

内水氾濫時における住民の避難行動について*

Resident's Evacuation Activity in Inundating inside the Levee*

黒木隆**・寺町賢一***・渡辺義則***・浦英樹****

By Takashi KUROGI**・Kenichi TERAMACHI***・Yoshinori WATANABE***・Hideki URA****

1. はじめに

近年、局地的集中豪雨の増加や市街化により内水氾濫が多発しており、各地で甚大な被害を及ぼしている。昭和30年代の高度成長期以降、集団就職や通年出稼ぎ、移住等により地方から都市への人口、資産の集中が著しく、平野部では急激に市街化が進行した。このため、開発後は、地表面がアスファルトやコンクリートによって覆われていき、雨水の貯留能力の低下し、不浸透域が増大した。このことにより、台風や局地的集中豪雨によって、行き場を失った雨水の流出と集中が激しくなり、内水氾濫の危険性が高くなる。1994年から2003年の10年間において、日本の市区町村の97%以上が水害・土砂災害に襲われている。洪水氾濫域は日本全土の10%程度だが、その地域に人口の51%、総資産の75%が集中するため、水害が発生した際の被害は深刻なものになり、過去10年間の内水氾濫による被害は約1.1兆円にも上る。そのため、内水氾濫は近年の都市型水害として、無視できない状態となっている。

また、防災計画では住民が避難する際の交通手段として、徒歩が想定されている。しかし、今日の自家用車普及状況、高齢化の著しい進展、さらには、水害発生時の豪雨や暴風といった気象条件を考慮すると、自家用車による避難の可能性を否定することはできない。自家用車の避難が多い場合、渋滞などの対策が必要となる。そこで、本研究では、内水氾濫発生時に避難する住民が安全且つ迅速に避難できる具体的な対策・避難経路を提案するため、アンケート調査を基に住民の避難行動を推定し、そのモデル化を行う。さらに、導出したモデルにより、避難予定地の容量についての検討を行うため、内水氾濫時に発生する避難人数および自家用車台数の推定を行う。

*キーワード：発生交通量、目的地選択、交通手段選択
**学生会員、工修、九州工業大学大学院工学府建設社会学専攻（福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号、TEL093-884-3101、FAX093-884-3100）
***正会員、工博、九州工業大学建設社会工学科
****正会員、九州工業大学

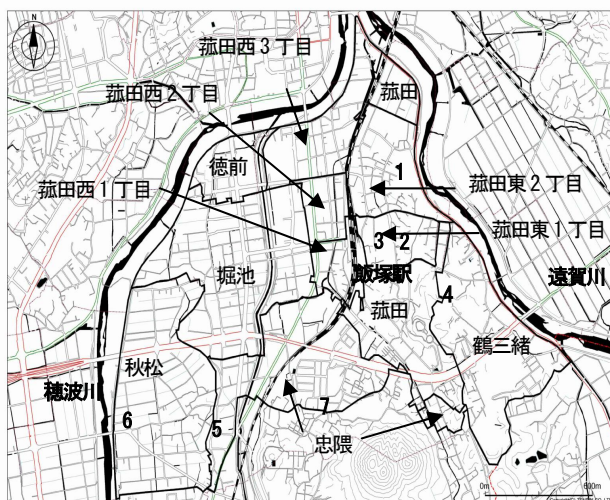
2. 調査対象地域の概要

本章では、調査対象地域の概要について説明し、アンケート調査結果より内水氾濫時の住民の避難行動に関する意向を把握する。

(1) 調査対象地域と調査概要

本研究の調査対象地域は、平成13年6月(床上87戸、床下151戸)、平成15年7月(床上1957戸、床下1778戸)に観測所で観測史上最高水位を相次いで記録・更新するなど、近年でも甚大な浸水被害が頻発している福岡県飯塚市の秋松、忠隈、菰田西1～3丁目、菰田東1～2丁目、菰田、徳前、堀池、鶴三緒地区である。調査対象地域および避難予定地は、図-1に示すとおりである。

調査は平成18年12月6日に行った。調査対象地域の世帯数は3010世帯で調査方法は全世帯にポスト投函し、郵送回収とした。調査票の回収数は375世帯であった。



避難予定地

- 1 菰田小学校 2 菰田公民館 3 近畿大学九州短期大学
- 4 菰田中学校 5 穂波支所 6 穂波公民館
- 7 忠隈住民センター

図-1 調査対象地域および避難予定地

(2) 住民の避難に関する意識

a) 避難同行者

図-2に示すとおり、一人世帯を除き、避難時に家族と一緒に行動する割合が約97%となり、大半の住民が世帯単位で行動することがわかった。従って、世帯に注目し、世帯単位で分析を行う。

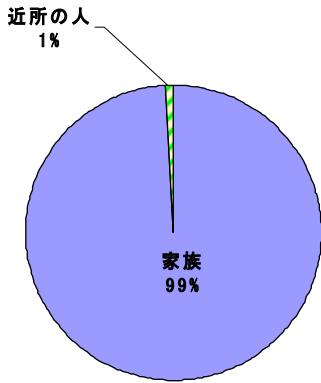


図-2 避難同行者

b) 避難手段

図-3に示すとおり、内水氾濫時における避難手段の選択として徒歩、自家用車の順に多く、避難予定地に比較的近い町丁の住民は徒歩を、遠い町丁の住民は自家用車を選択する傾向がみられた。なお、前提条件として、自家用車非保有世帯に関しては、自家用車選択が不可能であるため、集計には含めていない。

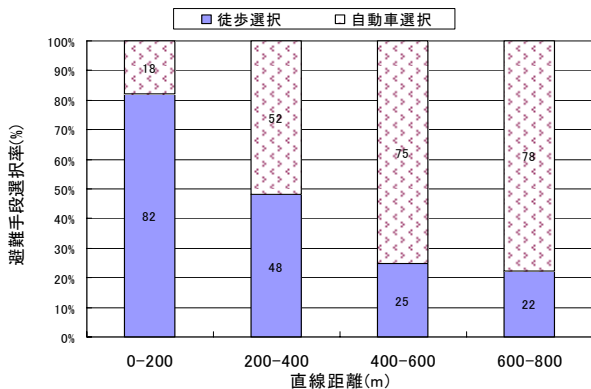


図-3 避難所までの直線距離と避難手段選択

3. 避難率の推定

本章では、アンケート調査から避難率と河川との標高差の関係を分析する。ここで、避難率とは、街区に居住する世帯の中で避難する世帯の割合とする。また、各街区での避難率を街区別避難率とした。次に、河川との標高差とは、各街区をその街区から最も近い河川との標高差を基本図りより計測したものである。得られた避難率と河川との標高差の関係をプロットした結果、図-4を得た。

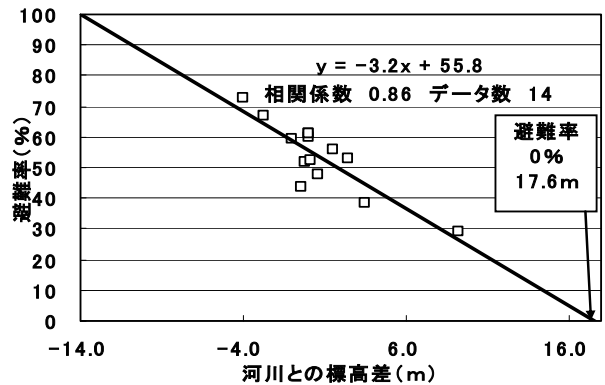


図-4 避難率と河川との標高差

これらの街区別避難率を目的変数、河川との標高差を説明変数とし、回帰分析を行った結果、避難率は河川との標高差に比例し、河川との標高差が17.6mで避難率が0%になることがわかった。また、統計的検定を行った結果、アンケートから集計した避難世帯数の分布は、(式-1)に従うことが確認できた。

$$y = -3.2x + 55.8 \quad \dots(式-1)$$

y: 避難率 (%), x: 河川との標高差 (m)

4. 避難場所及び避難手段選択モデル

非集計分析におけるロジットモデルを用いて、避難場所および避難手段選択の予測を試みた。

(1) 避難場所選択

$$P_i = \frac{\exp[V_i]}{\exp[V_1] + \exp[V_2] + \exp[V_3]} \quad \dots(式-2)$$

$$V_1 = \theta_1 \times (\text{避難所1までの直線距離}) + \theta_2 \times (\text{標高差}) + \theta_3 \times (\text{避難所の有無}) + \theta_5 \times (\text{迂回性}) + \theta_7 \times (\text{定数}) \quad \dots(式-3)$$

$$V_2 = \theta_1 \times (\text{避難所2までの直線距離}) + \theta_2 \times (\text{標高差}) + \theta_4 \times (\text{避難所の有無}) + \theta_6 \times (\text{迂回性}) + \theta_8 \times (\text{定数}) \quad \dots(式-4)$$

$$V_3 = \theta_1 \times (\text{避難所3までの直線距離}) + \theta_2 \times (\text{標高差}) \quad \dots(式-5)$$

P_i : 選択肢 i の確率

i: 1は避難所1, 2は避難所2, 3は避難所3

V_1 : 避難所1の効用

V_2 : 避難所2の効用

V_3 : 避難所3の効用

避難場所選択では、避難所1, 避難所2, 避難所3と設定し、三肢選択とした。三肢選択におけるロジットモデルの式を(式-2)に示す。避難場所選択モデルにお

表-1 パラメータの推定結果 (避難場所選択モデル)

説明変数	直線距離 Θ_1	標高差 Θ_2	避難予定地の有無		迂回性		定数		尤度比	的中率
			Θ_3	Θ_4	Θ_5	Θ_6	Θ_7	Θ_8		
パラメータ	-0.540	0.915	0.220	0.375	-0.262	-0.290	0.353	0.405	0.200	76.0%
t値	-2.566	2.168	-1.949	-3.002	-1.925	-2.003	2.245	2.589		

表-2 パラメータの推定結果 (避難手段選択モデル)

説明変数	直線距離 Θ_1	出入口数 Θ_2	迂回性 Θ_3	定数 Θ_4	尤度比	的中率
パラメータ	-0.004	0.510	-0.882	1.175	0.222	81.7%
t値	-2.718	2.113	-1.518	2.357		

る避難所1, 避難所2 および避難所3 の効用関数をそれぞれ(式-3), (式-4), (式-5)に示す. ここで, 説明変数として用いる選択要因は, 「1.避難所 i までの直線距離(m), 2. 標高差(m), 3.避難所の有無, 4.迂回性」とする.

避難所までの直線距離は, 地図ソフト²⁾により自宅から避難予定地までを計測した直線距離である. 標高差は, 避難予定地の標高と避難世帯の標高の差によって求めた. 避難予定地の有無は, 各避難世帯の町丁の地区内における避難予定地の存在有無を表しており, 地区内に避難予定地が存在する場合は1を, 存在しない場合には0を(式-3), (式-4)に代入した. 迂回性は, 避難時に住民が線路などにより迂回する必要がある場合を考慮し, 迂回が必要な場合には1を, 必要ない場合には0を(式-3), (式-4)に代入した. 効用関数のパラメータを最尤推定法により推定し, その結果を表-1に示す. 尤度比 ρ^2 は0.200, 的中率は76.0%であった.

(2) 避難手段選択

$$P_i = \frac{\exp[V_i]}{\exp[V_1] + \exp[V_2]} \quad \dots(式-6)$$

$$V_1 = \Theta_1 \times (\text{避難所までの直線距離}) + \Theta_2 \times (\text{避難所の徒歩の出入口数}) + \Theta_3 \times (\text{迂回性}) + \Theta_4 \times (\text{定数}) \quad \dots(式-7)$$

$$V_2 = \Theta_2 \times (\text{避難所の自家用車の出入口数}) \quad \dots(式-8)$$

P_i : 選択肢 i の確率

i: 1 は徒歩選択, 2 は自家用車選択

V_1 : 徒歩の効用

V_2 : 自家用車の効用

避難手段選択では, 徒歩と自家用車の二肢選択を想定した. 徒歩と自家用車のロジットモデルの式および効用関数の式は(式-6), (式-7, 8)とする. ここで, 説明変数として用いる選択要因は, 「1.避難所までの直線距離(m), 2.出入口数, 3.迂回性」とする. 効用関数

のパラメータを最尤推定法により推定し, その結果を表-2に示す. 推定結果より, 尤度比 ρ^2 は0.2215, 的中率は81.7%であった.

5. 避難時に発生する避難人数及び自家用車発生台数

本章では, 導出した避難所および避難手段選択モデルを用いて, 内水氾濫時に発生する避難人数および自家用車台数の推定を行う.

(1) 避難人数の推定

避難予定地別の避難人数Sは次式である.

$$S = N \times P \times y \quad \dots(式-9)$$

N: 町丁別避難場所選択率

P: 避難世帯数

y: 世帯平均人数

Nは避難場所選択モデルにより, Pは第三章で推定した避難率曲線より, yはアンケート調査より求めた. 推定した, 避難時における避難所別の避難人数を表-3に示す. 表-3より, 推定避難人数と収容可能人数を比較すると, 飯塚市穂波支所と忠隈住民センターで避難所の収容可能人数を超過しており, 水害時に収容が困難となり遠方への避難が生じる可能性が考えられる.

表-3 収容可能人数と推定値の比較

避難予定地	収容可能人数 (人)	推定避難人数 (人)
菰田小学校	1900	1328
近畿大学九州短期大学 菰田公民館	2300	842
菰田中学校	2000	732
穂波支所	200	956
忠隈住民センター	25	130
穂波町公民館 穂波町体育センター (穂波町郷土資料館も含む)	750	223
合計	7175	4211

(2) 自家用車発生台数の推定

避難手段選択モデルにより、町丁別の自家用車発生台数を求めた。

町丁別の自家用車発生台数 C を以下に示す。

$$C = E \times N \times P \times x \quad \dots(\text{式}-10)$$

E : 町丁別避難手段選択率 (自家用車選択率)

N : 町丁別避難場所選択率

P : 避難世帯数

x : 町丁別自家用車使用台数

E は避難手段選択モデルにより、N は避難場所選択モデルにより、x はアンケート調査より求めた。推定した自家用車発生台数を表-4に示す。表-4より、各避難予定地の収容可能台数を推定した自家用車発生台数が上回る避難予定地が6箇所中4箇所となった。また、避難予定地が収容可能な台数の合計は640台、避難時に発生する自家用車台数は1362台となった。従って、この地域で発生した自家用車は、避難予定地に収容しきれず、行き場を失う可能性が考えられる。よって、住民の避難行動の円滑さは損なわれる恐れがある。

表-4 避難予定地別自家用車発生台数

避難予定地	自動車収容可能台数(台)	推定自家用車発生台数(台)
菰田小学校	150	451
近畿大学九州短期大学 菰田公民館	100	324
菰田中学校	115	234
穂波支所	30	295
忠隈住民センター	45	36
穂波町公民館 穂波町体育センター 穂波町郷土資料館も含む	200	22
合計	640	1362

6. おわりに

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手段選択モデルおよび避難所選択モデルの構築を行った。また、導出したモデルにより、避難行動の円滑さおよび行政が指定する避難予定地の収容可能人数、自家用車収容可能台数の検討を行った。以下に本研究により得られた結果を示す。

- モデルを導出した結果、避難場所選択では、避難予定地までの直線距離、標高差、避難予定地の有無、迂回性が、避難手段選択では避難予定地までの直線距離、出入口数、迂回性が説明変数として選択に影響を与える要因であることがわかった。
- 推定した避難人数は収容可能人数に対し、飯塚市穂波支所で756人の超過、忠隈住民センターで105人の超過となった。
- 避難時に発生する推定自家用車発生台数は1362台であり、調査対象地域内の行政の指定する避難予定地のうち4箇所で収容可能台数を超過した。

これらの結果を受け、実際の災害時に収容が困難となり、遠方への避難が生じる可能性が考えられる。以上のことから、避難予定地が収容困難とならないために、行政は事前に啓発活動として呼びかけを行い、注意を促す必要がある。既存の避難予定地だけでは対応できない場合、民間施設を対象に、避難予定地として活用可能かどうか検討を行うなどの対策も考えられる。

今後の課題は、導出したモデルにより算出した町丁別自家用車発生台数、避難予定地別自家用車発生台数を基に、交通状況のシミュレーションを行い、住民が安全且つ迅速に避難できる具体的な対策・避難経路の提案する。

参考文献

- 1) 飯塚市：飯塚市基本図 1993
- 2) ゼンリン：ソフトウェア Zmap-Town2
- 3) 大久保貴永：内水氾濫時における住民の避難行動分析 九州工業大学卒業論文 2007
- 4) 黒木隆：内水氾濫時における住民の避難手段選択について 九州工業大学卒業論文 2008
- 5) 久野聖太：内水氾濫時における住民の避難手段および避難所選択について 九州工業大学修士論文 2008
- 6) 交通工学研究会：やさしい非集計分析 1993
- 7) 土木計画学研究委員会：「土木計画学研究・論文集、No.13」論文の募集、土木学会誌、Vol.81-1, pp.90-92, 1996