

避難者情報取得を考慮した地震火災時の避難行動モデル

久寿米木 瞳子・大佛 俊泰

Evacuation Model from Earthquake Fire

Considering Acquiring Information

Toko KUSUMEGI and Toshihiro OSARAGI

Abstract: Many simulation models of wide-area evacuation from earthquake fires have been proposed. However, there are few models of evacuation behavior considering the information that evacuees obtain. In this paper, we propose some models that describe when and where to evacuate by acquiring the various visual information and evacuation recommendation. We estimate the parameters of these models based on the data obtained from the questionnaire survey, and analyze the characteristics of evacuation behavior.

Keywords: 地震火災 (earthquake fire), アンケート調査 (questionnaire survey), 広域避難 (wide-area evacuation), ロジットモデル (logit model), 避難行動 (evacuation behavior)

1. はじめに

世界でも有数の地震大国である我が国は、常に大規模地震のリスクにさらされている。特に、木造密集地域と呼ばれる高密度に老朽化した住宅が建ち並ぶ地域においては、延焼危険性や避難困難性から、火災による甚大な被害が発生する可能性がある。このような背景から、地震火災時を想定した避難シミュレーションを用いて物的・人的被害や避難性状を把握する研究は数多く行われ、市街地整備や避難方法等についての議論に供してきた。しかし、避難行動モデルの多くは極端な理想化や単純化がなされており、避難者が周囲の状況や避難関連情報をもとに避難行動を決定するモデルとはなっていない。

本研究では、地震火災時の避難開始のタイミングと避難場所選択行動に着目し（図-1）、避

久寿米木瞳子 〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1

東京工業大学 環境・社会理工学院

建築学系 大佛研究室

Email:kusumegi.t.aa@m.titech.ac.jp

難者が取得する視認情報や避難関連情報を考慮したモデルを構築する。また、独自に行ったアンケート調査をもとにこれらモデルのパラメータを推定し、推定モデルを用いて避難行動の特徴について考察する。

2. 避難行動モデルの概要

2.1 避難確率のモデル化

避難者の避難開始のタイミングをモデル化するにあたり、避難者がどの程度避難の必要性を感じているかを表す変量として避難者*i*の避難切迫度 Φ_i を定義する。避難者が避難するか否かには、火災までの距離、近隣住民の避難割合、および、様々な媒体からの避難関連情報の有無

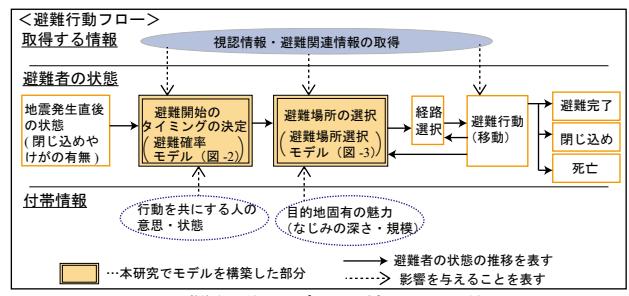


図-1 避難行動モデルの枠組みと位置づけ

が関わると考え（図-2(a)），これらを用いて， Φ_i を図-2式(2)のように定式化した。このとき，火災接近を表す変量 Θ_i は距離減衰を表すパラメータ α を用いて式(1)のように定式化し， Θ_i とその他の変数を用いて，交互作用の項を含めた多項式で Φ_i を定式化した。また，避難確率 P_i は避難切迫度 Φ_i の関数であると考え， Φ_i の値の増減に応じて P_i が 0 から 1 の間を推移するよう，図-2式(3)のように記述した。

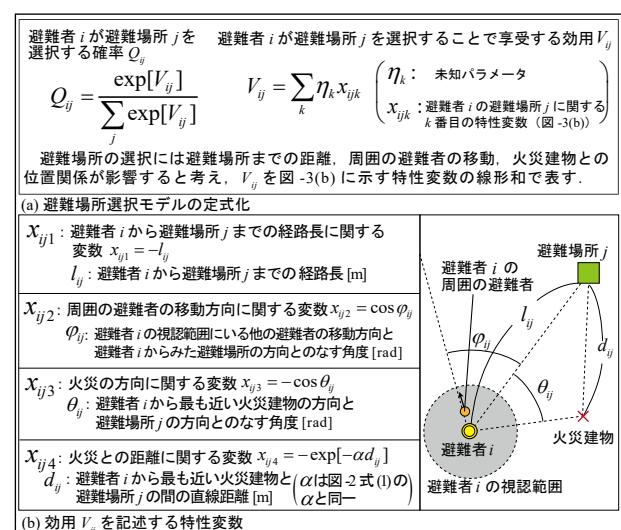
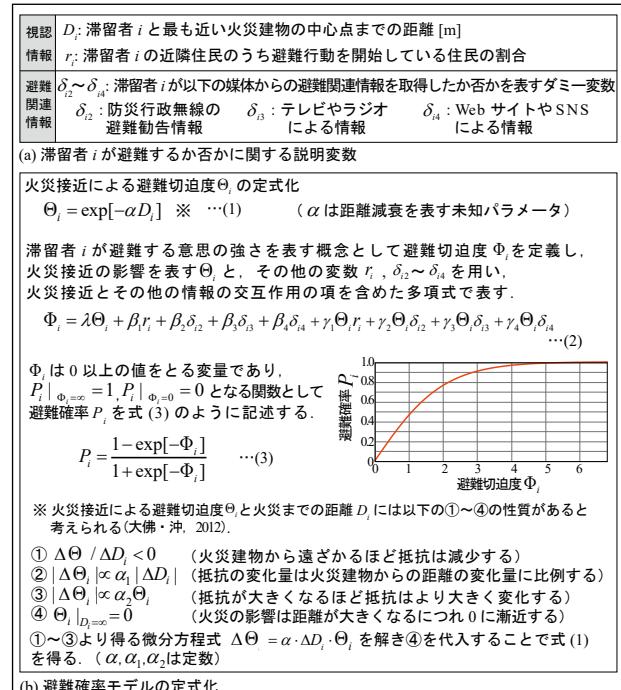
2.2 避難場所選択行動のモデル化

避難者は，避難する際に享受する効用（安全性，避難距離などから決まる総合的価値）を最大化するように行動すると仮定し，避難者の避難場所選択行動を多項ロジットモデルで記述する。避難者 i が避難場所 j を選択することで享受する効用の確定項を V_{ij} と表すと，避難場所 j を選択する確率 Q_{ij} は，確率効用理論に基づき図-3(a)のように表される。 V_{ij} は，避難場所と火災の位置関係，および，周囲の避難者の移動方向（図-3(b)）に関する変量の線形和で記述する。

3. 避難行動モデルのパラメータ推定

3.1 アンケート調査の概要

各モデルのパラメータを推定するため，地震火災時を想定して，避難開始のタイミングと避難場所選択に関して，Web アンケートを実施し



3.2 アンケート調査の概要

各モデルのパラメータを推定するため，地震火災時を想定して，避難開始のタイミングと避難場所選択に関して，Web アンケートを実施し

[実施日]		調査①: 2019年1月		調査②: 2019年7月	
[サンプル数]		性別		年齢	
総回答数	総回答数	男性	女性	10代	20代
調査①	104	59	45	0	89
調査②	87	33	54	3	50
				3	4
				18	9

[アンケートにおける想定]

- 阪神淡路大震災のような大規模地震がおきたとする
- 発災時，木造密集地域内の自宅にいるものとする
- 自宅の損壊は無く，自分自身の怪我は無いものとする

[質問内容]

I 避難開始のタイミングに関する質問（調査②）	近隣住民の避難割合 r_i や情報の有無 $\delta_{i2} \sim \delta_{i4}$ を変化させた状況①～⑧のそれぞれにおける避難開始時の火災接近距離 D_i を回答する
II 避難場所選択に関する質問（調査①・②）	周囲の避難者の移動方向と火災の場所を図-4(c)のように想定した時の，6箇所の避難場所 A～F の選好順序を回答する（調査①・②それぞれにおいて2パターン，計4パターンで実施）
III 属性情報等（調査①・②）	年齢・性別・居住地（市区町村）

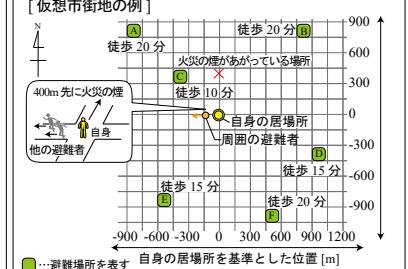
(a) 調査概要

回答方法	状況① 状況② 状況③ 状況④ 状況⑤ 状況⑥ 状況⑦ 状況⑧	状況① 状況② 状況③ 状況④ 状況⑤ 状況⑥ 状況⑦ 状況⑧
各シミュレーションについて 何mでの火災接近時に避難を開始するかを回答	避難の必要性が高い順に並び替え	
[8つの状況]	A 近隣住民の避難 B 防災行政無線の情報 C テレビやラジオの情報 D 自治体のWebサイトやSNSの情報	

(b) 避難開始に関する質問

[質問の選択肢の条件の例]					
A	B	C	D	E	F
現在地からの所要時間	20分	20分	10分	15分	15分
周囲の人の移動方向	45°	135°	45°	159°	32.5°
火災の方向	45°	45°	45°	111°	122.5°
火災発生場所までの距離	930m	930m	380m	1245m	1330m
火災建物	930m	930m	380m	1245m	1330m

[仮想市街地の例]



(c) 避難場所の選択に関する質問

図-4 アンケート調査の概要

た（図-4）。問Ⅰでは、近隣住民の避難の有無と避難関連情報の有無の組み合わせ（8種類）を直交表を用いて作成しておき、各状況下における避難開始時の火災までの距離について回答を求めた。問Ⅱでは、仮想市街地上に火災の位置や近隣住民の避難方向を示し（図-4(c)）、6箇所の避難場所の選好順序について回答を求めた。調査において、想定した状況を写真や文章を用いて説明することで、被験者間でイメージが乖離することなく、できるだけ直感的に回答できるよう配慮した。

3.2 避難確率モデルのパラメータ推定

図-4(a)問Ⅰの回答結果をもとに避難確率 P_i を算出し、最小自乗法を用いてモデルのパラメータを推定した。アンケートで想定した8つの状況下における、火災接近距離 D_i と避難確率 P_i 、および、モデルによる推定結果を図-5(b)に示してある。モデルの記述精度は良好であることが分かる。

関東大震災（1923）、酒田大火（1976）、糸魚川火災（2016）の3つの実災害における避難行動の調査結果から同様に避難確率 P_i を算出し、これらを用いて同様の推定を行った。本研究の調査をもとに推定した結果とこれらの結果を比較すると（図-6）、概ね整合していることが分かる。

また、男女別に推定した結果を見ると、男性の方が火災接近に対して避難が遅い傾向があることが分かる。また、避難関連情報に関しても、女性の方が男性よりも影響を受けやすいことが分かる。しかし、近隣住民の避難割合に関するパラメータ β_1 は男性の方が小さく、火災との交互作用のパラメータ γ_1 は男性の方が大きい。すなわち、男性は火災が接近した状況下で初めて他人に追従しようとする傾向のあることを示唆している。

さらに、推定モデルを用いて、近隣住民の避難割合、避難関連情報の有無を変化させた場合

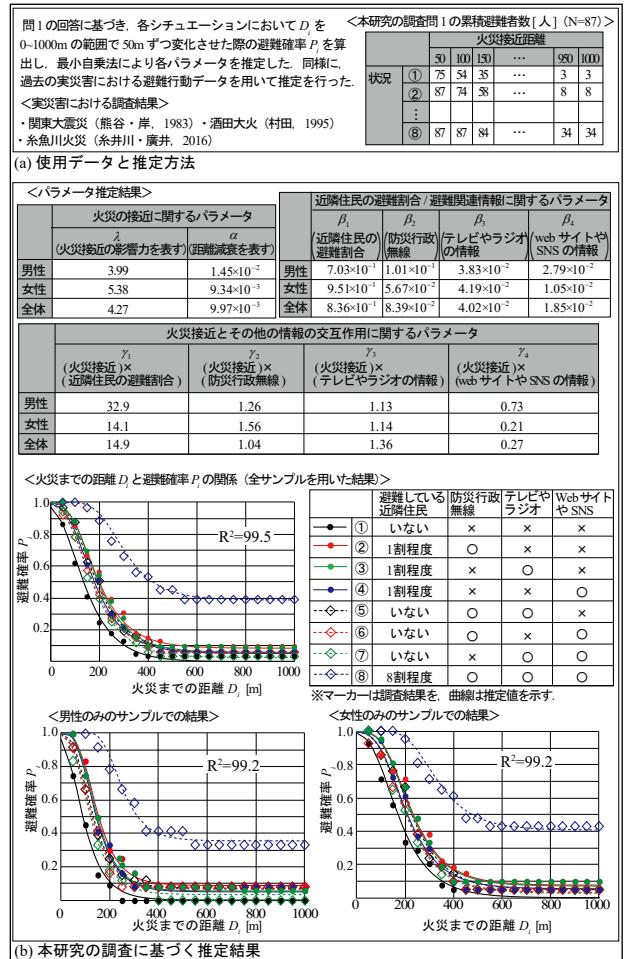


図-5 避難確率モデルの推定結果

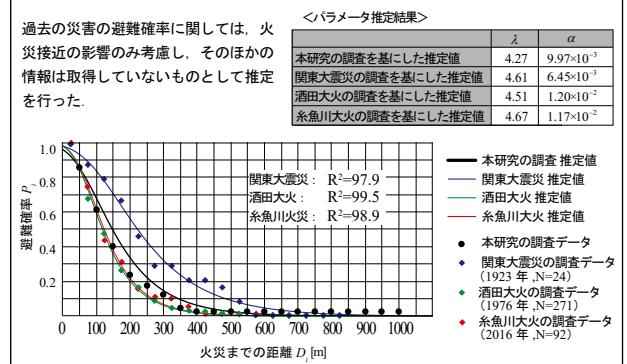


図-6 実災害の避難行動調査結果との比較

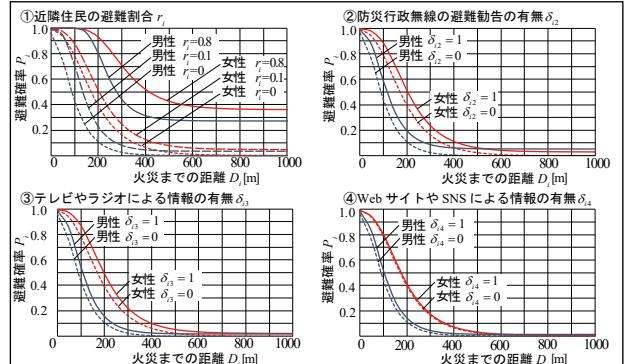


図-7 近隣住民の避難行動・避難関連情報の影響

の男女別の避難確率を算出した結果を図-7に示してある。近隣住民の避難割合が8割程度の場合は、火災が遠い場合であっても男性は3割弱、女性は4割弱の人が避難開始することが分かる。すなわち、他の避難者の避難有無が避難意思決定に大きな影響を与えると言える。また、避難関連情報に関しては、火災が遠い場合には避難確率に大きな影響はなく、火災が近い状況下において避難確率を上昇させる要因になることが分かる。

3.3 避難場所選択モデルのパラメータ推定

図-4(a)問IIの回答をもとに避難場所選択モデルのパラメータ $\eta_1 \sim \eta_4$ を推定した。その結果を図-8(a)に示してある。尤度比や的中率は高く、モデルの記述精度は良好である。また、4つの推定パラメータはいずれも統計的に有意である。

推定パラメータ（標準化）の値を見ると、火災の方向に関するパラメータ η_3 の値が大きいことから、避難者は自身からみて火災に近い方向の避難場所を選択することに強い抵抗感を持っていることが分かる。

推定パラメータを用いて算出した、各地点に避難場所が存在した場合の効用値（図-4(c)で想定した状況下）の空間分布を図-8(b)に示してある。火災建物から約400mを境に、効用値が急激に減少することが分かる。また、近隣住民の避難方向の影響により、効用値の高い地点が、南西方向に偏っている様子が見て取れる。

さらに、避難場所A～Fの選択確率を男女別に算出した結果を図-8(b)下に示してある。避難場所Cは避難者にとって最も近い避難場所であるにも関わらず、選択確率は男性0.15%，女性0.22%と非常に低い。すなわち、避難者は火災発生場所との位置関係に大きく影響を受けて避難場所を選択することが分かる。ただし、男女間の避難場所の選択傾向には大きな差はみられない。

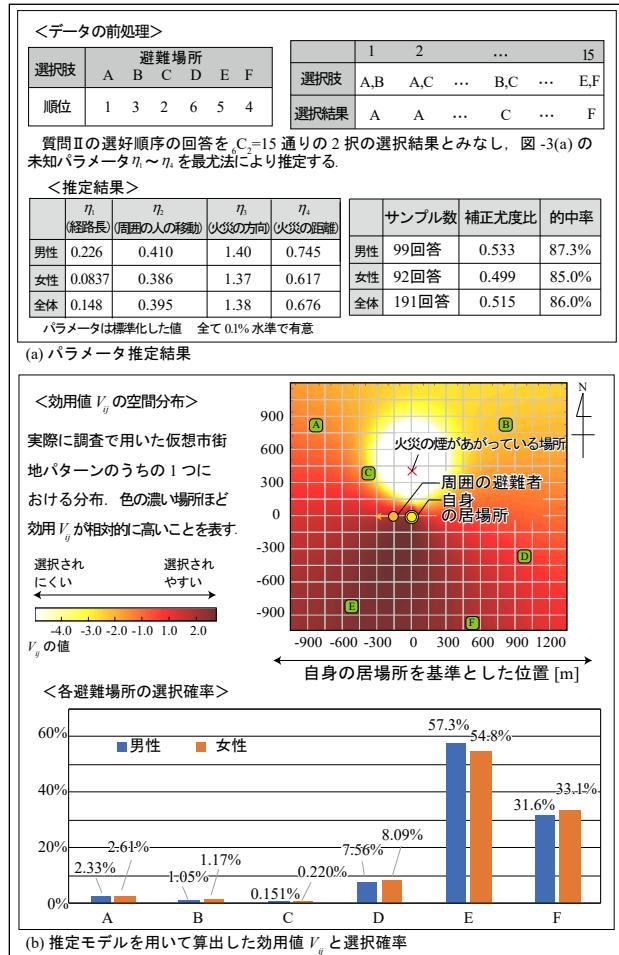


図-8 避難場所選択モデルの推定結果

4. まとめ

地震火災時の避難開始のタイミングと避難場所選択について、視認情報と避難関連情報考慮した避難行動モデルを構築した。また、推定モデルを用いて、避難開始行動や避難場所選択行動の特徴について考察した。本研究のモデルは、時々刻々と変化する状況の中で避難者が取得する情報を考慮したシミュレーション分析等に応用できる可能性がある。

謝辞

本研究のアンケート調査に協力頂いた回答者の皆様に深く謝意を表します。本研究は、CREST、JSTの助成に基づく研究成果（JPMJCR1411）の一部です。

- 注
- 1) 本研究において、避難者 i から避難場所 j までの経路長 l_j には、ネットワーク距離に基づく最短経路を用いるものとする。
 - 2) 避難者 i の視認範囲に他の避難者が複数人いる場合、周囲の避難者の移動方向は進む人数が最も多い方向に代表させるものとする。また、群集の大きさによる影響度の違いの考慮は今後の課題である。

参考文献

- 大佛俊泰・沖拓弥（2011）：密集市街地における大地震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.
熊谷良雄・岸栄吉（1983）：火災時における避難行動の分析-酒田大火と関東大震災、東京を例にして-, 日本都市計画学会学術研究発表会論文集, 18, 169-174.
村田朋子（1996）：広域避難、1995年兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書, 231-237.
糸井川栄一・廣井悠（2018）：地震火災時広域避難におけるリスク情報の伝達過程に関する論点と課題、日本建築学会大会防災部門パネルディスカッション資料, 11-18.