

選好意識データを用いた災害時避難行動モデル の推定と避難シミュレーションによる 避難時のリスク要因の抽出

山下倫央¹・高田和幸²・大原美保³，金野貴紘⁴

¹非会員 産業技術総合研究所（〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第2）
E-mail: tomohisa.yamashita@aist.go.jp

²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

³正会員 独立行政法人 土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）
E-mail: mi-ohara@pwri.go.jp

⁴非会員 東京工業大学総合理工学研究科 人間環境システム専攻（〒226-8502 横浜市緑区長津田町）
E-mail: konno.t.ai@m.titech.ac.jp

足立区千住地区はM7以上の地震が発生した場合に、建物倒壊の危険性、火災・延焼の危険性が高く、まちの総合危険度も高い地区である。一方、荒川が氾濫すると当地区では5m以上浸水する可能性が示されている。そこで本研究では、当地区の居住者を対象にしたアンケート調査を実施し、仮想的な災害の状況を提示し、その状況下における避難意識に関する選択実験を行った。そして避難行動に関する選択行動モデルを推定して、想定される災害状況時の避難者数を推計する。さらに避難シミュレーションを行い、避難時のリスク要因の抽出を行うこととした。

Key Words : disaster, evacuation, choice behavior model, simulation

1. はじめに

東北地方に甚大な被害をもたらした東北地方太平洋沖地震から既に4年が経過した。この間、防災対策が見直されると共に、災害による被害最小化を図る減災への取り組みも以前に増して求められるようになった。また異なる災害の被災リスクが同時に高まる複合災害への対応も考慮されつつある。

そこで本研究では、震災と水害という異なる災害の危険度が高いと判定されている足立区千住地区を研究の対象地域に設定した。千住地区は、建築密度が高く不燃化率が低いため、防災上多くの課題が残された地区であり¹⁾、また東京都が5年ごとに実施している地域危険度測定調査²⁾においても、総合危険度の高い地区に指定されている。一方、国土交通省河川局は、荒川が氾濫した場合には、千住地区では5m浸水する地点があることを示している³⁾。

なお千住地区では、地震発生後の火災からの避難場所として地区の北部に位置する荒川沿いが指定されている一方、洪水の発生の危険性がある場合には、南方の北区・台東区・文京区の方角へ避難することが推奨されている。このように災害の種類によって避難する方向が異

なっているため、複合災害の発生の危険性が高まった際に、避難者が混乱することも懸念される。久田⁴⁾は、首都直下地震が発生した際、JR北千住駅周辺は多数の避難者と千葉・埼玉方面への帰宅困難者が混在し、さらに川に挟まれているために複合災害、落橋時に地域が孤立する危険性の高い地域であると指摘している。また大原⁵⁾は、千住地域においても、首都直下地震の発生時刻によって、被災そして避難する当事者が住民のみならず、従業者、通学者、地域を通過中の電車利用者や自動車利用者など多様となることを示している。さらに高田⁶⁾は、当地区における居住者と授業者を対象としたアンケート調査を行い、居住者と従業者の首都直下地震時の震度や、荒川洪水時の浸水深に対するの認知状況等について調査を行っている。

上述の通り、千住地区は防災減災に向けて多くの課題が残されている地区である。本研究では、多様な当事者の中から住民の避難に着目し、災害からの避難に関する選択行動モデルを推定を通じて、災害状況に応じた避難者数の推計を行うと共に、群集流動シミュレータを用いて避難の安全性等を評価して今後の防災計画への知見を得ることを目的とした。

2. 避難行動の選択実験について

図1は、避難行動に関する選択実験の調査フォーマットの一部である。調査の詳細は高田らに記している⁹⁾。

仮想的に設定した災害の発生状況については、火災の延焼の有無、洪水発生の危険性の有無、道路混雑の有無、ライフライン途絶の有無を組み合わせ設定した。なお組み合わせを行う際には、実験計画法の直行配置を援用するとともに、被験者が想定し難い状況については設定しないようにした。各被験者には、異なる災害状況を5種提示し、それぞれ状況下における避難行動について解答して頂いた。

【状況】 荒川流域で大雨が降っており、千住地域には避難勧告が発令されている。その状況下で、首都直下地震(マグニチュード7.3)が発生し、地震発生直後に近所での火災があった。また、地震の揺でライフラインに障害が生じている。

【火災の状況】 隣室・通りに延焼拡大の恐れがある

【ライフラインの状況】 電気・水道・ガスが止まっている

①このような時に、あなたが行う行動を以下の①～③の中から1つ選んでのべ、後の問いにお答え下さい。

① 自宅から避難する
② 建物の上層階へ移動する
③ 避難しない

() 階へ移動する

避難する場所を、別紙の地図中の番号またはアルファベットでお答え下さい。
なお、その他の場所に避難する場合は、具体的な名称をお答え下さい。
地図中の番号 ()
具体的な名称 ()

避難する際の手段を以下の項目から選んでのべ下さい。
① 自転車 ② 徒歩 ③ 鉄道 ④ バス ⑤ バイク ⑥ 自転車

図1 選択実験の調査フォーマット(例)

3. 災害避難に関する選択行動モデルの推定

(1) 選択行動の階層構造

図2は、本研究で設定した避難の意思決定構造である。被災する危険性がある際、はじめに当事者は屋外に避難するか否かを決定し、屋外に避難した場合には、垂直(建物上層階)に避難するか水平に避難するかを決定する。なお水害の危険性がない場合には、当事者は垂直か水平かの決定は行わない。最後に、水平避難を選択した際には、どのような施設に避難するかを決定する。

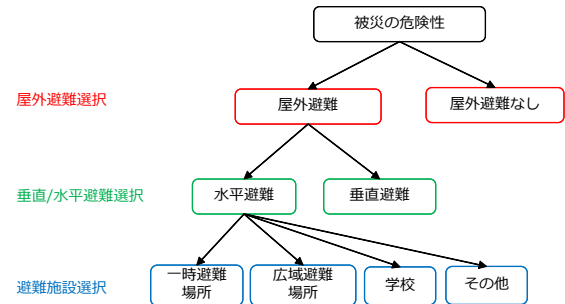


図2 避難選択行動の階層構造

表1 説明変数

説明変数	計測方法
避難施設までの距離(m)	最短経路距離
避難施設の階数データ(階)	施設の階数
建物倒壊危険量の減少量(棟/ha)	居住地の建物倒壊危険量から避難先の建物倒壊危険量を減じた危険量の差分
火災危険量の減少量(棟/ha)	居住地の火災危険量から避難先の火災危険量を減じた危険量の差分
浸水深の減少量(m)	荒川流域に3日間で548mmの降雨があり荒川が破堤した際に想定されている居住地の浸水深から避難施設の浸水深を引いた差分

(2) 避難施設選択行動モデルの推定

a) 選択肢の設定

避難施設選択の選択肢は、一時集合場所、広域避難場所、学校、その他の4種とした。

これら4施設の選択可能性については、以下の方法で設定した。

回答者の居住地(町丁目の重心)と避難先として選択した施設との距離を計測したところ、約80%の方が500m以内にある施設を選択していた。そこで、この範囲にある施設については選択可能とした。一方、回答者の居住地(町丁目の重心)から500m以上離れていても、回答者が避難先として選択した施設については選択可能とした。

なおアンケート調査では、一時避難場所、広域避難場所の認知レベルを調査した。この調査で「施設の場所を正確に認知していない」と回答した場合には、選択できない施設とした。

表2 避難施設選択行動モデルの推定結果

説明変数	火災延焼時		水害危険時		複合災害時	
	推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値
避難施設までの距離(m)	-0.0022	-5.17	-0.0030	-3.35	-0.0020	-4.19
避難所の階数(階)			0.0053	0.023	0.013	0.079
建物倒壊量の減少量(棟/ha)	0.23	6.28			0.14	2.39
火災危険量の減少量	-0.01	-0.31			0.024	0.95
浸水深の減少量(m)			4.41	0.097	0.79	3.13
定数項(広域避難場所)	0.45	0.77	-3.04	-0.44	-0.61	-0.70
定数項(学校)	1.58	3.68	1.90	1.32	0.94	0.93
定数項(その他)	2.48	3.85	1.22	1.25	0.44	0.69
初期尤度	-195.01		-95.15		-111.49	
最終尤度	-97.98		-28.79		-59.94	
尤度比	0.50		0.70		0.46	
修正済み尤度比	0.47		0.63		0.39	
サンプル数	179		96		112	
的中率(%)	75.8		72.9		83.9	

b) 説明変数について

モデルの説明変数は表1に記した5変数と、避難施設ごとの選択肢固有変数(ダミー変数)とした。

なお1つの丁目の中に選択可能な一時避難場所が複数

存在する場合には、距離、階数については、これらの平均値を採用した。

c) 推定結果

推定に際しては、居住地、年齢、性別等の個人属性が未回答である回答者は、推定のための標本から除いた。

パラメータの推定結果を表2に示す。左列から、火災延焼時、水害危険時、複合災害時（地震後の火災延焼と、水害発生の危険性が同時に生じている状況）の推定結果となっている。

(3) 垂直避難/水平避難選択行動モデルの推定

a) 垂直避難の定義

アンケート調査では、垂直への避難を選択した際に、何階へ避難するかを回答して頂いた。この回答結果と住居の階数が一致していた場合には、住宅内での垂直避難であると捉え、屋外避難を行わない行動として取り扱った。つまり本論で定義した垂直避難とは、自宅から屋外に出て、同じ建物内、または周辺の建物の上層階への避難とした。

b) 説明変数

垂直/水平避難の選択行動モデルで用いた説明変数は表3に示す2変数と、垂直避難に関する定数項とした。

c) 推定結果

垂直避難・水平避難の2項ロジットモデルを適用してパラメータの推定を行った。推定結果を表4に示す。左列から、水害危険時、複合災害時（地震後の火災延焼と、水害発生の危険性が同時に生じている状況）の推定結果となっている。

(4) 屋外避難選択行動モデルの推定

2項ロジットモデルを適用して、屋外避難の有無に関する選択行動モデルのパラメータを推定した。用いた説明変数は表5に示す10変数と屋外避難の定数項である。

なお2種のログサム効用を用いているのは、水害の危険性有無によって異なる意思決定構造を採用したためである。パラメータの推定結果を表6に示す。

4. 避難者数の推計

前章で推定した3つのモデルを用いて、想定する災害の状況下における避難者数の推計を行う。この推計値を避難シミュレーションの入力値として用いる。推計は町丁目単位、年齢層（70歳以上/未満）別に行った。人口は平成22年度国勢調査を用いた。住居の階数は町丁目ごとの平均値を代入している。

地震と水害の認知については、平均値0.5を設定した。

最も多くの避難者が推計された、地震発生後の火災延焼時の避難者数の推計結果を表7に示す。

表3 垂直避難/水平避難選択行動モデルの説明変数

説明変数	計測方法
避難施設選択のログサム効用	避難施設選択モデルを用いて算出される、町丁目別の避難施設の最大効用の期待値。
高層ダミー	居住している建物の最高階が4階以上の場合に1、未満の場合に0を設定。

表4 垂直避難/水平避難選択行動モデルの推定結果

説明変数	水害危険時		複合災害時	
	推定値	t値	推定値	t値
避難場所選択のログサム効用	0.05	0.47	0.15	0.75
高層ダミー	3.00	6.58	0.18	4.42
定数項(垂直避難)	-1.94	-6.26	-2.89	-7.21
初期尤度	-90.15		-68.65	
最終尤度	-62.63		-55.95	
尤度比	0.31		0.19	
修正済み尤度比	0.27		0.14	
サンプル数	142		156	
的中率(%)	83.1		84.0	

表5 避難選択(外室有無)行動モデルの説明変数

説明変数	計測方法
高齢者ダミー	70歳以上の場合のダミー
居住地の最高階数(階)	居住している建物の最高階数
震災の被害想定認知(ダミー)	東京湾北部を震源とする種と直下地震が発生した際の、当地区の想定震度の認知状況(認知している場合に1)
水害被害の認知(ダミー)	荒川で洪水が起きた際の居住地(町丁目)の想定浸水深の認知状況(認知している場合に1)
ログサム効用(地震時の避難施設選択)	避難場所の選択に関する最大効用の期待値
ログサム効用(洪水危険時の垂直/水平避難選択)	垂直避難・水平避難に関する最大効用の期待値
災害状況ダミー(延焼)	SP調査の設定条件
災害状況ダミー(洪水)	SP調査の設定条件
災害状況ダミー(道路混雑)	SP調査の設定条件
災害状況ダミー変数(ライフライン途絶)	SP調査の設定条件

表6 避難選択行動モデルの推定結果

説明変数	推定値	t値
高齢者ダミー(65歳以上)	-0.53	-3.42
居住地の最高階数(階)	-0.16	-5.77
震災の被害想定認知(ダミー)	0.32	2.11
水害被害の認知(ダミー)	-0.46	-2.24
ログサム効用(地震時の避難施設選択)	0.91	7.26
ログサム効用(洪水危険時の垂直/水平避難選択)	0.79	5.60
状況ダミー(延焼時)	4.03	5.91
状況ダミー(洪水危険時)	-0.52	-1.44
状況ダミー(道路混雑時)	-2.14	-5.42
状況ダミー(ライフライン途絶時)	-1.93	-4.87
定数項(避難(外室))	0.10	0.72
初期尤度	-879.48	
最終尤度	-780.15	
尤度比	0.113	
修正済み尤度比	0.100	
サンプル数	1305	
的中率(%)	65.5	

5. 避難シミュレーションの実装

前章までに述べた災害避難に関する選択行動モデルの推定結果と避難者数の推計結果を適用した避難シミュレーションを用いて、千住地区の住民が一時避難場所、広域避難場所、学校等まで移動する避難時間や混雑の発生

表7 避難者数の推計結果(延焼時)

	全数						高齢者						高齢者以外								
	避難者数の推計						避難者数の推計						避難者数の推計								
	避難する			垂直避難 避難しない			避難する			垂直避難 避難しない			避難する			垂直避難 避難しない					
総数	一時	広域	学校	その他			総数	一時	広域	学校	その他			総数	一時	広域	学校	その他			
千住1丁目	1721	50	6	1635	30	0	5	260	8	1	247	4	0	1	1462	43	5	1388	25	0	3
千住2丁目	1167	59	9	1065	35	0	4	225	11	2	205	7	0	1	942	48	7	860	28	0	3
千住3丁目	2013	1402	9	586	16	0	3	356	248	2	104	3	0	1	1657	1154	7	482	13	0	2
千住4丁目	2449	146	165	1873	265	0	21	482	29	32	369	52	0	6	1967	118	132	1504	213	0	15
千住5丁目	2478	2005	94	290	90	0	8	370	299	14	43	13	0	2	2108	1705	80	246	77	0	6
千住曙町	4262	2222	3	1982	76	0	38	413	215	0	190	7	0	6	3849	2007	2	1772	68	0	32
千住加町	3841	1723	8	1998	112	0	6	722	324	1	376	21	0	2	3119	1399	6	1622	91	0	4
千住東1丁目	1619	1225	5	355	34	0	7	267	202	1	59	6	0	2	1352	1023	5	296	28	0	5
千住東2丁目	4181	331	164	3606	79	0	13	572	45	22	494	11	0	3	3609	286	142	3112	69	0	10
千住大川町	3751	661	93	2792	205	0	2	736	130	18	548	40	0	1	3015	531	75	2244	165	0	1
千住河原町	3376	118	161	3078	19	0	10	491	17	23	447	3	0	2	2885	101	138	2630	17	0	8
千住吉町	3168	815	61	1767	525	0	11	554	143	11	309	92	0	3	2614	672	50	1458	433	0	8
千住桜木1丁目	1798	7	19	1722	50	0	16	249	1	3	238	7	0	3	1550	6	17	1484	43	0	12
千住桜木2丁目	2385	4	51	2309	22	0	46	568	1	12	550	5	0	16	1817	3	39	1759	16	0	30
千住閑原町	4027	2470	4	1503	49	0	9	399	244	0	149	5	0	1	3628	2226	4	1355	44	0	8
千住篠田町	1973	847	3	1093	30	0	11	382	164	1	212	6	0	3	1591	683	3	882	24	0	8
千住中居町	2746	157	161	1066	1362	0	10	372	21	22	144	184	0	2	2374	136	139	922	1177	0	8
千住仲町	3591	359	29	2965	238	0	6	577	58	5	476	38	0	1	3015	301	25	2489	200	0	4
千住橋戸町	1595	35	3	1506	51	0	3	196	4	0	185	6	0	1	1399	30	3	1320	45	0	2
千住葛町1丁目	553	9	1	534	10	0	1	48	1	0	46	1	0	0	505	8	1	488	9	0	1
千住葛町2丁目	2242	82	21	2066	72	0	3	403	15	4	372	13	0	1	1838	67	17	1695	59	0	3
千住葛町3丁目	1816	187	108	553	969	0	3	299	31	18	91	160	0	1	1517	156	90	462	809	0	2
千住宮元町	1774	1490	1	275	8	0	2	339	285	0	53	2	0	1	1434	1205	1	222	6	0	2
千住元町	3309	2859	3	429	18	0	52	885	765	1	115	5	0	20	2424	2094	2	315	13	0	32
千住御町	1691	1137	2	543	9	0	2	400	269	0	129	2	0	1	1291	868	2	414	7	0	1
日ノ出町	4090	282	27	3483	298	0	16	989	68	6	842	72	0	6	3100	214	20	2640	226	0	11
柳原1丁目	2595	88	3	2469	34	0	6	549	19	1	523	7	0	2	2046	69	3	1947	27	0	4
柳原2丁目	2711	1107	6	1485	113	0	7	641	262	1	351	27	0	2	2070	845	5	1134	86	0	5
計	72923	21876	1222	45007	4819	0	320	12746	3879	203	7865	799	0	89	60178	17987	1019	37142	4020	0	230

する道路を確認する。表7に示される避難者数の推計結果から、各地区の一時避難場所、広域避難場所、学校等まで移動する避難者数を設定する。

避難シミュレータとしては、現在産総研で開発を進めている群集流動シミュレータ CrowdWalk を用いる。CrowdWalk では歩行可能領域をネットワークのリンクとして表現する一次元空間モデルを採用しており、歩行者間の相互作用を簡略化して扱っている。図1 に CrowdWalkを用いて実装した千住地区を対象とする避難シミュレーションのスクリーンショットを示す。

避難者が移動する歩行可能領域として、昭文社製の歩行者ネットワークデータを CrowdWalk 用の地図データに変換して利用する。このデータの特徴は、車両の道路地図に比べて、歩行者のみが移動可能な歩道、歩道橋、アーケードといったデータが含まれていることが挙げられる。そのため、千住地区(約3km四方)を住民が徒歩で避難する状況を扱うシミュレーションに適している。

現在、避難シミュレーションを用いた住民行動の評価を行っているため、研究会において詳細を説明する。

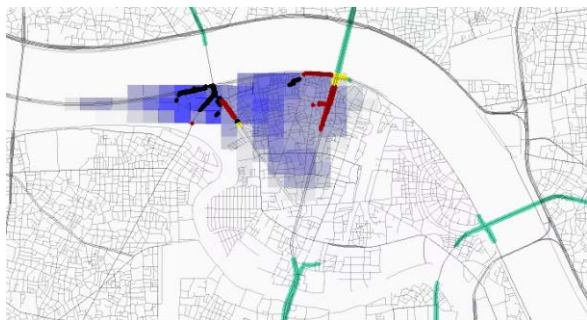


図1 CrowdWalkを用いて実装した千住地区を対象とした避難シミュレーションの例

6. おわりに

本稿では、千住地区の住民避難を取り上げて、災害からの避難に関する選択行動モデルを推定を通じて、災害状況に応じた避難者数の推計を行った。また、群集流動シミュレータを導入して避難の安全性等を評価して今後の防災計画への知見の獲得を目指しており、その取り組みを紹介した。

参考文献

- 1) 足立区防災会議:地域計画震対策編(H24)
- 2) 東京都都市整備局:地震に関する地域危険度測定調査報告書(第7回), 2013. 9.
- 3) 足立区洪水ハザードマップ, 2007.
- 4) 久田嘉章:「逃げる対策」から「逃げない対策」へ, 自主防災, No.234, 2013年7・8月号, pp.6-9, 2013.
- 5) 大原美保・藤生慎・山下倫央・高田和幸:ターミナル駅周辺における災害時の群集挙動シナリオに関する検討—JR北千住駅周辺地区でのケーススタディー—日本地震工学会年次大会, pp.15-16, 2013.11.
- 6) 高田和幸・大原美保・藤生慎・山下倫央:複合災害からの避難に関する意識分析—東京都足立区千住地区を対象として—, 第49回土木計画学研究発表会講演集, 2014
- 7) 高田和幸・金野貴紘・藤生慎:選好意識データを用いた災害時の避難行動モデルの推定—足立区千住地区を対象にして—, 第50回土木計画学研究発表会講演集, 2014.
- 8) 山下倫央・岡田崇・野田五十樹:大規模群集流動の制御に向けたシミュレーション環境の構築, 合同エージェントワークショップ&シンポジウムJAWS2012 予稿集, 2014