

2015年9月関東・東北豪雨における 鬼怒川洪水時の避難情報及び浸水状況が 住民の避難行動へ及ぼした影響に関する研究

STUDY ON THE INFLUENCE OF EVACUATION INFORMATION
AND INUNDATION ON RESIDENTS' EVACUATION BEHAVIOR,
AT THE TIME OF KANTO-TOHOKU FLOOD DISASTER IN SEPTEMBER, 2015

諸岡良優¹・郷津勝之²・寺井しおり³・布村明彦⁴・山田正⁵・
五十嵐拓実⁶・安田浩保⁷

Yoshimasa MOROOKA, Katsuyuki GOZU, Shiori TERAJ, Akihiko NUNOMURA,
Tadashi YAMADA, Takumi IGARASHI and Hiroyasu YASUDA

¹学生会員 修（工）中央大学大学院理工学研究科（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

²学生会員 中央大学大学院理工学研究科（同上）

³正会員 修（工）中央大学研究開発機構専任研究員（同上）

⁴正会員 工修 中央大学研究開発機構教授（同上）

⁵フェロー会員 工博 中央大学教授 理工学部都市環境学科（同上）

⁶学生会員 修（工）新潟大学大学院自然科学研究科（〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050）

⁷正会員 博（工）新潟大学准教授 災害・復興科学研究所（同上）

Kanto-Tohoku heavy rain brought about overflowing and levee breach in Kinugawa River, and about 40km² areas were inundated in Joso-city, Ibaraki prefecture. Thousands of residents were isolated and about 4,300 people were rescued by helicopter, and the delay of evacuation was pointed out. This study evaluated the relationship between residents' evacuation behavior and a variety of information such as the river related information about river water level and the inundation or the evacuation related information. In order to discuss the methods to use river related risk information for appropriate evacuation, Following contents are conducted. 1) analysis of hearing survey to residents, 2) analysis of inundation expansion by flood simulation, 3) discuss the influence of the disaster information and the inundation situation on residents' evacuation behavior.

Key Words : Flood disaster, Flood and Evacuation simulation, Hearing survey, Kinugawa River

1. はじめに

2015年9月関東・東北豪雨では鬼怒川で溢水と堤防決壊が発生し、茨城県常総市の東部が約40km²にわたって浸水した。その結果、多くの住民が孤立し約4,300人がヘリコプター等で救助され、避難の遅れが問題となった¹⁾。特に鬼怒川の溢水地点及び決壊地点から10kmほど下流の水海道市街地でも多くの住民が避難の遅れにより孤立した点が本水害の特徴である。大槻ら²⁾は本水害時の氾濫解析を行い、鬼怒川の溢水地点及び決壊地点からの氾濫水が常総市内を流れる八間堀川を通じて下流の水海道市街地へ早急に拡がった可能性について指摘している。

また、著者ら³⁾は本水害の被災住民に対するヒアリング調査を実施しており、八間堀川の小規模な氾濫（内水氾濫）が住民の避難行動に影響を及ぼした可能性について指摘している。

本水害時における常総市住民の避難行動の実態については多くの調査^{例え ば 4)}が実施されており、避難行動を開始するきっかけとなった情報についても検証が行われている。つまり、本水害における住民の避難行動の遅れは時空間的に複雑な氾濫水の挙動とともに、錯綜した様々な情報が住民の速やかな避難の意思決定に影響を及ぼしていたのではないかと推測される。

本研究では、著者らが実施した住民へのヒアリング調

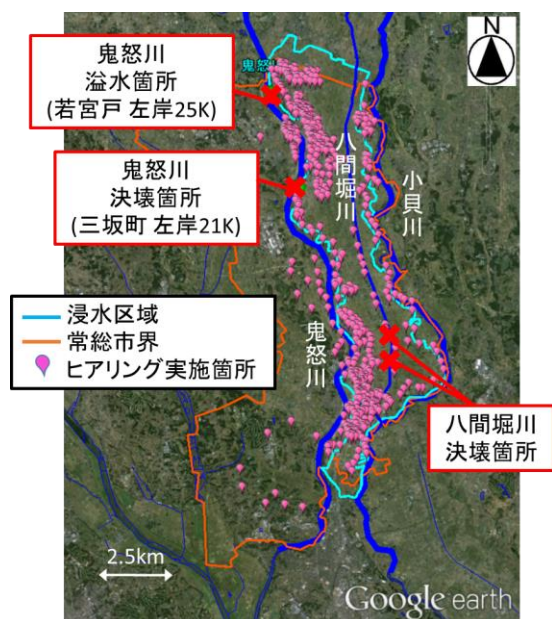


図-1 ヒアリング調査を実施箇所（茨城県常総市内の浸水区域と避難勧告・指示が発令された地域の住民を対象に516世帯に調査を実施した）

査によって得られた避難行動の実態と、河川水位や氾濫水の挙動といった河川リスク情報や、避難勧告等の避難に関する情報との関係について評価・分析を行い、的確な避難のための河川リスク情報のあり方の検討を目的として、以下を実施した。

2. 住民の避難行動に関わるヒアリング調査

(1) 調査方法

本調査は2015年9月関東・東北豪雨災害時に鬼怒川の堤防決壊及び溢水により広範囲で浸水被害の発生した茨城県常総市内の浸水区域の住民と避難勧告・指示が発令された地域の住民を対象として、発災から約2ヶ月後の2015年11月21～23日に実施した。調査方法は対象地域において空間的な人口分布がほぼ均等となるようにヒアリング箇所を選定し、対面形式で行った。主な調査項目は、①災害時の浸水状況及び避難状況の実態について、②災害時の災害情報及び避難情報の取得状況の実態について、③日頃の防災意識についての3項目約30問で、516件の回答を得た。なお、調査項目のうち①と②については時系列で具体的な状況を把握できるような設問とした。図-1に回答者の居住地を示す。

(2) 調査結果の概要

回答者の約60%が避難所等の安全な場所へ避難し、約40%が避難せずに自宅にいたことが明らかとなった。避

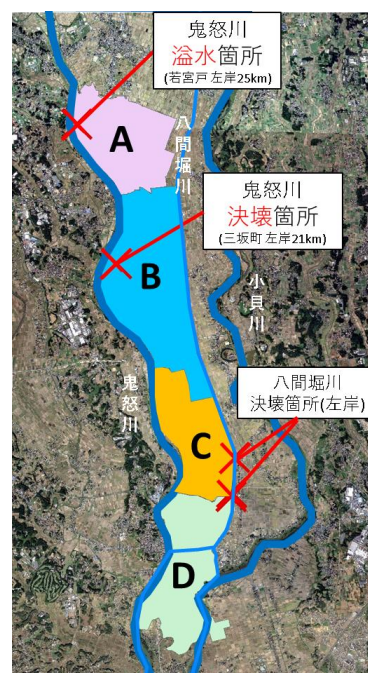


図-2 調査実施地域の分類図（ヒアリング調査実施範囲をA:溢水箇所周辺、B:鬼怒川堤防決壊箇所周辺、C:鬼怒川堤防決壊箇所と水海道市街地の間、D:水海道市街地の4つに分類した）

難所等の安全な場所へ避難した理由については、自発的に避難した人よりも他者からの勧めや誘導によって避難した人の方が多かった。一方、避難せずに自宅にいた回答者の約半数が、自宅が浸水する心配はないと判断して避難しなかったことが分かった。また、回答者の約61%が洪水ハザードマップを知らない、もしくは見たことがないと答えている。そして、洪水ハザードマップを日頃から見ていると回答した住民は、知らない・見たことがないと回答した住民よりも早いタイミングで避難したことが分かった。

また、鬼怒川の破堤地点から約10km下流に位置する水海道市街地の住民は、くるぶし程度であった八間堀川の氾濫で油断していたところに、鬼怒川本川の氾濫流が到達し、逃げ遅れたという可能性がある。つまり八間堀川の氾濫が水海道市街地の住民の避難タイミングに影響を及ぼした可能性があると言える。

3. 地域特性と避難判断・行動への情報効果

(1) 分析方法

住民の避難行動に対する地域特性と情報の効果について分析を行うため、ヒアリング調査実施範囲を、A:溢水箇所周辺、B:鬼怒川堤防決壊箇所周辺、C:鬼怒川堤防決壊箇所と水海道市街地の間、D:水海道市街地の4つに分類した（図-2）。

本章では地域毎の避難情報取得状況と避難状況から、

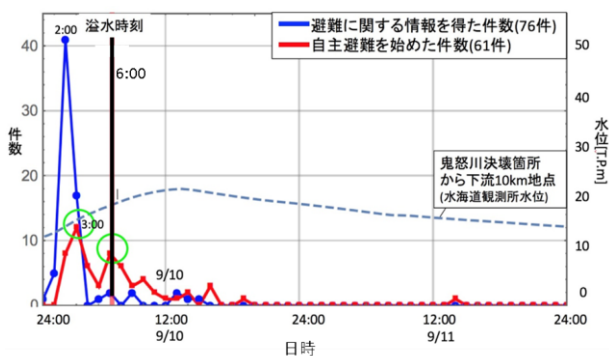


図-3 地域Aにおける避難に関する情報の取得状況と避難状況及び鬼怒川水位の時系列（避難準備情報・避難指示が発令されてから約1時間後と溢水時刻の2箇所に住民が避難行動を始めたピークがある）

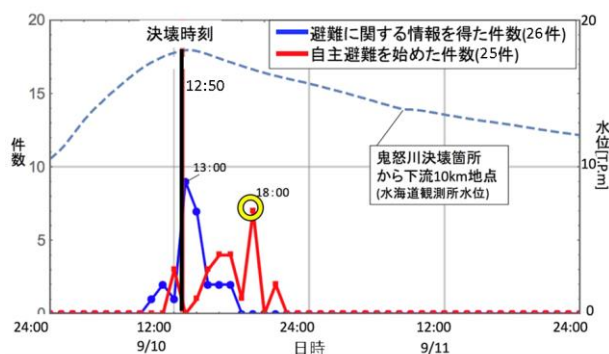


図-5 地域Cにおける避難に関する情報の取得状況と避難状況及び鬼怒川水位の時系列（鬼怒川堤防の決壊時刻の約5時間後に住民が避難行動を始めたピークがある）

避難行動の地域特性について分析を行った。

(2) 分析結果

a) 地域A

地域Aでは、避難準備情報が2015年9月10日の1:40に、避難指示が9月10日の2:20に発令された。そして、9月10日の6:00過ぎに若宮戸地点から溢水した。図-3に地域Aにおける避難に関する情報（避難準備情報・避難勧告・避難指示）の取得状況と避難状況の時系列を示す。地域Aの多くの住民が避難を開始した時間は9月10日の3:00であり、避難準備情報・避難指示が発令されてから1時間後であった。次に多い時間は、溢水が始まった9月10日の6:00であった。

b) 地域B

地域Bでは、避難勧告が2015年9月10日の4:00に、避難指示が10:30、13:08の2回にわたって段階的に発令された。そして、9月10日の12:50に鬼怒川堤防が決壊した。図-4に地域Bにおける避難に関する情報の取得状況と避難状況の時系列を示す。地域Bの多くの住民が避難を開始した時間は9月10日の13:00で、鬼怒川の堤防が決壊した直後に避難を開始していることが分かった。

c) 地域C

地域Cでは、避難指示が2015年9月10日の13:08に発令

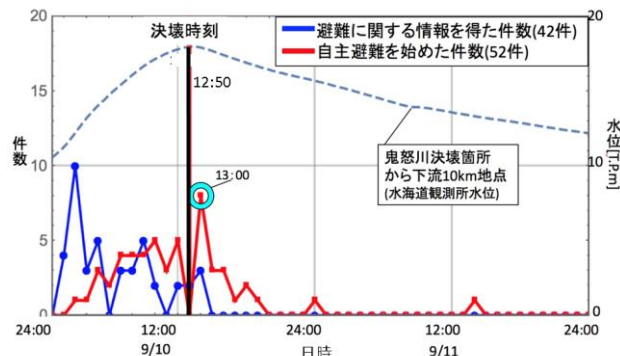


図-4 地域Bにおける避難に関する情報の取得状況と避難状況及び鬼怒川水位の時系列（鬼怒川堤防の決壊時刻の直後に住民が避難行動を始めたピークがある）

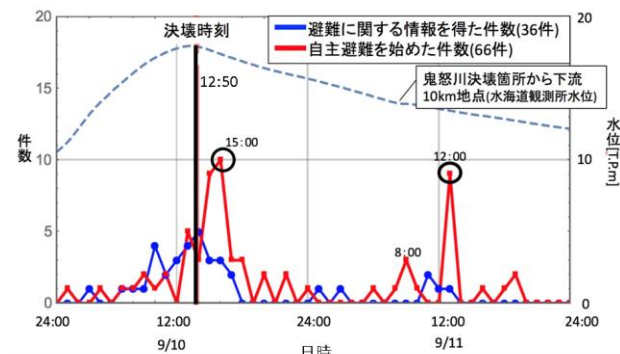


図-6 地域Dにおける避難に関する情報の取得状況と避難状況及び鬼怒川水位の時系列（鬼怒川堤防の決壊時刻の約2時間後と翌日の12:00の2箇所に住民が避難行動を始めたピークがある）

された。図-5に地域Cにおける避難に関する情報の取得状況と避難状況の時系列を示す。地域Cの多くの住民が避難を開始した時間は9月10日の18:00で、鬼怒川の堤防の決壊から約5時間後に避難を開始していることが分かった。

d) 地域D

地域Dにおいては、避難指示が2015年9月10日の9:50、13:08の2回にわたって段階的に発令された。図-6に地域Dにおける避難に関する情報の取得状況と避難状況の時系列を示す。地域Dの多くの住民が避難を開始した時間は9月10日の15:00であり、鬼怒川堤防の決壊から約2時間後であった。次に多い時間は、翌日の9月11日の12:00である。

以上の結果、各地域における避難行動は、避難指示等の発令だけでなく、堤防の決壊や溢水といった現実的な要因が大きく影響していたことが考えられる。また、地域Aは自然堤防が掘削されソーラーパネルが設置されており¹⁾、住民が周辺地域の浸水リスクを容易に想像できる一方で、地域Bと地域Cは、河川水位が堤防天端に達して越水が始まっても堤防決壊がどの箇所で発生するかは不確実であるため、どの地域がその後浸水しそうか認識しにくいという違いがある。そして、地域Dは鬼怒川の破堤地点から距離が遠いことに加えて八間堀川の氾濫

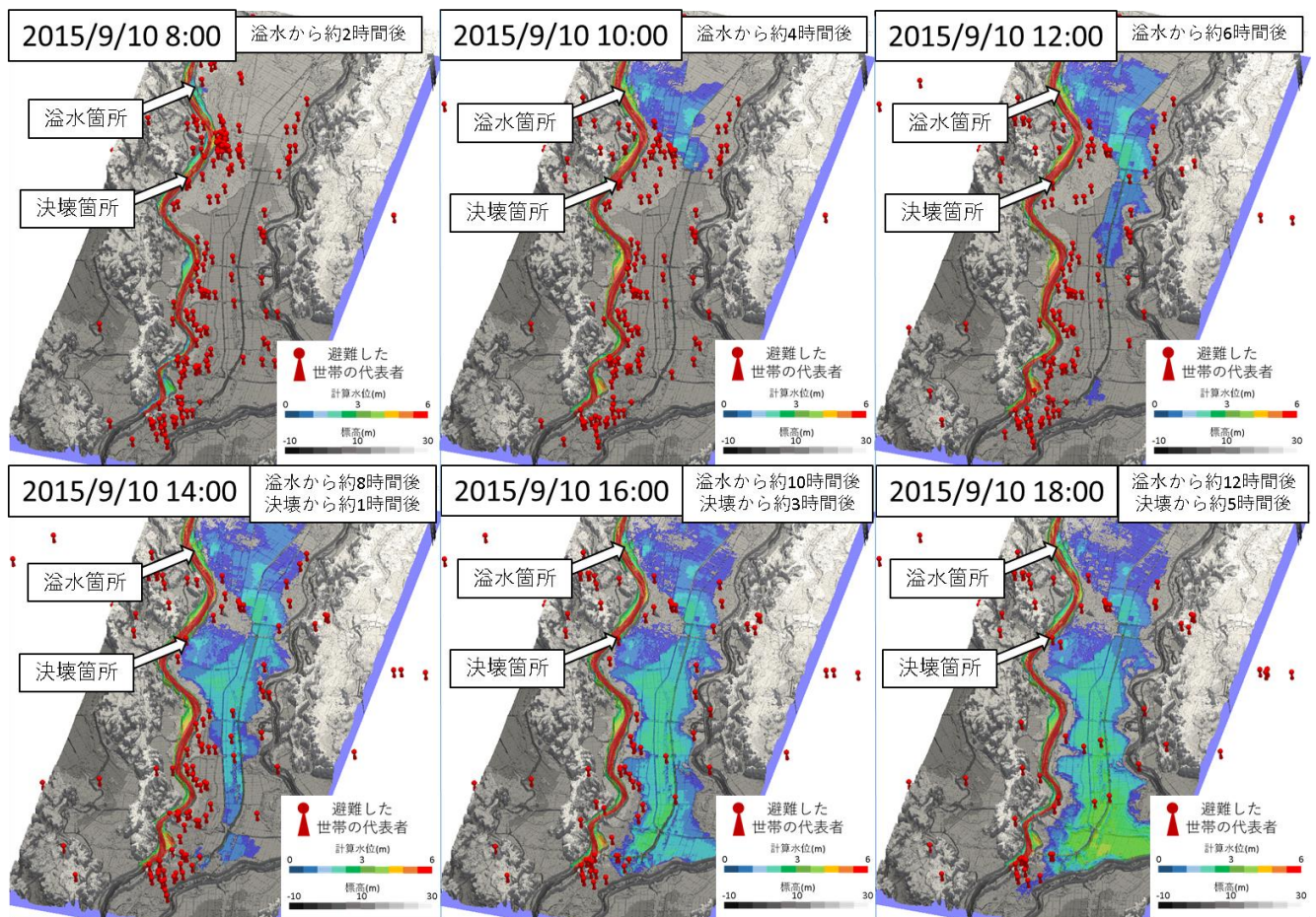


図-7 浸水・避難統合シミュレーションによる再現結果

による内水氾濫が住民の避難行動に影響を及ぼした可能性がある。これらのことから、的確に避難行動を促すためには、避難に関する情報だけでなく、地域特性を考慮した河川水位や氾濫水の挙動等の河川リスク情報の活用必要性が示唆される。

4. 浸水・避難統合シミュレーション

前章の分析から、的確な避難を誘導するためには、避難勧告等の避難情報だけでなく、河川水位の状況や浸水区域の拡大情報などの河川リスク情報が重要であると言える。そこで、本章では浸水状況と避難住民の動線を重ね合わせ、これらの関係性について分析を行った。

(1) 浸水・避難統合シミュレーションの概要

a) 浸水シミュレーション

河道から氾濫源への氾濫水の供給を適切に再現すること、および支川の八間堀川が鬼怒川からの氾濫水の流下過程と下流の浸水状況へ及ぼした影響を表現するために、河道と氾濫源を一体的に取り扱うことのできる平面2次元の氾濫シミュレーションを行った。

計算対象期間は、2015年9月10日4:00~20:00の16時間である。鬼怒川の河道地形は定期横断測量、八間堀川を含む氾濫源は国土地理院で公開されている5m数値標高モデルから約10mの計算格子を設定した。支配方程式は2次元浅水流方程式で、Leap-frog法により差分化し数値計算を行った。境界条件は計算対象領域における鬼怒川上流端の鎌庭地点(27k地点)に実測の流量ハイドログラフを、下流端の鬼怒川水海道地点(10.5k地点)に実測の水位ハイドログラフを与えた。八間堀川については上流端に貯留関数法と同型のモデル⁵⁾による流出計算で得られた流量ハイドログラフを、下流端である鬼怒川との合流地点の八間堀川排水機場に実測の水位ハイドログラフと実測の排水量を与えた。また、常田⁶⁾の調査結果を参考に破堤地点の開口幅を与えた。初期条件は計算対象期間の開始時刻における実測流量を十分な時間与え続けた不等流水深を鬼怒川河道内に与えた。なお、粗度係数は計算領域内で一様に $0.03[m^{-1/3}s]$ とした。

b) 住民の避難行動

住民の避難行動については、前述のヒアリング調査において「避難した」と回答した住民303件の内、避難経路・避難開始時刻・避難場所到着時刻について回答を得た71件と、①避難経路と避難開始時刻の回答を得た住民と②避難開始時刻と避難場所到着時刻及びその避難場所

表-1 地域ごとの調査実施数（世帯数・避難世帯数・避難しなかった世帯数・救助された世帯数）

地域	総数 (自宅浸水)	避難実施	避難せず	救助された
A	98 (96)	68	28	7
B	92 (63)	58	32	13
C	45 (32)	31	14	5
D	99 (78)	56	43	17
E	182 (82)	90	92	16

の回答を得た住民を対象とした。①については移動方法と避難距離から到着時間を推定し、②については自宅から避難場所への最短経路で移動したと仮定し、全161件の避難経路を再現した。

c) 結果

再現結果を図-7に示す。本研究で実施した再現計算でも著者らの実施したヒアリング調査及び、大槻ら²⁾の氾濫計算結果と同様に鬼怒川堤防決壊の約1時間後に地域Dにおいて浸水が生じていることが確認できる。この再現結果などを基に、今後、氾濫状況や避難情報発令状況等の任意の状況に応じた避難行動についてシミュレーションすることを予定している。

また、他地域の他河川での的確な避難や情報のあり方についても同様に検討することで、住民の災害リテラシー向上にも活用できると考えられる。

(2) 浸水拡大状況と避難時期の関係

前述のシミュレーションを使って浸水拡大状況と避難時期の関係について分析した。このうち、図-8に避難した住民の居住地周辺の浸水開始時刻と避難開始時刻の関係を整理したものを示す。図中のAからDは図-2で示した地域区分であり、Eはそれ以外の常総市内の地域とした。その結果、地域Aが最もまとまった時間帯で避難しており、地域B、Cの順で分散し始め、地域D、Eは広く分散している。自然堤防が掘削され¹⁾河川水位が上昇すれば浸水することが容易に理解される地域Aでは、河川水位情報等で避難判断がしやすく、避難勧告等の避難に関する情報にも的確に反応していたことが推測される。地域B、Cについては、避難に関する情報の発令に呼応している場合もあるが、鬼怒川堤防の決壊後に避難開始が集中している。地域D、Eについては、鬼怒川の堤防が決壊するより前に浸水した八間堀川周辺地域において浸水する前に避難した住民が見られるが、他地域に比べて浸水した後に避難した住民が多い。これらの人々は自宅が浸水するとは思わなかったと回答している人が多く、上流での氾濫水が押し寄せてくることがイメージ

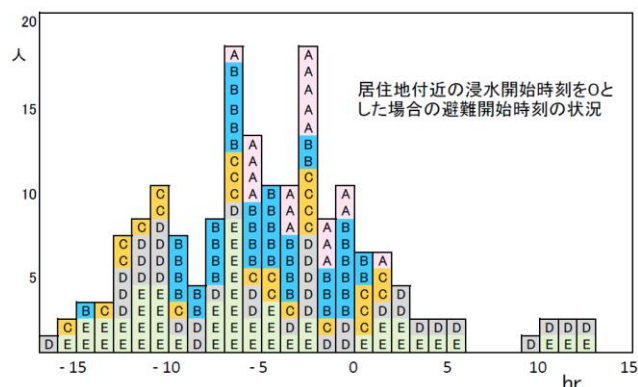


図-8 居住地周辺の浸水開始時刻と避難開始時刻の差（居住地周辺の浸水開始時刻を0としている）

できず逃げ遅れた人が多いことが推測される。この図は避難した人についてのものであり、これ以外に避難しなかった・避難できなかった人、及び救助された人が表-1に示すように存在している。

住民が的確な避難判断・行動をするためには、避難に要する移動時間と避難開始までの準備時間が最低必要であり、避難場所までの移動時間は常総市の場合30分程度の場合が多く、また避難準備時間は他地域の浸水拡大時の水害調査⁷⁾等では少なくとも30分程度必要である結果となっている。浸水する前に避難に関する情報は十分間に合う時間に提供される必要があるが、早すぎると実感や切迫感が伴わないという問題があるため、円滑な避難のための適度な時間の情報提供について考察を行った。堤防脇の地域のような、堤防決壊時に急激な氾濫流による破壊力が心配される地域は別として、図-8の地域Aなどの状況を見ると3時間から5時間前に情報が配信されることで、住民の的確な避難行動が可能となることが推測される。

5. 的確な避難に必要な情報内容と伝達手段

3章と4章においては、浸水区域の拡大状況や住民の避難行動の状況をもとに考察したが、本章では住民が取得した情報について分析した結果の一部を紹介する。

図-9は、居住地周辺が浸水する前に避難した人と浸水した後に避難した人が、それぞれでどのような情報を取得していたか分析した結果である。これを見ると、多くの情報を入手していた人が、居住地周辺が浸水するより前に避難できていた訳ではないことが分かる。

つまり、どのような情報が避難に役立つか、情報内容と活用の仕方について今後検討する必要があることが分かった。

図-10は、避難したきっかけについての住民の回答であり、ハザードマップを日頃から見ていた人とそうでな

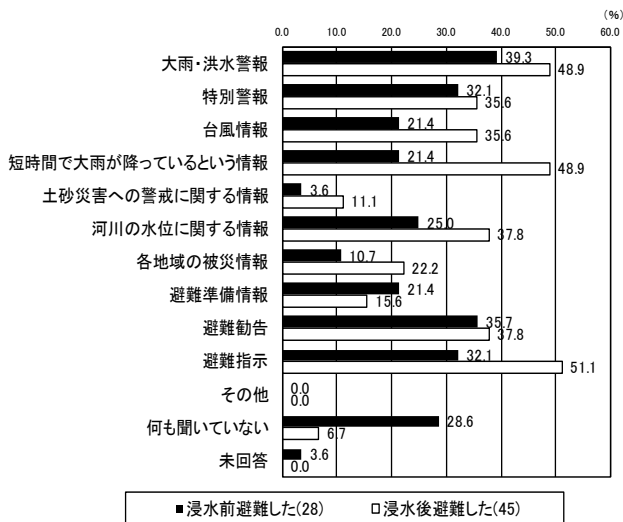


図-9 浸水する前に避難した人と浸水した後に避難した人の取得していた情報の比較

い人について示している。ハザードマップの確認状況に関わらず、避難のきっかけとして避難勧告などの避難に関する情報の発令・居住地が浸水の可能性の心配と判断・知人等からの避難の勧めが、主要なものとなっている。避難に関する情報だけでなく、浸水域の実況とその見込みなどの河川リスク情報の提供が重要であることがわかる。

また、ハザードマップを見たことがある人とそうでない人で、自宅が浸水しそうか否かについての認識率が2倍ほどの違いがあることが分かった。

6. まとめ

近年水害が多発する中で、住民の的確な避難とそのため情報の提供、及び活用が重要であるが、本研究では避難勧告等の避難に関する情報だけでなく、河川水位や氾濫した場合の浸水拡大等の河川リスク情報が共有されることにより避難状況が異なることが分かった。また、的確な避難行動を促進する情報発信のためには、浸水域の物理的なシミュレーションだけでなく、本研究で示したように浸水域のシミュレーションと避難行動を有機的に連動させる情報処理が必要である。

今後、浸水・避難統合シミュレーションについては、実態の再現だけでなく、洪水の規模・タイプを変えた場合や、情報の伝達をはじめとした避難誘導の諸条件を変化させた場合の影響・効果を把握できるように機能向上させることを予定している。また、本研究は2015年9月関東・東北豪雨による鬼怒川水害について調査・解析を行ったが、北海道や東北地方で被害がもたらされた2016年8月台風10号豪雨や過去の著名な水害と同様の検討を

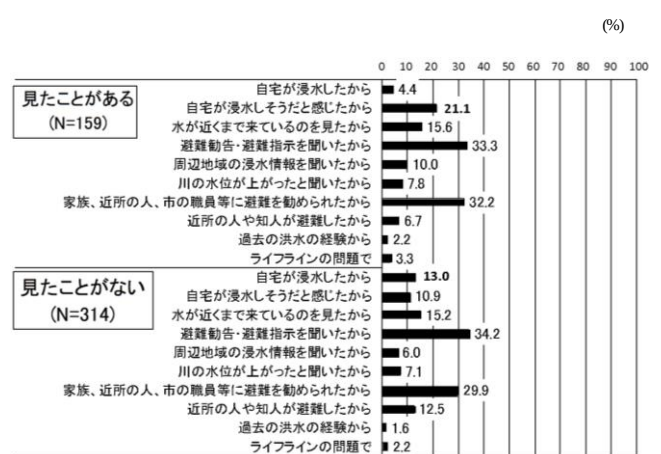


図-10 ハザードマップを日頃から見ていた住民とそうでない住民の本水害時における避難したきっかけ

行い、洪水時のよりの確な避難のための洪水解析と情報について体系化を図っていくことを予定している。

謝辞：本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金（基盤A，課題番号26249072）の支援を受けて実施された。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 国土交通省関東地方整備局：『平成27年9月関東・東北豪雨』に係る洪水被害及び復旧状況について(平成28年1月29日版)，2016。
- 大槻順朗，二瓶泰雄，M.A.C Niroshinie：2015年関東・東北豪雨における鬼怒川氾濫による常総市の洪水氾濫状況，河川技術論文集，Vol.22，pp.315-320，2016。
- 諸岡良優，郷津勝之，寺井しおり，布村明彦，山田正：平成27年9月関東・東北豪雨災害時における住民の情報取得状況及び避難行動の実態調査，河川技術論文集，Vol.22，pp.345-350，2016。
- 入江さやか：鬼怒川決壊 常総市の住民はどのようにして避難したのか？，放送研究と調査，pp.34-65，2016。
- 山田正：山地流出の非線形性に関する研究，水工学論文集，第47巻，pp.259-264，2003。
- 常田賢一：2015年9月関東・東北豪雨による鬼怒川の越流破堤要因および模型実験による粘り強い堤防構造の検討，平成28年度近畿地方整備局研究発表会論文集，防災・保全部門No.13，2016。
- 廣井脩，田中淳，中村功，中森広道，福田充，関谷直也，森岡千穂：2004年台風23号による豊岡市豪雨災害における災害情報の伝達と住民の対応，災害情報調査研究レポート，第3号，pp.1-84，2006。

(2017. 4. 3受付)