平時の防災意識と豪雨時の状況認識を考慮した避難行動意思決定モデル

柿本　竜治[1]・吉田　護[2]

[1]正会員　熊本大学教授　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39-1）
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

平時から防災活動に取り組み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援用し，豪雨時の避難行動の意思決定過程をモデル化する．具体的には，2019 年の台風 19 号で被害を受けた 1 都 14 県の住民を対象に避難行動を調査した結果を用いて，避難行動意思決定モデルを推定した．そして，平時の防災への取り組みの強化や豪雨時の状況認識を促す施策等が，早期の水平避難にどの程度効果があるかをそのモデルを用いたシミュレーションにより検討した．

Key Words: *naturalistic decision making, evacuation, heavy rain, situation awareness, PMT*

1. はじめに

これまでに気象災害時の避難行動に焦点を当てた研究は，数多くあり，たとえば，避難が遅れた要因を分析している研究として以下のものが挙げられる．Ahmadi, C. ら[1]は，2019 年 4 月洪水被害を受けたイランのポルドフタル市におけるインタビュー調査から，世帯の避難の意思決定に対して，警報システムの欠如，人材や情報を含む資源不足，準備不足，リスク認識の欠如等を指摘している．Lindella, M., K.ら[2]は，2013 年 6 月にインドのウッタラカンド州で発生した突発的な洪水の事例で，追加情報の入手，警告の確認や避難の準備のために避難遅れが発生したと指摘している．また，彼らは，心理的反応が情報源と行動反応の間の関係を媒介していることを明らかにしている．Walch, C.[3]は，インドのオリッサ州でのサイクロンとフィリピンのタクロバンの台風での避難状況を対比分析し，過去の災害経験と公務員への信頼が，事前避難の重要な要因となっていたと指摘している．さらに，自然災害の経験が個人のリスク認識を高め，組織的な学習につながる可能性があるが，それは経験した災害がトラウマ的なものであった場合に限られると主張している．このように認知の遅れ，情報の不足や避難計画の不備，および，心理的要因が，多くの研究の中で避難遅れの要因として指摘されている．

したがって，豪雨の脅威を正確に認識し，信頼性の高い情報源から適切な情報が提供されるとともに，地域や個人に適した避難計画が存在し，これを実施することが容易である場合，避難行動が早期に起こりやすくなると考えられる．また，Kakimoto, R. and Yoshida, M.[4]は，2018 年の西日本豪雨災害の際に避難を促した要因の一つに周囲の人からの避難の呼びかけを指摘している．避難を促すためには，このような社会的ネットワークの役割が重要であると，Collins, J.ら[5]も指摘している．彼らは，2017 年 9 月のハリケーン・イルマを事例に調査分析し，人々の社会的ネットワークの密度と多様性が，避難するか否かの意思決定に重要な役割を果たし，避難者はより密で多様な人間関係を有していると結論づけている．

そこで，防災教育によって知識や意識を向上させるとともに，避難訓練等を通じた共助のシステムを構築が，早期避難の促進に有効だと考えられている．これは，避難行動の意思決定が，災害情報や避難計画等に基づいて合理的に行われることが前提になっている．近年，マス

メディアから発信される災害情報は分かりやすく改善され，また，自主防災組織を中心に防災，減災活動に取り組んでいる地域も多くなっている．人々の災害への知識や意識は，確実に向上している．それにも関われず，豪雨時の避難遅れの解消には，未だ至っていない．

Kahneman, D., and Tversky, A.[6]は，人々が意思決定をする際に，リスクと不確実性にどのように対処するかを期待効用理論で説明しており，その中で二重過程理論の基盤を与えている．二重過程理論 [7]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ときシステマティック（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．

豪雨時の避難行動において，システム 1 は，緊急性が高い状況での即時の行動，システム 2 は事前に計画された避難戦略に基づく行動に大きく影響していると考えられ，豪雨時の避難行動の意思決定には，両方のシステムを考慮する必要がある．そこで，本研究では，豪雨時の避難行動をモデル化するにあたり，計画的反応プロセスには防護動機理論 [8]，ヒューリスティックな反応プロセスには自然主義的意思決定モデル[9] の枠組みを援用する．具体的には，2019 年の台風 19 号で被害を受けた 1 都 14 県の住民を対象に避難行動を調査した結果を用いて，防護動機理論と自然主義的意思決定理論の双方の枠組みを取り入れた避難行動意思決定モデルを推定する．そして，そのモデルを用いて，平時の防災への取り組みの強化や豪雨時の状況認識を促す施策等が早期の避難にどの程度効果があるか分析することを目的とする．

2. 状況認識を考慮した避難行動意思決定モデル

(1) 防護動機理論と自然主義的意思決定

Rogers, R., W.[10]によって開発された防護動機理論は，リスクに対する人々の防護行動に関する心理的プロセスを説明するためのモデルであり，知覚された脅威と知覚された対処能力の評価に基づいて，個人の防護動機が形成され，防護動機が高まると特定の防護行動を実行する可能性が高まるというものであり，早期避難の促進や分析にも用いられている．Huang, S.ら [11]は，アメリカのヒューストン市で発生したハリケーン「アイク」に対する世帯の避難意思決定と出発時期に焦点を当てた分析に防護動機理論を適用している．その結果，知覚された暴風雨の特徴に有意な予測因子は少なく，個人的影響と避難の意思決定の間に有意な因子が多く見られたと報告している．Friday, O., I.ら [12]は，ナイジェリアのアナンブラ北セナトリアルゾーンで防護動機理論の枠組みを用いて分析した結果，洪水の早期警報メッセージに対する暴露レベル，信憑性，順守の間にはギャップがあったことを示した．

これらの研究では防護行動意図を形成する要因の調査や分析がなされているが，実際の防護行動のトリガーや阻害要因は十分に分析されていない．防護動機理論では，行動意図は合理的な意思決定に基づき形成されると仮定されているが，その防護動機は，行動意図が形成される時に想定されていない実際の障壁により必ずしも実際の行動に繋がるとは限らない．さらに，自然災害などのイベントの場合，前述のようにヒューリスティックな意思決定が優先される場合がある．

ヒューリスティックな意思決定が含まれる二重過程理論を避難行動に適用した研究に Kinsey, M., J.ら [13]の火災時の避難行動の分析がある．その中で，避難者の行動のモデル化において認知バイアスについての考慮を促している．また，災害発生等の現場での緊急の判断や状況の変化など，実際に起こりやすい問題状況において，どのような意思決定を行うのか，その特徴を明らかにし，モデル化しようとしているものに自然主義的な意思決定モデルがある．自然主義的な意思決定への 1 つのアプローチは，Endsley[14] と Endsley と Garland[15] によって提案された状況認識分析であり，複雑な環境で活動する人の内在化された時間的および空間的表現，またはメンタルモデルとして，状況認識を特定した [16, 17]．災害の脅威に対する意識が高く，避難行動を考えている個人であっても状況認識が適切でなければ，そのような行動をとる可能性は低いかもしれない．豪雨時に避難が遅れる原因の一つに住民の災害対応における状況認識不足が考えられ，これには避難情報や周辺環境に関する住民の認識限界が関係していると考えられる．状況認識は，状況を把握して分類し，防護行動や避難の準備など最善の行動方針を特定するために適用できる．すなわち，状況認識は，意思決定と行動を成功させる上で重要な役割を果たすものである．したがって，被害の軽減，準備，および，避難行動のパフォーマンスを向上させるためには，意思決定における状況認識を評価する必要がある．

これまでの豪雨時の避難行動モデルには，豪雨時の緊急の判断や周辺状況の変化に対応したものは，あまり見られない．そこで本研究では，平時の防災減災意識や計画的な避難行動が取り扱える防護動機理論の枠組みと，とっさの行動意思決定や状況認識の失敗の説明が可能な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の枠組みの双方を援用して豪雨時の避難行動のモデル化を試みる．

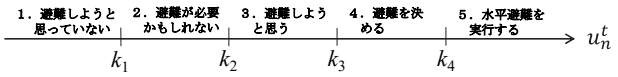


図-1 不安度と避難意識レベル

(2) 避難行動意思決定モデル

本研究では，豪雨時の各時間帯の個人の避難意識の水準は，**図-1** に示す「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．避難をしようと思う」，「4．避難を決める」，「5．避難する」の 5 段階とする．前節で説明したように，この避難意識の水準は，個人属性や日常の防災への取組状況，防護動機理論の構成要素，および，時々刻々と変化する各種の豪雨時の状況認識に影響されるものとする．そこで，各時間帯の避難意識の水準は，それらを要素として持つ式(1)の不安度関数の大きさによって決定されるものとする．

$$u_n^t = \boldsymbol{\alpha z_n^t} + \boldsymbol{\beta x_n} + \boldsymbol{\gamma w_n} + \varepsilon_n^t \quad (1)$$

u_n^t：時刻 t における個人 n の不安度
$\boldsymbol{z_n^t}$：時刻 t における個人 n の状況認識ベクトル
$\boldsymbol{x_n}$：平時の個人 n の PMT 関連項目ベクトル
$\boldsymbol{w_n}$：個人 n の個人属性，防災への取組ベクトル
ε_n^t：確率項
$\boldsymbol{\alpha}$，$\boldsymbol{\beta}$，$\boldsymbol{\gamma}$：パラメータベクトル

各意識状態には**図-1** 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水準が変化するものとする．確率項を除いた時刻 t における個人 n の不安度をv_n^tとし，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．なお，v_n^tは，確率項を除いた時刻 t における個人 n の不安度である．

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

本研究の避難意識の分析期間は，豪雨災害がもっとも激しくなるまで進展している時間帯とする．そのため，時間の進行の過程の中で，避難意識の水準は，下位の水準に戻らないものと仮定する．したがって，時刻$t-1$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．

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

パラメータベクトル$\boldsymbol{\alpha}$，$\boldsymbol{\beta}$，$\boldsymbol{\gamma}$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．

$$\ln L(\boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\gamma}, \boldsymbol{k}) = \sum_n \sum_t \sum_{j \geq i} \delta_{ij}^{nt} \, ln P_n^t(j|i) \quad (4)$$

ここで，$\boldsymbol{k}$は閾値ベクトルであり，δ_{ij}^{nt}は時刻$t-1$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．

3. 2019 年台風 19 号の際の避難行動意思決定モデルの推定

(1) 使用データの概要

2020 年の 3 月と 6 月に 2019 年の台風 19 号により記録的な大雨がもたらされた静岡県や関東地方，甲信越地方，東北地方の 1 都 14 県を対象地域に避難行動に関するアンケート調査を実施し，22,383 件の回答を得た．回答者には災害や避難にまったく関係のない人も含まれているため，何らかの被害を受けた回答者（1,505 件）と被害は受けなかったが避難した回答者（1,127 件）の計 2,632 件を抽出した．さらにその中から設問間の回答結果に矛盾があるものを除いた 2,465 件を避難行動意思決定モデル推定のデータとして用いる．また，対象地域が広域であるため各時刻の台風や雨の影響の大きさは地域によって異なるため，各地域で台風 19 号の影響がもっとも激しかった時間帯の 24 時間前から 3 時間毎 8 つ時間帯を設け，時刻に替えて時間帯を用いる．

本研究で使用する各項目の変数の設定条件を**表-1** に示す．時間帯 t における状況認識に関する変数は，避難意思の水準，脅威評価，および，雨の降り方など，周辺状況の変化に応じて変化する各種の状況認識である．したがって，これらの変数は，各個人各時間帯毎の変数である．防護動機理論に関する変数は，「避難は面倒」，「避難所は不自由」等の対処評価，「水害は発生しない」，「被害を受けない」等の非防護反応，および，防災情報を受け取った際の脅威評価や避難意思である．これらの意識は台風 19 号発生以前の前提であり，時間帯によって変化しない変数とする．個人属性，防災への取組に関する変数は，性別，年齢，および，ハザードマップの確認の有無など平常の防災への取り組みである．これらの変数も時間帯で変化しないものとする．

台風 19 号の影響がもっとも激しかった時間の 24 時間前から 3 時間毎の避難意識の時間的推移を**図-2** に示す．時間の経過と伴に「避難が必要かもしれない」と思った

表-1　避難行動意思決定モデルに使用する変数の設定条件

項目	変数	設定条件		
時間帯 t における状況認識	避難意思	「1. 避難しようと思わなかった」～「5. 避難した」の5水準		
	脅威評価	「0. 災害が迫っていると全く思わなかった」～「4. 非常に思った」の5水準		
	雨の降り方	「0. 分からない/降っていなかった」～「4. 非常に激しく降っていた」の5水準		
	周囲の避難状況	「0. 分からなかった/誰も避難していない」～「2. 多くの人が避難している」の3水準		
	災害の発生意識	「0. 発生していない」～「3. 発生を確認した・知った」の4水準		
	河川の状況	「0. 見ていない/平常だった」～「3. 氾濫していた」の4水準		
	避難の呼びかけ	1: 避難の呼びかけがあった時刻以降, 0: なし		
防護動機	自宅は安全	「0. 豪雨時に自宅は安全と全く思わない」から「4. 非常に思う」の5水準		
	移動は危険	「0. 屋外への移動は危険と全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
	避難は面倒	「0. 避難行動は面倒全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
	避難所は不自由	「0. 避難所の生活は不自由と全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
	災害は発生しない	「0. 災害は発生しないと全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
	被害を受けない	「0. 災害が発生しても被害を受けないと全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
	公共物への信頼	「0. 堤防等によって被害を防ぐことができると全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
	避難意思	「0. 災害の脅威が迫ったら避難しようと全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
	自宅外避難	「0. 自宅外に避難で身を守ることができると全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
	自宅内避難	「0. 自宅2階に避難で身を守ることができると全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
	被害がなければいいな	「0. 自分に被害がなければいいなと全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
	被害は運命	「0.被害は運命だとあきらめようと全く思っていなかった」～「4. とても思っていた」の5水準		
個人属性, 防災への取組	性別	1: 男性, 0: 女性	ペット	1: あり, 0: なし
	年齢	年齢	被害の有無	1: あり, 0: なし
	住宅構造	1: 平屋, 0: その他	過去の経験	1: あり, 0: なし
	居住年数	居住年数	HM 確認	1: あり, 0: なし
	災害時要援護者	1: あり, 0: なし	危険区域	1: 災害危険区域, 0: それ以外
	備え	備えを行っている件数		
	災害関連情報	記録的短時間大雨情報等６つの災害関連情報に対する５段階の理解度の平均値		
	避難関連情報	避難指示等３つの避難関連情報に対する５段階の理解度の平均値		

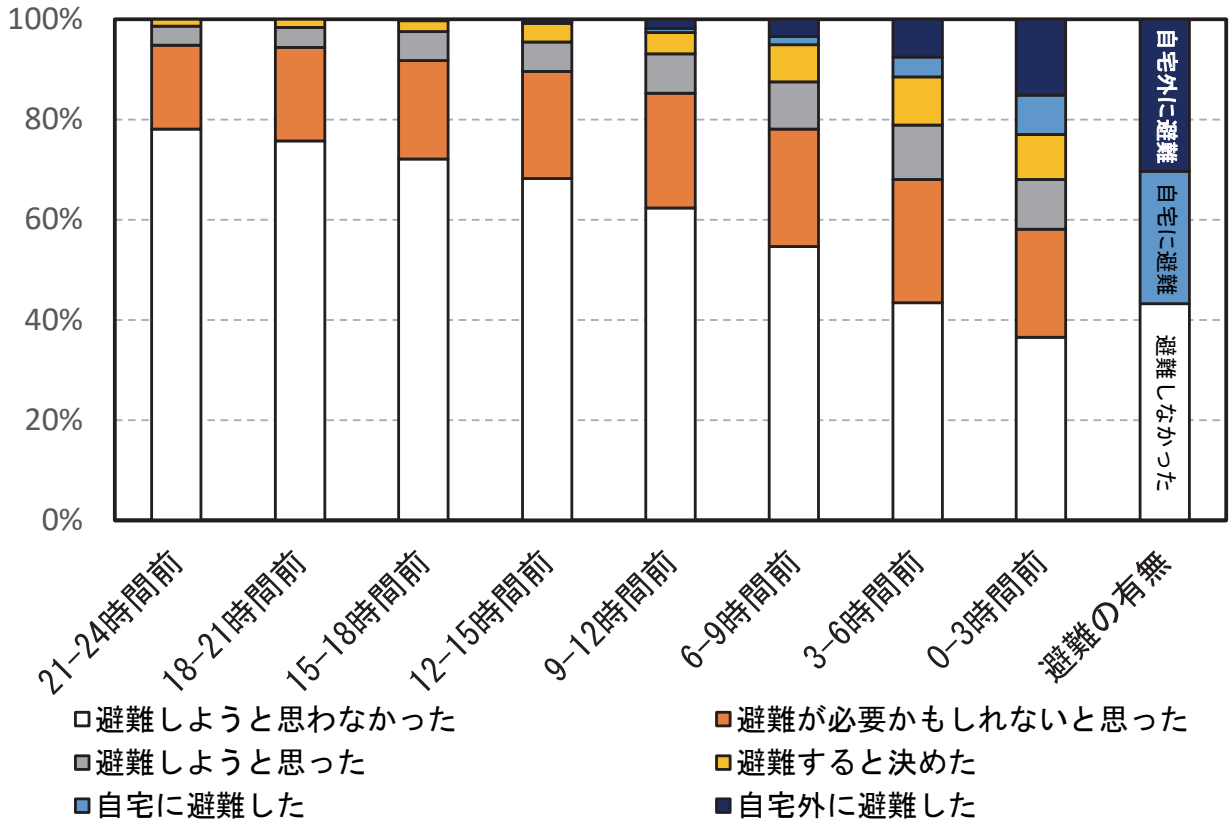


図-2　避難意識の時間的推移(n=2,465)

か人は増加しているが，もっとも激しかった時間帯までに自宅，もしくは，自宅外に避難したとの回答は568件に対し「避難しようと思わなかった」との回答は901件であり，多くの人に避難意思がなかったことが分かる．また，**図-2**の避難の有無に示しているように，このデータの中で避難したとの回答は1,400件であり，台風19号の影響がもっとも激しかった時間帯以降に避難行動を取った回答者の方が，それ以前に避難した人より多かったことが分かる．本研究では，早目の避難を実現する方策を検討するため，推定する避難行動意思決定モデルは，台風19号の影響がもっとも激しかった時間帯までの避難意識の推移，および，避難を対象とする．

(2) 不安度関数の推定結果

5%以上で統計的に有意となった不安度関数のパラメータの推定結果を**表-2**に示す．状況認識に関する変数は，すべて統計的に有意となっている．特に災害へ自身に迫っているとの脅威評価が，避難意思の水準に大きな影響を及ぼしていることが分かる．また，周囲の避難状況や避難の呼びかけも避難意識水準の押し上げへの影響が大きい．防護動機理論に関する変数は，事前の避難意思以外は，非防護反応に含まれるものだけが有意となった．非防護反応に含まれる変数のパラメータの符号はマイナスであり，平時のこれらの意識水準が高いと災害時の避難意識の形成の阻害要因となる．個人属性に関する変数は，性別，年齢，居住年数，過去の災害経験が統計的に有意となった．年齢が高いほど，居住年数が長いほど避難意識が低くなることが分かる．また，過去に災害の経験がある人も避難意識が低くなることが分かる．防災への取り組みに関する変数は，浸水想定区域等への居住を示す危険区域ダミーと災害への備えの件数が統計的に有意となった．

表-2 不安度関数のパラメータ推定結果

説明変数		推定値	t 値
時間帯 t における状況認識	脅威評価	0.306	22.862**
	雨の降り方	0.064	6.028**
	周囲の避難状況	0.411	14.677**
	災害の発生意識	0.107	5.994**
	河川の状況	0.073	3.144**
	呼びかけ	0.462	12.685**
防護動機	自宅は安全	-0.082	5.949**
	移動は危険	-0.078	5.588**
	防災施設の信頼	-0.053	3.962**
	事前の避難意思	0.080	5.348**
	運命	-0.026	2.074**
個人属性，防災への取組	性別	0.079	2.673**
	年齢	$-4.996*10^{-3}$	4.199**
	居住年数	$-4.196*10^{-3}$	3.979**
	過去の災害経験	-0.162	5.912**
	危険区域	0.256	8.837**
	災害への備え	0.043	5.633**
定数		-1.390	16.541**
閾値	k_2	1.010	62.037**
	k_3	1.534	74.739**
	k_4	1.994	84.066**

*：5%有意水準，**：1%有意水準

図-2に示した避難意識の時間的推移をこの推定された不安度関数を用いた再現結果を**図-3**に示す．「避難した」や「避難すると決めた」人の割合の時間的な推移は概ね再現されているが，「避難しようと思った」人の数については 6~9 時間前の時間帯以降過大に，「避難が避難が必要かもしれないと思った」人の数については，15~18 時間前の時間帯以降で過大に推計された．その結果，「避難しようと思わなかった」人の数がかなり過少に推計された．これは，時間の進行の過程の中で，避難意識の水準は，下位の水準に戻らないとの仮定が影響しているが，避難者の割合の時間的推移は，適切に再現されているので，早目の避難を実現する方策を検討するためのシナリオ分析のシミュレーションにこの推定されたパラメータを用いる．

4. 早期避難に向けたシナリオシミュレーション

(1) 脅威評価モデルと避難場所選択モデル

前章の不安度関数の推定結果から脅威評価の時間的推移が，避難意思の水準の変化に大きな影響を及ぼしていることが分かった．豪雨時に早期避難を促すためには，脅威評価を早めに高める必要があり，早期避難を促す施策を検討するためには，脅威評価についてもモデル化する必要がある．また，本研究での早期避難は，自宅外へ

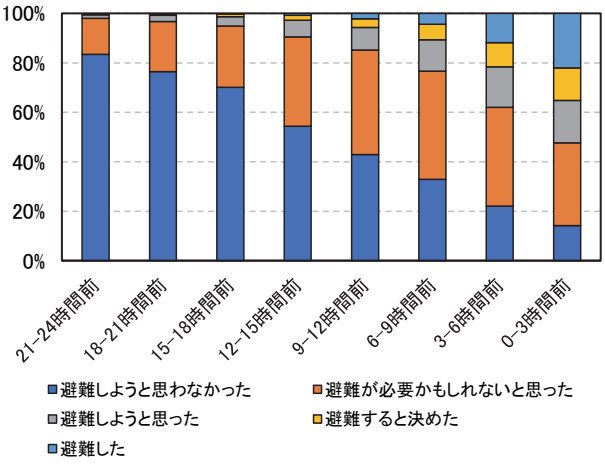


図-3 避難意識の時間的推移の再現結果

の避難を想定している．前章で推定した避難行動意思決定モデルの避難は，水平および垂直避難の区別を行っていない．そこで，避難する場合に，自宅内か自宅外かを選択する避難場所選択モデルについてもモデル化する．

脅威評価モデルについても避難行動意思決定モデルと同様にオーダード・プロビットモデルでモデル化する．説明変数の候補として，**表-1** の中から防護動機理論に関連した変数以外を用いた．パラメータの推定結果を**表-3** に示す．状況認識に関する変数は，すべて統計的に有意となっている．特に雨の降り方への状況認識が脅威評価の水準に大きな影響を及ぼしていることが分かる．次いで，災害の発生意識の影響が大きい．避難意識水準への影響が大きかった周囲の避難状況や呼びかけは，脅威評価の水準を上げるのにあまり影響はないようである．個人属性については，統計的に有意になった変数のパラメータの符号はすべて負であり，男性，年齢が高いほど，平屋，過去に災害の経験有が，災害が迫ってくるとの脅威評価が低くなる．一方，防災への取り組みに関する変数のパラメータの符号は，すべて正であり，ハザードマップの確認，災害危険区域に居住，災害への備えの件数が多いほど，脅威評価か高くなる．

この推定されたパラメータを用いて脅威評価の時間的推移の再現性をチェックする．アンケート調査による脅威評価の時間的推移を**図-4** に，推定された脅威評価モデルを用いた再現結果を**図-5** にに示す．9-12 時間前までの再現性は高いが，6-9 時間前以降については，「災害が迫っていると少し思った」割合が過大に推定され，「あまり思わなかった」と「まったく思わなかった」の割合が過少になっている．6-9 時間前以降に雨の降り方が激しくなっており，「雨の降り方」や「災害発生の意識」が高くなっており，脅威評価モデルの方がそれらに敏感に反応しているようである．このように一部，再現精度が悪い部分が見られるが，傾向は概ね表せるので，シナリオ分析での避難行動意思決定モデルの脅威評価には，このモデルから算定された結果を用いることにする．

避難先選択モデルについては，避難する場合，自宅内か自宅外のどちらに避難するかを選択する二項ロジットモデルでモデル化する．説明変数の候補として，**表-1** の中から状況認識に関連した避難意思と脅威評価を除くすべてを対象とするが，状況認識に関連した変数については，避難する時間帯 t のときの値を用いる．避難先選択モデルのパラメータ推定には，0-3 時間前までに避難した 568 件のデータを用いた．推定結果を**表-4** に示す．

状況認識に関する変数は，周囲の避難状況，災害の発生意識，呼びかけが統計的に有意となった．周囲の避難状況と呼びかけのパラメータの符号は正であり，周囲の人が自宅外に避難しているとの意識が高ければ，避難の呼びかけがあれば，自宅外への避難を選択する確率が高くなる．災害の発生意識のパラメータの符号は負であり，周囲での災害の発生を確認したり，知ったりした場合，

表-3　脅威評価モデルのパラメータ推定結果

説明変数		推定値	t 値
時間帯 t における状況認識	雨の降り方	0.323	71.853**
	周囲の避難状況	0.129	12.447**
	災害の発生意識	0.301	30.012**
	河川の状況	0.089	13.301**
	呼びかけ	0.072	2.949**
個人属性，防災への取組	性別	-0.137	8.082**
	年齢	$-7.671*10^{-3}$	12.195**
	住宅構造	-0154	5.645**
	過去の経験	-0.068	4.380**
	HM 確認	0.061	3.069**
	危険区域	0.144	6.782**
	備え	0.017	3.951**
定数		-0.551	14.731**
閾値	k_2	0.845	79.680**
	k_3	1.490	111.623**
	k_4	2.483	142.379**

*：5%有意水準，**：1%有意水準

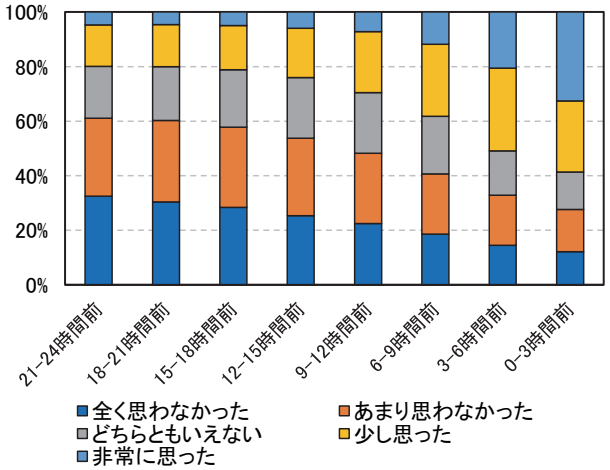


図-4　脅威評価の時間的推移

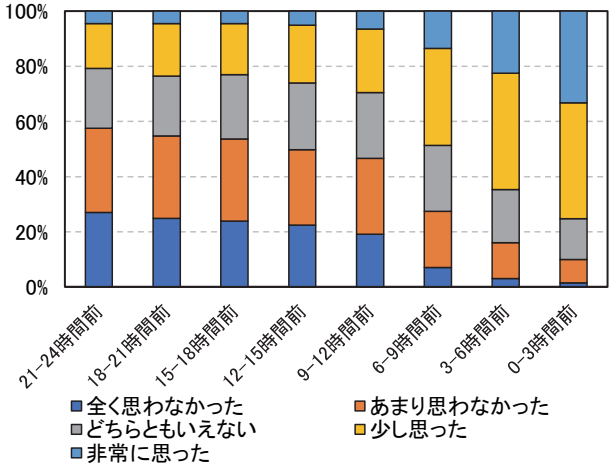


図-5　脅威評価の時間的推移の再現結果

表-4　避難先選択モデルのパラメータ推定結果

説明変数		推定値	t 値
時間帯 t における状況認識	周囲の避難状況	0.786	4.605**
	災害の発生意識	-0.327	2.691**
	呼びかけ	0.372	1.652*
防護動機	自宅は安全	-0.489	4.561**
	移動は危険	-0.741	5.980**
	自宅外避難	0.467	3.975**
	自宅避難	-0.507	3.865**
個人属性	住宅構造	3.177	4.029**
	居住年数	-0.024	2.530**
	過去の災害経験	-0.608	2.645**
定数		4.008	6.476**
尤度比		0.354	

*：5%有意水準，**：1%有意水準

自宅での避難を選択する確率が高くなることが分かる．防護動機理論に関する変数は，自宅外避難のパラメータの符号が正であり，「自宅外に避難で身を守ることができる」と強く思っている人ほど，自宅外への避難を選択する確率が高くなる．一方，自宅は安全，移動は危険，自宅避難のパラメータの符号は負であり，豪雨時に，「自宅は安全」，「屋外への移動は危険」，「自宅２階に避難で身を守ることができる」と強く思っている人ほど自宅での避難を選択する確率が高くなる．個人属性に関する変数は，住宅構造のパラメータが正であり，平屋に居住している人の方が自宅外への避難を選択する確率が高くなる．居住年数と過去の災害経験のパラメータの符号は負であり，居住年数が長い人ほど，災害経験がある人ほど自宅での避難を選択する確率が高くなる．

この推定した避難先選択モデルを用いて，0-3 時間前までに避難した 568 件の避難先を推定したところ，アンケートの回答結果の自宅外避難率が 65.7%だったのに対し，避難先選択モデルでは 67.8%であった．自宅外避難を若干多めに推計しているが，的中率は 71.1%であり，再現精度はそれほど悪くはない．そこで，避難する場合の避難先選択にはこのモデルを用いる．

(2)　シナリオシミュレーション

本研究で避難行動意思決定モデル推定に使用しているのは，被災したか，もしくは，避難した人のデータであり，災害への危険性の高く早期に自宅外への避難することが望ましかった人の割合が多いと考えれれる．そこで，本節では，豪雨時に早期に自宅外に避難を促す方策をシナリオに基づいたシミュレーションにより検討する．シナリオは，豪雨時の状況認識，防護動機，および，防災への取り組み毎に作成し，それに加えそれらをすべて含んだものとする．各シナリオの中で操作する変数は，避難行動意思決定モデル，または，脅威評価モデルに採用された変数の中から，平常時に効果的な防災学習や地域の取り組みが行われれば，状態の改善が期待される変数を選んだ．また，その他の変数については，アンケート調査データの値を用いる．

シミュレーションは，下記の４つのシナリオと，比較対象とする現況シミュレーションの５つについて行う．

シナリオ１：時間帯 9–12 時前以降は，全員が誰からか避難の呼びかけを受けている．

シナリオ２：豪雨時に自宅は安全と「すこし思った」や「非常に思った」人が，すべて「どちらともいえない」の状態に，また，堤防や砂防施設で災害が防げると「すこし思っていた」や「非常に思っていた」人も，すべて「どちらともいえない」の状態に，さらに，災害の脅威が迫ったら避難しようと「まったく思っていなかった」や「あまり思っていなかった」人も，「どちらともいえない」の状態になる．

シナリオ３：全員がハザードマップを確認しており，また，防災への何らかの備えを最低４つは行っている．

シナリオ４：シナリオ１から３のすべてが反映されて状態になっている．

各シナリオに基づくシミュレーンによる累積自宅外避難者数の時間的推移を図-6 に示す．シナリオ１から３の中では，シナリオ１が，台風の影響がもっとも激しかった時間までに，現況と比較して自宅外避難者が 38.0%増加しており，早期の避難を促すのに効果的であることが分かる．豪時に直接避難を呼びかけることが，豪雨に対する状況認識を高め，避難行動および自宅外への避難を促進させることが分かる．シナリオ２の結果から，豪雨時の自宅の安全性や防災施設への過信を緩和や事前の避難意思がない状態を改善ことで，台風の影響がもっとも激しかった時間までに自宅外の避難者を現況に対して 10.5%程度に増加させる効果が見られた．シナリオ３の

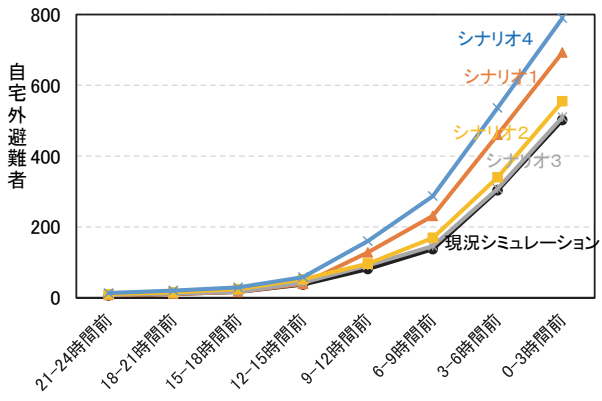


図-6　シナリオ別累積自宅外避難者数の時間的推移

平時にハザードマップを確認したり，防災への備えを行う活動は重要ではあるが，自宅外への早期の避難の促進にはあまり効果的ではないようである．シナリオ４の結果は，台風の影響がもっとも激しかった時間までに自宅外の避難者を現況に対して 41.25%増加しており，シナリオ１から３の効果を単純に集計したものより大きくなっており，相互作用が働いていることが分かる．この結果から総合的に取り組むことが，早期避難を促すことに効果的であることが示唆される．ここでは，施策変数として取り扱っていないが，推定されたパラメータの大きさからも分かるように周囲の避難状況への認識の影響が，避難意思水準や自宅外避難の選択には大きい．片田ら [18] が提唱しているような率先避難者の存在も重要であろう．

5. おわりに

本研究では，豪雨の進行とともに時間的に変化する避難意識，および，避難行動を，2019 年の台風 19 号の際に，被災した人や避難した人のアンケート調査データを用いてモデル化した．その結果，災害の脅威が迫っていると意識する脅威評価に加えて，雨の降り方，周囲の住民の避難状況，周囲での災害の発生への意識，河川の状況，および，避難の呼びかけといった豪雨の中で時々刻々と変化する状況への認識の水準が，避難意識水準を引き上げていることが明らかになった．脅威評価も同様に豪雨時の各種の状況認識の水準が影響していることが分かった．平時の避難意識が災害が迫っているときの避難意識を押し上げている一方で，自宅は安全，自宅外の建物への移動は危険，堤防等によって被害を防ぐことができるや被害は運命といった非防護的な意識が，避難意識自体を引き下げていることも分かった．また，自宅外への水平避難の選択には，周囲の住民の避難状況や避難の呼びかけが影響していることが分かった．さらに，推定した避難行動意思決定モデルを用いて，早期に自宅外に避難をさせる施策をシミュレーションにより検討した．その結果，避難の呼びかけを行うことがもっとも効果的であることが分かった．

本研究の成果は，豪雨時に変化する避難意識水準は，その時々の脅威評価と各種の状況認識の程度が大きく影響していることを明らかにしたことである．このことは，浸水リスクの高い地域に住む住民は，豪雨時の状況を認識する能力を高めることが求められるとともに，地域で呼びかけや率先避難などにより状況認識を促す仕組みも構築する必要があることを示唆する．また，基本的な避難意思の水準を高めるには，日常の防災学習等で，非防護的な意識を緩和し，災害の脅威が迫ったら避難しようとの意識を醸成しておくことが重要である．このような取り組みにより，これまでより多くの人が早期に自宅外に避難することが期待されるが，それでも推定されたモデルからは，危険が迫っている地域でも大半の人が自宅に残ってしまうことになる．今後の課題としては，豪雨時の状況認識を促進させる具体的な取り組みを検討するとともに，さらに多くの人を早期避難を促すことの出来る要因を探し出すことである．

謝辞：本研究は JSPS 科研費 22H01616 の助成を受けたものです．

REFERENCES

1) Ahmadi, C., Karampourian, A. and Samarghandi, M., R.: Explain the challenges of evacuation in floods based on the views of citizens and executive managers, Heliyon, Vol.8(9), e10759, 2022.
2) Michael K. Lindella, M., K., Arlikattib, S. and Huang, S.: Immediate behavioral response to the June 17, 2013 flash floods in Uttarakhand, North India, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol.34, pp.129-146, 2019.
3) Walch, C.: Evacuation ahead of natural disasters: Evidence from cyclone Phailin in India and typhoon Haiyan in the Philippines, Geography and Environment, Vol.5(1), e00051, 2018.
4) Kakimoto, R., and Yoshida, M.: Evacuation action during torrential rain considering situation awareness error using protection motivation theory, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol.82, 103343, 2022.
5) Collins, J., Ersing, R., Polen, A., Saunders, M. and Senkbeil, J.: The effects of social connections on evacuation decision making during hurricane Irma, Weather, Climate, and Society, Vol.10(3), pp.459–469, 2018.
6) Kahneman, D., and Tversky, A.: Prospect theory: An analysis of decision under risk, Econometrica, Vol.47, No.2, pp.263-292, 1979.
7) Evans, J. S. B. T. and Over, D. E.: Rationality and reasoning, Psychology/Erlbaum (Uk), Taylor & Fr., 1996.
8) Rogers, R. W.: Cognitive and physiological processes in fear appeals and attitude change: A revised theory of protection motivation, In: Social Psychophysiology (B. L. Cacioppo and L. L. Petty Eds.), London, UK: Guilford, pp. 153-176, 1983.
9) Zsambok, C. E. and Klein, C.: Naturalistic decision making, Lawrence Erlbaum Associate, 1996.
10) Rogers, R., W.: Cognitive and physiological processes in fear appeals and attitude change: A revised theory of protection motivation, in: B.L. Cacioppo, L.L. Petty (Eds.), Social Psychophysiology, Guilford, London, pp.153–176, 1983.
11) Huang, S., Lindell, M., K., Prater, C., S., Wu, H., and Siebeneck, L., K.: Household evacuation decision making in response to Hurricane Ike. Natural Hazards Review, 13(4), pp.283-296, 2012.
12) Friday, O., I., Ifeoma Vivian, D. and Godfrey, O., G.: Exposure, believability and compliance of anambra north farmers to early warning messages on flood, International Journal of Advanced Research, Vol.11(3), pp.76-90, 2023.
13) Kinsey, M., J., Gwynne, S.M.V., Kuligowski, E., D. and Kinateder, M.: Cognitive biases within decision making during fire Evacuations, Fire Technology, Vol.55(3), pp.465-485, 2018.
14) Endsley, M., R.: Toward a theory of situation awareness in dynamic systems, Human Factors, Vol.37 (1), pp.32–64, 1995.

15) Endsley, M., R. and Garland, D., J.: Situation awareness analysis and measurement, CRC Press, Boca Raton, FL, 2000.
16) Endsley, M., R.: Situation awareness, The Oxford Handbook of Cognitive Engineering, Oxford University Press, Oxford, UK, pp.88-108, 2013.
17) Gore, J., Flin, R., Stanton, N. and Wong, B., L., W.: Applications for naturalistic decision-making, Journal of Occupational and Organizational Psychology, Vol.88 (2), pp.223–230, 2015.
18) 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.

EVACUATION ACTION DECISION-MAKING MODEL CONSIDERINGF DAILY DISASTER PREPAREDNESS AND SITIATION AWARENESS DURING HEAVY RAIN

Ryuji KAKIMOTO and Mamoru YOSHIDA

The paradox of natural disaster risk perception exists, where individuals fail to take appropriate protective actions during actual disasters, despite engaging in disaster preparedness activities in normal times and having a high level of awareness regarding natural disaster risks. The existence of this risk perception paradox raises questions about treating evacuation behavior during heavy rainfall, a time when evacuation delays frequently occur, as a prudent course of action. Therefore, in this study, we model the decision-making process of evacuation behavior during heavy rainfall using a naturalistic decision-making model that emphasizes situational awareness. Specifically, we estimate a decision-making model for evacuation behavior based on the results of a survey conducted among residents in Tokyo and 14 prefectures affected by Typhoon No. 19 in 2019. With this model, we conducted simulations to examine the potential effectiveness of measures such as enhancing disaster prevention efforts during normal times and promoting situational awareness during heavy rains in facilitating early horizontal evacuation.