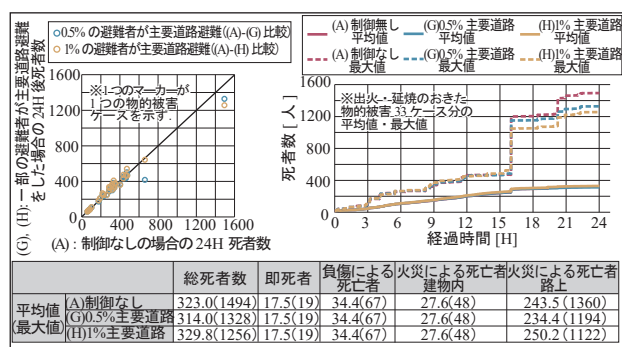


図-16 一部の避難者が主要道路避難を行うことの影響

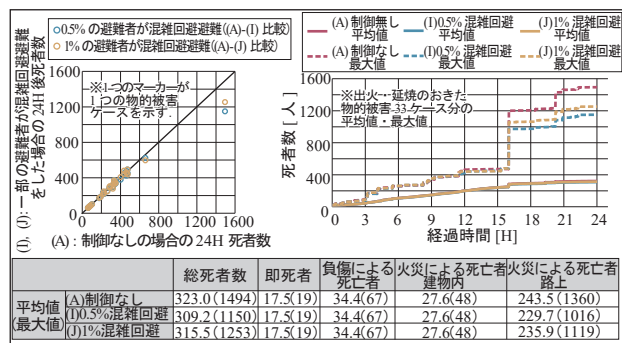


図-17 一部の避難者が混雑回避避難を行うことの影響