

密集市街地における地震時同時多発火災からの避難リスク可視化方法の検討

藤原紘子・山田哲也

Visualization method of evacuation difficulty from earthquake and fire in densely built-up area

Hiroko FUJIWARA and Tetsuya YAMADA

Abstract: To reduce the human damages caused by a major earthquake in Tokyo metropolitan area, an understanding about the regional distribution of risks is necessary for the efficient evacuation. In particular, the fast-spreading of fire and road-blockades in densely-built residential areas creates complicated risks. This paper proposes a visualization method of the evacuation difficulty by measuring the damages on evacuation routes and road network vulnerability.

Keywords: 地震 (earthquake), 火災 (fire), 避難 (evacuation), 密集市街地 (densely-built residential areas), 道路閉塞 (road-blockades), 道路ネットワーク (road network)

1. はじめに

首都直下地震等による東京の被害想定(東京都都市整備局,2012)では,最大811件の火災が発生し,焼失する建物が20万棟,火災による死者が4,000人を超えるとされる。人的被害の低減には住民の避難行動が重要と考えられるが,密集市街地の避難では,同時多発火災に囲まれる等の複雑なリスク状況が起こり得る。リスクの高い地域で安全に避難するには対策が必要である。

対策実施には,高リスク地域の把握が重要だが,避難に着目した公知の地震火災リスク評価は存在しない。また,地震火災時に通行可能な経路は震源と火災の位置に大きく影響されるが,「地震に関する地域危険度測定調査報告書(第8回)」(東京都都市整備局,2018)では,次のように述べられている。「地域危険度は,都内の町丁目地震に対する危険性を比較するため,特定の地震を想定するのではなく,全ての町丁目直下の地盤で同じ

強さの揺れが生じた場合の危険性を測定している。」この記述は震源の位置について述べたものであるが,火災の位置についても同様のことが言える。本研究ではこの考え方に倣い,地震火災時の避難リスク対策が必要な地域を,特定の震源・火災位置の想定を用いずに可視化する方法を検討する。

2. 検討手順

2.1で関連するリスク要因を整理し,主要なものを抽出する。次に2.2で,抽出した各要因の避難への影響度を算出する。最後に2.3で,可視化と重ね合わせによる総合評価の方法を検討する。

2.1 リスク要因の整理

地震時の避難において,人的被害の原因となり得るリスク要因を洗い出して整理した(表-1)。

洗い出しは,避難は目的地までの移動であるから,避難のリスクは経路もしくは時間への影響が主たる要因であると考えて行った。また,本研究の主眼ではない項目と,地域のリスク特性を左右

藤原 紘子

株式会社パスコ

hairra4801@pasco.co.jp

しないと見做した項目は本研究の検討の対象外とした。

表-1 地震時の避難のリスク要因

	経路に影響	時間に影響
検討対象	火災、家屋等倒壊、道路ネットワークの脆弱性	避難場所までの距離、知識不足、勾配・段差等、運動能力不足、人が多い
対象外	爆発的・火災、空地、液状化、低地、土砂崩れ、津波、消火活動、煙、避難場所の性能	気候天候(晴雨・風速・気温・時間帯等)

表1で検討対象としたリスク要因を、故障の木解析(図-1, 以下 FTA)を用いて整理した。

整理の結果、主要なリスク要因として「火災」「避難場所までの距離が遠い」「家屋等倒壊」「道路ネットワークの脆弱性」の4要因を抽出した。

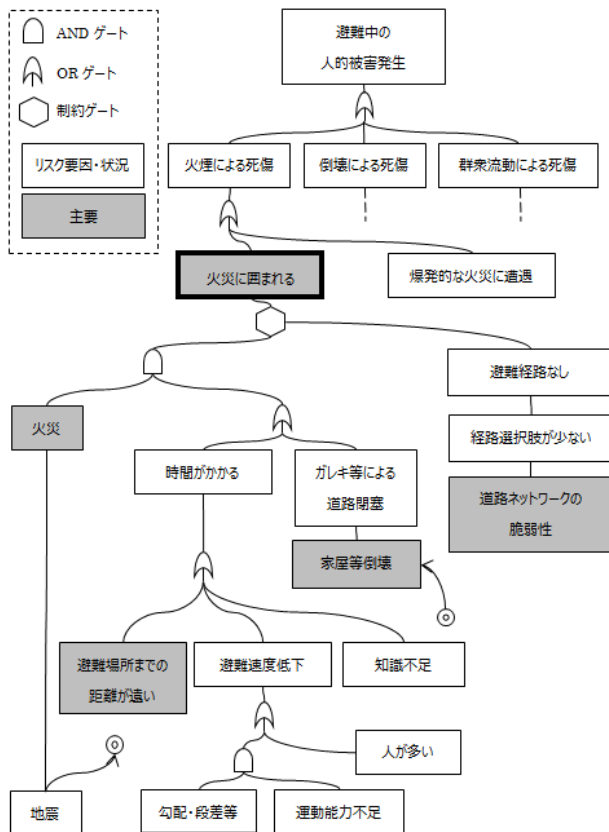


図-1 故障の木解析(FTA)

FTAの整理内容について述べる。整理にあたっては、一般の個人の避難を想定した。

本研究の検討の中心となるリスク状況は「火災に囲まれる」(図-1内太枠)である。この「火災に囲まれる」は、「火災」に加えて、「時間がかかる」又は「ガレキ等による道路閉塞」が生じた場合に発生するものとした。さらに「道路ネットワークの脆弱性」がある場合、リスクが生じやすいと考え、制約ゲートの合流を配置した。

「時間がかかる」の下位では3要因がORゲートで合流しているが、地域全体の避難リスク傾向を左右する要因としては「避難場所までの距離が遠い」が重要であると考えた。

2.2 主要なリスク要因の影響度の算出

ここでは、抽出した主要なリスク4要因について、それぞれの避難への影響度を算出する方法を述べる。

2.2.1 火災

火災の影響度は既往の調査(表-2)を利用する。

2.2.2 避難場所までの距離が遠い

避難距離が長いほど、避難リスクは高いものと考え、避難経路の距離を算出する。

2.2.3 家屋等倒壊

家屋等倒壊のガレキで道路閉塞が生じると避難は困難になると考え、道路閉塞確率を算出する。算出には、避難経路上の各道路区間(区間数を n とする)の道路閉塞率 p_i (建物のガレキによって道路幅員が0となる確率。東京消防庁, 2015)を用いた。

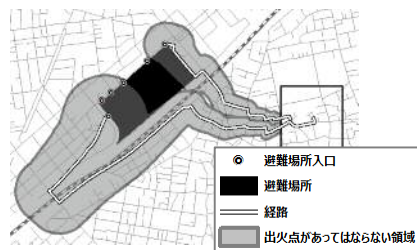
避難経路の閉塞率 = $1 -$ 「避難経路が閉塞しない確率」

$$= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$$

2.2.4 道路ネットワークの脆弱性

避難場所までの道路ネットワークが脆弱な場合、避難は困難になりやすいと考え、脆弱性の指標として、避難場所までの互いに排他的な経路の生成可能本数を算出する。生成可能本数が相対的に少ない地域はリスクが高いと考えられる。

経路の生成には、石井ら(1998)の「避難者が延焼領域に入らずに移動できるために出火点があってはならない領域」を利用する(図-2)。生成可能本数は道路網が密ならば多く、疎であれば少なくなる。避難場所入口が限られる場合や、避難場所が遠い場合も少なくなる。



(背景に国土数値情報(鉄道データ)を使用)

図-2 あるメッシュからの避難経路生成イメージ

2.3 リスクの重ね合わせ

ここでは、2.2 で要因別に算出したリスクを重ね合わせる方法を述べる。

重ね合わせは、FTA(図-1)より、表-2 の 4 分類とし、各分類を「道路ネットワークの脆弱性」の高低で 2 分割した表現とする。

表-2 リスク重ね合わせ

リスク		地域の避難リスク特性
F	D ∪ CB	
高	高	「火災に囲まれる」リスクが高い
高	低	火災のリスクが高い
低	高	距離(D)又は閉塞率(SB)のリスクが高い
低	低	避難リスクは相対的に高くない

「火災に囲まれる」リスク = $F \cap (D \cup CB)$

F : 火災の影響度

D : 避難場所までの距離の影響度

CB : 家屋等倒壊の影響度

3. 適用

実在の市街地データに適用し、方法の妥当性について検証する。

3.1 利用データとリスク閾値

利用データを表-3 に、リスク可視化の閾値を表-4 に示す。また、避難経路は、避難開始地点を東京都 250m メッシュ中心、避難終了地点を指定避難場所入口とした場合の最短経路とした。

表-3 利用データ

種類	利用データ
道路	東京都の市街地状況調査(第9回)(東京消防庁, 2015)
避難場所入口	東京都区部の指定避難場所(東京都都市整備局, 2018)を参考にインターネット等で調査し筆者ら作成
震度※	地震に関する地域危険度測定調査(第7回)(東京都都市整備局, 2013)
火災の危険度	東京都の地震時における地域別出火危険度測定(第9回), (東京消防庁, 2017), 東京都の地震時における地域別延焼危険度測定(第9回), (東京消防庁, 2017)

※工学的基盤に 30cm/s(kine)の地震動の強さを与えた場合の値

表-4 リスク可視化の閾値

種類	リスク有りとする閾値
火災	出火危険度ランク 4 以上又は延焼危険度測定ランク 5 以上
距離	避難場所までの距離 1km 以上
家屋等倒壊	道路閉塞率 50%以上
道路ネットワークの脆弱性	経路生成可能本数 3 本以下

3.2 適用結果

実在の市街地への適用結果を図-5 に示す。

4. 考察

適用結果(図-5)について考察を述べる。

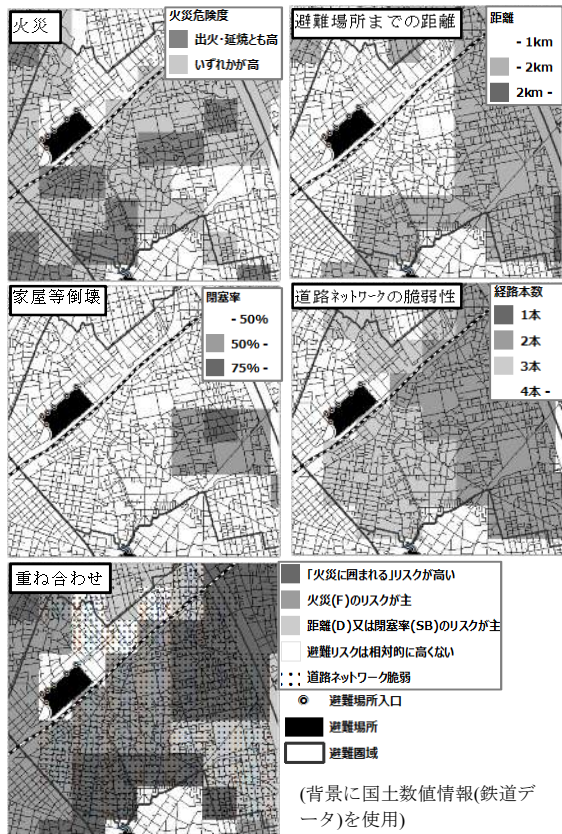


図-5 適用結果

4.1 火災

高リスクのメッシュは利用した既往調査の結果に準ずる。

4.2 避難場所までの距離

高リスクのメッシュは、広い避難圏域の端、又は避難場所までに迂回が必要な地域に相当した。

4.3 家屋等倒壊

高リスクのメッシュは、避難場所までの間に木造建物が多く、かつ地盤が揺れやすい地域に相当した。安全に迂回できる避難経路の事前検討が望ましい地域と考えられる。

4.4 道路ネットワークの脆弱性

高リスクのメッシュは、避難場所までの間に鉄道等が存在し避難経路が限られる地域や、避難場所入口が少ない地域に相当した。避難経路のボトルネックの把握に有用と考えられる。

4.4 重ね合わせによる総合リスクの可視化

避難場所までの直線距離が500m以下にも関わらず、「火災に囲まれる」リスクが高いメッシュの存在等が確認された。避難経路への着目により、潜在的な避難リスクの検出に有用と考えられる。

5. おわりに

本研究では、地震火災時の避難リスク対策が必要な地域の可視化方法を検討した。都市を俯瞰してのリスク傾向把握には重ね合わせの、具体的な対策には要因別の可視化が有用と考えられる。

今後は精度向上のための方法改善と共に、他都市や異なる災害・避難モデルへの応用等についての検討が必要である。

謝辞

本研究実施にあたり、筑波大学大学院 糸井川栄一先生、東京工業大学 大佛俊泰先生、東京大学生産技術研究所 加藤孝明先生、首都大学東京 玉川英則先生、横浜国立大学 中村文彦先生、東京大学大学院 廣井悠先生には、数多の貴重なご意見を頂きました。また、東京消防庁防災部震災対策課様に資料のご提供をいただきました。記して篤く御礼申し上げます。

参考文献

- 東京都防災会議, 2012. 首都直下地震等による東京の被害想定報告書, 本冊, 第1部, 1-11p
- 東京都都市整備局, 2018. 地震に関する地域危険度測定調査報告書(第8回), 1p
- 東京消防庁, 2015. 東京都の市街地状況調査(第9回)
- 石井儀光, 腰塚武志, 1998. 同時多発火災における直線的避難距離の分布に関する理論的考察
- 東京都都市整備局, 2018. 震災時火災における避難場所及び避難道路等の指定 指定図
- 東京都都市整備局, 2013. 地震に関する地域危険度測定調査(第7回)
- 東京消防庁, 2017. 東京都の地震時における地域別出火危険度測定(第9回)
- 東京消防庁, 2017. 東京都の地震時における地域別延焼危険度測定(第9回)