

# 地震発生時における落下物を考慮した 避難経路選択行動分析

清水 真幸<sup>1</sup>・高田 和幸<sup>2</sup>・藤生 慎<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 非会員 東京電機大学大学院 理工学研究科 建築・都市環境学系 (〒170-0012 東京都豊島区上池袋 4-16-17-702)

E-mail: 16rmg05@ms.dendai.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 東京電機大学理工学部 建築・都市環境学系 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

E-mail: takada@g.dendai.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 金沢大学 理工学域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: fujiu@se.kanazawa-u.ac.jp

本研究では住民の防災意識と今後実際に地震が発生した際の避難経路選択行動に関する SP 調査を行い、それをもとに住民の地震発生時の行動をモデル化することとした。対象地区は東京都足立区千住地区で、千住地区は住宅が密集しており不燃化率も低いといった多くの防災上の課題を抱えており、東京都が公開している総合危険度マップの中で総合危険度が高い地区と指定されている。加えて、地区内にある北千住駅は多くの路線が乗り入れるターミナル駅で災害発生時には多くの帰宅困難者が発生し、混雑することが予想される。

また、首都直下地震を想定した際、避難時において建物からの落下物の危険性は軽視することの出来ない問題である。そこで落下物に危険性という SP 調査に因子として含めることとした。本研究では一時集合場所から広域避難所への二段階避難を想定し、調査を行った。

**Key Words:** earthquake disaster, falling objects, safty evacuation, logit model

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震以降、災害による被害を最小に抑える取り組みが今まで以上に求められ、想定外を無くすための検討・調査研究・対策が施されてきた。

一方、2016年4月に発生した熊本地震では、前震、本震、余震が発生し、また規模の大きい余震が継続して起こるなど、これまでにない地震の発生形態が見られ、新たな対策の必要性を認識させられた。そのような余震の中で、ビルや家屋からのガラスや壁面のタイル等の落下物も多く見られており、状況によってはそれらの落下物が市民に怪我を負わせる事もあったと想定される。

そこで、本研究では、住民の防災意識と今後実際に地震が発生した際の避難経路選択行動に関する SP 調査を行い、それをもとに住民の地震発生時の行動をモデル化することとした。

## 2. 既往研究と本研究の位置付け

首都直下地震を想定した地域の危険度を示しているものとして、東京都都市整備局 (2013) 地域危険度測定調査 (第7回) がある。しかし、この指標は町丁目ごとに示されたもので、東京都全域の危険地域を把握することは可能である。しかし、壁面からの落下物の飛散など避難経路に対する影響を歩道単位で評価することはできない。

一方で、避難経路などのマイクロ視点での安全性評価については、これまでに多くの研究がなされている。市川ら<sup>1)</sup>は、建物倒壊および道路閉塞のモデル化による避難経路の危険度を分析している。その上で、避難地への到達可能性について考察している。また、馬淵ら<sup>2)</sup>は、道路閉塞および火災延焼の危険度を評価した上で、2段階避難モデルを構築し避難方法の提案を行っている。これらは本震による被害を想定したものであり、余震時のリ

スクは考慮されていない。しかし、避難中に余震の被害に襲われる可能性は十分に考えられ、本震並みの強い揺れが起こる可能性がある。

そこで本研究では、歩道単位で屋外落下物に対する危険度に着目し、地震発生時の壁面落下物という危険因子を加え、震災時の避難行動に関する SP 調査を行い、それらの調査結果をもとに首都直下型地震発生時の住民の行動を推定するために、避難選択モデル、避難目的地選択モデル、避難経路選択モデルからなる 3 層の避難行動分析モデルを作成することを試みた。

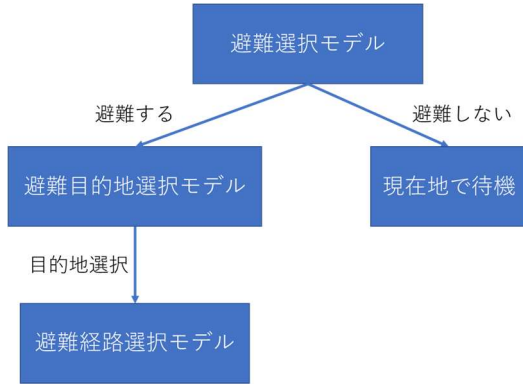


図-1 避難行動分析モデルの概略図

### 3. アンケート調査の概要

本章では、実施したアンケート調査と調査対象地区の概要について説明し、防災・減災に対する考えと行動に関するアンケート調査結果より首都直下型地震発生時における住民の避難行動に関する意向を把握する。

#### (1) 調査対象地区と調査概要

対象地区は東京都足立区の千住地区とした。千住地区は木造住宅が密集しており、不燃化率も低いといった多くの防災上の課題を抱えており、東京都が公開している総合危険度マップの中で総合危険度が高い地区に指定されている。加えて、地区内にある北千住駅は多くの路線が乗り入れるターミナル駅で災害発生時には多くの帰宅困難者が発生し、混雑のすることが予想される。

また、国道四号線が地区を南北に貫いており、国道四号線沿いにはマンション等の高層建築物が建っていて壁面からの落下物危険度を大きくさせる要因となっている。

調査は平成 29 年 3 月 11 日に行った。調査方法は世帯へのポスト投函、郵便回収とした。千住地区の千住寿町、千住三丁目、千住大川町を対象に 2000 部配布し、調査票の回収数は 273 部で、回収率は 14% となった。アンケート内容の構成は、設問 A「首都直下型地震に対する危機感・認識」、設問 B「震災に対する備え」、設問 C「震災発生後の避難に対する意識・認識」、設問 D「避

難経路選択行動に関する SP 調査」、設問 E「個人属性」となっている。

#### (2) 住民の震災に関する意識

以下の図にアンケートの設問 A、設問 B、設問 C の集計結果を記す。紙面の都合上、記載する集計結果は主たる質問項目に限定する。

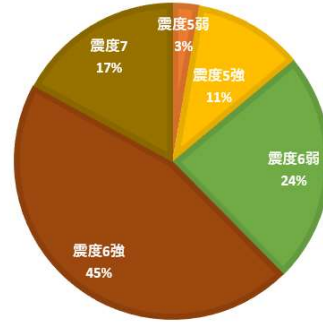


図-2 首都直下型地震の規模に対する認識

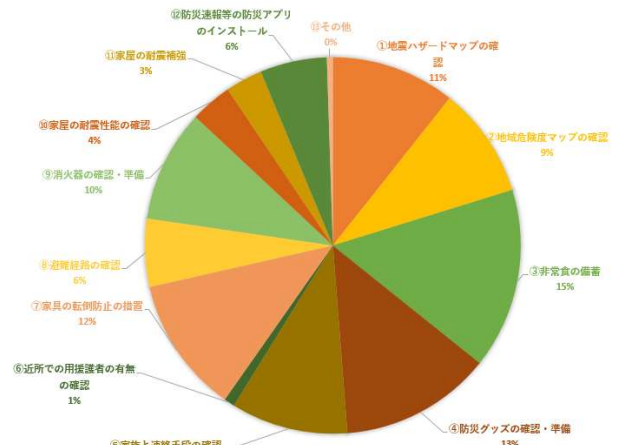


図-3 住民の震災に対する備え

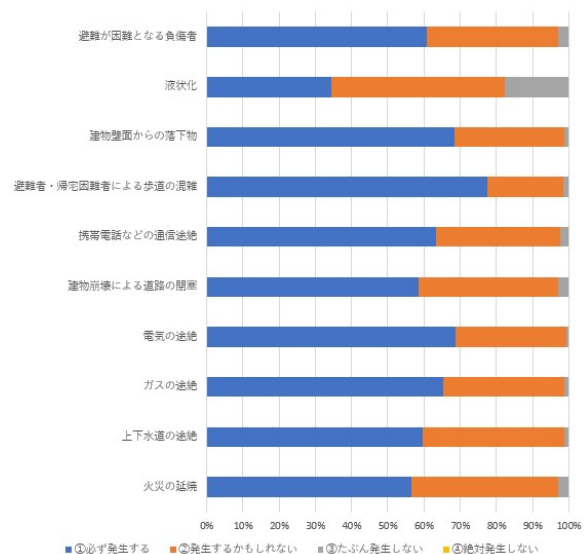


図-4 首都直下型地震発生後の二次災害等の認識

(3) SP 調査の概要

設問 D において、避難行動に関する SP 調査を行った。調査にあたり、首都直下地震発生直後にあり得るであろう状況を 4 通り設定した。今回は、①歩道の混雑、②火災の延焼、③壁面からの落下物の三つを因子とし、実験計画法により、表-1 の通り設定した。

このような 4 通りの各状況において、まず、避難するかどうかを問い、避難すると回答した場合は実際の千住地区の地図に回答者の家から避難するであろう場所までの経路を記入してもらう形式をとった。

また、情報として、地図には道路幅員、建物の高さ、木造密集地域の場所、広域避難場所・各地区の一時避難場所の位置を載せた。

集計結果を表-2-4 にまとめた。各割合は避難する割合を示したものである。表-2 において、10 代以下~20 代を若年層、30代から 50代を中年層、60代~80代以上を高年齢層とした。表-4 において、1-3階建てを低層、4-6階建てを中層、7階建て以上を高層とした。

選択肢は①避難する、②避難しないと設定し、二肢選択とした。二肢選択のロジットモデルの式を(式-1)に示す。避難意思選択モデルにおける避難する・しないの効用関数をそれぞれ(式-2)、(式-3)に示す。また、ここで説明変数として用いる選択要因はステップワイズ法により、「1.性別、2.年齢(年代)、3.住居の構造、4.住居の階数、5.居住階、6.同居高齢者の有無」とした。

表-1 設定した状況の各因子の組み合わせ概要

	歩道の混雑	火災の延焼	壁面落下物
状況①	○	×	×
状況②	×	○	×
状況③	×	×	○
状況④	○	○	○

4. 避難選択モデル

本章では、アンケート調査結果から住民の震災後の危険や個人属性や震災に対する意識と避難意思の関係を分析する。ここでの避難意思とは首都直下型地震が発生した直後、設定した危険がある中で避難をするかどうかの意思であるとする。

今回、非集計分析におけるロジットモデルを用いて、住民の避難意思の予測を試みた。

表-2 性別・年代別避難意思の割合比較

性別	年代	状況①	状況②	状況③	状況④
男性	中年層	17%	81%	24%	79%
	高齢層	18%	77%	31%	87%
女性	若年層	20%	100%	20%	100%
	中年層	22%	87%	41%	93%
	高齢層	11%	84%	29%	91%

表-3 住宅の構造別避難意思の割合比較

	状況①	状況②	状況③	状況④	回答者数
木造	22.22%	88.07%	39.81%	94.06%	108
非木造	13.91%	76.92%	24.77%	83.18%	115

表-4 住宅のタイプ・階層別避難意思の割合比較

	状況①	状況②	状況③	状況④	回答者数	
一戸建て	21%	84%	33%	91%	125	
集合住宅	低層	38%	100%	50%	100%	16
	中層	10%	85%	35%	85%	20
	高層	11%	63%	20%	76%	46

$$P_i = \frac{\exp[V_i]}{\exp[V_1] + \exp[V_2]} \quad (1)$$

$$V_1 = \theta_1 \times (\text{性別}) + \theta_2 \times (\text{年齢}) + \theta_3 \times (\text{建物構造}) + \theta_4 \times (\text{建物階数}) + \theta_5 \times (\text{居住階}) + \theta_6 (\text{同居高齢者の有無}) \quad (2)$$

$$V_2 = 0 \quad (3)$$

- P<sub>i</sub>: 選択肢 i の確率
- i: 1 は避難する, 2 は避難しない
- V<sub>1</sub>: 避難する場合の効用
- V<sub>2</sub>: 避難しない場合の効用

表-5 パラメータ推定結果(状況①)

説明変数名	パラメータ	t値
性別ダミー (男:1, 女:0)	-0.060	-0.166
年齢(年代)	-0.742	-0.805
建物構造ダミー (木造:1, 非木造:0)	-1.494	-0.396
建物階数(階)	-2.391	-1.978
居住階(階)	0.092	0.597
同居高齢者ダミー (同居:1, それ以外:0)	-0.258	-0.603
サンプル数	217	
尤度比	0.287	
的中率	82%	

表-6 パラメータ推定結果(状況②)

説明変数名	パラメータ	t値
性別ダミー (男:1, 女:0)	-0.430	-1.170
年齢(年代)	2.701	2.933
建物構造ダミー (木造:1, 非木造:0)	9.313	2.260
建物階数(階)	0.649	0.970
居住階(階)	-0.137	-1.538
同居高齢者ダミー (同居:1, それ以外:0)	-0.206	-0.462
サンプル数	220	
尤度比	0.299	
的中率	81%	

表-7 パラメータ推定結果(状況③)

説明変数名	パラメータ	t値
性別ダミー (男:1, 女:0)	-0.520	-1.670
年齢(年代)	-0.202	-0.267
建物構造ダミー (木造:1, 非木造:0)	2.647	0.792
建物階数(階)	-0.736	-0.995
居住階(階)	-0.017	-0.170
同居高齢者ダミー (同居:1, それ以外:0)	-0.110	-0.299
サンプル数	206	
尤度比	0.070	
的中率	68%	

表-8 パラメータ推定結果(状況④)

説明変数名	パラメータ	t値
性別ダミー (男:1, 女:0)	-0.682	-1.438
年齢(年代)	4.431	3.690
建物構造ダミー (木造:1, 非木造:0)	13.430	2.375
建物階数(階)	0.863	0.950
居住階(階)	-0.199	-1.747
同居高齢者ダミー (同居:1, それ以外:0)	-0.619	-1.053
サンプル数	202	
尤度比	0.481	
的中率	87%	

表-9 避難者の目的地の割合

	状況①	状況②	状況③	状況④
一時避難場所	28%	32%	37%	44%
広域避難場所	63%	60%	55%	49%
その他の場所	9%	8%	8%	7%

効用関数のパラメータを最尤推定法により推定し、その結果を各状況毎に表に示す。また、避難すると答えた回答者がどこに向かうのかを集計した結果を表-9に示す。

## 5. まとめと今後の展望

本研究では、アンケート調査結果を基に、非集計分析におけるロジットモデルによる避難意思選択モデルの構築を行った。以下に本研究により得られた結果を示す。

- ・アンケート集計の結果、女性は男性より避難する傾向が強いが、年代別に見てみると、男性は高齢になるほど避難する傾向が強まるが、女性は逆に避難しない傾向が強まる。
- ・建物は非木造より木造のほうが、階層は低いほうが避難する傾向が強い。一戸建てよりも集合住宅の低層階に住んでいる人のほうが避難する傾向が強い。
- ・各状況によって、説明変数の効き方に差異があることが分かった。

本モデルは3層構造となる避難行動分析モデルの第一段階目であり、今後、2層目の避難目的地選択モデルと3層目の避難経路選択モデルの構築をしていく。

## 参考文献

- 1) 市川総子・阪田知彦・吉川徹：建物倒壊および道路閉塞のモデル化による避難経路の危険度を考慮した避難地への到達可能性に関する研究，GIS-理論と応用，2004-07，Vol.12，No.1，pp.47-56.
- 2) 馬淵ゆみ・瀬尾和夫・元木健太郎・上田遼：木造密集地域における地震時の広域火災に対する避難計画に関する研究，2008-11，地域安全学会論文集(10)，pp.409-410. .