

豪雨時の状況認識の変化に基づく避難意識のモデル化

柿本 竜治¹・吉田 護²

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

²正会員 長崎大学准教授 大学院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

「令和 2 年 7 月豪雨」では、熊本県南を中心に多くの地域で河川の氾濫や浸水害、土砂災害が発生し、死者・行方不明者 86 人の甚大な災害となった。本研究では、被害の大きかった熊本県の人吉市、球磨村、八代市坂本町の浸水被害を受けた住民を対象に、時間の経過とともに河川の状況や災害発生への意識、およびそれに伴って変化する避難意識についてアンケート調査を行った。そして、それらのアンケート結果を用いて、豪雨の進行とともに変化する状況認識に基づく避難意識モデルを構築した。アンケート結果の分析や避難意識モデルから、水平避難を促す要因は、ハザードマップの確認や避難場所の確認といった災害への備えや避難勧告や避難指示といった避難情報より、避難の呼びかけや河川氾濫など状況認識を促進させる刺激の方が有意であることが分かった。

Key Words: *evacuation, situation awareness, naturalistic decision making, protection motivation theory*

1. はじめに

多くの犠牲者を伴う豪雨災害が頻発し、その度に避難遅れの問題が指摘されている。そこで、避難促進を目的に、数度にわたり多くの防災情報や避難情報の発令基準は見直され、早い段階で避難指示等が発令されるようになった。同様の目的でメディア等が発信する情報も見直され、地域でも自治会や自主防災組織で防災活動に取り組み、豪雨災害の脅威は、多くの住民に周知されている。しかし、この 2~3 年の豪雨時の避難状況からは、避難遅れの課題は解決されていないことは明らかである。

「なぜ危険が迫っていることが分かっているのに、人は逃げ遅れてしまうのか？」避難遅れの要因の一つとして、災害後の調査の度に指摘されるのが、被害を過小評価してしまう「正常性バイアス」や周囲の人が避難していなかったといった「同調性バイアス」などの認知的バイアスの存在である。一方、筆者らがこれまで実施してきた一連の調査では、避難のきっかけとして、気象情報や避難情報を挙げる人もいるが、迫ってきた濁流や呼びかけを挙げる人が大部分であった。すなわち、自らの判断で能動的に避難するよりは、比較的災害の脅威が差し迫った状況で受動的に避難をしている人がほとんどであ

った。こうした人は、豪雨時の状況認識 (SA) が適切でなかったとことが考えられる。これまで指摘されてきた認知的バイアスも SA の視点から捉えることができる。

Endsley¹⁾は、SA を、レベル 1 (認知) 「取り巻く環境の変化や状況を認知すること」、レベル 2 (理解) 「レベル 1 で得られた情報等に基づいて、自分自身のおかれている状況の全体像を理解すること」、レベル 3 (予測) 「レベル 2 の理解に基づいて今後生じる事態や変化を予測すること」の 3 つのレベルに区分してその過程を捉えている。避難遅れや受動的避難の要因は、何らかのレベルで SA の失敗をしたとみることができる。たとえば、防災情報を取得しなかった人は、初期の状況認識に失敗しており SA レベル 1 の失敗、情報を取得しても災害発生への適切な脅威評価が形成されなかった人は、自身がおかれている状況の全体像を理解することに失敗しており SA レベル 2 の失敗、災害発生の脅威を高く評価しながら、避難意図が形成されなかった人は、脅威評価した事案について今後生じる事態や変化の予測に失敗しており、SA レベル 3 の失敗をしているとみなせる。また、避難意図が高くても能動的に避難をしていない人も SA レベル 3 の失敗を犯しているとみなせる。これは、Wachinger ら²⁾が、自然災害全般に関する論文を広範囲に

レビューし、指摘した「自然災害に対するリスク認知が高くて、そのリスクへの防護行動を取らない」（自然災害リスク認知のパラドックス）にも通じるものである。

災害の脅威を高く認識し、避難行動を身を守る有効な対策と捉えていたとしても、状況認識が適切でなければ、適切な避難にはつながらない。そこで、本研究では、この避難遅れの問題を解決するために、豪雨時の状況認識過程を踏まえた避難意識をモデル化し、豪雨時の状況認識を促す示唆を得ることを目的とする。具体的には、令和2年7月豪雨で被災した地域を対象に避難行動のアンケート調査を行い、その結果を用いて状況認識に応じて避難意識が推移するモデルを推定する。

2. 本研究の枠組みと位置付け

自然災害のように、個人がごくまれにしか直面しない事象の場合、経験不足、情報や周辺環境への SA の不完全さで、ヒューリスティックな意思決定が優先的に働くことが考えられる。そこで、避難行動の意思決定過程のモデル化は、ヒューリスティックな意思決定モデルの1つである自然主義的意思決定 (NDM) ³⁾ を援用する。NDM では意思決定はケースバイケースであり、その時々で異なる可変的なものであるとしている。本研究では、図-1 に示すように意思決定過程に状況分析段階と反応選択段階の2つを設け、豪雨時の時間的な制限やリスクの程度によって異なる反応を選択するように構築していく。状況分析段階と反応選択段階を分離することにより、例えば、いくら平時に防災意識が高くて、SA を誤ると不適切な避難行動を行うということを説明することができるようになる。状況分析段階は、日常の防災への取り組みや災害発生に対する否認や楽観する非防護反応などの個人特性の下、豪雨時に発信される気象情報、避難情報、および周辺環境に基づき状況分析がなされるものとする。本研究では、この段階で実行された屋外避難は、能動的避難とする。一方、反応選択段階は、浸水や避難が呼びかけなどの刺激に対し、そのまま感情的に屋外避難や屋内退避等の意思決定をする。本研究では、

この段階で実行された屋外避難は、受動的避難とする。

内閣府と消防庁とで実施した調査 ⁴⁾ では、避難訓練の実施や過去の災害経験など、防災意識の高い地域の住民はスムーズに避難できたとする一方で、避難勧告等が発令されても住民にそもそも避難しなければならないとの意識がないとの回答が多かったことが報告されている。西日本豪雨の際に避難勧告が発令された地域を対象に実施された WEB 調査 ⁵⁾ では、近隣の人や家族・友人等に避難を呼びかけられた人の方が避難していたこと、一方、避難しなかった理由は、自分は安全な所に住んでいると思っていたことや危険性を伝える情報を見聞きしても危険が迫っていることを想像できた人は半数に及ばなかったことなどが指摘されている。豪雨の際に繰り返し発生する避難遅れ、この要因の一つに人々の災害に対する認知的な限界があるのは、上述のより明らかである。しかし、これに対する効果的な対策はまだ見出されていない。

災害時のリスク認知と避難については、「正常化の偏見」関連の研究は数多くある。「正常化の偏見」克服の代表的な研究に、片田ら ⁶⁾ の「率先避難者」の取り組みがあり、人の同調癖を活用した事例である。それに対し、本研究は、豪雨時に時間的に変化する周辺環境の SA に焦点をあて、避難に至るまでの意思過程をモデル化し、避難遅れの防止策を検討する。「正常化の偏見」等の認知的バイアスも SA の失敗に包含され、適切な避難行動がとれない要因をより広い範囲で検証が可能となる。

本研究では豪雨時の SA の失敗に着目するが、SA 理論は、一般的にはヒューリスティックな意思決定が行われる状況下での失敗を防ぐための学習に活用されている ⁷⁾。SA の災害関連への適用事例は、Twitter の災害時の SA への貢献に関する研究 ⁷⁾ や Web 公開の水位観測システム等の洪水時の SA への活用に関する研究 ⁸⁾ 等があるが、適応範囲は個別ツールの検証に留まっている。それに対し、本研究は、NDM ベースの避難行動意思決定モデルに状況分析段階と反応選択段階を設け、状況分析段階に SA の失敗を組み込み、反応選択段階でよりヒューリスティックな意思決定を行うモデルを構築する。NDM は、パイロット、消防士、軍人などの意思決定の研究 ⁹⁾ に広く活用されているが、避難行動に関する研究は見られない。

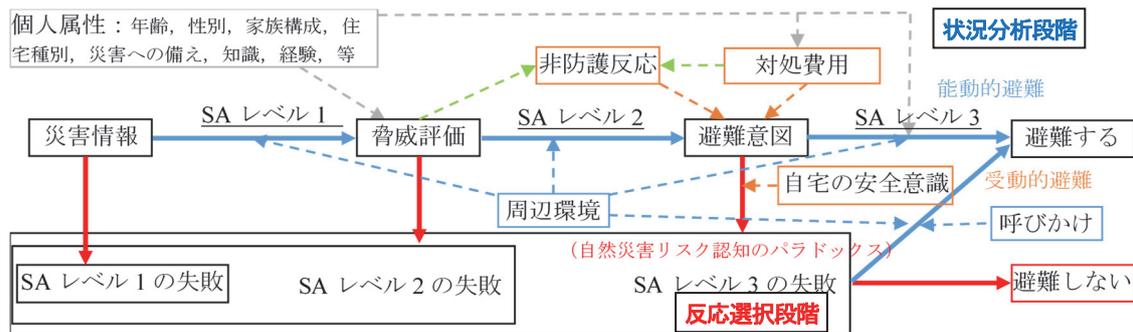


図-1 SA の失敗を考慮した避難行動分析の枠組み

3. 令和 2 年 7 月豪雨の避難行動調査

(1) アンケート調査の概要

2020年7月3日夜から翌4日昼にかけて熊本県南部で発生した豪雨では、球磨川流域の八代市、芦北町、球磨村、人吉市、相良村の計13か所で氾濫・決壊し、約1,060ヘクタールが浸水し、甚大な被害とともに62名の死者・不明者を出した。本研究では、それらの市町村の中でも特に被害が大きかった八代市坂本町、球磨村、人吉市を対象に2020年7月豪雨時の避難行動に関するアンケート調査を実施した。対象地域の被害状況を表-1に、球磨川との位置関係を図-1に示す。

アンケート調査内容の概要を表-2に示す。個人・世帯属性については、性別、年齢、世帯人数、居住年数、住居構造、所有形態、災害時要援護者の有無、および過去の経験や災害への備えの状況について質問している。豪雨時の行動については、避難の有無、避難手段・場所、避難のきっかけ、被害の有無と程度、取得した災害情報の種類と手段等について質問している。SA 関連は、大雨情報、大雨特別警報、避難勧告、避難指示等の災害情報の意味の理解やその情報を聞いた際の災害発生への認識について質問している。また、河川の様子や自宅まで濁流が迫っている状況、避難の呼びかけに対する災害発生への認識についても質問している。PMT の脅威評価に関連した質問は、SA に関連した質問内容の災害発生への認識についてと共有している。対処費用に関連した質問は、避難行動は面倒なのか、避難先は不自由に思えるか等についてである。非防護反応に関連した質問は、災害発生や被害発生への楽観度合いや堤防等ハード整備への信頼等についてである。

豪雨時の周辺環境に対する状況認識、避難意識や脅威評価の時間推移についての調査では、2020年7月3日16時30分から7月4日12時までの避難意識、脅威評価、河川氾濫や土砂災害の発生の認識、河川の確認と河川氾濫の発生の認識、周囲の避難状況、および避難の呼びかけに関する意識、認識、行動を時系列で調査している。

八代市坂本町では、坂本町の8地区および2か所の仮設住宅の集会所で開催された復興計画策定地区別懇談会の参加者を対象にアンケート調査を実施した。一方、球磨村および人吉市では、仮設住宅の全世帯を対象に訪問で調査を実施した。

表-1 被害概要

	八代市 坂本町	球磨村	人吉市
全壊	147棟	332棟	900棟
半壊	160棟	74棟	1449棟
死者・行方不明者	5名	25名	20名



図-1 対象地域

表-2 アンケート調査内容の概要

項目	内容		
個人・世帯属性	性別、年齢、世帯人数、居住年数、住居構造、所有形態、災害時要援護者の有無、等		
避難行動について	避難の有無・手段・場所・きっかけ、被害の程度、取得災害情報の種類・手段、等		
気象・避難情報と脅威・避難意図	災害情報の意味の理解、脅威評価、避難行動意図、等		
経験・備え	災害経験、災害への備えの状況、等		
避難の対処費用	避難は危険、避難は面倒、避難所は不自由等		
自己効力感	避難できる、避難することで身を守ることができる等		
非防護反応	災害は発生しない、被害を受けない、自宅は安全、災害は運命、ハード整備への信頼、等		
脅威評価・避難意識の時間的推移の調査内容			
下記の項目の時間的推移： 避難意識、脅威評価、河川氾濫や土砂災害の発生の認識、河川の確認と河川氾濫の発生の認識、周囲の避難状況、および避難の呼びかけ			
アンケート調査実施状況			
	八代市坂本町	球磨村	人吉市
実施日	2020年10月27日-11月11日	2021年2月23日-28日	2021年3月13日、14日
実施場所	坂本町復興計画策定地区別懇談会会場(10箇所)	仮設住宅(4仮設団地)	仮設住宅(13仮設団地)
回収数	224	162	180

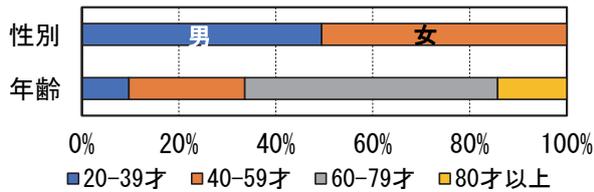


図-2 性別と年齢分布

調査の実施日、実施場所、および各市村での回収数を表-2に示す。調査票の回収数は、八代市坂本町 224 件、球磨村 162 件、人吉市 180 件の計 566 件であった。本研究では、豪雨時の状況認識の条件をなるべく同じにするため、この中から浸水被害にあった回答者を分析対象として抽出した。抽出された回答者は、376 件（八代市坂本町 77 件、球磨村 120 件、人吉市 179 件）であり、その回答者の性別および年齢の分布を図-2に示す。男女比は、ほぼ半々、回答者の 60%以上が 60 歳以上である。次節では、抽出された回答者の避難行動アンケート調査結果の概要を示す。

(2) アンケート調査結果概要

まず、回答者の令和 2 年 7 月豪雨以前の特性に関わる項目への回答結果として、図-3に自然災害の経験回数、図-4にハザードマップの確認の有無、図-5に自然災害への備えの状況を示す。自然災害については、60%弱の人が経験がなく、何らかの自然災害の経験があると回答した人は 40%程度であり、ほとんどの人が水害を経験していた。ハザードマップについては、70%程度の方が確認しており、その内、自宅が浸水域に入っていることを確認した人は 60%であった。また、自然災害への備えの状況は、避難場所、避難場所までの道のりの確認や家族の連絡先の確認は、多くの人が取り組んでいた。また、備蓄や非常持ち出し袋についても 30%程度の人が、準備していた。

次のそのような特性を持った回答者の避難状況について図-6に示す。90%以上の方が避難したと回答しているが、自宅外への水平避難は、75%程度であった。ほとんどの回答者の自宅は、全壊もしくは半壊になるような状態であったが、25%の方が自宅に留まったままだった。図-7の避難のきっかけへの回答結果に示されるように、「濁流が迫ってきた」や「河川の目視」といった災害が目前に迫って状況を認識して、避難している人が多いことが分かる。また、家族・親族やその他の人からの避難の呼びかけをきっかけに避難している人も多いことが分かる。一方、気象や避難に関する情報を元に避難している人は少なかった。この避難のきっかけの状況から水平避難している人を能動的避難と受動的避難に区分すると、能動的避難を行った人は回答者の約 20%、受動的避難

者は約 55%であった。水平避難の避難手段と避難場所の回答結果を図-8に示す。65%の人が車で、また、30%の人が徒歩で避難していた。避難場所については、指定避難場所、親族・知人宅、公共施設の3箇所がそれぞれ 25%前後で同程度であった。

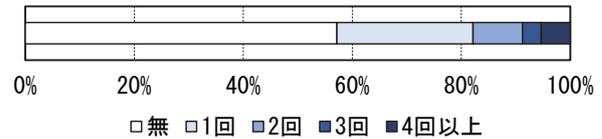


図-3 令和 2 年 7 月豪雨以前の自然災害の経験回数

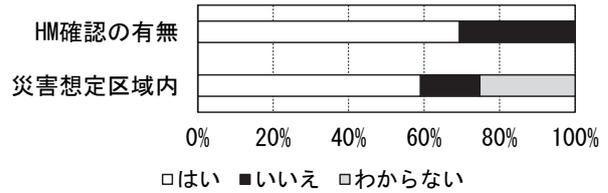


図-4 ハザードマップの確認の有無

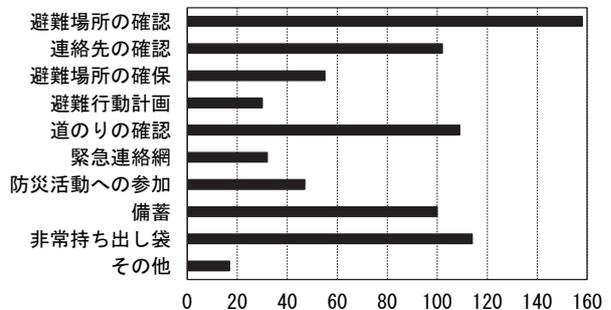


図-5 自然災害への備え (複数回答可)

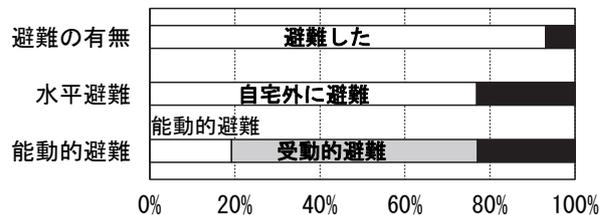


図-6 避難状況

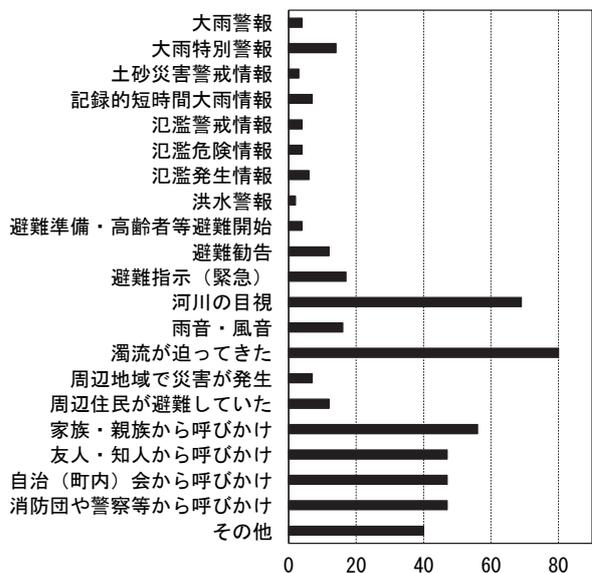
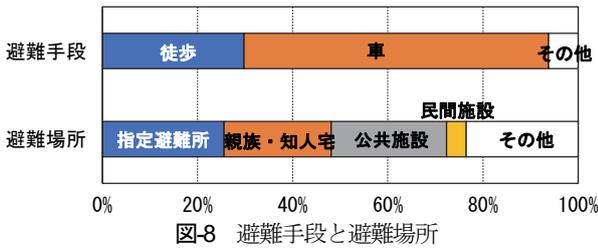


図-7 避難のきっかけ (複数回答可)



気象情報や避難情報を聞いた時に、自分に災害が迫っているとどの程度感じていたか（脅威評価）、避難の必要性をどの程度感じたか（避難意図）への回答結果を図-9、図-10に示す。気象情報や避難情報の内容の深刻さの程度に応じて、脅威評価および避難意図を強く示す人の割合が多くなっている。特に、記録的短時間大雨情報や避難指示（緊急）など災害が差し迫った状況で発せられた警報には、多くの人が強く反応していたようである。

次に、河川の状況や避難の呼びかけがあった等の周辺環境の変化（状況認識）に対する脅威評価、避難意図の回答結果を図-11、図-12に示す。多くの人の避難のトリガーになっていた「濁流が迫っている状況を見たとき」に脅威評価、避難意図を強く感じた人の割合が高かった。これらの中で「通常と異なる雨音を聞いたとき」の脅威評価、避難意図を強く感じた人の割合が相対的に低かったが、それでも気象や避難の各情報を聞いた時に一番高かった避難指示（緊急）と同程度であり、直接的に人の感性に訴える周辺環境の変化が、脅威評価や避難意図に影響していることが分かる。

図-13に避難することの負担感、および避難することへの自己効力感と非防護反応を示す。避難先は不自由であると思っていた人は、少し思ったを含めて60%、自宅外への移動は危険と思っていた人は50%だったのに対し、避難行動は面倒だと思っている人は20%超とかなり少なかった。80%超の人が災害の脅威が迫ってきたら避難すると思っており、また、70%超の人が自宅外へ避難することで身を守れると思っていたようである。その一方で、60%弱の人は、自宅内に避難しても身を守れると思っていた。非防護反応に関する項目では、被害がなければいいなと思っていた人の割合が70%程度と高かったが、その他の項目についてはそれほど顕著な非防護反応は見られず、自然災害による被害は運命だと思っていた人は40%程度であった。

(3) 避難行動への影響要因

本節では、能動的避難、受動的避難、自宅に留まった人との間で、前節で見た各項目の回答分布に違いがあるかどうかを調べることで、避難の方法に違いを生じさせた要因を探る。そこで、能動的避難、受動的避難、自宅に留まった人と各項目との間でクロス集計し、独立性の

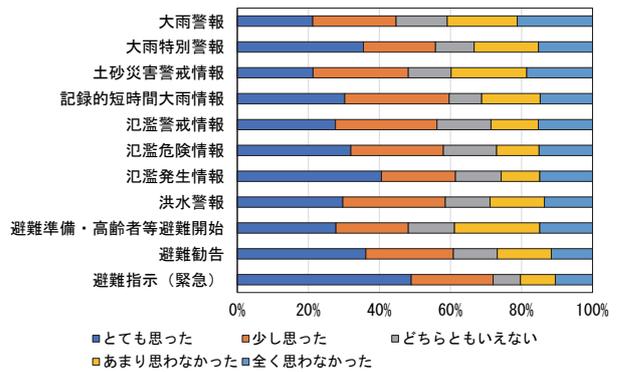


図-9 気象情報・避難情報と脅威評価

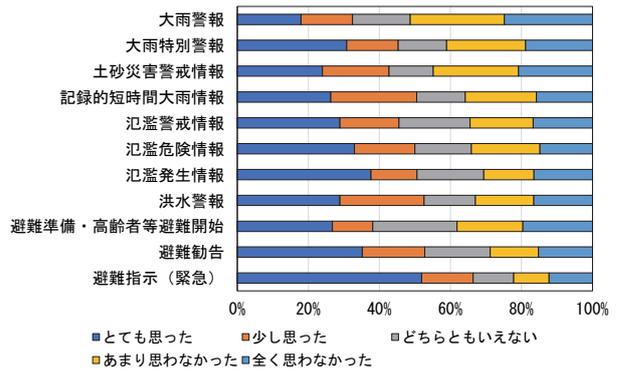


図-10 気象情報・避難情報と避難意図

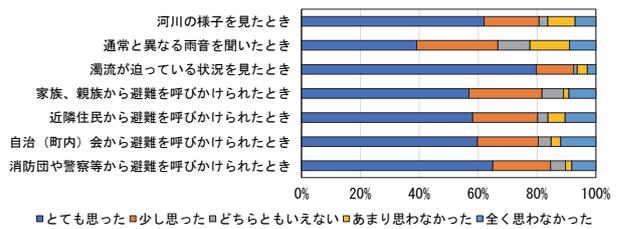


図-11 豪雨時の周辺環境と脅威評価

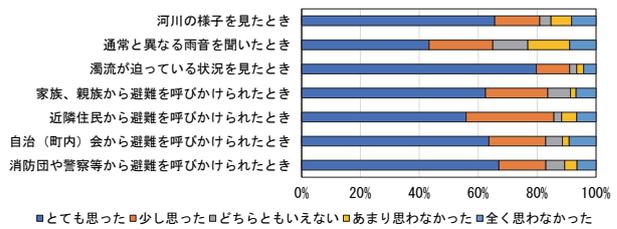


図-12 豪雨時の周辺環境と避難意図

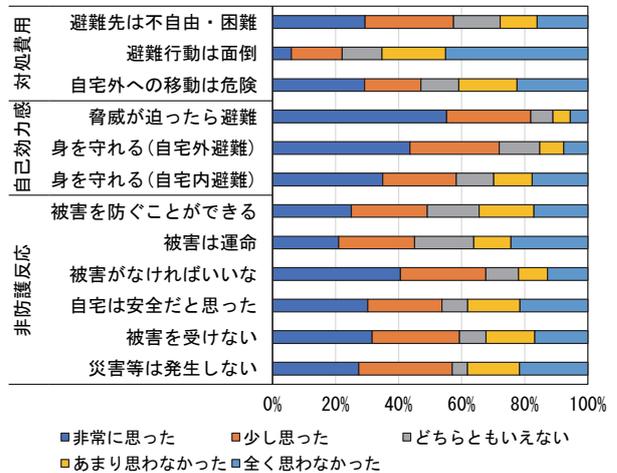


図-13 避難への対処の負担感・自己効力感と非防護反応

検定を行った。その結果を表-3に示す。避難場所の確認、避難行動は面倒、自宅外への移動は危険、脅威が迫ったら避難、身を守る(自宅外避難)、身を守る(自宅内避難)、自宅は安全だと思った、被害を受けない、呼びかけ、気象情報の理解度の 10 項目が統計的に有意となった。クロス集計分析から分かったことを以下にまとめる。

能動的避難者は、避難所を確認している割合や気象情報の理解度が高く、また、避難行動は面倒だと思っていない人の割合が高かった。一方、自宅に留まった人は、自宅外への移動は危険と思ってい人の割合が高く、「自宅外に避難する」より「自宅内で避難する」方が身を守れると思っていた人の割合が高かった。また、自宅にとどまった人は、自宅は被害を受けない、自宅は安全と思っていた人の割合が高く、かなり自然災害に対し楽観的な人の割合が高かった。さらに、自宅に留まった人は、災害の脅威が迫っても避難しようと思っていた人の割合も低く、避難意図の低い人の割合が高かった。受動的避難者は、能動避難者者と比べて避難所を確認している割合や気象情報の理解度は高くなかったが、避難することの負担感、および避難することへの自己効力感、非防護反応、および、対処費用に関する項目については、あまり差はなかった。受動的避難者は、避難の呼びかけを受けている割合が高かった。

表-3 避難状況への影響要因

変数		χ^2 値 (df)	P 値
経験・備え	水害経験	0.460 (2)	0.795
	避難場所の確認	6.699 (2)	0.035*
	ハザードマップの確認	1.022 (2)	0.600
	浸水エリア	2.889 (2)	0.236
対処費用	避難先は不自由・困難	7.199 (8)	0.515
	避難行動は面倒	32.188 (8)	0.000**
	自宅外への移動は危険	31.434 (8)	0.000**
自己効力感	脅威が迫ったら避難	30.047(8)	0.000**
	身を守る(自宅外避難)	28.498 (8)	0.000**
	身を守る(自宅内避難)	31.049 (8)	0.000**
非防護反応	被害を防ぐことができる	10.985 (8)	0.203
	被害は運命	5.223 (8)	0.732
	被害がなければいいな	8.835 (8)	0.356
	自宅は安全だと思った	21.615 (8)	0.006**
	被害を受けない	17.644 (8)	0.024*
SA	災害等は発生しない	2.549 (8)	0.959
	河川の様子の確認	2.916 (2)	0.233
	呼びかけ	38.818 (2)	0.000**
	脅威評価	8.079 (4)	0.089
	避難意思	23.759 (4)	0.000**
	変数	相関係数	P 値
知識	気象情報の理解度	0.110	0.049*
	避難情報の理解度	0.065	0.242

* : 5%有意水準, ** : 1%有意水準

4. 状況認識の時間推移と避難意識

(1) 対象地域の当日の警報等の発令状況

本節では、豪雨時の状況認識を促す気象や避難の情報、および降雨状況や球磨川の水位の状況をまとめる。まず、令和2年7月3日から4日の正午にかけて対象地域に発信された警報を表-4に示す。7月3日 16:50に対象地域全域に大雨注意報、および洪水注意報が出され、それを契機に 17:00 に球磨村で避難準備・高齢者等避難開始情報が発令されている。そして、22:20に球磨村、人吉市に土砂災害警戒情報が出されたのと同時に、球磨村では、避難勧告が発令されている。一方、人吉市では、23:00に避難勧告(土砂)が発令されている。その後、4日の1:00まで、球磨村と人吉市に砂災害警戒情報が繰り返し出され、それ以降の時間は、対象地域全体に土砂災害警戒情報と洪水警戒情報が出されている。そして、2:45に八代市で避難準備・高齢者等避難開始情報が発令されている。3:29に大雨警報(浸水害・土砂災害)、

表-4 対象地域に発信された警報

時刻	八代市坂本町	球磨村	人吉市
令和2年7月3日	11:28	大雨注意報	
	16:50	大雨注意報, 洪水注意報	
	17:00	避難準備・高齢者等避難開始	
	20:49	大雨注意報, 洪水注意報	
	21:39	大雨警報(土砂災害)	
	21:50		土砂災害警戒情報
	22:20		土砂災害警戒情報
			避難勧告
	22:40		土砂災害警戒情報
	22:52	洪水注意報	洪水警戒情報
	23:00		避難勧告(土砂)
23:40		土砂災害警戒情報	
23:55		土砂災害警戒情報	
令和2年7月4日	0:18	大雨警報(土砂災害), 洪水警戒情報	
	0:30		土砂災害警戒情報
	1:00		土砂災害警戒情報
	1:10		土砂災害警戒情報
	1:30		土砂災害警戒情報
	1:34	大雨警報(土砂災害)	大雨警報(浸水害・土砂災害)
			洪水警戒情報
	2:40		土砂災害警戒情報
	2:45	避難準備・高齢者等避難開始	
	3:10		土砂災害警戒情報
	3:29	大雨警報(浸水害・土砂災害), 洪水警戒情報	
	3:30		避難指示
	3:39		記録的短時間大雨情報
	4:00		避難勧告(洪水)
	4:50	大雨特別警報(浸水害・土砂災害)	大雨特別警報(土砂災害)
			洪水警戒情報
	5:15		避難指示(洪水)
6:45		記録的短時間大雨情報	
8:46		記録的短時間大雨情報	
9:50	避難指示		
10:55		土砂災害警戒情報	
11:50	大雨警報(土砂災害), 洪水警戒情報		

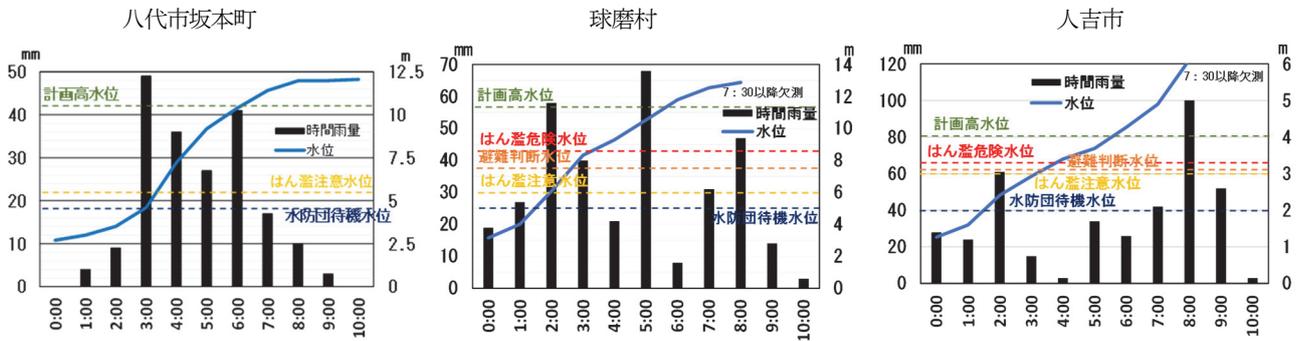


図-14 対象地域の降雨量および球磨川の水位の状況

表-5 指定河川洪水予報（球磨川）

時刻	情報種類	観測所	備考
2:31	氾濫注意情報	渡, 大野	2:00頃「氾濫注意水位」到達
3:11	氾濫警戒情報	人吉	5:00頃に「氾濫危険水位」到達見込み
		渡, 大野	2:50頃「避難判断水位」到達, 「氾濫危険水位」に到達見込み
3:35	氾濫危険情報	渡, 大野	3:20頃「氾濫危険水位」到達
		人吉	4:00頃「氾濫危険水位」到達見込み
3:57	氾濫危険情報	渡, 大野	「氾濫危険水位」継続
		人吉	3:40頃「避難判断水位」到達, 「氾濫危険水位」到達見込み
4:20	氾濫危険情報	人吉	4:00頃「氾濫危険水位」到達
		渡, 大野	「氾濫危険水位」継続
5:58	氾濫発生情報	大野, 渡, 人吉	球磨村大字渡地先(右岸)付近で氾濫発生
6:32	氾濫発生情報	人吉, 渡	「氾濫危険水位」継続
7:50	氾濫発生情報	人吉, 渡, 大野	合志野(左岸), 漆口地先(左岸), 白石地先(左岸), 人吉市上青井町(右岸), 小輪辻地先(右岸), 一勝地(左岸), 西鎌瀬地先(左岸)付近で氾濫発生

および洪水警報が出され、3:30に球磨村で避難指示が発令され、また、3:39に記録的短時間大雨情報が出されている。その後、人吉市で4:00に避難勧告（洪水）が発令され、4:50に大雨特別警報、および洪水警報が出され、5:15に避難指示（洪水）が発令されている。それから2度の記録的短時間大雨情報を挟み、9:50に八代市で避難指示が発令されている。

図-14に4日0:00から10:00までの対象地域の降雨および球磨川の水位の状況、また、表-5に同時時間帯に球磨川に関して出された河川洪水予報を示す。八代市坂本町では、3:00から6:00にかけて、球磨村では2:00から8:00にかけて断続的に、人吉市では、2:00から9:00にかけて雨が激しく降っている。河川水位は、八代市坂本町では、3:00過ぎに氾濫注意水位、6:00過ぎに計画高水位に、球磨村では、3:00過ぎに氾濫危険水位、6:00頃には計画高水位に、人吉市では、4:00頃に氾濫危険水位、5:30頃に計画高水位に達している。そして、表-5にあるように5:58に球磨村で氾濫発生、7:50に八代市坂本町、および人吉市でも氾濫発生の情報が出されている。以上より、降雨や河川の水位等の環境状況と当然ではあるが気象や災害関連の警報等の情報発信のタイミングがリンクしているのが分かる。

(2) 豪雨時の周辺環境への状況認識の時間的推移

本節では、7月4日の避難や周辺環境に対する状況認識の時間的推移をまとめる。図-15に避難意識と避難した人の割合の時間推移を示す。球磨村で避難指示が発令された3:30以降に避難者が増加しているのは分かるが、その時点ではそれほど多くはない。5:30から6:00にかけて屋内での垂直避難も含めて避難者が急増している。これは、人吉市で5:15に避難指示が発令され、また、球磨村で氾濫が発生した時間帯であったからであろう。雨も激しく降っていた時間帯であり、かなり危険な状況で避難しているのが分かる。避難意識は、時間の経過とともに変化しているが、避難した人が急に増えたように多くの人の避難意識は不連続に変化していた。これは、周辺環境の急激な変化によってもたらされたものと考えられる。

そこで、次に図-16に河川氾濫意識の時間推移を示す。5:00以降に河川の氾濫を確信したり、氾濫を見た人が

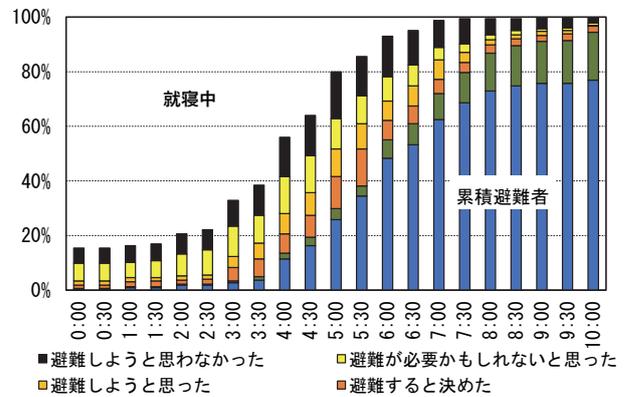


図-15 避難意識と累積避難者の時間推移

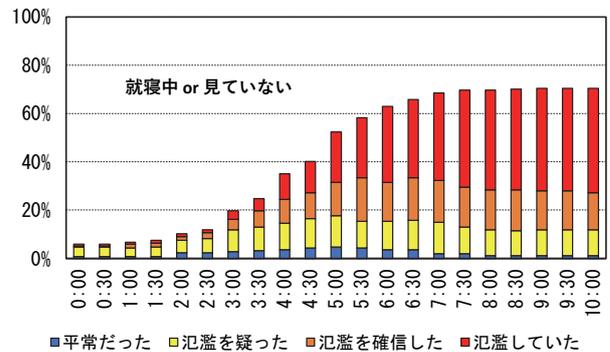


図-16 河川氾濫意識の時間推移

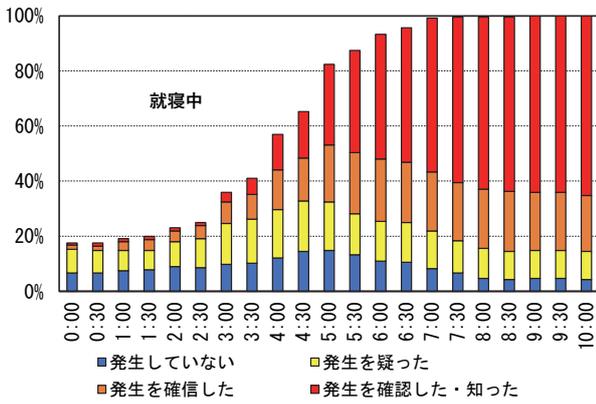


図-17 災害発生意識の時間推移

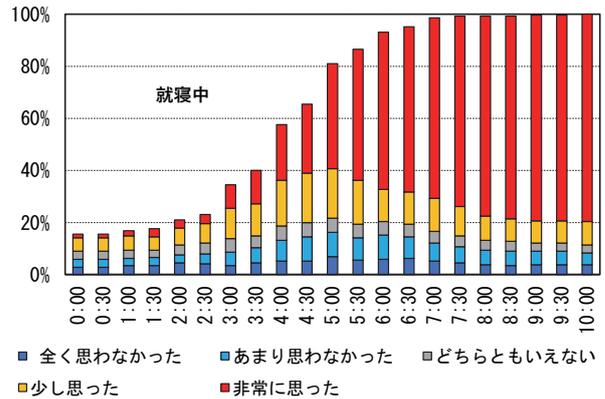


図-20 脅威評価の時間推移

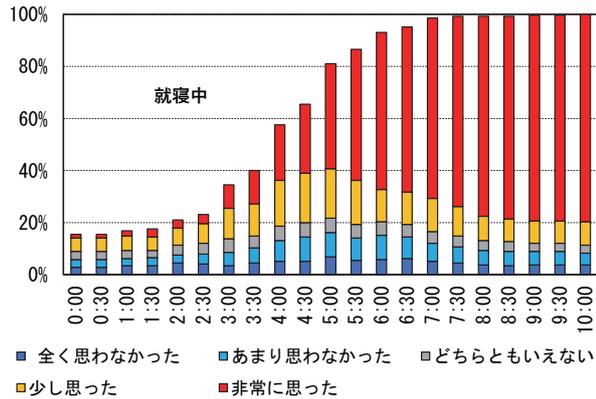


図-18 周囲の避難状況に対する意識の時間推移

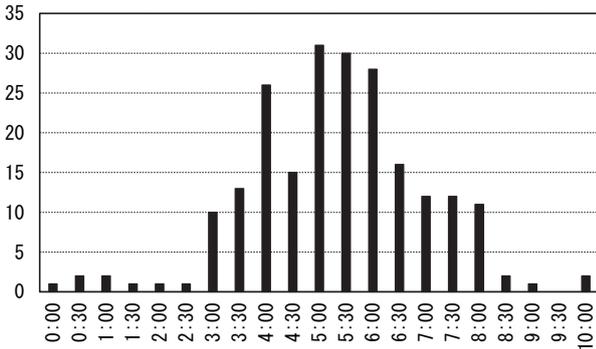


図-19 避難の呼びかけのあった時間帯

増えている。また、図-17 の災害発生意識の時間推移に示されるように、河川氾濫意識に呼応して 5:00 以降に災害の発生を確信した人や確認した人が増えている。

図-18、図-19 に周囲の避難状況に対する意識の時間推移と避難の呼びかけを受けた時間帯を示す。4:00 頃から周囲の人が避難していると感じている人が増えている。これは、図-19 に示されるように避難の呼びかけを受けた人が、3:00 ごろから増えており、この状況が反映されていると考えられる。

豪雨時のこれら周辺環境の変化に対して、自身に災害が迫る脅威評価の時間推移を図-20 に示す。3:00 過ぎまでは、起きていない人の半数ほどしか脅威を感じていた人はいなかったが、4:00 以降は、70% 以上の人が災害の脅威を感じるようになっており、周辺環境に対する状況認識の時間推移と概ね一致する傾向にあることが分かる。

(3) 状況認識の時間推移を考慮した避難意識モデル

前節で見られたように豪雨時の避難意識は、時間の経過とともに変化する。状況認識の失敗がなければ、本章第 1 節に示した時々刻々と変化する気象情報や災害情報を取得しながら、周辺環境の状況を評価し、避難意思が適切に醸成され、能動的避難へと繋がっていくであろう。しかしながら、現実には避難した人が急に増えたように避難意識の段階が不連続に変化している人が多くいる。避難意識の段階が不連続に変化する要因の一つに状況認識の失敗が考えられる。そこで、本節では、豪雨時に時間的に変化する周辺環境に対する状況認識を考慮した避難意思モデルを構築する。

個人 n の時刻 t での不安度 u_n^t は、時間経過に関係ない個人特性ベクトル x_n と時間経過により変化する周囲の状況や河川や気象等の災害情報のベクトル z_n^t の関数 $V(x_n, z_n^t) (= v_n^t)$ と確率項 ε_n^t とで表されるものとする。なお、SA に関する変数は、 z_n^t に含まれるものとする。

$$u_n^t = V(z_n^t, x_n) + \varepsilon_n^t \quad (1)$$

起床後の各時間帯の個人の避難意識の状態は、「1. 避難しようと思っていない」、「2. 避難が必要かもしれない」、「3. 避難しようと思う」、「4. 避難を決める」、「5. 水平避難を実行する」の 5 段階とする。各意識状態には図-21 に示すように閾値 k_i があり、不安度がそれを上回ると意識段階が変化するものとする。突然濁流が目の前に迫るなどして一気に不安度が高まれば、避難意識段階は不連続に高まることになる。確率項 ε_n^t が、平均 0、分散 σ^2 の正規分布、 $\Phi(\cdot)$ を標準正規分布の累積密度関数とすると、個人 n が時刻 t に避難への意識状態が i である確率 $P_n^t(i)$ は、式(2)で与えられる。

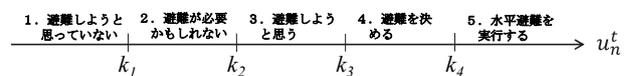


図-21 不安度と避難意識レベル

$$P_n^t(i) = \Phi\left(\frac{k_i - v_n^t}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{k_{i-1} - v_n^t}{\sigma}\right) \quad (2)$$

災害が発生に向けて進行していく段階では、一般に意識状態は下位の段階に戻らないであろう。したがって、時刻 t に避難意識の状態が i であった個人 n が、時刻 t に意識状態 $j (\geq i)$ である確率は、式(3)で与えられる。

$$P_n^t(j|i) = \frac{\left\{ \Phi\left(\frac{k_j - v_n^t}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{k_{j-1} - v_n^t}{\sigma}\right) \right\}}{\left\{ 1 - \Phi\left(\frac{k_i - v_n^t}{\sigma}\right) \right\}} \quad (j \geq i) \quad (3)$$

不安度関数 $V(\mathbf{z}_n^t, \mathbf{x}_n)$ は、 α, β をパラメータベクトルとして、式(4)で表されるものとする。

$$V(\mathbf{z}_n^t, \mathbf{x}_n) = \alpha \mathbf{z}_n^t + \beta \mathbf{x}_n \quad (4)$$

パラメータベクトル α, β および各閾値 k_i は、次の対数尤度関数を最大化する値として推定される。

$$\ln L(\alpha, \beta, \mathbf{k}) = \sum_n \sum_t \sum_{j \geq i} \delta_{ij}^{nt} \ln P_n^t(j|i) \quad (5)$$

ここで、 δ_{ij}^{nt} は、時刻 t に状態 i であった個人 n が時刻 t における避難意識の状態が $j (\geq i)$ であるとき 1、それ以外の場合 0 を取るダミー変数である。また、パラメータ推定の際には、「1. 避難しようと思っていない」場合の不安度が 0 以下になるよう閾値 k_1 は 0 に固定する。なお、この不安度モデルは、不安度が一気に高まった場合、意識段階が不連続に変化するため、システム 1 的思考の意思決定にも対応したものである。

(4) 避難意識モデルの推定結果

個人特性ベクトル \mathbf{x}_n を構成する変数としては、第 3 章で避難行動への影響要因として、統計的に有意となった 10 項目を候補とする。一方、豪雨の時間経過とともに変化する \mathbf{z}_n^t を構成する変数として、本章 2 節の豪雨時の周辺環境への状況認識の時間推移に関する項目を候補とする。アンケート調査で、これら避難意思モデルの説明変数の候補すべての項目について回答していた 187 世帯の 3:00 から 8:00 までの避難意識の時間推移と避難状況を整理したものを図-22 に示す。なお、ここでは簡単化のため避難の実行は、水平避難だけとしている。

この 187 世帯のアンケートデータを用いて、時間経過とともに変化する避難意識モデルを推定した。推定されたパラメータすべてが、符号条件を満たし、有意水準 5% で統計的に有意であったモデルの中から、もっとも多くの変数が含まれた 2 つを表-7 に示す

Model1 では、時間的に変化する SA 関連項目として選択された変数は、脅威評価、災害発生意識、周囲の避難状況への意識、および、避難の呼びかけの有無であった。平時の意識として選択された変数は、自宅の安全意識、脅威が迫った場合の避難意識、および、自宅外への避難

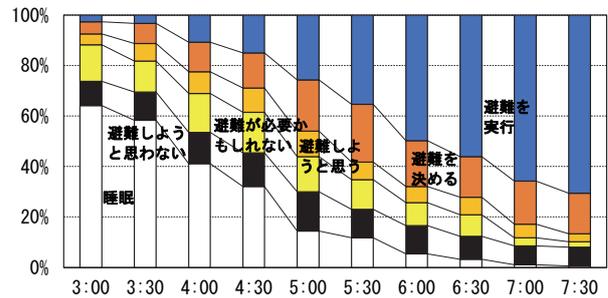


図-16 避難意識の時間推移

表-7 状況認識の時間推移を考慮した避難意識モデルの推定結果

変数		Model 1		Model 2	
		推定値	t 値	推定値	t 値
状況認識	時刻 t 時点の脅威評価 (1-5)	0.342	7.995**	0.434	11.223**
	時刻 t 時点の災害発生意識 (1-4)	0.299	5.973**	—	—
	時刻 t 時点の河川氾濫意識 (1-4)	—	—	0.071	2.380**
	時刻 t 時点の周囲の避難状況への意識 (1-4)	0.110	2.574**	0.130	3.157**
	時刻 t 時点の避難の呼びかけの有無 (0/1)	0.778	6.796**	0.871	7.844**
平常時の意識	自宅の安全意識 (1-5)	-0.067	2.144*	-0.076	2.455**
	脅威が迫った場合の避難意識 (1-5)	0.153	2.797**	0.096	1.765*
	自宅外への避難で身を守る (1-5)	0.127	2.920**	0.126	3.044**
定数項		-3.300	9.968**	-2.808	8.820**
「避難をしようと思う」の閾値 (k_2)		0.916	12.517**	0.904	12.512**
「避難すると決める」の閾値 (k_3)		1.441	16.775**	1.416	16.873**
「避難実行」の閾値 (k_4)		2.272	23.790**	2.221	23.828**
尤度比		0.541		0.535	

* : 5%有意水準, ** : 1%有意水準

で身を守れるであった。Model2には、災害発生意識に替えて河川氾濫意識が入っているところのみで、残りの変数は Model 1 と共通しており、パラメータの大きさもあまり差がないので、以下では Model1 の推定結果に基づいて考察する。

定数項が-3.300、自宅の安全意識のパラメータが-0.067 であることから、自宅の安全意識が非常に高い人の不安度のベースは-3.636 程度であり、「避難実行」の閾値 2.272 との関係から豪雨時に大きな脅威を抱いても、なかなか水平避難に結びつかないことが分かる。一方、平時から、豪雨時は自宅は安全でなく、自宅外への避難することで身を守れると思っても、豪雨の際に脅威評価が高いだけでは避難実行までは結びつかず、災害発生意識、周囲の避難状況への意識、および呼びかけの評価が揃って高くなると、水平避難の実行に結びつかないことが分かる。これは、平時の避難意識改善だけでは、能動的な避難者を増やすことが難しいことが示唆される。また、「避難すると決める」の閾値と「避難実行」の閾値に 0.831 の差があり、避難すると決めても、実際に避難を実行するまで意識レベルを上げるには、何らかの大きな刺激が必要であることが分かる。たとえば、避難すると決めたところに、避難の呼びかけや災害発生を確認するなどと避難が実行されることが推測される。

以上のことから、豪雨時の周辺環境に対する状況認識が、水平避難の実行に重要であるが、その状況認識が促進される状況は、水平避難を行うには危険な周辺環境状況であることが明らかになった。また、平時から災害時の自宅に対する安全意識を改善しないと水平避難は促進されなことも分かった。その一方で、平時の避難意識改善だけでは、豪雨時に能動的避難を促すことが難しいことも分かった。

5. おわりに

本研究では、令和 2 年 7 月豪雨で被災した熊本県南部の球磨川流域の八代市坂本町、球磨村、人吉市を対象に、豪雨時の周辺環境に対する状況認識の時間変化と避難行動のアンケート調査を行った。そして、その調査データを用いて状況認識の時間推移を考慮した避難意識モデルを推定した。本研究では、豪雨時に浸水被害で家屋に甚大な被害を受けた人々を分析対象としており、基本的に水平避難が必要とされた人たちであることを踏まえて、アンケート調査の集計結果およびモデル分析から得られた知見を以下に示す。

避難のトリガーは、気象情報や避難情報でなく、河川の氾濫や避難の呼びかけなど状況認識を直接訴えるものであった。また、災害が起こる前に自らの判断で能動的

に避難している人は少なく、避難している人の多くは、災害の発生や避難の呼びかけなどに促されて避難した受動的避難者であった。

能動的避難者は、避難所を確認している割合や気象情報の理解度が高く、避難行動は面倒だと思っていない人の割合が高かった。受動的避難者は、能動的避難者と比べて避難所を確認している割合や気象情報の理解度は高くなかったが、避難することの負担感、避難することの自己効力感、非防護反応、および、対処費用に関する項目にあまり差はなかった。一方、自宅に留まった人は、自宅外への移動は危険と思ってい人の割合が高く、「自宅外に避難する」より「自宅内で避難する」方が身を守れると思っていた人の割合が高かった。また、自宅は被害を受けない、自宅は安全と思っていた人の割合が高く、かなり自然災害に対し楽観的な人の割合が高かった。さらに、自宅に留まった人は、災害の脅威が迫っても避難しようと思っていた人の割合も低く、避難意図の低い人の割合が高かった。

避難意識モデルの推定結果から豪雨時の周辺環境に対する状況認識が、水平避難の重要な要素であることが分かった。本研究の中で、その状況認識が促進される周辺環境の状況は、水平避難を行うには危険な状況であった。また、平時から災害時の自宅の安全意識を改善しないと水平避難は促進されなことが分かった。しかし、それと同時に、平時の避難意識改善だけでは、豪雨時の能動的避難を促すことが難しいことも分かり、早めの水平避難を促すには、避難のトリガーとなっていた避難の呼びかけや河川の濁流に替わる個人の災害リスクに応じた警報等が必要であろう。

本研究で推定した避難意思モデルには、各種の気象や防災の情報、雨量、および河川水位等の客観的な時系列情報が取り込まれてないため、それらの情報と状況認識の関係、および状況認識の失敗がモデル上で表現しきれていない部分がある。それらの取り扱いについては、今後の課題としたい。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 19H02263、および 20K21916 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Endsley & Garland : Situation Awareness Analysis and Measurement, CRC PRESS, 2000.
- 2) Gisela Wachinger, Ortwin Renn, Chloe Begg, Christian Kuhlicke : The Risk Perception Paradox—Implications for Governance and Communication of Natural Hazards, Risk Analysis, Vol. 33, No. 6, pp.1049-1065, 2013.
- 3) Zsombok, C.E. & Klein, C. : Naturalistic Decision Making, Lawrence Erlbaum Associate, Inc, 1996.
- 4) 内閣府：平成30年7月豪雨における避難に関する市町

- 村へのアンケート調査, http://www.bousai.go.jp/fusu-igai/suigai_dosyaworking/pdf/dai2kai/sankosiryō4.pdf, 2018.
- 5) 環境防災総合政策研究機構：平成30年7月西日本豪雨災害アンケート調査結果速報（概要），https://mba.pu-hiroshima.ac.jp/pdf/h30/180801a_bousaipress.pdf, 2018.
- 6) 片田敏孝, 他 3 名：希望者参加型の防災実践の限界, 土木学会論文集, Vol.67, No.1, pp.1-13, 2011.
- 7) S.Vieweg, 他 3 名：Microblogging During Two Natural Hazards Events: What Twitter May Contribute to Situational Awareness, Proc.of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1079-1088, 2010.
- 8) V.Lanfranchi, 他 4 名: Citizens' Observatories for Situation Awareness in Flooding, Proc. of the 11th International ISCRAM Conference, pp.145-154, 2014.
- 9) Gary Klein : Naturalistic Decision Making, Human Factors, Vol.50, No.3, pp.456-460, 2008.

(Received July 1, 2009)

(Accepted November 1, 2009)

EVACUATION MODEL ACCODING TO A CHANGE OF SITUATION AWARENESS ON A HEAVY RAIN

Ryuji KAKIMOTO and Mamoru YOSHIDA

The heavy rain event of July 2020 caused flooding and landslides mainly in the south of Kumamoto Prefecture, resulting in a huge disaster of 86 dead and missing. We conducted a questionnaire survey on a change in evacuation awareness that change over time according to river conditions and awareness of disasters in Hitoyoshi City, Kuma Village, and Sakamoto Town, Yatsushiro City in Kumamoto Prefecture, which suffered the most damage. Then, using the results of these questionnaires, we estimated an evacuation consciousness model based on situational awareness that changes with the progress of heavy rain. From the analysis of the questionnaire results and the evacuation awareness model, as for the factors that encourage horizontal evacuation, the stimuli that promote situational awareness such as evacuation calls and river flooding were more significant than disaster preparedness such as confirmation of hazard maps and confirmation of evacuation sites and evacuation information such as evacuation advisories and evacuation orders.