

外水氾濫時における避難手段を考慮した安全な避難行動について

Safe Evacuation Behavior Considering Evacuation Means in the case of Inundation by River Water^{*1}

東寛二^{*2}・寺町賢一^{*3}・渡辺義則^{*3}・諫山美穂子^{*4}

By Kanji HIGASHI^{*2}・Kenichi TERAMACHI^{*3}・Yoshinori WATANABE^{*3}・Mihoko ISAYAMA^{*4}

1. はじめに

近年の異常気象により、各地で局地的な集中豪雨が起きており、河川氾濫や洪水氾濫が相次いで発生している。また、河道整備計画の対象規模の小さな河川では、計画規模を超える降雨が生じた場合に、堤防の越流や破堤による外水氾濫の危険性があることが指摘されている。川の氾濫や堤防の決壊などの外水氾濫の場合、大量の高速氾濫流が一気に市街地に流入し短時間で住宅などの浸水被害が起こる。そのため、人的な被害が起きる場合が多い。また、流れ込んでくるのは泥水のため、洪水が去った後も家に土砂が堆積してしまうなど、復旧が大変困難な状況になる。

飯塚市は、なだらかな平地と丘陵地が広がり、山地がその周囲を取り囲む盆地状の地形を形成している。また、飯塚市内中央部を南北に遠賀川が流れており、流域周辺は人口・住宅が集中し、市街化が進んでいる。そのため、河川氾濫に対する住民の安全確保のために、堤防が整備されている。

また、飯塚市は災害時の緊急避難に備えて、防災マップ旧飯塚地区¹⁾を配布、ホームページ上に公開するなどしている。しかしながら、防災マップを見ただけでは具体的な避難経路や避難場所はわかりにくい。また、より大きな文字や見やすい地図を掲載することにより、高齢者や子供に対して、よりわかりやすい防災マップとなる。つまり、現在配布されている防災マップでは、充分に対応できない面も認められる。また、災害時において、避難に時間を要する災害弱者を考慮し、日頃から地域で十分な支援体制を整備しておくことも重要となっている。

以上より、行政は近年多発する水害の対策を見直し、もっと適切に対処していくことが不可欠である。しかし、水害に対するハード面の対策は、費用・時間・景観の問題から早急な実現は難しい。したがって、水害による影響を予測し、効果的な避難を促すソフト面の対策を実施する必要がある。既存の研究においては、洪水時における避難行動や洪水氾濫時避難行動解析システムやハザードマップの役割や防災に対する意識に関する論文²⁾³⁾、そして分布型流出解析および2次元氾濫解析を用いて避難所までの歩行可能性評価を行った研究⁴⁾が報告されている。しかし、水害が発生した時の住民の避難行動を推定し、避難場所の提案をした論文は少ない。また、避難する際の住民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、雨や風といった気象条件を考えれば、自家用車による避難もあると推測されるため、交通対策、避難場所の整備なども必要となる。

そこで、本研究では、飯塚市の一部を研究対象地区とし、既存の研究⁵⁾によるアンケート結果や内水氾濫時のロジットモデルをもとに、外水氾濫時のロジットモデルを構築する。そして、外水氾濫が発生した際の住民の避難行動を推定し、避難場所が収容困難とならないために、避難者への避難場所の提案を行う。

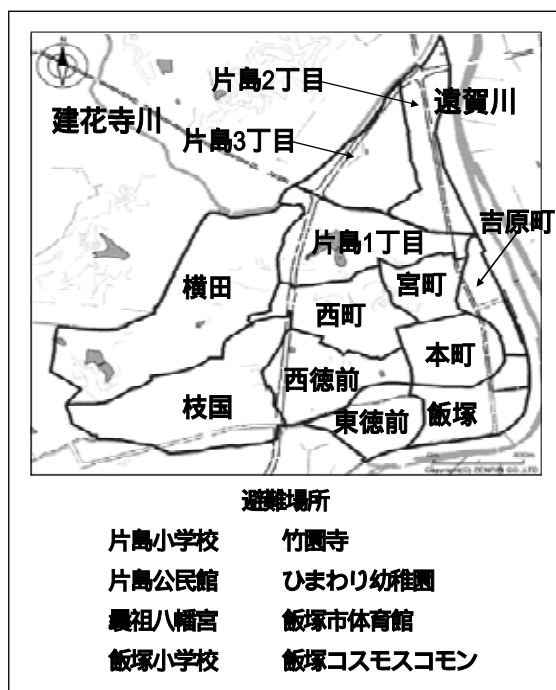


図 - 1 調査対象地区及び避難場所

^{*1} キーワーズ：防災計画、発生交通、目的地選択、交通手段選択

^{*2} 学生員、九州工業大学大学院工学府建設社会工学専攻(福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 TEL093-884-3108)

^{*3} 正員、工博、九州工業大学大学院工学府建設社会工学研究系

^{*4} 福岡市役所 (福岡県福岡市中央区天神 1-8-1)

2. 研究対象地区

飯塚市が作成している防災マップより、以下の条件で研究対象地区を選定した。遠賀川に隣接している、平地が大半を占めている、防災マップ上で冠水する地域を含んでいる。これらの条件を満たした地区を研究対象地区とした。研究対象地区を図-1 に示す。また、研究対象地区内において、水害時に行政が指定している避難場所は図-1 に示す 8 カ所である。

3. 外水氾濫発生時の各避難場所に集中する避難世帯数の推定

(1) 避難場所選択モデル

本研究では、非集計分析におけるロジットモデルにより、避難場所 1 および避難場所 2、避難場所 3 の避難場所選択モデルを構築し、各避難場所に集中する避難世帯数の推定を行う。ここで用いる避難場所選択モデルは、既存の研究⁵⁾による内水氾濫時の避難場所選択モデルをもとに構築した、外水氾濫時の避難場所選択モデルである。内水氾濫時のモデルの説明変数は、「1. 避難場所までの距離(m)、2. 標高差(m)、3. 避難場所の有無、4. 迂回性の有無」である。しかし、外水氾濫時には河川から避難場所までの距離が住民の避難行動に影響を与えると考えられる。そこで、新たに共通変数として「河川から避難場所までの距離(m)」を効用関数の中に組み入れた。避難場所選択モデルは非集計分析における三肢選択のロジットモデルであり、選択する避難場所を、街区から避難場所までの直線距離が近い順に避難場所 1、2、3 とする。三肢選択におけるロジットモデルの式を式(1)に、避難場所 1 の効用関数を式(2)に示す。 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 、 θ_6 、 θ_8 は、パラメータ (相対的な重み) を表す。避難場所 2、3 の効用関数も同じ構造の式となる。なお、分析対象者は同質な評価構造を持つものとする。

$$P_i = \frac{\exp[V_i]}{\exp[V_1] + \exp[V_2] + \exp[V_3]} \quad \dots(1)$$

P_i : 選択肢 i の確率

i : 1 は避難場所 1、2 は避難場所 2、3 は避難場所 3

V_1 : 避難場所 1 の効用 V_2 : 避難場所 2 の効用

V_3 : 避難場所 3 の効用

$$V_1 = \theta_1 \times (\text{避難場所までの直線距離}) + \theta_2 \times (\text{標高差}) \\ + \theta_3 \times (\text{河川から避難場所までの距離}) \\ + \theta_4 \times (\text{避難場所の有無}) + \theta_6 \times (\text{迂回性}) + \theta_8 \times (\text{定数}) \dots(2)$$

ここで、避難場所までの直線距離は、各街区から避難場所までの直線距離である。標高差は、避難場所の標高と各街区の標高の差である。河川から避難場所までの距離は各避難場所から最も近い河川までを計測した直線距離である。避難場所の有無は、各避難世帯の街区の地区内における避難場所の有無を表しており、地区内に避難場所が存在する場合は 1 を、存在しない場合には 0 を代入した。迂回性は、避難時に住民が国道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 を代入した。

(2) 避難場所選択モデルの推定結果の検討

アンケート結果より推定した各パラメータの値、t 値の推定結果を表-1 に示す。尤度比 ρ^2 は 0.197、的中率は 59.3%であった。尤度比が 0.2 以上、的中率が 60%以上をほぼ満たしている。

表 - 1 避難場所選択モデルのパラメータ

説明変数	パラメータ	t 値
サンプル数	285	
避難場所までの直線距離 ₁	-0.00831	-6.405
標高差 ₂	-0.114	-2.979
河川から避難場所までの距離 ₃	0.00126	2.096
避難場所の有無	4	-4.62
	5	-14.4
迂回性	6	1.24
	7	1.48
定数	8	-0.944
	9	-0.357

(3) 避難場所選択モデルによる推定結果

避難場所選択モデルを用いて、各避難場所に集中する避難世帯数を推定する。ここで推定する地区はモデル構築の際にアンケート調査⁵⁾を行った飯塚市の調査対象地区である。この地区の地理的条件は、遠賀川と穂波川に隣接しており、標高差が幅広くある。また、飯塚地区防災ハザードマップ¹⁾による浸水想定区域であり、過去に水害が発生している。よって、モデル構築に適していると判断した。

町丁別の避難場所別避難世帯数の算出は以下に示す式(3)を、町丁別の避難場所別避難人数の算出は、式(4)を用いた。式(3)、(4)中の街區別避難場所選択率は避難場所選択モデルより、避難世帯数は既存の研究⁵⁾の避難率曲線より、町丁別世帯平均人数は住民基本台帳より求めた。推定した結果を図-2 に示す。収容可能人員と推定避難人数を比較すると、竹園寺、片島公民館、曩祖八幡

宮で避難場所の収容可能人員を超過する結果となった。そのため、住民の自主避難では水害時に収容が困難となり他の避難場所への避難が生じる可能性が考えられる。

【避難場所別避難世帯数】

$$= \sum \{ \text{【街区別避難場所選択率】} \times \text{【避難世帯数】} \} \dots(3)$$

【避難場所別避難人数】

$$= \sum \{ \text{【街区別避難場所選択率】} \times \text{【避難世帯数】} \times \text{【町丁別世帯平均人数】} \} \dots(4)$$

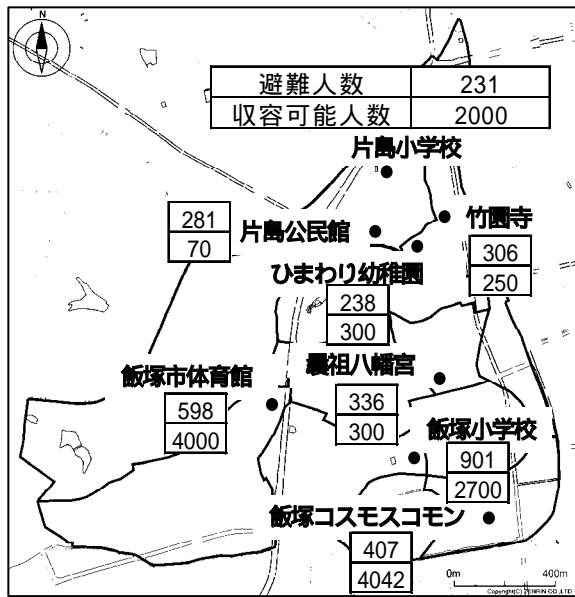


図 - 2 避難時に発生する避難人数と自家用車台数

4. 外水氾濫発生時の各避難場所に集中する避難場所別避難世帯数の推定

(1) 避難手段選択モデル

既存の研究では、避難する際の住民の交通手段として徒歩が想定されている。しかし、既存のアンケート結果⁵⁾より、避難する際の手段として、徒歩が48%、自家用車が50%選択されており、その他(自転車、スクーター、バス)を選択した世帯は、全体の2%であった。そこで、各避難場所に集中する避難世帯が、徒歩と自家用車のどちらの避難手段を選択するか推定する。ここで用いる避難手段選択モデルは、既存の研究⁵⁾による内水氾濫時の避難手段選択モデルをもとに構築した、外水氾濫時の避難手段選択モデルである。避難手段選択モデルは非集計分析における二肢選択のロジットモデルであり、選択する避難手段を徒歩と自家用車とする。二肢選択におけるロジットモデルの式を式(5)に、徒歩の効用関数を式(6)に示す。θ₁、θ₂、θ₃、θ₄は、パラメータ(相対的な重

み)を表す。自家用車の効用関数も同じ構造の式となる。なお、分析対象者は同質な評価構造を持つものとする。

ここで、避難場所までの直線距離は、各街区から避難場所までの直線距離である。避難場所の出入口数は、避難場所に存在する出入口の総数である。迂回性は、避難時に住民が国道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を代入した。

$$P_i = \frac{\exp[V_i]}{\exp[V_1] + \exp[V_2]} \dots(5)$$

- P₁ : 徒歩を選択する確率
- P₂ : 自家用車を選択する確率
- V₁ : 徒歩選択時の効用
- V₂ : 自家用車選択時の効用

$$V_i = \theta_1 \times (\text{避難場所までの直線距離}) + \theta_2 \times (\text{避難所の出入口数}) + \theta_3 \times (\text{迂回性}) + \theta_4 \times (\text{定数}) \dots(6)$$

(2) 避難手段選択モデルの推定結果の検討

アンケート結果より推定した各パラメータの値、t値の推定結果を表5.1に示す。尤度比ρ²は0.328、的中率は82.5%であった。尤度比が0.2以上、的中率が60%以上、t値が絶対値で1.5以上という条件を満たしている。よって、このモデルを採用する。

表 - 2 避難手段選択モデルのパラメータ

説明変数	パラメータ	t値
避難場所までの直線距離 ₁	-0.00367	-3.131
出入口数 ₂	0.439	1.794
迂回性 ₃	-1.51	-2.255
定数 ₄	2.72	4.441

(3) 避難手段選択モデルによる推定結果

外水氾濫時に発生する避難人数および自家用車台数と避難場所の許容量について検討するため、避難場所別の避難人数および自家用車台数の推定を行った。避難場所別の避難人数は、式(7)より推定した。避難場所別の自家用車台数は、式(8)より推定した。式(8)中の避難場所別自家用車選択世帯数は避難手段選択モデルより、世帯当り自家用車利用台数は既存の研究⁵⁾のアンケート調査より得られた1.24台/世帯を用いた。推定した結果を

図-3 に示す。竹園寺、片島公民館、曩祖八幡宮で収容可能人員を超過し、竹園寺、ひまわり幼稚園で自動車収容台数を超過した。よって、住民の自主避難では避難場所の収容が困難となる可能性があることがわかった。

【避難場所別避難人数】

$$= \sum \{ \text{【街区別避難場所選択率】} \times \text{【世帯避難数】} \times \text{【町丁別世帯平均人数】} \} \quad \dots(7)$$

【避難場所別自家用車台数】

$$= \text{【避難場所別自家用車選択世帯数】} \times \text{【世帯当り自家用車利用台数】} \quad \dots(8)$$

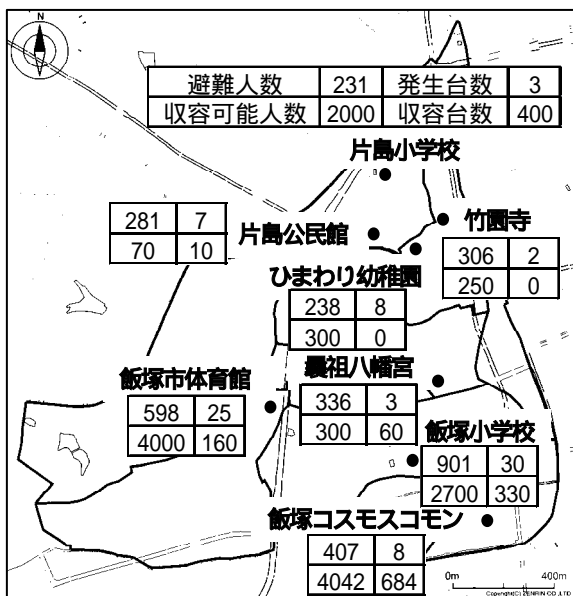


図-3 避難時に発生する避難人数と自家用車台数

5. 避難者への避難場所提案

全ての避難世帯を避難場所の収容可能人員内で避難させるために、避難者を誘導し、避難場所の提案を行う。また、徒歩避難者を優先的に避難させるので、徒歩避難者、自家用車避難者の順に振り分ける。ここで、徒歩避難者はロジットモデルによって推定された徒歩避難者に対して振り分けることとする。振り分ける際の条件として、全ての避難世帯が避難する際の各避難時間の合計値を最小とする。自家用車避難者も同様に、ロジットモデルによって推定された自家用車避難者に対して、徒歩避難者の振り分け後に、残りの収容可能人員、自動車収容台数を考慮して振り分ける。

避難者を振り分けた結果、各避難場所の収容可能人員、自動車収容台数ともに、許容量内に収まっており、条件を満たしている。また、自家用車を利用して避難する場合に、最適な避難場所を図-4 に示す。

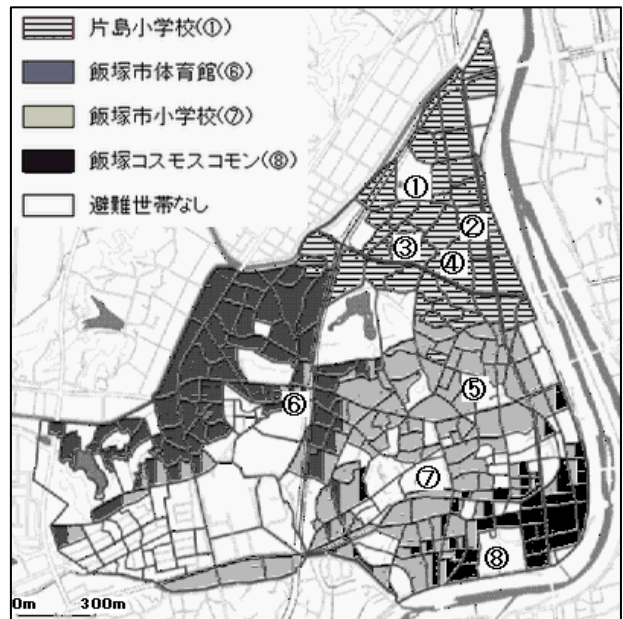


図-4 自家用車避難者への避難場所提案

6. 結論

外水氾濫時の避難場所選択および避難手段選択モデルを構築し、外水氾濫時に発生する避難人数および自家用車台数を推定した。推定結果の避難人数と避難場所の収容可能人員を比較すると、竹園寺が 56 人、片島公民館が 211 人、曩祖八幡宮が 36 人の超過となった。また、各避難場所の自家用車台数を推定した結果、竹園寺で 2 台、ひまわり幼稚園で 8 台の自家用車が、避難場所の収容可能台数を超過する結果となった。これより、住民の自主避難では避難場所の収容が困難となる可能性があることがわかった。そこで、全ての避難世帯を避難させるために、避難者を振り分け、避難場所の提案を行った。その結果、各避難場所の収容可能人員、自動車収容台数ともに許容量内に収まり、ロジットモデルの推定結果による避難場所の許容量超過の問題を改善することができた。そして、この得られた結果をもとに、各街区がどの避難場所に避難すればよいか示した図を作成することで、避難者に安全な避難場所を提案することができた。

参考文献

- 1) 飯塚市ホームページ：防災マップ，旧飯塚地区
- 2) 明田修 他：GIS を用いた洪水氾濫時避難行動解析システムの開発，第 15 巻，第 1 号，2007
- 3) 菊池広顕：洪水避難に関わる情報提供とその住民理解に関する研究，神戸大学，2008
- 4) 中山大地 他：洪水氾濫シミュレーションに基づく避難経路の歩行可能評価，地学雑誌 Journal of geography，2007
- 5) 黒木隆：内水氾濫時における住民の避難行動について，平成 20 年度土木計画学研究論文，2008