

VR を用いた率先避難者の有効性の検討

藤村 幸大¹・藤見 俊夫²

¹学生会員 熊本大学 自然科学教育部土木建築学専攻

E-mail: 185d8361@st.kumamoto-u.ac.jp

²正会員 熊本大学准教授 くまもと水循環・減災研究教育センター(〒860-8555 熊本市中央区黒髪2丁目
39番1号)

E-mail: fujimi@kumamoto-u.ac.jp

避難は災害リスクを回避するために非常に効果的かつ最適な措置だと言える。しかしながら、多くの人は避難しない傾向にあり、避難勧告や避難指示といった情報に従っていないことが言える。これは、危険な状況に曝された時、それを危険だと認識しないようにする「正常性バイアス」の影響を受けている可能性が考えられる。この正常化の偏見を緩和し、人々の避難を促進させる存在として「率先避難者」という概念が片田ら(2006)によって提唱されている。率先避難者は災害のリスクが高まっている時に、より早く避難を開始し、隣近所に声を掛けながら避難を促します。本研究では、仮想現実(VR)を用いた実験を行い、率先避難者の有効性を検討した。VR実験では、洪水のリスクが高い状況で率先避難者がいる場合とそうでない場合の映像を提示し、被験者が避難しようと考えた時、映像開始からの時間を記録した。また、実験後には災害に対する簡単なアンケートを行った。実験の結果、率先避難者が避難を促していることが統計的に有意であることが明らかになった。また、回帰分析においては、災害を経験した人や日頃から災害に危機感を感じている人は、率先避難者の効果が高いことが分かった。

Key Words: *Leading Evacuees, Virtual reality, storm disaster, overflow*

1. はじめに

(1) 背景

近年平成26年8月豪雨や平成27年9月関東・東北豪雨のような豪雨災害時において甚大な被害が発生しており、避難行動の遅れが指摘されている¹⁾。平成29年7月の九州北部豪雨では、3水系(遠賀川、筑後川、山国川)で洪水が発生し、死者37名行方不明者4名の人的被害が発生した。今後の最大日降水量においては概ね1から1.5倍程度増加傾向にある²⁾と国土交通省によって発表されており、今後も豪雨災害対策が求められる。豪雨災害における被害の発生要因には、土石流に巻き込まれる、家屋損壊による圧死、溺死などが挙げられ、このような被害は逃げ遅れによっても発生することがある。その逃げ遅れが発生する原因についても様々な要因が挙げられるが、本研究では「避難しなくても大丈夫だろう」のような過信によって発生する逃げ遅れに着目する。

(2) バイアスと率先避難者

過信による逃げ遅れは人間の心の癖によって発生しており、そのうちの一つに正常性バイアスがある。韓国にお

いて2003年2月18日に地下鉄で火災が発生し、煙が充満しつつある車内で乗客は逃げようとせず座ったままだったため、約200人の人命を失った。このように正常性バイアスは異常事態を正常な範囲内と捉えることによって、災害時に人的被害をもたらすものである。2つ目のバイアスとして、迷ったときに周りの人と同じ行動を選択するという同調性バイアスがあり、これは周りの人が避難行動を取れば自分も避難し、周りの人が避難をせずに様子を見ていれば自分も避難をしないというバイアスである。この同調性バイアスは前者のように周りの人が避難をする状況において正常性バイアスを克服することができる。つまり、避難しなくても良いと考えている人が、周りの避難者を見て同じ行動を取れば逃げ遅れることは避けられるということだ。

以上のような考えを利用した避難方法として率先避難者がある。これは片田ら³⁾によって提唱された考え方であり、「地震発生後に隣近所に声をかけながら、とにかく早く避難を開始する人」と定義されている。

(3) 目的

率先避難者の先行研究は災害後調査によるものが多く、実験によって有効性を検証した研究は多くない。これは災害が突発的であり実空間での再現が困難であることや、率先避難者の有無を作り出すための政策介入が倫理的に困難であることなどの理由から実験が困難であるためだと言える。そこで、仮想現実（以下、VR）に着目し、この VR を用いて災害時を再現する事にした。VR で災害を再現することは、多様な条件で率先避難者の有効性を検討することができる上に、被験者全員が同一の条件で実験が行える利点がある。以上より本研究では VR を用いて被験者実験を行うことにより以下の 3 つについて検証を行い、率先避難者の有効性を検討することを目的とする。

- ① 率先避難者がいることにより、被験者の避難開始時間が早くなるか
- ② 率先避難者はどのような条件のもとで効果が高まるか
- ③ 率先避難者の効果は被験者の個人特性により異なるか

①を検証するために、VR 上において率先避難者がいる状況といない状況を設定し、それぞれを被験者にランダムに割当てて避難開始時間を比較する。率先避難者のいる状況のほうが避難開始時間が統計的に有意に短ければ、率先避難者の効果があると判断できる。また、逆に言えば、VR 上でも率先避難の効果が検証可能であることも意味する。②については、率先避難者のいる VR での環境を変化させ、どのような状況のもとで率先避難者がより効果的になるかを検討する。本研究では、河川の増水状況が見える環境であるかどうかに関心を当てる。③については、率先避難者の効果は人によって異なると考えられるため、どのような個人属性が効果を高めるかについて明らかにする。

2. 被験者実験

(1) シナリオ

本研究では表 2-1 に示す 4 つのシナリオを作成した。全シナリオに共通して設定している事項は、雨量、河川の増水の速さ、防災行政無線であり、氾濫は映像の開始から約 110 秒で堤防から溢れ出るようにしている。また、防災行政無線は映像開始から 30 秒後に流れるようにしており、内容は「当地域に大雨洪水警報がきました。今後の気象情報に注意してください。」というものである。これは、

表 2-1:シナリオ

	増水状況	率先避難者	有効サンプル数
基準シナリオ	×	×	5
増水視認シナリオ	○	×	16
率先視認シナリオ	×	○	5
増水・視認シナリオ	○	○	22

被験者に大雨が発生しており洪水の恐れがあることを知らせることが目的であり、避難指示のための放送ではない。

各シナリオの条件は増水が見えず、率先避難者がいない基準シナリオ（図 2-2）を基準として、率先避難者の有り無し、増水状況が見えるか見えないかを変化させている。まず基準シナリオは、増水が見えない状況で、率先避難者がいない設定である。このシナリオは現実世界において最も多い場面であり、全く周りの状況が把握できないため被験者実験では最も避難の開始が遅くなると想定される。

次に増水視認シナリオ（図 2-3）は、増水が見える状況で率先避難者がいない設定である。河川沿線の地域ではよく見られる状況であり、被験者実験により、増水状況が見えるだけでどれだけの人が避難を開始するのかを把握することができる。

次に率先視認シナリオ（図 2-4）は、増水が見えない状況で率先避難者がいる設定である。増水状況が見えないために、被験者が取得できる情報は率先避難者が避難をしている様子のみであるため、率先避難者の効果のみを把握することができる。また、次に示す増水・率先視認シナリオの次に避難開始が早いと想定される。

最後に増水・率先視認シナリオ（図 2-5）は、増水が見える状況で率先避難者がいるという設定である。被験者が最も状況を把握しやすい条件であるため、全シナリオの中で最も避難を促しやすい環境であり、被験者実験においては避難開始が最も早いと想定される。

増水視認シナリオと増水・率先視認シナリオの関係や基準シナリオと率先視認シナリオの関係を見ることによって率先避難者が VR 上でも機能するのかを明らかにすることができる。また、基準シナリオと率先視認シナリオは増水が見えないため、単純な率先避難者の効果を明らかにすることができ、増水視認シナリオと増水・率先視認シナリオは増水が見える状況における率先避難者の効果を確認することができる。よって前者の結果と後者の結果を比較することによって、増水が見えるか見えないかでどの程度率先避難者の効果に差異があるのかを明らかにすることができる。

(2) 被験者実験

被験者実験は熊本大学工学部社会環境工学科の学生を対象に実施した。実験の内容は、豪雨を想定した VR 映像を呈示し被験者が避難しようと思った時にボタンを押してもらおうという実験である。被験者がボタンを押した時点で実験開始からの時間を記録するようにしており、この時間を避難開始時間と定義し、避難開始時間をもって率先避難者の効果を考察していく。

(3) アンケート調査

実験後にはアンケート調査を行った。アンケートの内容は被災経験(問1)、防災に対する意識調査(問2,3,4,5)、VR映像を見て避難しようと思ったか(問6,7)、個人属



0秒
河川は見えていないが、水位は低く、水もあまり濁っていない。



70秒
街のある右側を見ても率先避難者は一人も見られない。



40秒
川の水が濁り始め、徐々に水位が上昇し始めるが見えていない。



90秒
川の水位がさらに上昇し、高水敷が完全に隠れてしまうが見えていない。



50秒
増水・率先視認率先視認シナリオでは車が通過するが、基準シナリオでは通過しない。



110秒
水位が堤防の高さを超え、突然水が流れ込む。



60秒
避難を開始する率先避難者はしない、高水敷に水が広がり始めるが見えていない。



120秒
1階の床上浸水になるまで氾濫が進む。

図 2-2：基準シナリオのストーリー



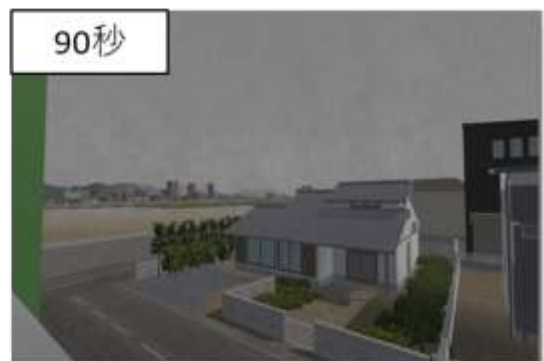
大雨が降っているが川の水位は低く、水もあまり濁っていない。



街のある右側を見ても率先避難者は一人も見られない。



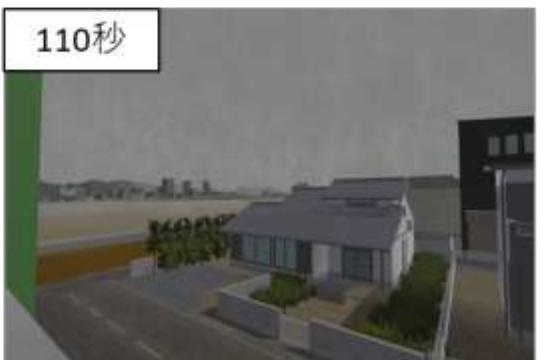
川の水が濁り始め、徐々に水位が上昇し始める。



川の水位がさらに上昇し、高水敷が完全に隠れてしまう。



増水・率先視認率先視認シナリオでは車が通過するが、増水視認シナリオでは通過しない。



水位が堤防の高さを超え氾濫が始まる。

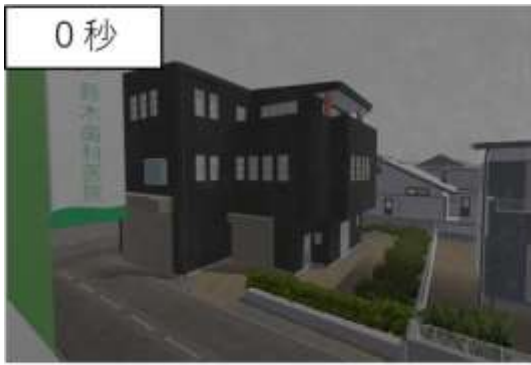


高水敷に水が広がり始める。避難を開始する率先避難者はいない。



1階の床上浸水になるまで氾濫が進む。

図 2-3 : 増水視認シナリオのストーリー



0秒
河川は見えていないが、川の水位は低く、水もあまり濁っていない。開始30秒で防災行政無線が流れる。



70秒
街のある右側を見ると、複数人の率先避難者を確認することができる。



40秒
川の水が濁り始め、徐々に水位が上昇し始めるが見えていない。



90秒
川の水位がさらに上昇し、高水敷が完全に隠れてしまうが見えていない。



50秒
目の前を車が通過する。



110秒
水位が堤防の高さを超え、突然水が流れ込む。



60秒
高水敷に水が広がり始め、率先避難者が避難を開始するが、川の状況は見えていない。



120秒
1階の床上浸水になるまで氾濫が進む。

図 2-4：率先視認シナリオのストーリー



大雨が降っているが川の水位は低く、水もあまり濁っていない。
開始30秒で防災行政無線が流れる。



街のある右側を見ると、複数人の率先避難者を確認することができる。



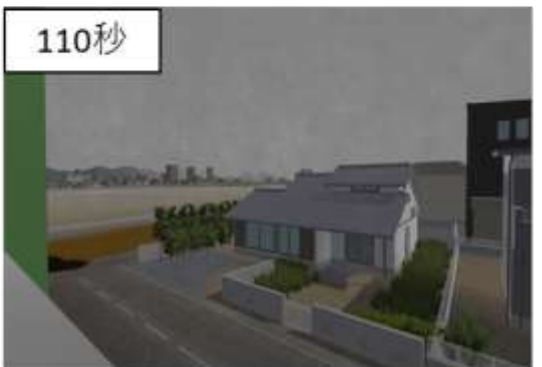
川の水が濁り始め、徐々に水位が上昇し始める。



川の水位がさらに上昇し、高水敷が完全に隠れてしまう。



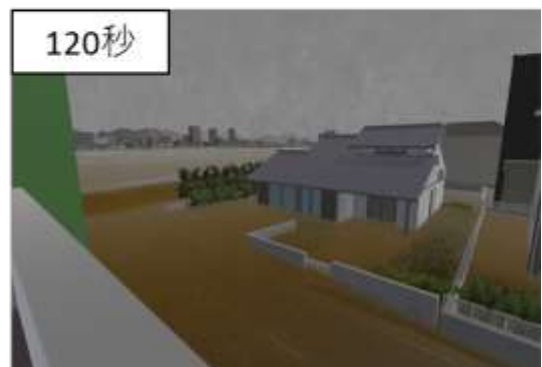
目の前を車が通過する。



水位が堤防の高さを超え氾濫が始まる。



高水敷に水が広がり始めると同時に、率先避難者が走って避難を開始する。



1階の床上浸水になるまで氾濫が進む。

図 2-5 : 増水・率先視認シナリオのストーリー

性 (問 8), 率先避難者を知っているか (問 9) の全 9 問である。アンケートを行う目的は, 率先避難者の効果や避難開始時間と被験者個人の特性になんらかの関係があるかを調べるためである。例えば, ハザードマップを見たことがある被験者は避難開始時間が早いといったことや, 率先避難者の概念を知っている被験者は VR 映像の率先避難者よりも早く避難を開始するのか, といったことである。

3 結果

(1) データ

日程 : 12 月上旬 (プレ実験)
 12 月中旬～1 月上旬 (本実験)
 参加者数 : 15 名 (プレ実験) +61 名 (本実験)
 有効回答数 : 48 名

有効回答数とは VR 映像を見て避難しようと思わなかった被験者のデータや, 実験後アンケートにおいて実験の内容や VR 映像を理解できなかったと回答した被験者のデータを排除したものであり, これを分析に用いるサンプルとする。

表 3-1 には全データと, 率先避難者が避難を開始する 60 秒以降のデータを用いた場合についての結果を示している。60 秒以上のデータを用いる理由としては, 全データを用いた平均避難開始時間を見ると増水が視認できるシナリオにおいて, 率先避難者が出てくる 60 秒よりも数値が小さく, 逃げ遅れに対する率先避難者の効果を見ることができないと考えたからである。平均避難開始時間においては, 全データを用いた場合では増水・率先視認シナリオ, 増水視認シナリオ, 率先視認シナリオ, 基準シナ

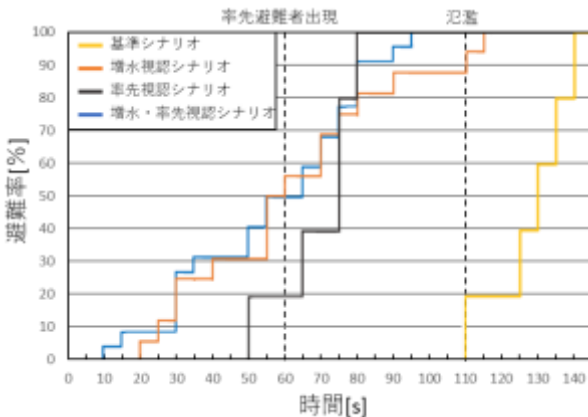


図 3-1 : 避難開始時間と避難率

表 3-1 : 集計結果

	全データ			60秒以降避難者		
	サンプル数	平均避難開始時間[s]	標準偏差	サンプル数	平均避難開始時間[s]	標準偏差
基準シナリオ	5	126.0	9.90	5	126.0	9.90
増水視認シナリオ	16	58.6	27.33	7	83.8	17.81
率先視認シナリオ	5	66.0	9.25	4	70.2	4.53
増水・率先視認シナリオ	22	53.9	23.69	11	74.4	9.07

リオの順に遅くなっており, 60 秒以上のデータを用いた場合では率先視認シナリオ, 増水・率先視認シナリオ, 増水視認シナリオ, 基準シナリオの順に遅くなっている。

図 3-1 より, 増水・率先視認シナリオや率先視認シナリオのような率先避難者を含むシナリオでは最も避難が遅い人でも氾濫が起こる前に避難をしていることが分かる。率先視認シナリオにおいては避難が遅い人でも率先避難者が複数人になったところ (約 75 秒) で避難を開始しており, 氾濫の発生まで避難を開始しなかった被験者はいなかった。一方で率先避難者を含まないシナリオでは“氾濫”が避難トリガーとなっている被験者が多く存在し, 基準シナリオにおいては被験者全員が避難トリガーとして氾濫を挙げている。

(2) 分析結果

a) 平均値の検定

増水状況が見えるシナリオの関係と増水が見えないシナリオの関係のそれぞれにおいて避難開始時間の平均の差が 0 であるという帰無仮説をもとに平均値の検定を行った。その結果 (表 3-2) 増水状況が見えるシナリオ同士においては全データを用いた検定も 60 秒以降避難者の検定も有意な結果は見られず, 平均避難開始時間には差はないという結果となった。よって, 増水状況が見えるシナリオ同士においては率先避難者による有意な差はないと言える。一方で増水状況が見えないシナリオにおいてはどちらの検定においても P 値は有意水準 1% で統計的に有意であり, 平均の差は 0 であるという帰無仮説は棄却される結果となった。これにより増水状況が見えない場面では率先避難者により避難開始時間は早くなるという結果が得られた。

b) 回帰分析

本研究では 2 つの分析を行った。1 つはシナリオの条件に着目し, 説明変数に基準シナリオをベースカテゴリーとして, 増水が見える・率先避難者有り・その両方 (交差項) のダミー変数を用い, 目的変数を避難開始時間として回帰分析を行った。その結果を表 3-3 に示す。

どの説明変数の P 値も有意水準 1% 以下であり統計的

表 3-2 : 平均値の検定結果

	全データ	60秒以降避難者
	P 値 (片側)	P 値 (片側)
(増水・率先視認) と (増水視認)	0.2977	0.1328
(基準) と (率先視認)	0.0000	0.0002
(基準+増水視認) と (率先視認+増水・率先視認)	0.0301	0.0020

に有意な結果となった。増水が見えるというダミー変数においては、負の係数が得られた。同様に、率先避難者に関するダミー変数においても負の係数が得られた。よって、増水が見えず率先避難者のいない場合（ベースカテゴリー）と比較して、増水が見える場合のみ若しくは、率先避難者が存在する場合のみでは避難開始時間は早まっていると言える。しかしながら、交差項（増水が見え、率先避難者が存在する）では正の係数が得られた。

次に行った分析は説明変数に 2 章で示したアンケート項目を用い、目的変数に避難トリガーが率先避難者である場合を 1、それ以外の避難トリガーを 0 としてプロビット分析を行った。Model1,3 では性別や避難経験といった被験者の性格で判断が変わらない項目を説明変数とし、Model2,4 では、被験者個人の性格で判断が変わってくる項目を説明変数とした。その結果（表 3-4）全データと 60 秒以降避難者共に Model1,3 では避難経験が統計的に有意な結果となり、Model2,4 では避難指示が統計的に有意な結果となった。避難経験がある人ほど率先避難者ではない避難トリガーで避難していることになる。一方で、「避難指示が出たときに避難する」と回答した人ほど率先避難者に避難を促されていることが分かる。

5. 考察

(1) 平均値の検定

平均値の検定では 3 章の結果で示したように、増水の見えるシナリオでは率先避難者の効果は確認できなかったが、増水が見えないシナリオでは統計的に有意な結果が得られた。前者において有意な差が見られなかった理由は、実験後に行ったアンケートの避難トリガーから推察することができる。増水が見えるシナリオでは、河川の増水が避難のきっかけになったと回答した被験者が高い割合を占め、率先避難者の効果と河川の増水状況を見ることの効果が交絡した可能性があると考えられる。また、増水を避難トリガーと回答した被験者の多くは高水敷に水が流れ始めた時に危機感が生じており、率先避難者の避難開始と高水敷への浸水が同じ時間に起こるようになっていたために交絡したとも考えられる。その他にも VR では距離感や高さ関係を把握するのが困難なため、堤防の高さや水位を過剰に認識したことで早めに避難を開始したとも考えられる。なお、増水・率先視認シナリオでは

表 3-3：回帰分析の結果

	全データ	60秒以降避難者
増水が見える	-67.41*** (12.26)	-42.20*** (7.42)
率先避難者有り	-59.94*** (15.14)	-55.78*** (8.51)
増水が見え 率先避難者有り	55.24*** (17.06)	46.42*** (10.48)
決定係数	0.465	0.740
自由度調整済み 決定係数	0.429	0.706

()の中は標準誤差を表している
***は有意水準 1%で有意

46%の被験者が避難トリガーとして増水を挙げており、増水視認シナリオにおいては 67%が避難トリガーとして増水を挙げた。

一方で増水状況が見えないシナリオでは避難開始時間に明らかな差があるという結果になったが、これは増水状況が見えないために、周りの状況を把握する材料は率先避難者のみであることが要因だと考えられる。率先視認シナリオの被験者が率先避難者の影響を受けた一方で、基準シナリオでは率先避難者の影響を受けることがないので、氾濫が起こる 110 秒後まで避難を開始せず、結果として有意な差が出たと考えられる。

(2) 標準偏差

4 章で示したように、標準偏差は全データも 60 秒以降避難者も率先視認シナリオが最も小さい結果が得られ、このようになった要因としては、率先避難者の効果により避難が促され、大きく避難が遅れる被験者がいなかったことが考えられる。増水・率先視認シナリオに関しては率先避難者の効果も作用しているが、増水に対する危機感の生じ方に個々の違いがあったため、率先視認シナリオに比べてばらつきが大きくなったと考える。基準シナリオにおいては、平均避難開始時間は最も遅いが避難開始時間が 100 秒以降に集中しているため分散はあまり大きくならなかったと考えられる。一番分散が大きい結果となった増水視認シナリオは、増水のみが避難をするかを決める判断材料であり、その判断基準には個人の違いがあるため最も避難開始時間にばらつきが生じたと考えられる。以上より、率先避難者は避難を促すとともに大きく逃げ遅れることを抑制することができると言える。

(3) 回帰分析

シナリオの条件に着目して行った回帰分析においては全データの結果と 60 秒以降避難者の結果ともに統計的に有意な結果が得られ、ベースカテゴリー（増水が見えず率

表 3-4：プロビット分析の結果

	全データ		60秒以上避難者	
	Model1	Model2	Model3	Model4
性別	0.140 (0.136)		0.145 (0.225)	
避難経験	-0.302** (-2.24)		-0.487** (0.167)	
防災対策		0.048 (0.139)		-0.027 (0.213)
ハザードマップ		0.086 (0.100)		0.176 (0.142)
避難勧告		-0.024 (0.104)		0.018 (0.174)
避難指示		0.301** (0.143)		0.369* (0.196)
サンプル数	48	48	27	27
対数尤度	-26.69	-26.82	-14.76	-15.31
疑似決定係数	0.105	0.100	0.204	0.175

()の中は標準誤差を表している

**は有意水準 5%で有意、*は有意水準 10%で有意

先避難者がいない)と比較して増水が見えることと率先避難者が独立して存在する状況では避難開始時間を縮める結果となったが、両者が相互作用する場合には避難開始時間を遅らせる結果となった。このように交差項で避難時間を早める効果が見られなかった要因としては、情報量が増えたこと等による VR の何らかの特性が関係している、若しくは率先避難者の効果と河川の増水状況を見ることの効果が交絡した可能性が考えられる。

プロビット分析では、避難経験のある人は率先避難者以外の避難トリガーで避難をしており、避難指示が出たときに避難する人は率先避難者で避難を促されていることが言えた。以上より、避難経験のある人は経験のない人に比べて危機感が強いために、河川の増水で避難をした若しくは、率先避難者には流されず自分の経験だけで判断をしたことで、このような結果になったと考えられる。また、「避難指示が出たときに避難する」と回答した人は、外からの情報に影響されやすいと考えられるため、率先避難者に避難を促されやすいという結果になったと言える。

6. まとめ

本研究では、実空間での再現性が困難である自然災害を VR で再現することで 4 つのシナリオを用いた被験者実験を行った。目的の 1 つ目である、率先避難者がいることにより、被験者の避難開始時間が早くなるかについては、平均値の検定やダミー変数を用いた回帰分析の結果より、増水が見えない状況でのみ早くなることが確認できた。増水状況が見えるシナリオにおいて率先避難者の明らかな効果は確認できず、その原因は率先避難者の効果と増水状況が見えることの効果が交絡したためだと考察した。

2 つ目の目的である率先避難者はどのような条件のもとで効果が高まるかについても、増水が見えないシナリ

オにおいて効果が高まることが確認できた。また、増水が見える状況では率先避難者が避難を開始する前に多くの被験者が避難を開始していることから、河川や堤防のデザインを増水状況が分かり易いようにすることで更に避難を促すことができると推察される。

3 つ目の目的である率先避難者の効果は被験者の個人特性により異なるかに対しては、プロビット分析を行い避難経験のある人は率先避難者に影響を受けない傾向にあるのに対して、「避難指示が出たときに避難する」と回答した人は率先避難者に影響を受けることが分かった。

以上より、本研究では率先避難者に関する新たな知見を得ることができ、率先避難者を捉えるツールとして VR は一定の効果があると考える。しかしながら、本研究の課題は、各シナリオのサンプル数が少ないために分析の精度が悪いことであり、今後はサンプル数を増やすことで、正確な率先避難者の効果を研究していく必要がある。また、率先避難者が声を掛けながら避難をしたり、ベランダではなく 1 階からの視点で実験を行ったりと本稿では検討することができなかったシナリオについても実験を行っていくことで、率先避難者が効果的な状況を明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 橋本晴行, 豪雨災害をめぐる災害・減災上の課題について, 社会分析, 43 号, pp.83-96, 2016.
- 2) 国土交通省, 「近年の豪雨災害の発生状況について」
http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/bousai/saigai/kiroku/h2002gouu/gouu.pdf (2018 年 1 月 5 日)
- 3) 片田敏孝, 桑沢敬行, 金井昌信, 細井教平: 地域防災力の向上を目的とした継続的地域研究の実践—三重県尾鷲市における津波防災を事例として—, 平成 17 年度「重点研究課題 (研究助成金)」成果報告書 (災害調査とその成果に基づく Social Co-learning のあり方に関する研究), 添付資料 1, pp.17-18, 2006.

INVESTIGATION OF LEADING EVACUEES USING VR

Kodai FUJIMURA, Toshio FUJIMI

Evacuation seems quite effective and feasible measures to avoid disaster risks. However, many people do not follow evacuation orders and fail to evacuate. This is possibly because they are affected by “normalcy bias” that prevent an individual from recognizing that he is facing dangerous situations., “Leading evacuees” has been proposed by Katada (2006) for mitigating normalcy bias and promoting people to evacuate. The leading evacuees play a predetermined role that they begin evacuation at high risk of disasters and call out evacuation to neighbors. This paper examined the effect of leading evacuee by implementing experiments with virtual reality (VR). In the VR, subjects were asked to make an evacuation decision under high flood risk situation with and without leading evacuees. We recorded their timing of evacuation in the VR and interviewed their attitudes and experiences for disasters. The experiments have revealed that leading evacuees promoted sooner evacuation with statistically significance. With regression analysis, we have found leading evacuees are more effective for people who have experienced a disaster or those who always have concern on disaster risks.