

豪雨時の状況認識を考慮した 避難意思決定過程のモデル化

柿本 竜治¹・吉田 護²

¹正会員 熊本大学 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

²正会員 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 (〒852-8521 長崎市文教町1-14)

E-mail:yoshida-m@nagasaki-u.ac.jp

自然災害リスクの認知が高くても、適切な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が存在する。リスク認知のパラドックスの存在は、避難遅れが頻繁に発生している豪雨時の避難行動を慎重な思考による行動として取り扱うことに疑問を投げ掛けるものである。そこで、本研究では、状況認識を重要視している自然主義的意思決定モデルを採用し、豪雨時の避難行動の意思決定過程をモデル化する。豪雨時に周辺状況は時々刻々と変化するが、その周辺状況の認知とともに水害発生への意識も変化するだろう。避難実行までの意識変化をモデル化するその際に、説明変数に状況認識を取り入れる。具体的には、平成24年7月の九州北部豪雨の際に熊本市内で浸水被害を受けた龍田地区の住民を対象に避難実行までの意識変化を表現できるモデルを構築する。

Key Words : *Evacuation, Flood, Naturalistic Decision Making, Situation Awareness*

1. はじめに

Wachinger ら¹⁾は、自然災害全般に関する論文を広範囲にレビューし、「自然災害に対するリスク認知が高くても、そのリスクへの防護行動を取らない」といった自然災害リスク認知のパラドックスの存在を示唆した。2012年阿蘇・大分、2013年伊豆大島、2014年広島市、2017年福岡県・大分県と毎年のように多数の死傷者を伴う豪雨が発生し、その脅威の認知は広まったかに思われた。2018年西日本豪雨では、これらの豪雨災害を教訓に、比較的早い段階で避難勧告等が発令されたが、再び広範囲で多くの犠牲者を出すこととなった。自然災害の脅威の認知と行動のギャップは、減災社会を構築する上で重要な課題であり、リスク認知と対処行動の関係は、災害対策の領域において改めて問い直されている。

リスク回避行動を促進する主要因に、事象が発生する確率と被害の甚大さに対する主観的判断(脅威評価)とその対策行動に対する効力感の知覚(対処評価)を挙げている理論に防護動機理論(PMT)がある²⁾。この理論では、脅威と対処手段の評価が、対処行動を生じさせているという合理性を前提としている。PMTは、健康リスクに関する行動分析のために開発されたものであり、その後、労働リスクや技術リスクなど他の分野でも幅広

く応用され成功を収めている。また、近年は、自然災害対策にも応用されている³⁾。しかしながら、自然災害リスク認知のパラドックスの存在は、普段から避難意図の高い人は、豪雨時に避難すると合理性の前提に疑問を投げ掛けるものである。

社会心理学や認知心理学の分野で、人間の情報処理を説明するための理論の一つに二重過程理論がある⁴⁾。二重過程理論は、「思考の負荷が低く、直観的、自動的ですばやく行動に結びつくシステム1」と「意識的思考を駆使し、負荷が高く、分析的で論理的なシステム2」という2つのシステムによって判断・意思決定がなされているというものである。二重過程理論では、認知資源と動機が十分なきシステムティック(システム2)に、どちらか一方でも不足するとヒューリスティック(システム1)に処理されることが示されている。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状況認識の不完全さで、このシステムがうまく機能しなくなり、ヒューリスティックなシステム1が優先的に働くことが考えられる。

現在の防災計画や避難情報の提供は、災害時の人々の避難行動は、慎重な思考による行動であることを前提としており、豪雨時の避難行動が、ヒューリスティックな意思決定に基づいて行われるのであれば、それに対応し

た処方箋が必要となろう。

そこで本研究では、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 (Naturalistic Decision Making: NDM) モデル⁹⁾を援用して豪雨時の避難行動をモデル化する。具体的には、平成 24 年 7 月に発生した、九州北部豪雨災害において熊本市内で最も浸水被害を受けた、熊本市龍田地区で行われたアンケートの調査結果を用いて、避難を実行するまでの意識の時間変化をモデル化する。

2. 自然主義的意思決定と状況認識の失敗

NDM モデルは、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の考えに基づいている。NDM モデルは、図-1 に示すように状況認識 (SA: Situation Awareness)、意思決定、行動の 3 つの段階で構成されており、SA を意思決定から分離することにより、例えば、いくら熟練度の高い専門家であっても、状況認識を誤ると不適切な意思決定を行うという事実を、簡単に説明することができる。この NDM モデルの枠組みを豪雨時の避難行動に適用すると、平常時に脅威評価や対処評価が高い状態の人でも、実際の豪雨時には避難遅れが生じる状況を説明できることになろう。

また、NDM モデルに含まれる SA について、Endsley は、図-1 に示す 3 つのレベルを区別することを提案している。レベル 1 (知覚) は、何かが起こったとき、それに気づくことができることであり、レベル 2 (状況理解) は、その現象の原因を特定することができることであり、レベル 3 (行為選択) は、これからの事態の推移を予測することができることである。

この 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⁶⁾。SA 理論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⁾があるが、その数は少なく、その適応範囲は

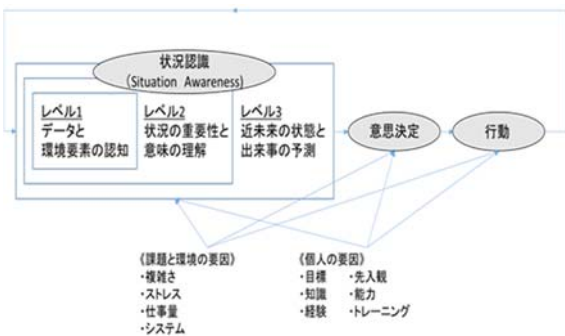


図-1 自然主義的意思決定モデルの枠組み

個別ツールの検証に留まっている。この SA を反映した NDM モデルは、パイロット、消防士、軍人、看護師などの意思決定の研究⁵⁾に広く活用されているが、避難行動の意思決定に関する研究はこれまでにない。

豪雨時の避難遅れの一つの要因として、住民の災害対応に状況認識の失敗が推察される。災害時の状況認識の失敗には、人々の避難行動の意思決定のための災害情報や周辺環境に対する認知的な限界の存在がある。そこで、本研究では、豪雨時に住民が周辺環境をどのように受け取り、意識変化に影響が出たか、状況認識 (SA) の失敗を考慮して、避難行動をモデル化する。

3. SAを考慮した豪雨時の不安度モデルの推定

(1) 対象地域とアンケート調査概要

平成 24 年 7 月に起こった豪雨は、九州北部を中心に記録的な大雨を降らせ、各地に大きな被害をもたらした。7 月 12 日 6 時 41 分、気象庁は「これまでに経験したことのないような大雨」と発表した。この豪雨によって、福岡・熊本・大分・佐賀の 4 県で死者 30 名、行方不明者 3 名、負傷者 34 名の人的被害が発生した。住家全壊 276 棟、半壊 2,306 棟、一部損壊 192 棟、床上浸水 2,574 棟、床下浸水 8,409 棟など甚大な被害を及ぼし、公共土木施設、農業・林業及び商工観光等の被害総額は約 1,900 億円に上った¹⁰⁾。この大雨は、気象庁によって「平成 24 年 7 月九州北部豪雨」と名付けられた。

アンケート調査の対象地域は、熊本県熊本市北区の龍田 1 丁目と龍田陣内 4 丁目である。図-2 は対象地域のハザードマップである。一級河川である白川が蛇行している箇所にも両地区は位置している。両地区とも、河川に近づくにつれ地盤が低くなっている。両地区は 1980 年と 1990 年にも浸水被害を受けている地域であり、1990 年の水害後に特殊堤がかさ上げされている。



図-2 対象地域のハザードマップ

表-1 龍田地区の時系列の出来事

時間	出来事
0:30	大雨洪水警報発表
6:05	【龍田陳内4丁目】消防団が一部冠水確認、堤防付近の家に早期避難を呼びかけ
	【龍田1丁目】消防団が浸水（ひざ上）確認、車載マイクにて避難広報実施
6:45	気象庁「これまでに経験したことのない大雨」警戒情報発令
6:50	【龍田陳内4丁目】消防団が団地内への浸水確認、車載マイクにて広報実施、避難所開設、逃げ遅れた者をロープ等で誘導
8:15	【龍田陳内4丁目】床上浸水
8:53	熊本市が緊急告知ラジオ・災害情報メールで避難呼びかけ
9:20	避難指示発令
9:33	【龍田陳内4丁目】県防災ヘリでの救助開始
10:30	【龍田陳内4丁目】自衛隊ヘリでの救助開始
	代継橋で最高水位 6.32m を観測（氾濫危険水位 5.0m）

表-2 アンケート調査内容の概要

対象地区	熊本市北区龍田1丁目、龍田陳内4丁目	
期間	2012年12月8日、9日	
方法	訪問聞き取り	
対象世帯数	龍田1丁目 435世帯 龍田陳内4丁目 175世帯	
回収数（率）	龍田1丁目 209世帯（約53%） 龍田陳内4丁目 92世帯（約48%）	
質問項目	個人属性	性別、年齢、自力避難の可否
	世帯属性	世帯人数、居住年数、住居構造、住居形態、避難実態
	周辺状況	近所の通勤・通学状況、周辺商店の営業状況、近所の避難状況、周辺の交通状況
	避難行動・意識	気象等の水害情報の取得について、水害発生前後の意識変化の時刻と要因

この両地区の当日のたまかな出来事は表-1に示す。午前6時過ぎには既に龍田陳内4丁目、1丁目共に浸水が確認されていた。これは午前6時45分の気象庁による警戒情報発令より早かった。また、熊本市内に避難指示が発令されたのは午前9時20分であり、この時はもう既に両地区で浸水被害が発生していた。午前8時ごろから水が堤防を越え、浸水したとのことであった。氾濫した濁流により、龍田陳内4丁目では多くの住民が逃げ遅れ、自衛隊や県警、消防団によってヘリコプターやゴムボートで救出された。

この熊本市北区龍田陳内4丁目と龍田1丁目の全世帯を対象としたアンケート調査の概要を表-2に示す。調査対象地域は両地区合わせて610世帯であり、そのうち家屋全半壊の被害を受けているのが211世帯、浸水被害を受けているのが309世帯であった。対象地域の大部分が被害を受けていた。回収率は、全体で49%であった。なお、本研究では、豪雨時の不安度モデルの推定するため、当日の各時間帯の心理状態、避難実行時間、災害に関する情報の取得時間、および周辺状況の認知のデータを利用する。龍田地区の調査内容や結果の詳細については、参

考文献11)を参照。

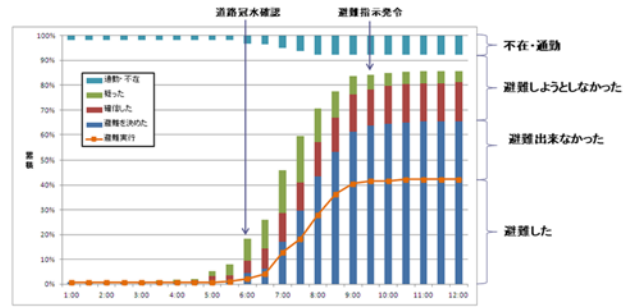


図-3 水害の危機意識と避難開始率の時間的推移 (N=286)

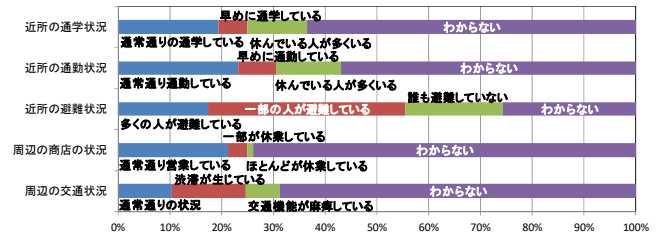


図-4 自宅周辺の社会状況の把握状況 (N=288)

(2) 水害に対する意識の時間推移と周辺環境の認知状況

水害を疑い始め、確信し、そして、避難を決定するまでの意識と避難開始率の時間推移を図-3に示す。水害を疑い始めた世帯、確信した世帯および避難することを決めた世帯が、午前6時から増加している。また、同様に避難開始率も午前6時から増加している。早朝の水害であったため、朝起きたときにはすでに自宅が浸水していた世帯も多く、起きた時点で水害を確信し、避難することを決めた世帯が多数存在した。これは、図-4に示す水害を疑う前の当日の自宅周辺の社会状況の把握状況からも分かる。両地区とも半数以上の世帯が、近所の世帯の通勤・通学状況、自宅周辺の主要道路や商店の状況についての分からないと回答している。

午前9時までに約60%程度の世帯が避難することを決めているが、実際に避難出来た世帯は約40%程度であった。避難することを決めたが避難することが出来なかった世帯が約20%程度あり、それらの世帯は、家屋内で退避したり、ゴムボートやヘリにより救助された。浸水被害が発生した地域にも関わらず、30%程度の世帯が避難しようとしていなかった。

(3) 災害時の不安度モデル

前節で見られたように避難意思を持った段階から避難を実践する人は、限られている。そこで、災害に対してどのような心理状態を経て避難行動をしているか検証する。避難は、時々刻々と変化する災害情報を取得しながら決定しているであろう。龍田地区の255世帯の河川氾濫への不安の時間的推移を図-5に示す。本節では、時間経過とともに避難に至るまでのこの不安の推移を表現出来るモデルを構築する。

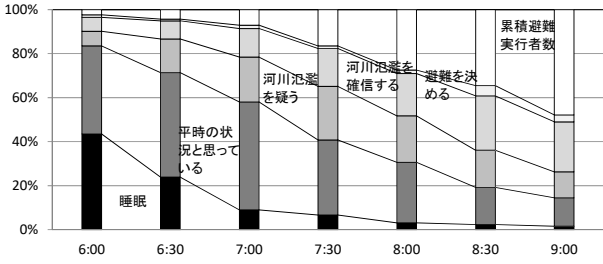


図-5 河川氾濫への不安の時系列推移

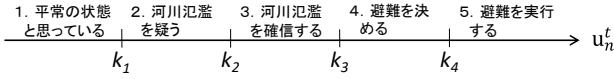


図-6 不安度と不安意識の状態

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属性や地点属性のベクトル 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 にふくまれるものとする。

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

起床後の各時間帯の個人の意識状態は、「1. 平常の状態とと思っている」、「2. 河川氾濫を疑う」、「3. 河川氾濫を確信する」、「4. 避難を決める」、「5. 避難を実行する」の5段階とする。各意識状態には図-7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状態が変化するものとする。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 に意識状態 i である確率 $P_n^t(i)$ は、式(2)で与えられる。

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

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 $t-1$ に意識状態 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。

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

不安度関数 $V(x_n, z_n^t) (= v_n^t)$ は、 β, γ 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。

$$v_n^t = x_n \beta + z_n^t \gamma \quad (4)$$

パラメータベクトル β, γ および各閾値 k_i は、式(5)の対

数尤度関数を最大化する値として推定される。

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

ここで、 δ_{ij}^{nt} は、時刻 $t-1$ に意識状態 i であった個人 n が時刻 t に意識状態 $j(\geq i)$ 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. 平常の状態とと思っている」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。

(4) 災害時の不安度モデルの推定結果

説明変数の候補として、河川の確認、避難の呼び掛け、ハザードマップの予想浸水深、および近所の世帯の通勤・通学状況、自宅周辺の主要道路や商店の状況といった自宅周辺の社会状況の把握状況を用いる。なお、本研究では、河川の確認と避難の呼び掛けについては、どの時間帯に情報を得たかを表す時間帯毎のダミー変数である。パラメータの推定結果を表-3に示す。パラメータはすべて有意であり、想定した符号となっている。

「河川の確認」について、まず、6:00~6:30のパラメータが大きくなっている。6:05に龍田陣内4丁目、龍田1丁目両地区で浸水と冠水が確認されていることが不安に作用したと考えられる。そして7:00~7:30の

表-3 不安度モデルのパラメータ推定結果

変数		推定値	t値
河川の確認	~ 6:00	0.451	1.71*
	6:00 ~ 6:30	1.124	5.80**
	6:30 ~ 7:00	1.583	10.38**
	7:00 ~ 7:30	2.245	8.56**
	7:30 ~ 8:00	2.186	8.44**
	8:00 ~ 8:30	2.593	8.70**
	8:30 ~ 9:00	2.173	6.22**
避難の呼び掛け	~ 6:00	1.466	4.89**
	6:00 ~ 6:30	1.083	4.10**
	6:30 ~ 7:00	0.512	2.69**
	7:00 ~ 7:30	1.144	5.45**
	7:30 ~ 8:00	1.772	5.49**
	8:00 ~ 8:30	3.533	8.22**
	8:30 ~ 9:00	1.725	3.98**
周辺の通勤状況「通常通り」と認知		-0.241	-1.91*
周辺の避難状況「避難していない」と認知		-0.334	-2.40**
ハザードマップの予想浸水深 (0:0m, 1:0~.5m, 2:.5-1m, 3:1-2m, 4:2-5m)		0.205	3.38**
定数項		-1.393	-7.12**
「水害発生を疑っている」の閾値		0	-
「水害発生を確信した」の閾値		1.012	15.78**
「避難しようと思った」の閾値		1.881	22.41**
「避難を実行する」の閾値		2.026	23.07**
尤度比		0.57	

(** : 1%有意, * : 5%有意)

パラメータが一段と大きくなり、8:00~8:30に最大となっている。午前8時頃に白川が堤防から越水し、両地区で被害が拡大している時間帯であり、不安度に大きく作用したと推測される。洪水を目の当たりにした状況で、不安が増大したことが分かる。また、8:30~9:00もまだまだパラメータの値は大きいままである。河川の状況など目に見える異常はその後不安を与え続けることが分かる。

次に「避難の呼びかけ」について、6:00以前の時間帯のパラメータが大きくなっており、他の時間帯に比べ不安に作用している。この結果は、予防的避難のように災害の危険性が差し迫っているように感じにくい早いタイミングでの避難の呼び掛けも、避難を促す効果があることを示すものである。その後の時間帯ではパラメータの値が小さくなり、また「避難の呼びかけ」でも8:00~8:30の間にパラメータが最大となっている。だが、この時間帯にはもう被害は広まっており、安全に避難ができる時間ではない。つまり、被害を目で確認できるような状況になってようやく再び「避難の呼びかけ」が大きく不安に作用し始めるということである。また、その後、8:30~9:00の時間帯のパラメータは小さくなっており、被害が酷くなり避難が難しくなってきたからの呼びかけは不安度に作用しなくなっていくことを示している。

次に、周辺の通勤状況「通常通り」と避難状況「避難していない」のパラメータはマイナスの値を示している。当時危険な状況であるにもかかわらず、周辺の通勤状況や避難状況を「通常通り」「避難していない」と受け取ることはSAのレベル1「気づき」の失敗であろう。よってこのパラメータの値はこの認知の失敗が不安を減少させていることを示しており、避難実行に対する意識が減り悪影響を及ぼすと言える。また、「河川の確認」、「避難の呼び掛け」において大きいパラメータを示している8:00~8:30は、河川氾濫発生直前であり、対象地区の一部では床上浸水が発生している。その時点で避難をしていないのは十分危険な状況であり、SAのレベル2「状況の理解」の失敗ではないかと考えられる。

そして最後に各意識変化の閾値を見てみる。「水害発生を疑っている」と「水害発生を確信した」の差が大きく、疑いから確信に意識変化が比較的起こりにくいことが分かった。また同じように「確信した」から「避難しようと思った」の差が大きいため、水害発生を正しく認知しても避難意思が形成されづらいことが分かった。逆に、「避難しようと思った」と「避難を実行する」の差は小さく、避難意思・意図の形成に意識が変化させることが出来れば避難実行のハードルは高くないことが分かった。

4. おわりに

本研究では、状況認識を重要視している自然主義的意思決定モデルを援用し、豪雨時の避難行動の意思決定過程をモデル化を試みた。九州北部豪雨災害で被害を受けた熊本市龍田地区でのアンケート調査結果に、避難の実行や諦める過程に豪雨時の周辺環境・社会環境に対する状況認識の失敗が発生していることが確認された。そこで、避難するまでの意識変化をモデル化するにあたり、状況認識の失敗を考慮した。

避難するまでの意識変化モデルの推定結果から、避難に至るまでの意識変化の要因として、河川状況の確認、避難の呼びかけ、周辺の通勤状況の認知、周辺の避難状況の認知が統計的に有意であった。本研究で着目した状況認識に関する変数も有意であり、状況認識の失敗が避難遅れに影響している可能性が示された。今後は、さらに実証研究を重ねるとともに、避難行動リスク監査を行い状況認識の失敗が、どのような認知的バイアスに起因しているのかを明らかにしていくことが課題である。

参考文献

- 1) Gisela Wachinger, G., Renn, O., Begg, C., Kuhlicke, C. : The Risk Perception Paradox—Implications for Governance and Communication of Natural Hazards, *Risk Analysis*, Vol. 33, No. 6, pp.1049-1065, 2013.
- 2) Rogers, R. W. : Cognitive and physiological processes in fear appeals and attitude change: A revised theory of protection motivation, *Social Psychophysiology* (B. L. Cacioppo & L. L. Petty Eds.), London, UK: Guilford, pp. 153-176, 1983.
- 3) Grothmann, T. and Reusswig, F. : People at risk of flooding: Why some residents take precautionary action while others do not, *Natural Hazards* 38, 101-120, 2006.
- 4) Evans, J. St. B. T., & Over, D. E. : *Rationality and reasoning*. Hove, UK: Psychology Press, 1996.
- 5) Zsombok, C.E. and Klein, C. : *Naturalistic Decision Making*, Lawrence Erlbaum Associate, Inc., 1996.
- 6) Endsley, M.R., Garland, D.J. : *Situation Awareness Analysis and Measurement*, CRC PRESS, 2000.
- 7) Vieweg, S., 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) Lanfranchi, V., 他4名: Citizens' Observatories for Situation Awareness in Flooding, *Proc. of the 11th International ISCRAM Conference*, pp.145-154, 2014.
- 9) Klein, G. : Naturalistic Decision Making, *Human Factors*, Vol.50, No.3, pp.456-460, 2008.
- 10) 気象庁ホームページ：平成24年7月九州北部豪雨
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2012/20120711/20120711.html>
- 11) 柿本竜治, 山田文彦 : 地域コミュニティと水害時の避難促進要因, *都市計画論文集* Vol.48, No.3, pp.945-950, 2013.