

# 避難の備え及び災害関連情報が避難行動へ 与えた影響の検証 —令和2年7月豪雨，人吉市の事例を通じて—

吉田 護<sup>1</sup>・柿本 竜治<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 長崎大学准教授 総合生産科学域環境科学系（〒852-8521 長崎市文教町1-14）  
E-mail: yoshida-m@nagasaki-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 熊本大学教授 先端科学研究部（〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1）  
E-mail: kakimoto@kumamoto-u.ac.jp

本研究では、統計的因果推論の枠組みを用いて、気象情報や避難情報、知覚情報等が住民の避難行動に与えた影響を定量的に明らかにする。具体的には、令和2年7月豪雨で球磨川の氾濫によって被災した人吉市の仮設住宅にお住まいの方を対象に訪問調査を実施、得られた当時の状況認識や避難行動に関するデータに基づいて、情報取得が避難行動の有無、避難先、避難開始タイミング、避難手段について、その因果効果を検証した。結果として、ハザードマップの確認、さらに避難先までの道のりを確認しておくことが早期の立ち退き避難につながっていたことが明らかとなった。また、災害関連情報の取得が及ぼした影響については、防災気象情報や避難情報の取得との間で避難行動との因果効果は確認されなかったが、家族や住民間の呼びかけが早期の立ち退き避難行動につながっていることが明らかとなった。

**Key Words :** *evacuation, daytime and nighttime, causal relationship, the heavy rain event of July 2018*

## 1. はじめに

頻発する豪雨災害に対して、住民は適切に備え、対応することが求められる。令和2年7月豪雨は球磨川の氾濫をもたらしたが、本研究では、洪水災害によって被害を受けた人吉市の仮設住宅に訪問調査を行い、その調査データに基づいて、避難の備えや災害関連情報の取得が住民の避難行動に及ぼした因果効果を定量的に明らかにする。

豪雨による洪水害が住民に差し迫る過程の中で、気象庁は大雨警報や洪水警報、また、国土交通省と共同して指定河川洪水予報などを発表する（以下、気象庁が発表する情報を防災気象情報と記す）。自治体もその脅威が迫る過程の中で、避難指示などの避難情報を発令する（以下、自治体が発令する情報を避難情報と記す）。こうした防災気象情報や避難情報は、災害の脅威が差し迫っていることを知らせ、住民に避難行動を促す情報である。また、こうした公的機関からの情報だけでなく地域住民等から呼びかけや河川水位の目視や異常な雨音の耳聞などの知覚情報も避難行動を促しえる情報である。豪雨下の避難行動は状況依存的であるため、住民は種々の情報に基づいて差し迫っている脅威を認識し、意思決定

をすることが求められる。こうした種々の情報が住民の避難行動に及ぼした影響について、本研究では避難行動に関する非巡回有向グラフ（Directed Acyclic Graph, DAG）を作成し、情報取得による避難行動への因果効果を推計する。また、本研究では、ハザードマップの確認や非常持ち出し品の準備といった一般的に推奨されている避難への備えが実際の避難行動に及ぼした因果効果も併せて推計する。避難行動の備えや種々の情報取得と避難行動の関係性を分析している既存研究は数多く存在するが、因果推論の枠組みを適用している事例は、筆者らが知る限り、存在しない。既存研究には、共変量等の調整を十分行わずに、分析している事例も多い。このとき、分析結果にバイアスが生じ得ること、また、その結果から得られる示唆にも一定の疑義が残ってしまう。避難行動に関係していると考えられる種々の変数間の構造をDAGを用いて表し、変数選択を行って回帰分析を行うことによって、避難の備えや情報取得の因果効果を定量的に把握することが可能である。今回は、令和2年7月豪雨時の人吉市内の住民を対象とした分析であるが、本枠組みを他の事例にも適用することにより、事例間の共通点や相違点の把握なども容易になると考えられる。

## 2. 本研究の基本的枠組み

### (1) 令和2年7月豪雨の概要

令和2年7月3日から8日にかけて日本付近に停滞していた前線の影響により各地で大雨となり、大きな被害をもたらした<sup>1)</sup>。気象庁は、7県で大雨特別警報を発表しており、記録的な大雨を各地で観測した。特に、熊本県の球磨川の流域では、線状降水帯が形成され、時間雨量30mmを超える激しい雨が、7月4日未明から朝にかけて8時間にわたって連続して降り続いた<sup>2)</sup>。結果として、球磨川本流の中流部から上流部及び最大支川の川辺川の各雨量観測所における降雨量は、6時間雨量、12時間雨量及び24時間雨量において、戦後最大の洪水被害をもたらした昭和40年7月洪水や昭和57年7月洪水を上回る降雨を記録した<sup>2)</sup>。また、球磨川が氾濫したことにより、流域の市村には甚大な被害をもたらした。今回の調査対象地である人吉市では、死者は20名を数え、全壊、半壊戸数はそれぞれ900、1443戸に上った<sup>3)</sup>。主な被害は洪水によるものである。また、大雨警報（浸水害）、大雨特別警報はそれぞれ7月3日の1時34分、4時50分、氾濫警戒情報、氾濫危険情報はそれぞれ7月3日の3時10分、4時20分に発表され、避難勧告、避難指示（緊急）はそれぞれ市内全域に7月3日の4時00分、5時15分に発令された。なお、7月3日の7時55分頃に堤防が決壊、街中に河川の水がまちなかに入り込んできたことが後の調査でわかっている。さらに、筆者らの人吉市防災安全課への調査では、7月2日の夕方時点で、深夜の降雨を予測することが困難であった、との調査結果も得ている。このように、本調査地では、ハザードの脅威の切迫度が急激に変化しており、また、未明を襲った洪水害である点も特徴的な点として留意しておく必要がある。

### (2) DAGに基づく避難行動の構造化

本稿では、DAGを用いた統計的因果推論の枠組み<sup>4)</sup>に従って、各種変数と避難行動の因果関係を仮定し、それに基づいて災害の脅威が迫った時間帯による避難行動への因果効果を推計する。本稿で仮定したDAGを図-1に示す。避難行動に影響を与える変数のカテゴリーについて、本研究では調査項目を「災害の脅威が迫った時間帯（脅威時間帯）」、「個人・世帯・地域属性」「被災経験」「避難の備え」、「災害関連情報の取得」「災害前の認知」、「災害時の認知/状況認識」に既存研究<sup>4)</sup>などを参考に分類した。本稿で描いたDAGはあくまで仮定に過ぎないが、DAGの利点として、1. データの収集ならびに解析計画を促進する、2. 研究結果を伝え合うことを促進する、3. 交絡因子の選択において、ありがちな落とし穴を避ける、ことが指摘されている<sup>5)</sup>。

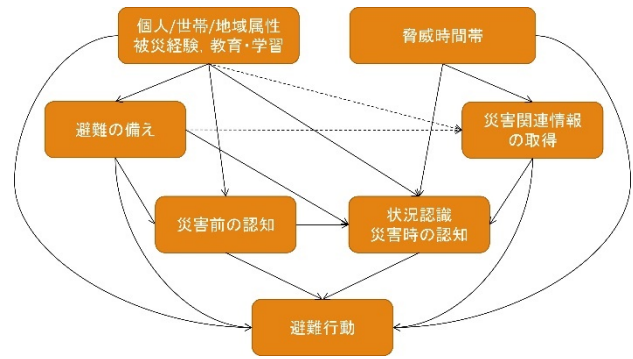


図-1 避難行動の因果ダイアグラム (DAG)

調査計画の時点でDAGを描くことにより、共変量調整に必要な変数を調査を逃すことを避け、また、既存研究を踏まえて独自の変数を組み込むことが容易になると考えられる。

なお、DAGを用いた統計的因果推論の枠組みでは、回帰分析の推計値が平均処置効果(Averaged Treatment Effect, ATE)<sup>7)</sup>と一致する条件についてはバックドア基準(Back-door criterion)が知られている<sup>8-11)</sup>。数学的な証明は他紙に譲るが、避難の備えや災害関連情報の取得の有無をダミー変数化し、その他の回帰分析の説明変数をバックドア基準を満たす変数に限定することによって、避難の備えや災害関連情報の取得の変数の係数の推計値はATEと一致する。本研究では、この枠組みを適用することによって、避難の備えや災害関連情報の取得による避難行動への因果効果を推計する。

## 3. 本研究の基本的枠組み

### (1) アンケート調査の実施概要

アンケート調査は、仮設住宅への入居者を対象に面接調査法によって実施した。その実施概要を表-1にまとめている。調査項目は、先のDAGで示した個人・世帯属性、被災経験、避難の備え、災害関連情報の取得、災害前の認知、災害時の認知、状況認識に関する項目に加えて、避難行動（避難実施の有無、避難先、避難のきっかけなど）について尋ねている。なお、先のDAGでは、避難行動に影響を及ぼす要因の一つとして脅威時間帯を挙げたが、今回のように調査対象の住民がほとんど同じ時間帯にハザードの脅威にさらされている場合には、その要因を考慮することは出来ないため、本調査項目からは除いている。ただし、広域の災害や複数の事例を同じ枠組みで検証する場合ときなど、脅威が迫った時間帯を考慮することは重要と考えられ<sup>12)</sup>、この点は注意が必要である。

表-1 アンケート調査の実施概要

調査日時	2021年3月13,14日
調査対象者	人吉市の仮設住宅の入居者
回答数	180件/245入居戸数
調査方法	面接調査法
調査項目	個人・世帯属性（性別，年齢，同居者数等），被災経験，災害前の認知（災害の脅威認知，避難行動の反応効果性等），備えの状況，令和2年7月豪雨時の避難行動（実施の有無，場所，手段，きっかけ），災害時の認知（自宅の危険性，移動の危険性，避難の面倒さ等），取得した情報と状況認識（気象情報，避難情報，呼びかけ，知覚情報等）

(2) アンケート調査の一次集計結果

表-2に個人・世帯属性及び被災経験の調査結果をまとめている。60歳以上の方が65%を超えており，相対的に高い。また，同居者間で情報共有が進まない一人暮らしの方は全体の約30%占めていた。また，球磨村は過去，何度も氾濫を引き起こしているが，調査対象者の中で過去，床上・床下浸水のあった回答者はそれほど高くなかった。続いて，本研究で直目する，避難の備えの実施状況をまとめたものを表-3にまとめている。ハザードマップを確認していた回答者は約7割と今回挙げた備えの中では実施率が最も高い。実施率の高い順に，指定緊急避難場所の確認，非常持ち出し品の準備と続く。地域による防災・減災活動は盛んでなかったようである。また，表-4及び表-5に災害前の認知及び災害時の認知をまとめた。なお，調査では災害前の認知は，5.とても思っていた，…，1.全く思っていなかった，災害時の認知は5.とても思った，…，1.全く思わなかった，のそれぞれ5段階のリッカート尺度で回答を得ている。認知の平均値が高いほどその認知が高いことを示す。なお，具体的な質問項目について，災害前の認知では，楽観視（災害無発生）は「自分の地域水害や土砂災害等は発生しない」，楽観視（災害時無被害）は「たとえ水害や土砂災害等が発生しても，自分は被害を受けない」，インフラ依存性は「水害や土砂災害に対する現在の堤防や砂防等によって，自分自身や自宅の被害を防ぐことができる」，反応効果性（立退）は「水害や土砂災害等に対しては，指定緊急避難場所等の自宅外に避難することによって身を守ることができる」，反応効果性（屋内）は「水害や土砂災害等に対しては，自宅の2階などの高い所に避難することによって身を守ることができる」，希望的観測は「水害や土砂災害が発生しても自分自身や自宅には被害がなければいいな」，運命諦観は「水害や土砂災害等で被害が生じたら，その被害は運命としてあきらめよう」という設問を用いて調査を行った。これらの認知は，災害前に認知形成されていたものとして分析した。災害時の認知では，自宅の安全性認知は「自宅は安全と思っ

表-2 個人・世帯属性及び被災経験

個人・世帯属性/被災経験	細目	回答者	割合(%)
性別	男性	102	58.0
	女性	74	42.0
年齢	40歳未満	17	9.7
	40歳以上60歳未満	39	22.3
	60歳以上80歳未満	93	53.1
	80歳以上	26	14.9
同居者数	1人	53	29.9
	2人以上	124	70.1
避難困難者	自分自身	13	7.3
	同居者	27	15.3
ペット	飼育している	41	23.2
	平屋	89	50.3
自宅形態	(2階建)戸建住宅	78	44.1
	集合住宅	10	5.6
自宅所有	持ち家	123	69.5
	賃貸・その他	54	30.5
居住年数	10年未満	39	22.0
	10年以上30年未満	42	23.7
	30年以上50年未満	47	26.6
	50年以上	49	27.7
被災経験	床上浸水	38	21.5
	床下浸水	8	4.5

表-3 避難の備えの実施状況

避難の備え	実施回答数	実施割合(%)
ハザードマップ確認	119	68.8
指定避難場所確認	92	52.0
内，道のり確認	58	32.8
非常持ち出し品の準備	52	29.4
家族緊急連絡先の確認	47	26.6
備蓄	39	22.0
指定外の避難先確認	30	16.9
避難行動計画	15	8.5
地域減災活動への参加	13	7.3
地域緊急連絡網の作成	12	6.7

表-4 災害前の認知

災害前の認知	平均値	標準偏差
楽観視（災害無発生）	3.28	1.50
楽観視（災害時無被害）	3.49	1.40
インフラ依存性	3.33	1.34
反応効果性（立退）	3.99	1.23
反応効果性（屋内）	3.39	1.52
希望的観測	3.59	1.48
運命諦観	3.06	1.37

表-5 災害時の認知

災害時の認知	平均値	標準偏差
自宅の安全性認知	3.18	1.55
立退き避難時の危険性認知	3.26	1.52
避難行動の面倒さ認知	2.14	1.28
避難先の生活困難さ認知	3.32	1.45

た」、立ち退き避難時の危険性認知は「自宅外の建物への移動は危険だと思った」、避難行動の面倒さ認知「避難行動をとることは面倒だと思った」、避難先の生活困難さ認知は「避難先での生活には不自由や困難が伴うと思った」という設問を用いて調査を行った。豪雨に実際に直面した際の認識を問うことによって、実際に避難行動に迫られた際の認識を遡ってもらう形で尋ねている。自分自身の行動を正当化するように思考過程を再整理するといった指摘もあり、事後的な意識・行動調査ではバイアスが生じる可能性がある。この点は調査法の限界ではあるが、本研究ではあくまで事前の認知や災害時の認知から避難行動への因果方向を仮定して分析を実施する。

**(3) 災害関連情報の取得状況と避難のきっかけ**

災害関連情報の取得状況と避難のきっかけに関する調査をまとめたものを図-2に示す。防災気象情報、避難情報、知覚情報、呼びかけの順でまとめているが、防災気象情報の中では大雨特別警報が、避難情報の中では避難勧告や避難指示（緊急）の情報取得率が高いがその取得率は30%前後であり、また避難のきっかけとした住民の割合は約5%に過ぎなかった。一方で知覚情報の中でも河川の様子や濁流の確認が避難のきっかけとなったと回答している人の割合は、防災河川情報や避難情報と比較して高い。河川状況の確認は、豪雨下では危険を伴うため避けるべき行為である。また濁流が迫ってから避難をしては、逃げ遅れとなった可能性も高い。そのため、どちらも積極的に活用を促せる情報ではないが、直接的な知覚情報は、防災気象情報や避難情報と違った思考過程(e.g. システムD)に基づいた避難行動の意思決定を促す可能性があり、重要な結果であると書き留めておきたい。最後に、呼びかけについて、主体別の呼びかけ情報の取得率は家族・親族が30%と高く、近隣住民や自治会、消防団・警察等はどちらも20%を超える程度である。ただし、避難のきっかけとなった回答者の割合はどの主体からの呼びかけであっても50%を超えていたことは着目すべき結果と言える。

**(4) 避難行動の時間的特徴**

回答者の避難行動の時間的推移を各種の災害関連情報の発表、発令時刻とあわせてまとめたものを図-3に示す。先に述べた通り、前日の時点での降雨の予測が難しく、3日4時の時点で約50%、5時の時点で約25%の住民が未だ就寝していた。避難勧告は4時、避難指示は5時15分に発令されているが、そもそも就寝していたがために情報が届きにくかったことが推察される。夜明けが近づくにつれて避難行動をとっている回答者の割合は高くなり、最終的にはほぼ全ての回答者が避難意思を示しているが、

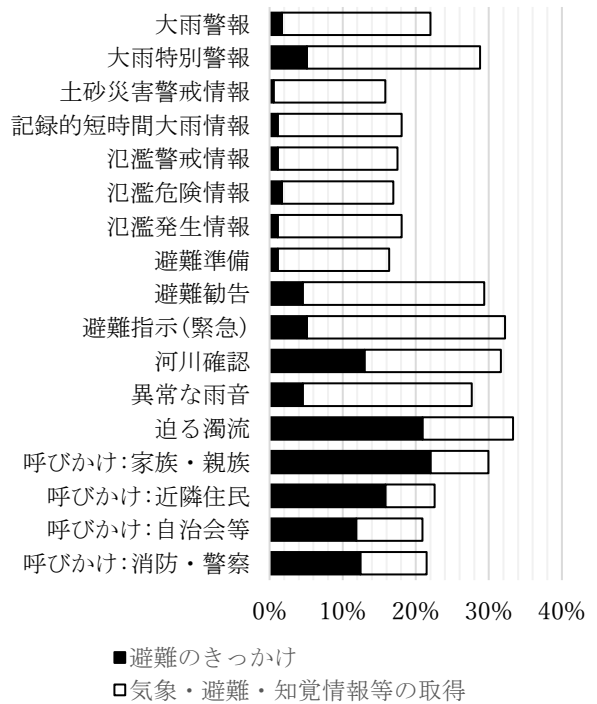


図-2 災害関連情報の取得率と避難のきっかけ

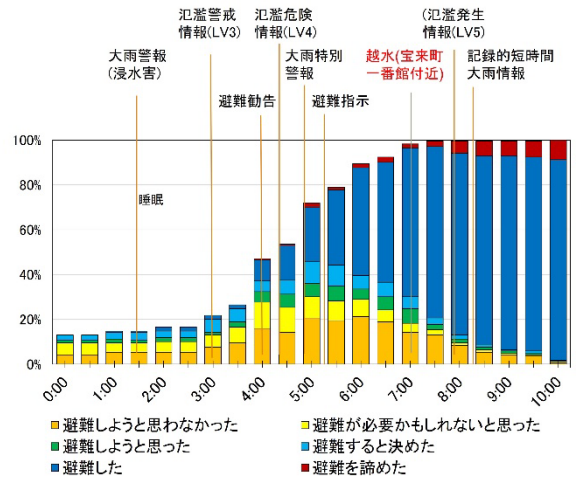


図-3 避難行動の意思決定過程の時間的推移

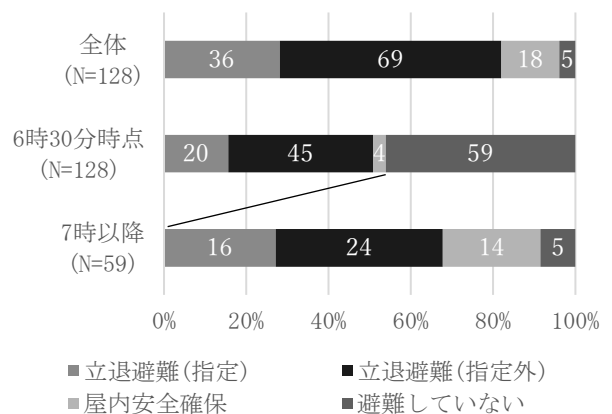


図-4 避難行動の実施と避難先

6時55分にまちなかに水が流れ込んできた結果、約1割の回答者は避難そのものを諦めざるを得なかったことが分かる。適切な避難行動を規定することは難しいが、本研究では、6時30分までの避難行動に実施した方を適切な避難行動を実施した方として捉えている。また、図4に回答者の避難先をまとめたものを示す。なお、6時半までに避難行動をとった回答者と6時半より後に避難行動をとった回答者で分類して避難先をまとめたものもあわせて掲載している。最終的には約25%の回答者が指定緊急避難場所へ避難していたが、知人・親族宅などの指定外の安全な場所へ避難された回答者の割合も高い。また、6時30分の時点で避難行動をとった方の中で、屋内安全確保を行った回答者の割合は小さいが、7時以降に避難した方の中ではその割合が高まっている。洪水害に対しても、立退き避難がもっとも望ましい避難行動の形態とされている。徐々に災害の脅威が近接していく過程の中で立退き避難を止めて屋内安全確保に留まった住民も一定数いることが推察される。

(5) 避難の備え及び災害関連情報の取得による避難行動への因果効果

避難の備えが避難行動に及ぼした因果効果を推計するにあたって、立退き避難、屋内安全確保の実施を1、非実施を0とするダミー変数をそれぞれ作成、目的変数とした。回帰分析の説明変数にはバックワード基準を適用して説明変数の選択を行った。すなわち、災害前の認知、災害時の認知は中間変数であるため説明変数から除き、個人・世帯属性、被災経験、災害関連情報の取得を説明変数として、種々の備えの因果効果の推計を行った。なお、今回検証した備えには、各災害関連情報の取得に影響を及ぼすものがある。すなわち、地域の緊急連絡網の整備は自治会間の呼びかけを促す。そのため、自治体による呼びかけを説明変数から除いて種々の備えの推計を行った。推計結果を表6にまとめている。全体ではハザードマップの確認が立退き避難を促す一方で、指定緊急避難場所の確認は立退き避難を躊躇わせていたことが明らかとなった。指定避難場所の確認により、自宅からそこまでの距離をしていた結果、豪雨時の移動は危険と判断し、立退き避難を躊躇したものと推察される。ただし、6時30分時点での避難行動への因果効果の推計結果から、実際に避難先までの道のりを確認は早期の適切な立ち退き避難につながっていた。この結果は、ハザードマップを確認するだけでは不十分であり、実際にその道のりを確認しておくことが早期の立ち退き避難につながることを示唆する結果といえる。

続いて、災害関連情報の取得が避難行動に及ぼした因果効果の推計にあたって、同様に、種々の情報の取得

表-6 避難の備えの因果効果の推計結果

避難の備え	推計値 (=平均処置効果)			
	() 内は標準誤差			
	6時30分時点 の避難行動		11時時点 の避難行動	
	屋内	立退	屋内	立退
HM確認	.002 (.040)	.275** (.103)	-.119 (.073)	.188* (.093)
指定避難場所確認	-.027 (.056)	-.340* (.144)	-.021 (.101)	-.174 (.128)
道のり確認	.005 (.005)	.242' (.140)	-.010 (.098)	.119 (.125)
非常持ち出し品	.051 (.043)	.072 (.110)	.027 (.078)	.017 (.099)
家族緊急連絡先	.027 (.048)	.049 (.124)	.084 (.087)	-.052 (.111)
備蓄	-.001 (.050)	.024 (.129)	-.005 (.092)	-.010 (.116)
指定外避難先確認	.009 (.0058)	.170 (.148)	.038 (.107)	.039 (.135)
避難行動計画	.016 (.074)	.192 (.190)	.006 (.130)	.068 (.164)
地域緊急連絡網	.026 (.069)	.052 (.177)	-.138 (.133)	.159 (.168)
N	134	134	132	132

\*\* : 1%, \* : 5%, ' : 10%有意水準

表-7 災害関連情報の取得の因果効果の推計結果

災害関連情報の取得	推計値 (=平均処置効果)			
	() 内は標準誤差			
	6時30分時点 の避難行動		11時時点 の避難行動	
	屋内	立退	屋内	立退
大雨・大雨特別警報	.063 (.063)	-1.07 (.127)	.189' (.110)	-.066 (.128)
土砂災害警戒情報	-.050 (.090)	-.163 (.181)	-.138 (.196)	-.293 (.229)
指定河川洪水予報	.003 (.093)	.092 (.187)	-.066 (.163)	.090 (.190)
避難情報 (勧告・指示)	-.037 (.058)	.038 (.117)	-.064 (.102)	.168 (.119)
呼びかけ (6時30以前)	.029 (.043)	.491** (.086)	.034 (.095)	.284* (.111)
呼びかけ (6時30分より後)	-	-	.156 (.117)	.179 (.136)
河川の目視	.073 (.057)	-.023 (.114)	.013 (.098)	-.002 (.114)
周囲の避難状況の 確認	.005 (.047)	.234* (.096)	-.023 (.086)	.032 (.100)
異常な雨音	-.040 (.047)	-.143 (.095)	-.024 (.085)	-.045 (.099)
N	117	117	115	115

\*\* : 1%, \* : 5%, ' : 10%有意水準

の有無に応じて1,0のダミー変数を作成、目的変数とした。その上で、説明変数選択にはバックワード基準を適用、すなわち、災害時の認知は中間変数から除いたうえで、個人・世帯属性、避難の備え、災害前の認知を説明

変数に加えた上で、災害関連情報の取得による避難行動への因果効果を推計した。推計結果は表-7にまとめている。結果として、防災気象情報や避難情報の取得から避難行動への因果効果について、全体を通じて、大雨・大雨特別警報の取得が10%有意水準ではあるものの、屋内安全確保を促していたことが確認されたが、それ以外の因果効果は確認されなかった。一方で、今回の豪雨災害では呼びかけが立ち退き避難に効果的に機能していたことが明らかとなった。特に、早期の立ち退き避難という観点から、その時点までに呼びかけられていた住民は避難行動をとっており、また、周囲の住民の避難状況が確認できた住民も立ち退き避難につながっていたことが明らかとなった。越水が確認された7時以降の呼びかけは避難行動は促していない。図-2で示したように、主体別の呼びかけ情報の取得率は、2-3割と決して高いわけではない。防災気象情報や避難情報の取得を促す環境整備は勿論のことながら、複数の主体から呼びかけられる日常的な人的ネットワークの構築や地域の備えが求められる。その具体的な方策については今後の課題としたい。

#### 4. おわりに

本研究では、令和2年7月豪雨で被災した人吉市の仮設住宅の住民を対象にアンケート調査を実施、避難行動の特徴をまとめると同時に、避難の備えや災害関連情報の取得による避難行動への因果効果を推計した。結果として、ハザードマップの確認に加えて、実際の避難場所までの道のりの確認が、早期の立ち退き避難を促していることが明らかとなった。災害関連情報の取得については、防災気象情報や避難情報ではなく、呼びかけが早期の立ち退き避難を促していることが明らかとなった。

なお、呼びかけといっても家族・親族、地域住民、自治会、消防・警察といった多様な主体からの呼びかけが本調査対象地域では実施されている。呼びかけ主体毎の特徴も踏まえた、呼びかけられていない住民の特徴を明らかにし、地域住民間の呼びかけを促進するための諸方策の検討することが求められるが今後の課題としたい。

#### 参考文献

- 1) 内閣府：令和3年版防災白書、特集第1章第2節「令和2年度に発生した主な災害」、pp.7-9  
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r3.html>  
(2022年1月27日アクセス可)
- 2) 国土交通省,九州地方整備局,熊本県：第1回令和2年7月豪雨球磨川豪雨検証委員会説明資料,pp3-4
- 3) 内閣府：令和2年7月豪雨による被害状況等について、令和3年1月7日,  
[http://www.bousai.go.jp/updates/r2\\_07oocame/pdf/r20703\\_oocame\\_40.pdf](http://www.bousai.go.jp/updates/r2_07oocame/pdf/r20703_oocame_40.pdf) (2022年1月27日アクセス可)
- 4) Thompson, R R., Garfin, D.R., Silver, R.C.: Evacuation from Natural Disasters: A Systematic Review of the Literature, *Risk Analysis*, 37(4), pp.812-839, 2017.
- 5) 田中 皓介, 梅本通孝, 糸井川 栄一: 既存研究成果の系統的レビューに基づく大雨災害時の住民避難の阻害要因の体系的整理, 地域安全学会論文集, 29, pp.185-195, 2016.
- 6) Greenland S, Pearl J, Robins JM. Causal diagrams for epidemiologic research. *Epidemiology*, 10(1), pp.37-48, 1999.
- 7) Rubin, D.B.: Estimating causal effects of treatments in randomized and nonrandomized studies, *Journal of educational Psychology*, 66(5), pp.688-701, 1974.
- 8) Peral, J.: Causal diagrams for empirical research, *Biometrika*, 82(4), pp.669-688, 1995.
- 9) Pearl, J.: *Causal Inference in Statics: A Primer*, Willey, 2016.
- 10) Morgan, S.L. and Winship, C.: *Counterfactuals and causal inference – Methods and Principles for Social Research, Second Edition*, Cambridge University Press, 2014.
- 11) 宮川雅巳: 統計的因果推論—回帰分析の新しい枠組み—, p.80, 朝倉書店, 2004.
- 12) 吉田護, 柿本竜治: 災害の脅威が切迫する時間帯による避難行動への因果効果—平成30年7月豪雨の事例を通じて—, 土木学会論文集D3 (土木計画学), (掲載決定)

(Received March 6, 2022)