

# 水害時の避難行動モデルの推定 ～常願寺川大洪水を対象として～

吉本 寛之<sup>1</sup>・藤生 慎<sup>2</sup>・高山 純一<sup>3</sup>・中山 晶一朗<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 金沢大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: ptfmu@gmail.com

<sup>2</sup> 正会員 金沢大学助教 理工研究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

<sup>3</sup> フェロー 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

<sup>4</sup> 正会員 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

東日本大震災以降、地震によるリスクが増加している近年において、防災・減災対策の重要性は増している。1858年に富山県で発生した飛越地震による土石流災害は常願寺川の扇状地に甚大な被害をもたらしたが、現在においてそのような災害が発生した場合、防災対策が進んだ現在の社会であれば被害を最小限に抑えることは可能であると考えている。しかしハード面の対策だけでは限界があり、実際に「避難」の段階まで必要となるレベルまでの災害が起きた場合、被害を抑えるためには住民による協力が必要不可欠である。避難する住民と避難しない住民ではどういった違いがあるのか。本研究では広域的な避難計画の作成支援を目標にアンケート調査から避難行動モデルを構築し、感度分析を行い、避難確率を算出した。

**Key Words :** Flood disaster, Evacuation, Evacuation behavior model, Questionnaire survey

## 1. はじめに

富山県は、立山などの高山に囲まれているため、山岳部から流れる河川は急流である場合が多く、富山平野をはじめ、射水、高岡などの地域の地形は扇状地となっている。黒部川、常願寺川、神通川、庄川、小矢部川は国が管理する一級河川に指定されており、富山県の五大河川と呼ばれ、全国でも屈指の急流河川である。このいずれかの河川が氾濫した場合、扇状地内の地域にはその地形ゆえ、氾濫流が放射状に流れることになる。<sup>1)</sup>

常願寺川は源流から河口までの約3000mの標高差に対して長さ56kmと非常に急流な河川として有名である。1858年4月9日、マグニチュード7.0~7.1と推定される飛越地震が起き、立山連峰の鳶山が山体崩壊を起こした。鳶山には大鳶山と小鳶山のふたつのピークがあったが、山体崩壊により大鳶山と小鳶山は完全に消滅し、立山カルデラに大量の土砂が流れ込んだ。

崩壊土砂量は全量で4.1億立方メートルと推定され、地震性の山体崩壊として、判明している分では有史以来日本最大規模のものである。流れ込んだ土砂によってできた堰止湖が決壊、常願寺川が大氾濫を起こし、死者140名にもいたる大災害が発生している。その後も土砂の流出で度々土砂災害が発生しており、立山カルデラでは現在も砂防工事が行われている。カルデラ内に残存している土砂の量は21世紀初頭の時点で約2億m<sup>3</sup>、これは仮にすべて流出したとすると富山平野が厚さ2mの土砂で覆われてしまう程の量である。<sup>2)</sup>

前述した通り、常願寺川の河道は現在改修途上であり、洪水を安全に流せる能力は依然として十分でない。そのため、現在の河道で流すことのできる限界以上の洪水が発生すれば、いたる所で堤防の決壊が予想される。計画上の河道が完成したとしても計画を上回る洪水は自然を相手にしている限り発生する可能性があり、破堤に備えた対策を常に考えておくことが必要である。



図2-1 アンケート内SP調査の例

本研究では、まず住民の防災意識や洪水が起きたと仮定したときの避難行動などを問うアンケート調査を行い、過去に大きな土砂災害にみまわれた富山市に住まう市民の防災意識・基礎情報・避難行動の調査から、二項ロジットモデルを用いた水害時の避難行動モデルを推定した。ロジットモデルを構築し、富山市の洪水時の避難要因を明らかにすることを目的とした。

## 2. アンケート調査

### 2.1 概要

本研究で行ったアンケートの調査票は、大きく分けてSP調査、個人属性・防災意識を問う項目の2つで構成されている。主に以下の2つのことを調査するためにアンケートを実施した。

#### ① SP調査

避難選択行動モデルを作成するにあたり、常願寺川が氾濫したと仮定した際の避難行動を問い、どのような状況になると住民は避難を開始するのか、または避難しないのかなど避難選択行動モデルの作成に必要な要因の調査のために行った。詳しい内容としては、常

願寺川の氾濫を想定したときの避難準備情報、避難勧告、避難指示、常願寺川氾濫時と各々の段階ごとに避難行動を問う項目、「平成の鳶崩れ」<sup>3)</sup>と称した北陸地方整備局立山砂防工事事務所企画の土砂災害を想定したときの避難行動を問う項目で構成した(図2-1)。

#### ② 個人属性・防災意識調査

個人属性については回答者の年代や性別など、防災意識については過去に大規模な土砂・洪水災害がみまわれた地域の住民に対して、今現在、常願寺川の洪水・氾濫へどの程度の関心があるのかなど調査した。

総配布部数は4000部、無作為抽出で配布を行い、回収率は11.0%となった。

### 2.2 対象地域

アンケート調査を行う対象地域は常願寺川の浸水想定区域を参考に選定した。選定理由は、1858年に起きた鳶崩れが要因である土砂災害の被害区域であり、現在の常願寺川の浸水想定区域にも該当していることとした。浸水想定区域の範囲は比較的広いが、常願寺川からの距離が違うこととその影響で住民の意識に違いがあるのではないかと予想される。常願寺川の浸水想定区域を図2-1に示す。

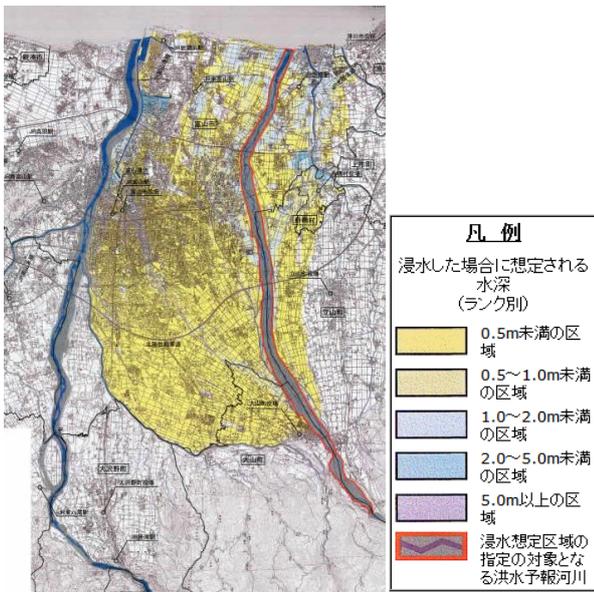


図 2-1 常願寺川の浸水想定区域図<sup>4)</sup>

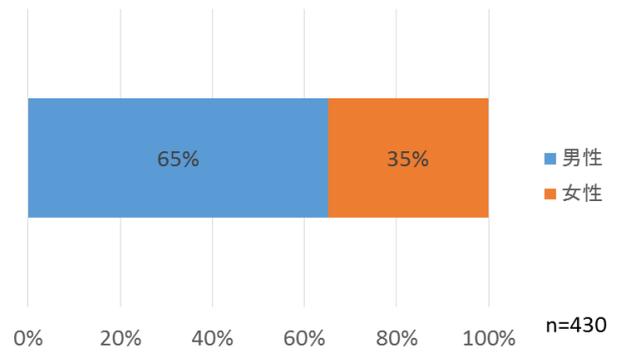


図 3-1 性別の割合

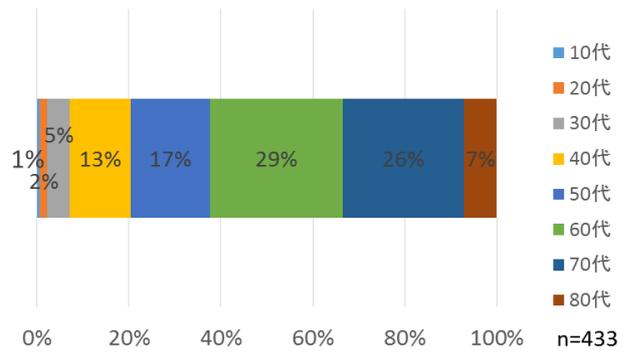


図 3-2 年代の割合

### 3. アンケートの基礎集計

#### 3.1 回答者の属性・防災意識に関する質問の割合

ここでは、今回行った避難行動モデルの推定で使用した質問項目の集計のみを示す。まずはアンケート回答者の性別の割合を図 3-1 に示す。男性が約 7 割を占め、若干偏りを見せた。次に回答者の年代の割合を図 3-2 に示す。10~40 代の割合より、50~80 代の中高年・高齢者で 8 割を占める結果となった。次に、富山市の洪水ハザードマップ（以下洪水 HM と記述する）を知っているか（図 3-3）、また、見たことあるか（図 3-4）、洪水 HM における自分の住む地域・勤務先がある地域の予想浸水深確認の有無（図 3-5）、洪水 HM における自分が避難すべき避難所の位置やそこまでの経路確認の有無（図 3-6）と、洪水 HM についての質問の集計結果を示す。これを見ると洪水 HM の認知度は低いわけではないことが伺える。ただ、避難所の位置は確認したが、予想浸水深など予想される被害の規模を確認する者は 5 割という結果になっている。これは浸水の様子を考えると、平面・二次元としては見るが、立体・三次元としてはあまり見られないためではないだろうか。浸水深をわかっていないと、垂直避難で良いのかなどの判断がしにくいため、浸水深に注目することも重要である。

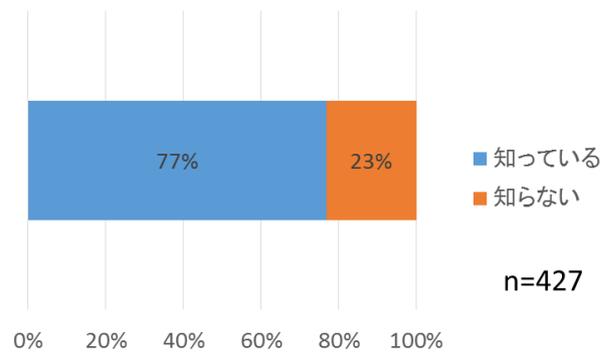


図 3-3 「洪水 HM を知っている人」の割合

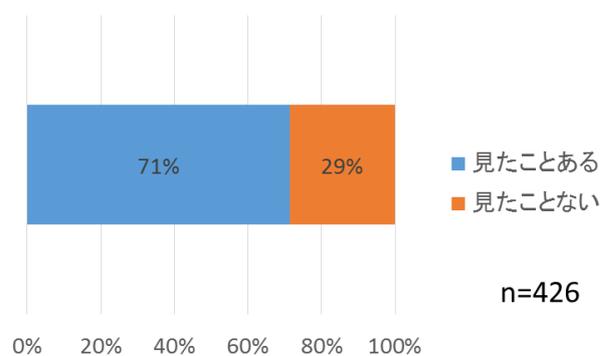


図 3-4 「洪水 HM を見たことある人」の割合

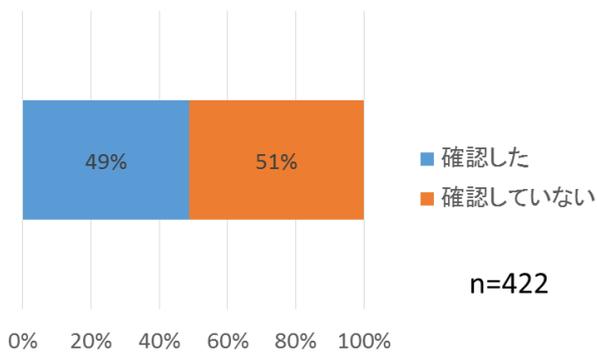


図 3-5 「洪水 HM における自分の住む地域・勤務先がある地域の予想浸水深確認の有無」の割合

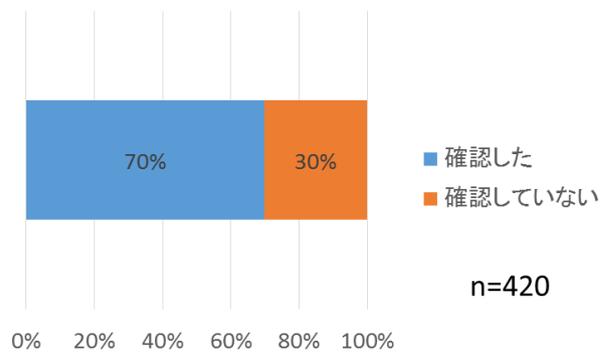


図 3-6 「洪水 HM における自分が避難すべき避難所の位置やそこまでの経路確認の有無」の割合

最後に、例として 2014 年 8 月に広島県広島市で発生した住宅地を巻き込む土砂災害など、近年このような災害が報道される中、どのように感じたのか危機感を 1~5 の 5 段階評価で回答して頂いた (1 が全く危機感を感じなかった、5 が大変危機感を感じた、を表している.)。その割合を図 3-7 に示す。中間である 3 を除いて考えると、若干ではあるが危機感を感じた人の割合が多いということがわかる。しかしながら、ほぼ半々であるため、危機感の感じ方に偏った結果は見られなかった。

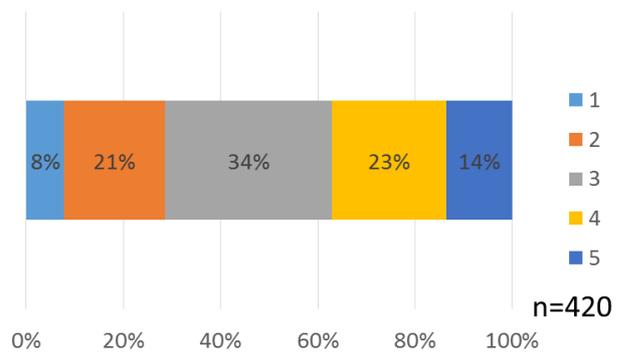


図 3-7 「洪水・土砂災害に対する危機感」の割合

### 3.2 避難行動に関する質問の割合

次に、職場・通学先にいるとき、常願寺川の増水を仮定したとき、その時の避難行動を避難準備情報発令時、避難勧告発令時、避難指示発令時、常願寺川氾濫時 (以下状況 a~d と記述する) にそれぞれ分けて問うた。その時の避難行動の割合をそれぞれ図 3-8~図 3-11 に示す。ここで、「避難する」の割合は「避難所へ避難する」と「建物の上層階へ避難する」の割合の合計である。

図 3-8 の状況 a においては、避難の強制力が低いこと、常願寺川氾濫の危険性がまだ低いことから、「避難する」の割合は半数を下回り、「避難しない」の割合の方が若干高い結果となった。避難の強制力が強い図 3-10 の状況 c でさえ、「避難しない」の割合は 18% であった。図 3-11 の状況 d は、常願寺川が氾濫している状況であるために、建物の上層階へ避難すると答えた人の割合は大幅に増加し、「避難する」の割合が

高まったと推察できる。

続いて、今度は職場ではなく自宅にいるときの場合に着目した。同様に状況 a~d の 4 つに状況を分けて問うた。避難行動の割合をそれぞれ図 3-12~図 3-15 に示す。職場の場合と自宅の場合を比較してみると、結果としてはあまり大きな違いは見られないが、注目する点が 1 つある。図 3-14 の状況 c、つまり避難指示発令時の状況において職場にいる場合での「避難する」と回答した人の割合より、自宅にいる場合での「避難する」と回答した人の割合の方が高くなっていることがわかる。これは職場にいる場合を考えたとき、職場の建物は頑丈かつ階数が多いために避難しない人と答えた人の割合が高くなっているのではないだろうか。下手に職場の建物を離れるより、頑丈である建物の中にといたいと考えるのは一般的であるといえる。

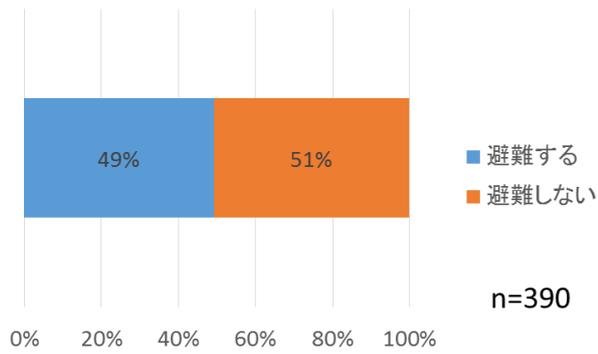


図 3-8 状況 a 時の避難行動の割合 (職場)

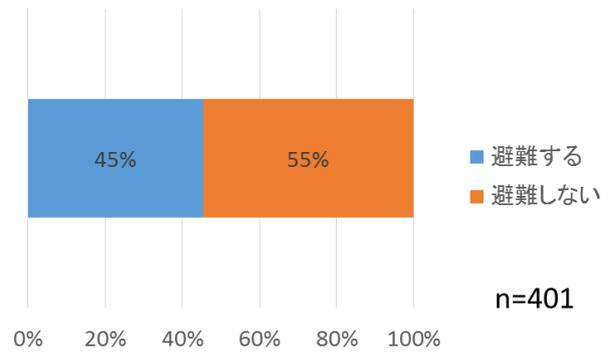


図 3-12 状況 a 時の避難行動の割合 (自宅)

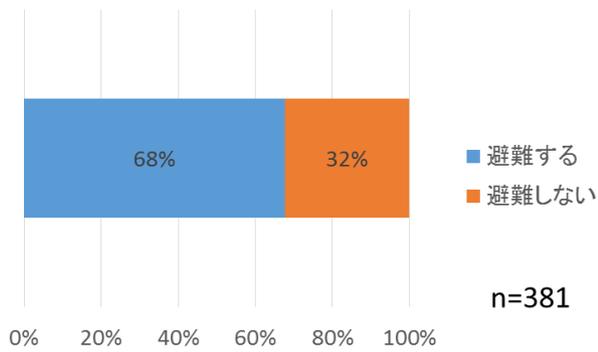


図 3-9 状況 b 時の避難行動の割合 (職場)

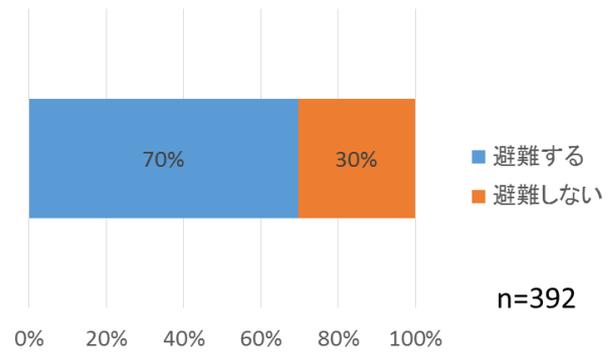


図 3-13 状況 b 時の避難行動の割合 (自宅)

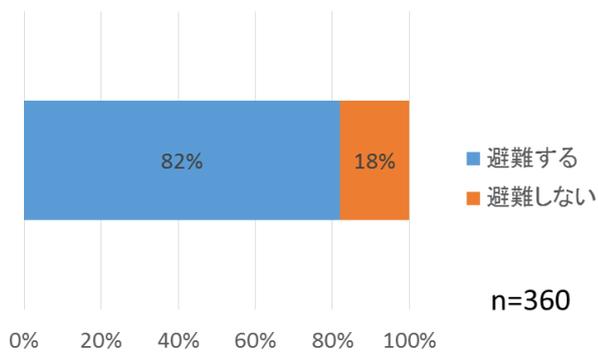


図 3-10 状況 c 時の避難行動の割合 (職場)

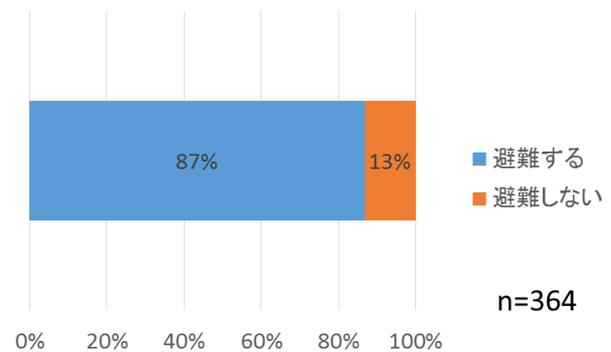


図 3-14 状況 c 時の避難行動の割合 (自宅)

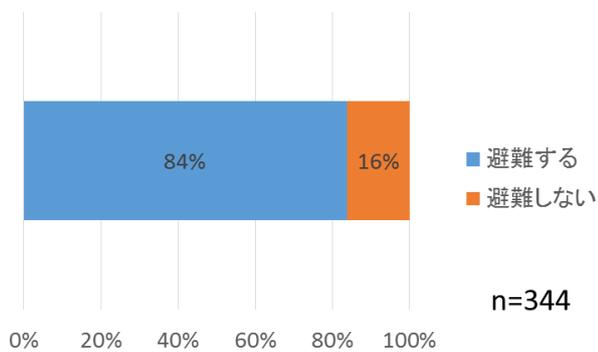


図 3-11 状況 d 時の避難行動の割合 (職場)

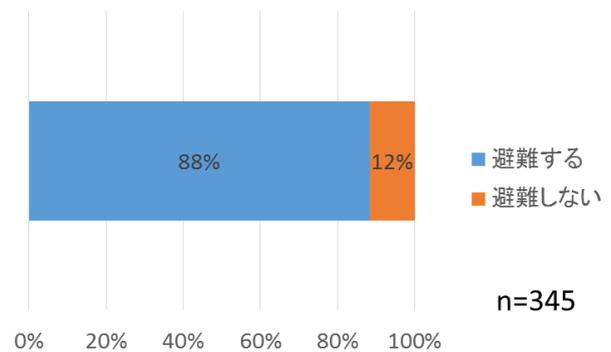


図 3-15 状況 d 時の避難行動の割合 (自宅)

#### 4. 避難行動モデルの推定

住民の避難選択行動の要因を明らかにするために、アンケートを通じて得られた質問項目を変数としたバイナリーロジットモデルを構築した(式(1))。住民の避難選択行動の要因となり得ると考えた変数は、「洪水・土砂災害に対する危機感」、常願寺川の増水を仮定し、「避難準備情報発令時・避難勧告発令時・避難指示発令時・常願寺川氾濫時と状況を分けたときの避難行動」、「洪水 HM は既知であるか」、「洪水 HM は既見であるか」、「洪水 HM における自分の住む地域・職場の地域の予想浸水深確認の有無」、「洪水 HM における自分が避難すべき避難所確認の有無」、「年代」、「性別」である。

$$p = \frac{1}{1 + \exp\{-(b_0 + b_1x + \dots + b_nx)\}} \quad (1)$$

p: 確率, x: 説明変数, b: パラメータ

「洪水・土砂災害に対する危機感」、「避難準備情報発令時・避難勧告発令時・避難指示発令時・常願寺川氾濫時と状況を分けたときの避難行動」、「洪水 HM を知っているか」、「洪水 HM を見たことあるか」、「洪水 HM における自分の住む地域・職場の地域の予想浸水深確認の有無」、「洪水 HM における自分が避難すべき避難所確認の有無」、「年代」、「性別」を説明変数に持った避難行動モデルが推定された。表 4-1～表 4-8 のパラメータを式(1)に代入したものが住民の避難行動モデル式となり、各変数に数値を代入することで、現状での避難確率が算出される。変数の有意性から自宅・職場からの避難はともに、「年代」の影響が大きく、職場からの避難は「危機感」の影響が大きいということがわかった。また、自宅・職場からの避難における状況 d 時での避難行動には「危機感」がさほど影響していない。これは、状況 d、つまり常願寺川が氾濫しているという状況というのは、災害に対する危機感の感じ方とは関係なく、「必ず避難しなければいけない状況」下であるためと考えられる。表における

表 4-1 状況 a 時の避難行動モデル (職場)

職場 変数	避難準備情報発令時		
	パラメータ	平均	有意性
年齢	-0.04	-	***
性別	0.64	-	***
ハザード知っているか	-0.29	-	
ハザード見たことあるか	-0.23	-	
浸水深は確認したか	0.48	-	*
避難所は確認したか	-0.12	-	
危機感	-0.36	3.14	***
定数項	2.96	-	***
的中率	61%		

表 4-2 状況 b 時の避難行動モデル (職場)

職場 変数	避難勧告発令時		
	パラメータ	平均	有意性
年齢	-0.02	-	**
性別	0.61	-	**
ハザード知っているか	-0.14	-	
ハザード見たことあるか	-0.15	-	
浸水深は確認したか	0.15	-	
避難所は確認したか	0.15	-	
危機感	-0.39	3.14	***
定数項	1.17	-	
的中率	65%		

表 4-3 状況 c 時の避難行動モデル (職場)

職場 変数	避難指示発令時		
	パラメータ	平均	有意性
年齢	-0.01	-	
性別	0.91	-	***
ハザード知っているか	0.44	-	
ハザード見たことあるか	-0.44	-	
浸水深は確認したか	0.11	-	
避難所は確認したか	0.25	-	
危機感	-0.45	3.14	***
定数項	-0.56	-	
的中率	81%		

表 4-4 状況 d 時の避難行動モデル (職場)

職場 変数	常願寺川氾濫時		
	パラメータ	平均	有意性
年齢	-0.03	-	***
性別	0.18	-	
ハザード知っているか	-0.38	-	
ハザード見たことあるか	0.36	-	
浸水深は確認したか	-0.10	-	
避難所は確認したか	0.18	-	
危機感	-0.23	3.14	
定数項	0.48	-	*
的中率	83%		

\*:「有意性」とは\*\*\*が 1%有意, \*\*が 5%有意, \*が 10%有意を表している。

表 4-5 状況 a 時の避難行動モデル (自宅)

自宅 変数	避難準備情報発令時		
	パラメータ	平均	有意性
年齢	-0.04	-	***
性別	-0.10	-	
ハザード知っているか	-1.12	-	**
ハザード見たことあるか	0.36	-	
浸水深は確認したか	0.50	-	
避難所は確認したか	-0.03	-	
危機感	-0.39	3.14	***
定数項	3.91	-	***
的中率		66%	

表 4-6 状況 b 時の避難行動モデル (自宅)

自宅 変数	避難勧告発令時		
	パラメータ	平均	有意性
年齢	-0.02	-	**
性別	-0.33	-	
ハザード知っているか	-0.02	-	
ハザード見たことあるか	-0.14	-	
浸水深は確認したか	0.31	-	
避難所は確認したか	0.26	-	
危機感	-0.29	3.14	**
定数項	1.17	-	
的中率		67%	

表 4-7 状況 c 時の避難行動モデル (自宅)

自宅 変数	避難指示発令時		
	パラメータ	平均	有意性
年齢	-0.03	-	**
性別	-1.03	-	**
ハザード知っているか	1.10	-	
ハザード見たことあるか	-0.65	-	
浸水深は確認したか	-0.52	-	
避難所は確認したか	0.76	-	*
危機感	-0.24	3.14	
定数項	1.18	-	
的中率		86%	

表 4-8 状況 d 時の避難行動モデル (自宅)

自宅 変数	常願寺川氾濫時		
	パラメータ	平均	有意性
年齢	-0.03	-	*
性別	-0.44	-	
ハザード知っているか	0.28	-	
ハザード見たことあるか	0.20	-	
浸水深は確認したか	-0.96	-	*
避難所は確認したか	0.52	-	
危機感	-0.16	3.14	
定数項	0.66	-	
的中率		88%	

\*:「有意性」とは\*\*\*が 1%有意, \*\*が 5%有意, \*が 10%有意を表している。

## 5. 避難行動モデルを用いた感度分析

本章では、前章において推定された住民の避難行動モデルを用い、年齢を変化させ、性別別に感度分析を行った。以下、図 5-1~5-4 が職場からの避難の場合、図 5-5~5-8 は自宅からの避難の場合の感度分析の結果をグラフで表したものである。

自宅からの避難の場合では女性より男性の避難確率のほうが高いが、職場からの避難の場合では男性より女性の避難確率のほうが高いという結果になった。また、自宅から・職場からの避難ともに、状況 a の時点では避難確率が低い。これは、多くの人が状況 a の時点では、避難する必要性を感じていないためであると考えられる。さらに自宅から・職場からの避難に共通しているのが高齢になるにつれ、避難確率が高くなっているという点である。これは非常に重要なデータであり、高齢者の方々は洪水からの避難を重要視していると考察できる。

今回の感度分析では、「洪水 HM を見たことあるか」、「洪水 HM を知っているか」、「洪水 HM における自分の住む地域・職場の地域の予想浸水深確認の有無」、「洪水 HM 自分が避難すべき避難所確認の有

無」、を 1 に、「洪水・土砂災害についての危機感」を平均値である 3.14…に固定して行ったため、今後はそれぞれの説明変数を変えた感度分析を行いたいと考えている。

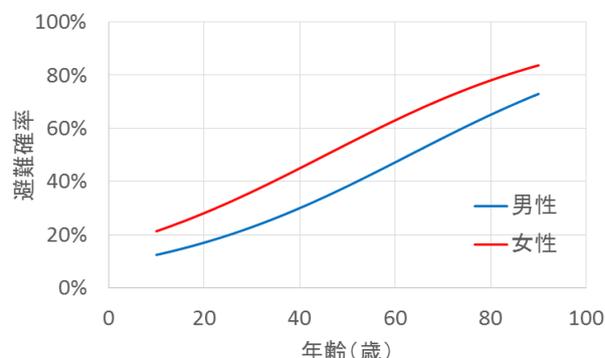


図 5-1 状況 a 時の避難確率 (職場)

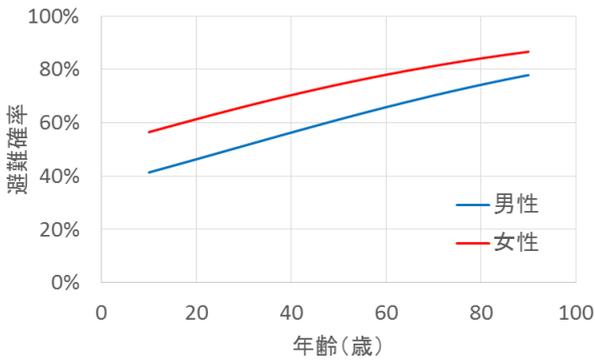


図 5-2 状況 b 時の避難確率 (職場)

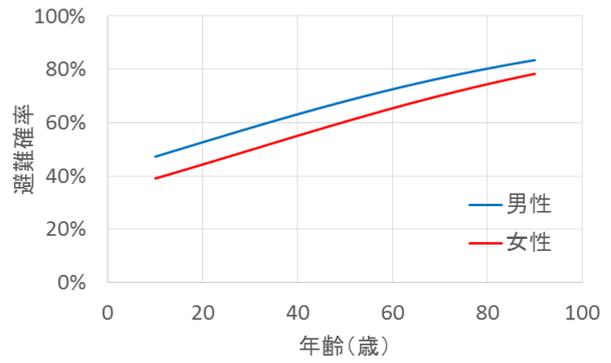


図 5-6 状況 b 時の避難確率 (自宅)

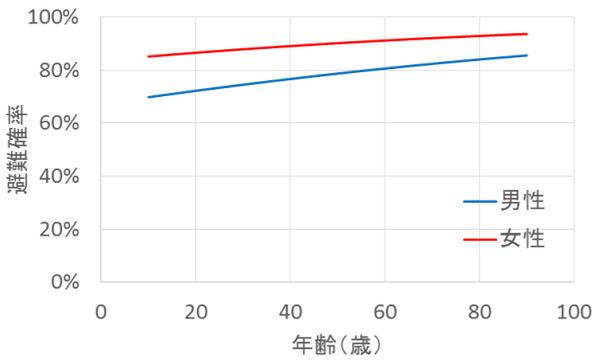


図 5-3 状況 c 時の避難確率 (職場)

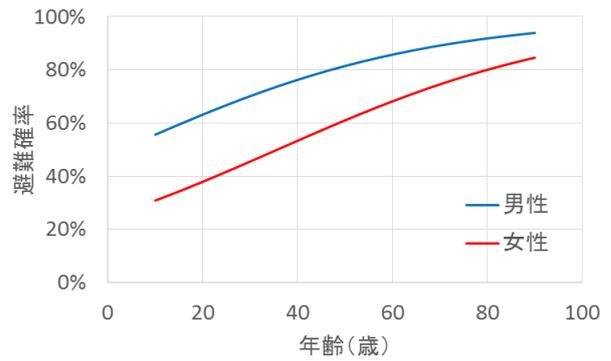


図 5-7 状況 c 時の避難確率 (自宅)

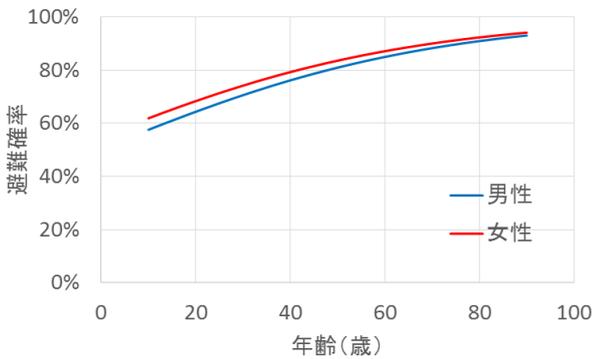


図 5-4 状況 d 時の避難確率 (職場)

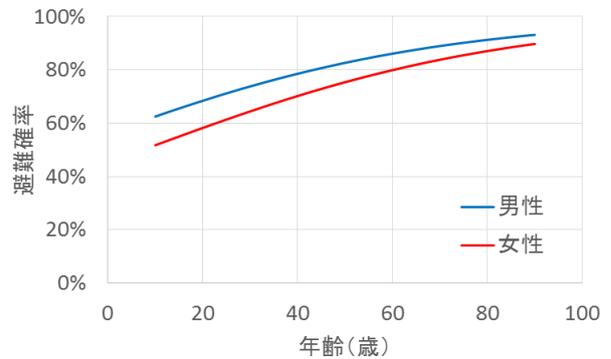


図 5-8 状況 d 時の避難確率 (自宅)

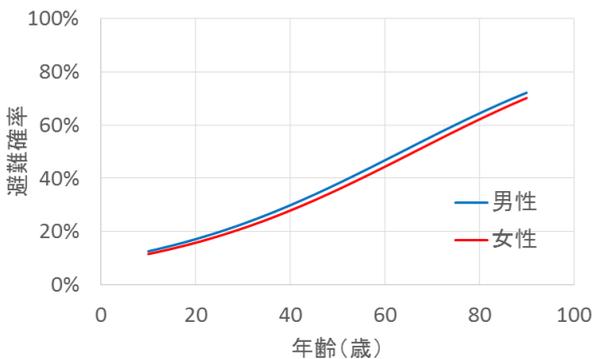


図 5-5 状況 a 時の避難確率 (自宅)

## 6. まとめと今後の課題

アンケート調査においては、富山市民の現状意識・属性などの貴重なデータを得ることができた。ここで載せることができた内容はかなり少ないものになってしまったが、その他の設問において得られたデータも有意性が高いと考えられるため、今後研究を進める上で活用したい。

アンケート調査から得られた回答を用いて避難行動モデルの推定を行った。変数の有意性から自宅・職場

からの避難はともに、「年代」の影響が大きく、職場からの避難は「危機感」の影響が大きいということがわかった。また、自宅・職場からの避難における状況d時での避難行動には「危機感」がさほど影響していない。これは、状況d、つまり常願寺川が氾濫しているという状況というのは、災害に対しての危機感の感じ方とは関係なく、「必ず避難しなければいけない状況」下であるためと考えられる。

4章で載せた避難行動モデルを用いて、感度分析を行った。年代が上がるにつれ、避難確率が上がるというデータを得ることができた。また、年代の高い層の方は状況aの段階においても避難確率が高い。

今後は今回構築した避難行動モデルを反映させてAimsun（交通流シミュレーション）で避難シミュレーションを行い、市民の避難行動とその対策を検討する。また、今回推定した避難行動モデルの精緻化に加え、避難手段の選択モデルを推定し、水害からの避難行動を総合的に表現するモデルを構築する。さらに、これら水害の場合だけでなく、「平成の鳶崩れ」と称した北陸地方整備局立山砂防工事事務所企画で想定する土砂災害にも適応できるかを検討する。

## 7. 参考文献

- 1) 平成24年度 富山県大学連携協議会公開講座 (2015/04/20)  
[http://www.nihonkaigaku.org/library/university/2012\\_2.html](http://www.nihonkaigaku.org/library/university/2012_2.html)
- 2) 鳶山崩れ-wikipedia- (2015/4/20)  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%B3%B6%E5%B1%B1%E5%B4%A9%E3%82%8C>
- 3) 国土交通省 北陸地方整備局 立山砂防事務所 『平成の鳶崩れに備える』防災訓練パンフレット
- 4) 国土交通省 北陸地方整備局 富山河川国道事務所 (2015/4/20)  
<http://www.hrr.mlit.go.jp/toyama/k00110.html>

Estimation of evacuation behavior model during flood disaster  
- A case study of large scale flood disaster in Joganjigawa River -

Hiroyuki YOSHIMOTO · Makoto FUJII · Junichi TAKAYAMA · Syoichiro NAKAYAMA

Since the Great East Japan Earthquake, the risk of earthquake has been increasing, and then disaster prevention and mitigation measures are important. A large scale flood disaster by Hietsu earthquake occurred in Toyama Prefecture in 1858. Moreover, Toyama prefecture was affected extensive damage by flood inundation of Jyoganjigawa River. Not only measures of hard side but also cooperation of citizen is essential to decrease of flood damage. In this study, evacuation behavior models were estimated using the results of the questionnaire survey under SP conditions. Moreover, we calculated evacuation probability in each conditions by the sensitive analysis.