

火災避難シミュレーションを用いた通信式火災報知器の 有効性の検証

浅野俊幸¹ 廣川雄一² 西川憲明²

概要: 本研究は木造住宅が密集している地域において地震後の延焼対策として有効な避難方法を提案することを目的としている。まず、マルチエージェントモデルを火災拡散からの避難のシミュレーションに適用した。我々は、その可視性に基づいて、連続空間における歩行者の行動をシミュレートするために微視的歩行者モデルを構築した。火災避難の場合、建物からの出火後に避難が開始される。本研究では、次の2つの避難開始シナリオを想定する。1つ目は”近隣建物の出火により避難開始する”、2つ目は”報知器同士の情報伝達機能を有する火災報知機の作動により避難開始する”である。無線 LAN を有する火災報知器は我々の提案する機能を有したものであり、その有効性を評価した。このように実践的なシミュレーションを用いた避難計画は非常に重要かつ効果的であると結論される。

Verification of effectiveness of communication type fire alarm using fire evacuation simulation

TOSHIYUKI ASANO¹ YUICHI HIROKAWA² NORIAKI NISHIKAWA²

1. はじめに

近年、首都直下地震では、津波や家屋倒壊よりも火災が大きな被害をもたらすとされている。過去の震災でも大規模火災が起きているからである。地震時に燃え広がると延焼スピードは時速 200~300m にもなり、関東大震災の例では時速 800m ともいわれている。一般に、時速 100m を超えると逃げきれず火災に巻き込まれる人が出てくる。このような火災に対して、我々ができることは、真っ先に安全なエリアまで避難することである。一般に、火災は知らず知らずに燃え広がる。これに気付くには最近の家屋には義務化されている火災報知器に期待するところである。しかし、これは個別の建物の備えであって、下記に示すような燃え広がる大規模火災には有効とは言えない。そこで本研究では、通信型の火災報知機を想定し、火災発生家屋から一定範囲の家屋（火災報知器）に対して危険シグナルを送信することで避難の初動を早め、被害にあう人を減らせるかどうかを我々が開発した群衆避難マルチエージェントシミュレーションモデル（MASH: Multi-Agent based Simulator for Human behavior, 以降、MASH モデルという。）に実装し、その効果について報告する。

2. 大規模火災の要因

大規模火災になった要因はいくつか考えられている。

①: 一つ目は、火元の周囲の家並みが隙間なく木造家屋が密集する街区であったことである。②: 二つ目は、強風と

飛び火の発生である。強風に煽られた炎が横に倒れるように沈設家屋に伸びて燃え移り、また、強風により飛び火が遠くに運ばれて新たな出火点を複数発生させたことである。これが最大の原因であると考えられる。③: 三つ目は、初動消防力の限界である。

このような調査から明らかになってくることは、古い木造住宅の密集する地域①では、単一の出火であっても強風下②であれば大規模火災に発展することがあるということである。また、大規模地震などにより、火災発生前に家屋の倒壊があれば道路が寸断され③、消防活動を妨げることにつながる事がわかる。

3. 群衆避難マルチエージェントシミュレーションモデルの概要

3.1. MASH モデル

本研究で用いるエージェントシミュレーション（MASH モデル）は、既存の歩行者行動モデルの一つであるヒューリスティックモデルをベースとして、複雑な都市空間における災害時の安全な避難誘導計画の検討に資する歩行者流動シミュレーションモデルである[1]。認知科学的視点から構築されるヒューリスティックモデルは、歩行者に内在する意思決定プロセスを明示的に表現するものであり、この意味において直感的に理解しやすいアプローチである。

MASH モデルの大きな特徴の1つは視覚情報の表現である。歩行者は視覚によって得られた情報をヒューリステ

1 学校法人湘南工科大学

2 国立研究開発法人海洋研究開発機構

ィックに処理することで、自身の動きを制御していると考えられる。

対象歩行者 i の振る舞い位置座標 $ri(t)$ と歩行速度 $vi(t)$ によって記述されるとする。ここで、 t は時間を表す。簡易化のため、歩行者の人体は水平面上の半径 $R_i = m_i/220$ の円で表現する。ここで、 m_i は歩行者 i の質量である。さらに、歩行者 i は自由歩行速度の大きさ v^0 によって特徴づけられるとする。また、歩行者の視野角は進行方向の左右 ϕ とし、衝突回避行動のために歩行者により観測される視覚距離を d_{max} とする (図 1)。

歩行者の衝突回避行動を記述する視覚情報としては、適切な角解像度により離散化された視野角度内の全ての方向 α に対し、歩行者 i 方向 α に歩行速度の大きさ v^0 で移動した場合に周辺障害物との衝突が最初に起こるまでの距離 $f(\alpha)$ を考える。方向 α に対して衝突の発生が予測されない場合には、距離 $f(\alpha)$ を最大値 d_{max} に設定する。

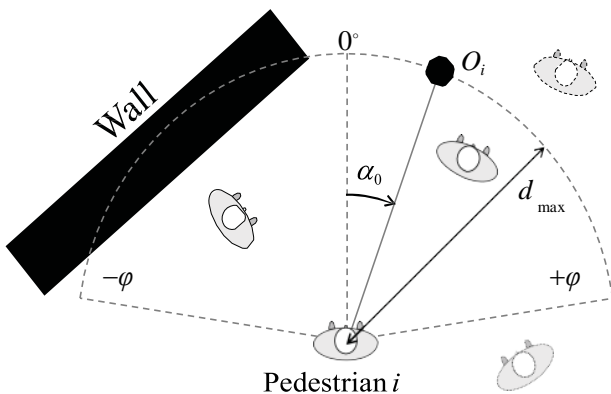


図 1: 歩行者の視覚情報

本モデルでは、歩行者により計画された目的地までの移動経路を、交差点を表すノード集合と交差点間を表すリンク集合から構成される通路ネットワーク情報を構築して表現し、歩行者の衝突回避行動を組み合わせてながら基本的には最短経路探索によって目的経路を決定して進む。

3.2. 避難シミュレーション

避難者は避難所 (一時避難場所) を目指して移動する [東京防災 2016]。また、避難者の行動は 3 つのモデルを用いて解析する。

§1 狭域行動 (マイクロモデル)

道路や通路のような狭域での避難者の行動は、人間の視覚情報をベースにしたマイクロモデルで解析する。避難者は他の避難者や壁面との衝突を回避するように考えて行動するため、人間の行動を精緻に予測することが可能である。

§2 広域行動 (経路選択モデル)

市街地や大規模商業施設内といった広域における避難者の行動、特に土地鑑および道路状況を加味した経路選択は 3 節に示す経路選択モデルを用いて解析する。このモデ

ルは道路情報の認識が避難者毎に異なっているのが特徴であり、来街者や地域住民といった避難者の属性を考慮することが可能である。

§3 避難行動 (避難行動モデル)

火災発生時における避難者の行動は 4 章に示す。

4. 火災避難シミュレーションの概要

4.1. 火災シミュレーション

都市部の市街地を対象として、異常乾燥時等において同時火災が発生する場合を想定した。火災シミュレーションには、国立研究開発法人 建築研究所が主となって開発した「市街地火災シミュレーション」を用いた [2]。また、各建物や道路については国土地理院 基盤地図情報を基に作成した [3]。火災避難の場合、建物からの出火後に避難が開始される。その際に本研究では、以下の 2 つの避難開始シナリオを想定し、シミュレーションを行い解析することで、通信型火災報知器を用いた場合の有効性について検討した。

4.2. 近隣建物の出火に応じて避難開始

一般的には、建物が出火した当初に初期消火がかなわなない場合には居住者は建物から非難を開始する。また、近隣の居住者も、火災が近づき延焼の可能性がある場合には批判を開始するものと考えられる。本研究では、この避難開始について、以下のように定義し MASH モデルに組み込んだ。

建物 i が出火したとする。このときに近隣建物 j から避難開始するか否かを確率的に判定する。建物 i が出火したとき、建物 i と建物 j の重心間距離を d_{ij} とすると、建物 j からの避難開始確率 P_{ij} を下式で与える (図 2)。

1. $d_{ij} \leq R_1$ ならば $P_{ij} = \max P$
2. $R_1 < d_{ij} < R_2$ ならば

$$P_{ij} = \frac{\min P - \max P}{R_2 - R_1} (d_{ij} - R_1) + \max P$$

3. $R_2 \leq d_{ij}$ ならば $P_{ij} = 0$

ここで、 R_1 は避難開始確率が低下し始める建物間距離、 R_2 は避難開始確率が 0 になる建物間距離である。また、 $\max P$ は近隣建物が出火した場合の避難開始確率の最大値、 $\min P$ は建物間距離が R_2 の場合の避難開始確率である。

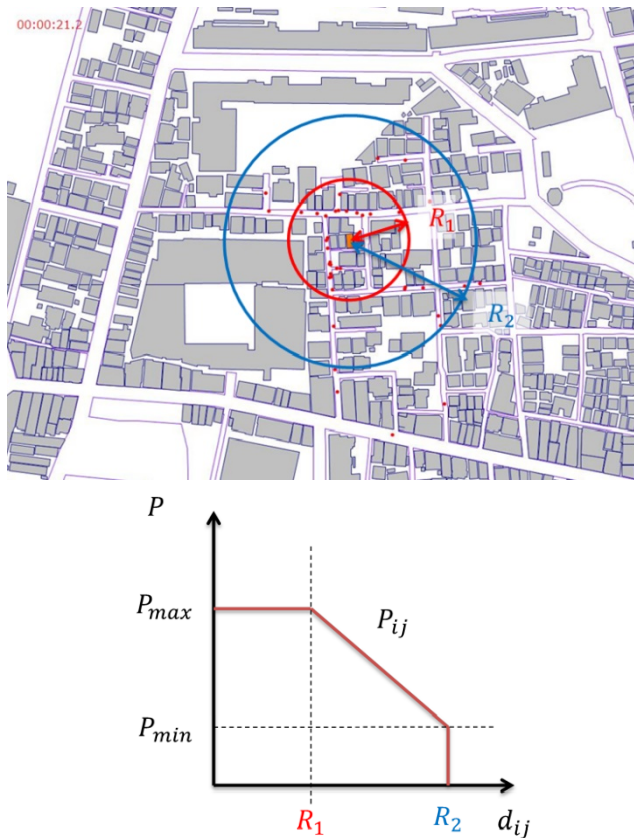


図 2：道路幅員と認知距離増加率の関係

4.3. 報知機同士の情報伝達機能を有する火災報知器の作動による避難開始

阪神・淡路大震災において、甚大な被害を受ける要因となった延焼火災は大都市部において大きな問題である。地震などの広域災害に起因する密集市街地での延焼火災は、火災による煙や混乱、交通網の寸断、予想を超える延焼速度などにより、避難者が逐次その動態を把握することは困難である。もし、近隣の火災情報を火災発生から速やかに把握・共有することができれば、迅速な初期消火や安全な避難活動につなげることができ、極めて有用な情報となる。

そこで本研究では、情報伝達機能を追加しただけの火災報知器を用いて、以下のような簡易な仕組みとすることで避難者の危険を軽減できないか提案する。

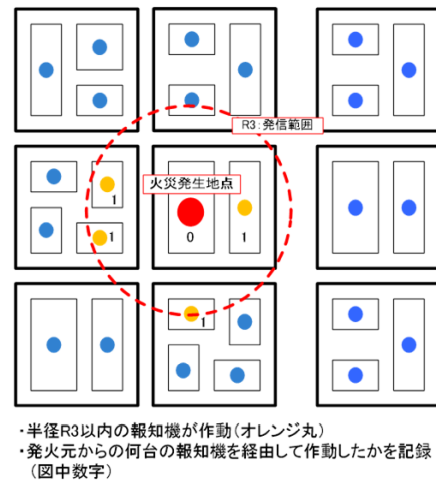
報知器同士の情報伝達機能を有する火災報知機の機能、および避難開始以下のように定義する（図 3）。

- ① 報知機が設置された建物に火災が発生したら作動する（作動段階 1）。
- ② 作動した火災報知機は半径 R 以内にある建物の報知機に火災情報を発信し、それらの報知機も作動させる（作動段階 2）。周辺建物の報知器を作動させる際、作動段階の情報も併せて送信する。
- ③ 連動して作動した報知機も同様に、半径 R 以内の建物の報知機を作動させる。（作動段階 3）。報知器の

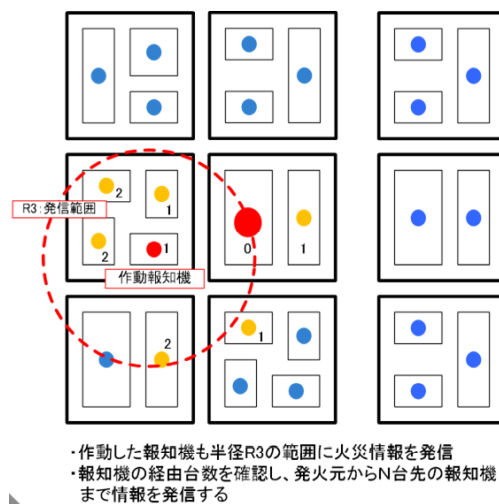
情報伝達は 3 段階までとする。

報知器が i 段階で作動した場合の避難開始確率を P_i とする ($P_1 > P_2 > P_3$ となるように設定する)。

【作業段階 1】



【作業段階 2】



【作業段階 3】

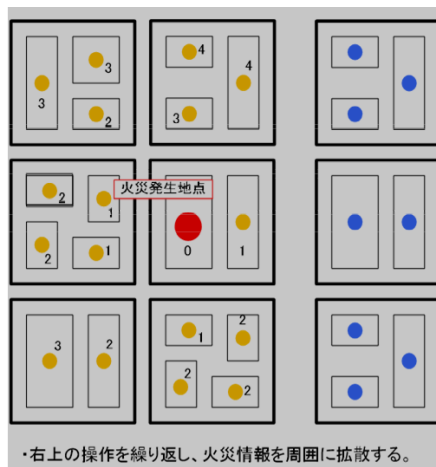


図 3：火災発生地点から一定距離の火災報知器への危険シグナル通信

5. シミュレーション試験

本研究では、2つの避難開始シナリオ（「近隣建物の出火に応じて避難開始」と「情報伝達機能を有する火災報知器の作動による避難開始」）に対して MASH モデルを用いて災害避難シミュレーションを行った。

都市部の市街地を対象として、同時火災が発生する場合を想定し、3軒から相次いで出火した場合の火災シミュレーションを行った（図4）。避難者は住民として土地鑑があり避難所や最寄りの道路が詳しいものとした。

シミュレーション条件は以下のとおりである。

1. 避難者はランダムにシミュレーション空間の建物から避難者が外出し、最短距離のルートを通して Refuge1/Refuge2 の避難所を目指す。
2. 避難ルート上に、表1に記載の“火災延焼の影響範囲”に入ってしまうルートがある場合には、再度ルート検索して可能な限り影響範囲に入らないルートを選択する。

表1：シミュレーション条件

火災延焼の影響距離 (m)	4m/ 8m
避難意思決定距離 R1	20m
避難意思決定距離 R2	50m
火災報知機の情報伝達半径 (m)	50m



図4：3か所(オレンジ)からの出火による避難所への避難者(青点)

本研究では2タイプの避難開始意思決定に対して、火災延焼の影響距離を4m/8mとしてシミュレーションを行った。その結果を以下の表2にまとめた。

表2からわかるように、近隣建物の出火に応じて避難開始する場合に比べ、本研究で提案する情報伝達機能を有する火災報知器の作動によって避難開始する場合に比べて危険ルートの最長通過時間は5%（影響距離4m）～34%（8m）短縮することが確認できた。また、火災延焼の影響範囲に

よって本提案の効果が高まることを確認することができた。

表2：シミュレーション条件

(A：近隣建物の出火に応じて避難開始)

(B：情報伝達機能を有する火災報知器による避難開始)

	A：影響範囲 4m	B：影響範囲 4m	A：影響範囲 8m	B：影響範囲 8m
	危険ルート最長通過時間[s]	33.0	31.2	67.7
危険ルート平均通過時間[s]	0.48	0.28	1.71	0.43

6. まとめ

本研究では、一般的と思われる「近隣建物の出火に応じて避難開始するシナリオ」と本研究で提案した「情報伝達機能を有する火災報知器の作動による避難開始するシナリオ」を MASH モデルに実装して火災避難シミュレーションを行って提案モデルを検証した。その結果、危険なルートを通過するケースが減少することを確認し、提案モデルの有効性を評価することができた。

ただし、本研究では十分なシミュレーション回数を実施しておらず、また、火災発生地点や発生戸数、様々な風速の火災シミュレーション結果に対する評価も行っていない。今後は、これら条件の整理と、十分なシミュレーションを行い、本提案手法の有効性を明らかにしたい。

謝辞 本研究は文部科学省ポスト「京」萌芽的課題2「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究」（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）の元で実施したものである。また、研究の一部は JSPS 科研費 JP18K04676, JP17K00328 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 西川憲一，廣川雄一，浅野俊幸，山田武志，印南潤二：ヒューリスティックモデルによる歩行者シミュレーション，合同エージェントワークショップ&シンポジウム2016 (JAWS2016)
- [2] 国土交通省国土技術政策総合研究所：市街地火災及びアクティビティ・シミュレーションプログラムについて，<http://www.nilim.go.jp/lab/jdg/result.htm>
- [3] 国土地理院：基盤地図情報(2011) <http://fgd.gsi.go.jp/download/>