

住民行動の不確実性を考慮した 洪水時の避難移動時間把握の試み

ATTEMPT OF ESTIMATING EVACUATION TIME FROM RIVER FLOODS :
CONSIDERATION ABOUT UNCERTAINTY OF THE RESIDENTS' BEHAVIOR

武内慶了¹・湯浅直美²・伊藤弘之¹

Yoshinori TAKEUCHI, Naomi YUASA and Hiroyuki ITO

¹正会員 工修 国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室（〒305-0804 つくば市旭 1 番地）

²非会員 工修 国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室（研究当時）

We obtained the method to understand the width in evacuation time that includes the uncertainty of the residents' behavior. The uncertainty of starting-point, shelter selection, moving path and movement speed is included in this method. By this method, it can be grasped width in evacuation time structurally as a regional characteristic. Possibilities of the use of this method are indicated as follows; 1) Public administration can understand the allowable boundary of the uncertainty in evacuation. 2) It can be clarified the advance measures for public administration to restrain unallowable uncertain-behavior. 3) Public administration can focus and consider advance measures to shorten the evacuation time.

Key Words : *Evacuation time, uncertainty of residents' behavior, randomness, random variable, probability density distribution, convolution*

1. はじめに

(1) 避難判断に関する研究動向とその重要性

平成27年9月関東・東北豪雨災害や、平成28年台風10号により北海道及び岩手県で発生した水害等に見られるように、近年、雨の降り方が激甚化し、河川の施設能力を上回る洪水が頻発している。今後も、気候変動の影響等により、施設能力を上回る洪水の発生頻度の高まりが予想される。このため、治水施設整備のより一層の推進を基軸としつつ、住民目線のソフト対策や危機管理型ハード対策等も有機的に組み合わせた減災対策が推進され始めている^{1),2)}。

減災を考える上で最も重要な対応や行動の一つに避難がある。避難に関する研究は多岐に渡っており、その中で市町村長（以下、首長）による避難判断に関するものの一例を示す。住民の避難行動の実態について、諸岡ら³⁾、関谷ら⁴⁾、入江⁵⁾による、浸水被害を受けた地域住民に対するアンケート調査に基づく研究がある。これら共通の知見として、立ち退き避難は、首長による避難勧告等発令を直接的動機とする以外に、家族や友人、水防団等による避難の呼びかけを直接的動機とする場合が多い

ことが指摘されている。この呼びかけの多くは、避難勧告等発令情報を起点とするものである。このことから、首長による避難勧告等発令は、住民の避難行動に対し、直接・間接的に重要な役割を果たしていることがわかる。片田ら⁶⁾は、シナリオ分析により大都市における膨大な避難者人口に起因する問題を抽出し、早期かつ確実な避難のためには、首長による避難判断はもちろんのこと、避難需要の低減、避難者の時間的・空間的な分散化などの多角的な避難対策の重要性も指摘した。関ら^{7),8)}は、避難の意思決定には首長と個人の2つの代表的主体があり、ともに意思決定に必要なリスク情報を得ることが困難な中で、避難の意思決定をせざるを得ないことを整理した上で、首長へは、専門家による科学的かつ専門的な視点からの意思決定支援を強化すべきであると指摘した。また、避難判断という個人や社会経済活動に対し一定の拘束力を有する首長の意思決定は、災害後の結果から批判を受ける恐れがあるにもかかわらず、その判断基準の妥当性・正当性に関する議論が行われていないことを大きな課題とし、一つの解決の方向性として、メタ合意により、首長と住民や企業、マスコミなどの間における大きな共通認識の形成が必要であると論じた。以上のことから、地震や津波に比べ事前情報段階があるものの、危

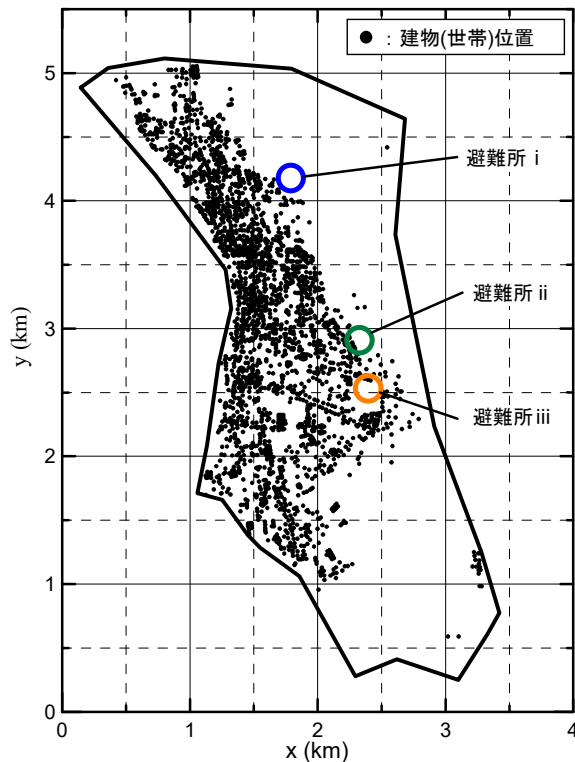


図-1 モデル避難地区エリア形状、避難場所・世帯分布

機能的状況への転換を把握しにくい洪水現象において、首長による避難判断は、日常モードから危機管理モードへの切替に他ならず、ソフト対策として人命を守るための最重要対応の一つであることは論を俟たない。

(2) 本研究の目的

著者らは、首長による避難判断は「この判断を起点として避難行動を意思決定する人が、安全に避難し終えるための時間を提供すること」に一つの大きな意味を持つと考える。「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン⁹⁾」において、首長による避難勧告等の判断基準設定の手順やその考え方が示された。この基準は、河川水位の上昇速度と避難等に要する時間との関係を考慮して設定される場合が多い。しかしながら、水位予測と避難に必要な時間にはそれぞれ不確実性が存在することは認識されつつも、その取りうる幅を十分に理解されないまま設定されているようであり、技術的検討の余地があると考えられる。このうち避難等に要する時間の評価方法に関する議論は特に少ない現状である。そこで本研究は、水位予測及び避難等に要する時間の不確実性があることを前提とした避難判断手法を構築することを念頭に、まず住民による避難移動時において、避難者の行動に着目した不確実性を考慮し、移動時間の把握を試みた。

2. 不確実性を考慮した避難移動時間の試算

(1) 対象としたモデル地区と基本条件の設定

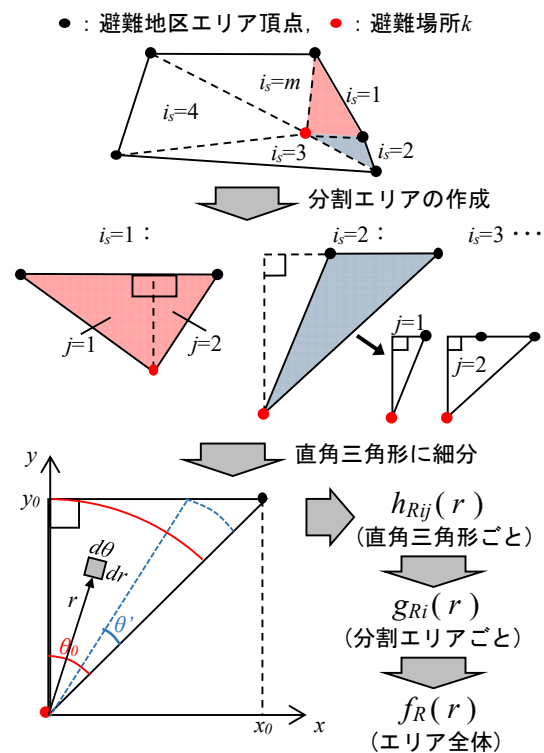


図-2 直線距離 R の確率密度分布算定手順

市町村等において避難計画を立案する際、当該市町村を複数に分割した避難地区エリア内（以下、エリア）にいる住民等が、それぞれのエリア内に設定された避難場所へ避難する場合を想定することが多い。本研究はこの条件を対象とする。なお、本研究では、前述の避難判断の意味に照らし、「避難移動する住民」の行動のみを対象とし、避難しないという事象は考慮しない。つまり、エリア内の住民全員が避難する前提としている。これは、実際の避難率及び、非避難者の所在を事前に把握することがそもそも不可能であることから、「全員が避難する」前提とすることは、行政が作成する避難計画上意味を持つ。また、移動手段は、通常行政により想定されることの多い徒歩のみを対象とした。

対象としたモデル地区のエリア形状、世帯分布、避難場所の位置関係を図-1に示す。設定された避難場所は3箇所であり、エリア内の人口規模及び分布は、世帯のそれに代表させ、建物ポイントデータ¹⁰⁾を用いて実態を把握した。なお、当該エリア内の総世帯数は、空室を含め3785世帯であった。

(2) 確率変数を用いた避難移動時間 T と確率密度分布の算定

a) 避難移動時間 T の算定式

確率変数である避難移動時間 T は、以下のように表される。

$$T = L/V = R\Gamma/V \quad (1)$$

ここに、 L ：道のり、 V ：移動速度、 R ：避難所までの直線距離、 Γ ：迂回率（ $= L/R$ ）である（それぞれ確率変数）。

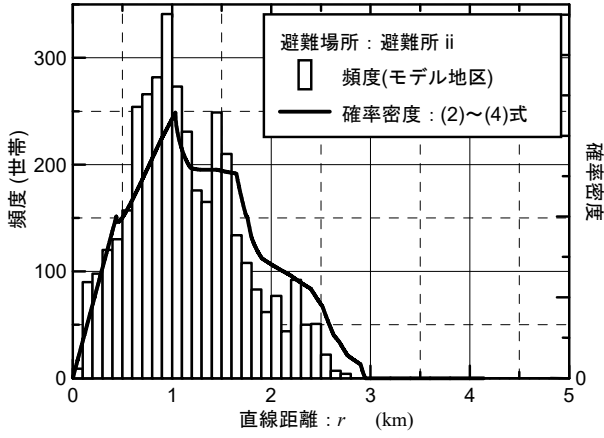


図-3 直線距離 R の確率密度分布算定結果の例
(避難場所: 避難所iiのみの場合)

b) 直線距離 R に関する確率密度分布: $f_R(r)$

エリア内から1つの避難場所 k へ避難する場合を考える。エリアを多角形近似し(図-1黒実線), 隣り合うエリア頂点と避難所を頂点とする三角形(以下, 分割エリア)に分割した(図-2)。分割エリアをさらに分割した直角三角形の組合せ(図-2)により, エリア形状が表現される。日常の行動形態を考慮すれば, 各世帯の位置が必ず避難開始地点になるとは限らない。そこで本研究では, 避難開始地点がエリア内全域においてランダムに発生, すなわち出発地点の空間分布が一様であると仮定する。これより, 細分された直角三角形における, 確率変数 R に関する確率密度分布 $h_R(r)$ は, 図-2に示すように避難場所頂点を中心とする r - θ 座標系を用いて, (2)式で表される。なお, 本論文では, 確率変数を大文字(例えば R), 確率変数の実現値, すなわち実数を小文字(例えば r)で表す。

$$h_R(r) = \begin{cases} \alpha_R \cdot \theta_0 \cdot r & (0 \leq r \leq y_0) \\ \alpha_R \cdot \theta' \cdot r & (y_0 \leq r) \end{cases} \quad (2)$$

ここに, $\theta_0 = \pi/2 - \arctan(y_0/x_0)$, $\theta' = \arctan\left(\frac{x_0 y_0 - y_0 \sqrt{r^2 - y_0^2}}{x_0 \sqrt{r^2 - y_0^2} + y_0^2}\right)$,

$\alpha_R: \int_0^\infty h_R(r) dr = 1$ となる係数。他の変数を図-2に示す。分割エリア i_s における, 直線距離の確率密度分布は,

$$g_{R(i_s, k)}(r) = \frac{1}{A_{i_s(i_s, k)}} \sum_{j=1}^2 \beta_{(i_s, j, k)} \cdot A_{(i_s, j, k)} \cdot h_{R(i_s, j, k)}(r) \quad (3)$$

ここに, $A_{i_s(i_s, k)}$: 分割エリア i_s の面積, $A_{(i_s, j, k)}$: 直角三角形の面積, $\beta_{(i_s, j, k)} = 1, -1, j$: 細分された直角三角形番号。

次に, エリア全体における, 直線距離の確率密度分布

$f_{R_k}(r)$ を求める。エリア内における避難開始地点のランダム性を考慮し, 避難開始地点の空間分布がエリア内一様として, (4)式を得た。

$$f_{R_k}(r) = \frac{1}{A_s} \sum_{i_s=1}^{i_{all}} A_{i_s(i_s, k)} \cdot g_{R(i_s, k)}(r) \quad (4)$$

ここに, A_s : エリア全体の面積, i_{all} : 分割エリア総数。

(2)~(4)式をモデル地区に適用した結果の一例を図-3に示す。実際の世帯位置を起点とする直線距離の頻度分

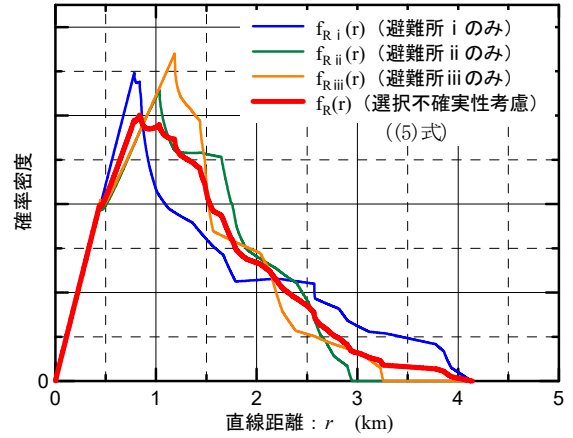


図-4 避難場所選択の不確実性を考慮した $f_R(r)$ の計算結果

布形状と良く一致している。頻度分布に比べ, ピーク付近の確率密度が小さく, 直線距離が大きい範囲における確率密度が大きくなる傾向は, (2)~(4)式にエリア内出発地点の不確実性を取り込んだためと考えられる。以上より, 直線距離 R の確率密度分布形状は主に, 対象とするエリア形状と避難場所の位置により決定されることがわかる。

c) 避難場所選択の不確実性を考慮した $f_R(r)$ の算定

モデル地区のように, エリア内に複数の避難場所が存在する場合, 日常の利用状況等を踏まえれば, 必ずしも最寄りの避難場所を選択するとは限らない。菊池¹¹⁾は, 大東市の住民に対するアンケート調査を実施し, 「近い避難場所」を選択する割合が比較的大きいものの, 「馴染みの場所」を選択する場合や, 「安全」と判断される避難場所を選択する場合も一定程度あることを指摘した。避難場所選択の不確実性の取扱いについては, 更なる実態調査が必要であり, 今後の課題である。本研究では, 行政により設定された複数の避難場所を, エリア内の住民がランダムに選択するものと仮定し, 各避難場所を選択する確率の平均を, $P_{ei} = P_{eii} = P_{eiii} = 1/3$ で与えた。避難場所選択の不確実性を考慮した直線距離 R に関する確率密度分布 $f_R(r)$ は, (4)式を用いて以下のように表される。

$$f_R(r) = \sum_{k=1}^m P_{ek} \cdot f_{R_k}(r) \quad (5)$$

(5)式をモデル地区に適用した結果を図-4に示す。なお, 避難場所選択にランダム性を仮定することは, 前述した避難判断の意味に照らし, 行政にとって安全側に見ている点で, 一定の意味を持つものと考えられる。

d) 迂回率 Γ に関する確率密度分布: $f_\Gamma(\gamma)$

まず, モデル地区のエリア内における, 各世帯から避難場所までの直線距離 R 及び道のり L を算定し, 迂回率 $\Gamma = L/R$ を算定した。起終点座標を建物ポイントデータ¹⁰⁾から抽出し, 直線距離 R を算定した。道のり L の頻度分布については, 歩行者ネットワークデータベース¹²⁾を用い, 各世帯位置を起点, 各避難所を終点とする最短経路長を計算した。次に, 得られた Γ の平均 $E(\gamma)$ と分散 $V(\gamma)$ を用いて, ガンマ分布近似によって, 迂回率 Γ に関する確率密度分布 $f_\Gamma(\gamma)$ を得た。

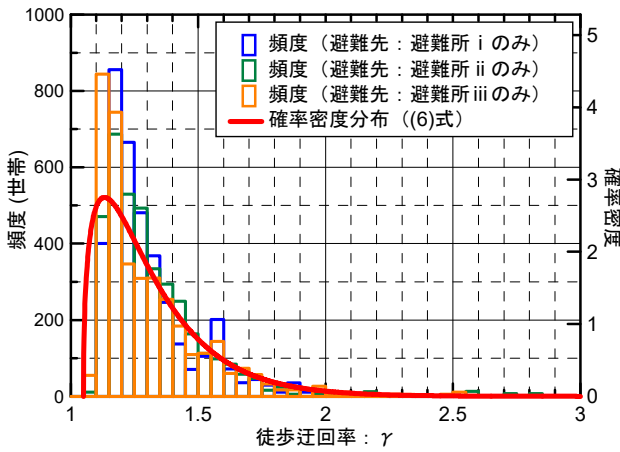


図-5 迂回率 Γ の確率密度分布とモデル地区の迂回率頻度分布

$$f_{\Gamma}(\gamma-\Delta\mu) = (\gamma-\Delta\mu)^{\kappa-1} \cdot \frac{\exp(-(\gamma-\Delta\mu)/\theta)}{\Gamma(\kappa) \cdot \theta^{\kappa}} \quad (6)$$

ここに、 κ : 形状母数、 θ : 尺度母数、 $\Gamma(\kappa)$: ガンマ関数、 $E(\gamma) = \kappa\theta$ 、 $V(\gamma) = \kappa\theta^2$ 、 $\Delta\mu$: γ の移動量。

モデル地区から得られた迂回率の確率密度分布を図-5に示す。なお、 $\kappa=2.054$ 、 $\theta=0.153$ 、 $\Delta\mu=1.05$ とした。

e) 道のり L に関する確率密度分布: $f_L(l)$

R 及び Γ は互いに独立とみなし、 $L=R \cdot \Gamma$ の関係及び(5)、(6)式から、たたみこみによって $f_L(l)$ を求めた。

$$f_L(l) = \int_0^{\infty} f_R(r) \cdot f_{\Gamma}(l/r) dr \quad (7)$$

(7)式をモデル地区に適用した結果の一例として、避難所iiiへの道のり L に関する確率密度分布を図-6に示す。頻度分布に比べ、確率密度分布は道のりが大きい範囲($2.2\text{km} \leq l$)において、相対的に大きな確率密度となっている。これは、2つの要因があると考えられる。1つは、(2)式において避難開始地点の不確実性を考慮したことである。もう1つは、モデル地区データから得た道のりの頻度分布が最短経路長であり、直線距離が大きくなるほど迂回率が小さくなる傾向となることが考えられるが、(7)式ではそれが考慮されていないためと考えられる。しかし、結果として移動経路の不確実性が一定程度考慮されたものと考えられる。図-4に示す $f_R(r)$ 、図-5に示す $f_{\Gamma}(\gamma)$ を用い、避難所選択の不確実性を考慮した $f_L(l)$ の算定結果を図-7に示す。

f) 移動速度 V に関する確率密度分布: $f_V(v)$

洪水或いは津波からの避難時の徒歩移動速度について、自治体による避難計画作成時の目安として設定された値(例え133)や、既往災害時の実態調査結果(例え144)を整理した結果、当該避難者個人の属性に加え、以下に示すような避難時点での個人・周囲の状況にも大きく影響を受けることがわかった。

- ・当該避難者個人の属性(健常者、歩行困難、年齢等)
- ・避難時の個人の状態(重病発生の有無等)
- ・同行者の有無・属性(乳幼児、高齢者、歩行困難者等)
- ・時間帯(昼間、夜間)、気象条件(降雨等)
- ・水害時の悪条件(内水等による浸水、避難路の混雑)
- ・地理的認識の度合い 等

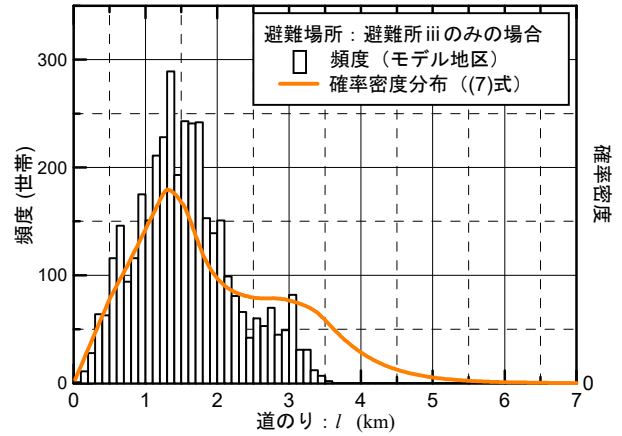


図-6 道のり L の確率密度分布算定結果の例
(避難場所: 避難所iiiのみとした場合)

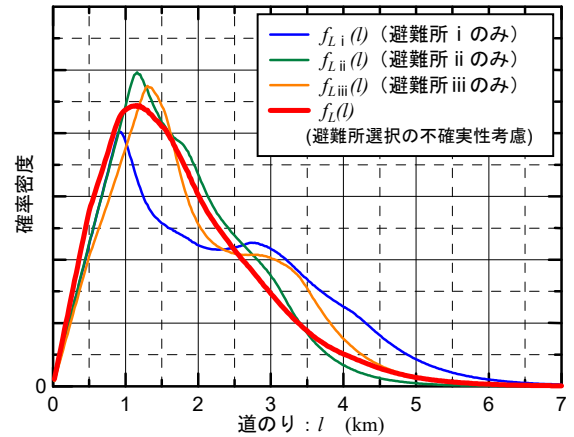


図-7 道のり L の確率密度分布
($f_L(l)$: 避難所選択の不確実性を考慮)

そこで本研究では、これらの影響がランダムに発生するものとし、調査結果(例え133, 144)から得られた最小・最大の範囲内の V に関する $f_V(v)$ を、一様分布により得た。

$$f_V(v) = 1/(v_{\max} - v_{\min}), \quad (v_{\min} \leq v \leq v_{\max}) \quad (8)$$

ここに、 $v_{\min}$ 、 $v_{\max}$: 移動速度範囲の最小値、最大値である。なお、 $17.7 \leq v \leq 88.2(\text{m/min})$ とした(例え133, 144) (図-10, Case1)。

g) 移動時間 T に関する確率密度分布: $f_T(t)$

道のり L 及び移動速度 V は互いに独立とみなせる。 $T=L/V$ の関係及び(7)、(8)式から、たたみこみによって $f_T(t)$ を(9)式のとおり求めた。累積確率密度 $F_T(x)$ を(10)式のとおり求めた。

$$f_T(t) = \int_0^{\infty} f_L(vt) \cdot f_V(v) dv \quad (9)$$

$$F_T(x) = \int_0^x f_T(t) dt \quad (10)$$

(9)、(10)式をモデル地区に適用した結果を図-8に示す。

3. 本手法の意義及び活用可能性

前章において、エリアを1つの単位とし、避難開始地

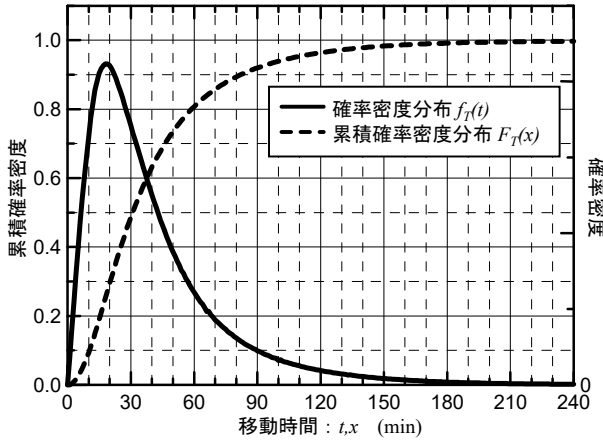


図-8 モデル地区における移動時間 T の確率密度分布 $f_T(t)$ 及び累積確率密度分布 $F_T(x)$ の算定結果

点、避難所選択、移動経路、移動速度の不確実性を考慮した移動時間の確率密度分布を得る手法（以下、本手法）を得た。本手法の意義は、避難時の住民の行動の不確実性を考慮し、地域特性としての移動時間がどのように分布するのかを、構造的に把握できるようになったことにある。また、エリア形状及び避難場所の位置を入力条件として、移動時間の分布特性が比較的簡易に把握可能であることも特徴として挙げられる。行政が検討するリードタイムは、本手法のみを用いて設定できるものではなく、今後の課題である。しかし、地域特性に応じた避難対策の適切な充実等に向け、本手法の活用可能性がある。活用例を以下に示す。

(1) 更なる不確実性の取込みと許容可能性検討への活用

津波からの避難行動に関する実態調査から、避難の途中において、忘れ物を取りに行く、或いは避難を手伝う必要がある人を助けるべく、一旦自宅等に戻る場合があることがわかっている¹⁵⁾。これは津波時に限った行動ではなく、洪水からの避難時にも起こり得る。この不確実性を考慮し、移動時間の確率密度分布の把握を試みた。この場合、確率変数である避難移動時間 T の算定式は、(11)式のように表される。

$$T = L/V = R_b \cdot T/V \quad (11)$$

ここに、 R_b :一旦戻り場合を考慮した直線距離である。次に、 R_b に関する確率密度分布を得る。まず、途中で戻らない場合の移動距離を1とした場合、出発地点から一旦戻り始める地点までの距離を確率変数として A とおけば、一旦戻ることによる移動距離の増加率 B は(12)式のように表される。

$$B = 2A + 1 \quad (12)$$

出発地点から避難場所へ移動する途中で、戻り始める地点にランダム性を仮定すれば、確率変数 A に関する確率密度分布 $f_A(a)$ は(13)式のように表され、(12)、(13)式から、移動距離増加率 B に関する確率密度分布 $f_B(\beta)$ は、(14)式のように一様分布で表される。

$$f_A(a) = 1 \quad (0 \leq a \leq 1) \quad (13)$$

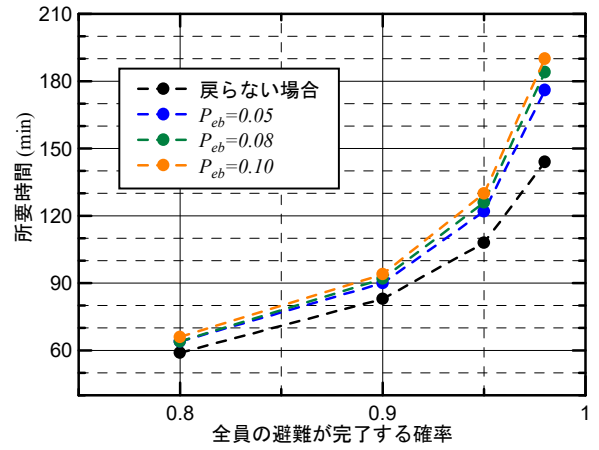


図-9 一旦戻り場合を考慮した移動所要時間と避難完了確率

$$f_B(\beta) = 0.5 \quad (1 \leq \beta \leq 3) \quad (14)$$

一旦戻るときの直線距離 R_{by} の確率密度分布を $f_{R_{by}}(r_b)$ とおけば、戻らない場合の R を用いて $R_{by} = B \cdot R$ の関係が得られる。 B, R は互いに独立であるので、たたみこみによって $f_{R_{by}}(r_b)$ が得られる。

$$f_{R_{by}}(r_b) = \int_0^\infty f_B(r_b/r) f_R(r) dr \quad (15)$$

一旦戻り場合を考慮した直線距離 R_b の確率密度分布 $f_{R_b}(r_b)$ は、(5)式導出の考え方と同様に、戻らない場合の直線距離に関する確率密度分布 $f_R(r_b)$ も用いて以下のように表される。

$$f_{R_b}(r_b) = P_{eb} f_{R_{by}}(r_b) + (1 - P_{eb}) f_R(r_b) \quad (16)$$

ここに、 P_{eb} :一旦戻り確率の平均である。(16)式で得た $f_{R_b}(r_b)$ と(5)～(10)式を用いて、移動時間の累積確率密度分布を求めた結果を図-9に示す。なお、 $P_{eb}=0.05, 0.08, 0.1$ の3パターンで計算した。エリア全体の住民の避難が完了する確率（横軸）の増加に伴い、所要時間は、戻りを考慮しない場合に比べ増加量が大きくなっている。このように、本手法を用いれば、考えられる任意の不確実行動を考慮した移動時間のばらつきを把握することが可能となる。つまり、許容が困難な不確実行動が何かを把握し、その行動をできる限り起こさせないための事前対策の目標を絞り込むことが可能となる。

(2) 移動時間の短縮化に向けた対策検討への活用

取り得る移動速度範囲の幅の変化が、移動時間に及ぼす影響を調べた。図-10に示すように、移動速度 V に関する確率密度分布 $f_V(v)$ を、 $17.7 \leq v \leq 88.2$ (m/min)の範囲内で一様分布とした場合（Case1）と、 $30.0 \leq v \leq 88.2$ (m/min)の範囲内で一様分布とした場合（Case2）の2通りを設定し、移動時間 T に関する確率密度分布 $f_T(t)$ 、累積確率密度分布 $F_T(x)$ を算定した。なお、避難途中に一旦戻りる事象は考慮していない。両ケースを比較した結果を図-11に示す。Case2はCase1に比べ、 $f_T(t)$ では、 $t \leq 45$ minの範囲では確率密度が増大し、それ以上の範囲における確率密度が減少している。その結果、例えば全員が避難完了す

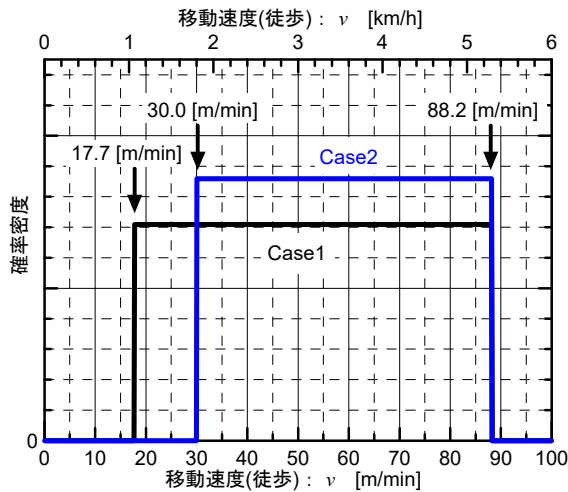


図-10 移動速度 v に関する確率密度分布 $f(v)$

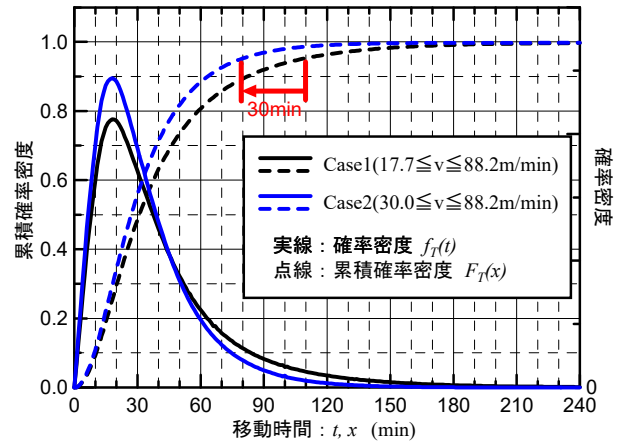


図-11 移動速度の幅の違いによる移動時間分布の変化

る確率（累積確率密度）が95%のときの所要時間は30分短縮されたことがわかる。このことから、高齢者や歩行困難者等、移動速度が小さいことが予めわかっている住民に対する、十分に時間的余裕を持ったタイミングでの避難支援の有効性が確認でき、移動時間短縮のための事前対策内容が具体的に絞り込むことが可能となる。

4. まとめと今後の課題

本研究で得られた知見を示す。

- 1) 避難地区エリアを1つの単位とし、避難開始地点、避難所選択、移動経路、移動速度の不確実性を考慮した移動時間の確率密度分布を把握する手法を得た。
- 2) 本手法は避難地区エリア形状及び避難場所の位置を入力条件として、移動時間の地域特性を比較的簡易に計算可能な特徴を持つ。
- 3) 本手法により、避難時の住民の行動の不確実性を考慮し、地域特性としての移動時間にどのような幅を持つのかを、構造的に把握できるようになる。
- 4) 本手法を用いることで、許容が困難な不確実行動が何かを把握することができ、その行動をできる限り起こさせないための事前対策の目標が明確化される。
- 5) また、避難移動時間短縮のための事前対策内容を絞り込むことに活用可能である。

今後の課題を示す。避難所選択や迂回率等、本研究で与えた不確実性の幅の信頼性を向上させる必要がある。種々の不確実性を考慮した避難のリードタイム設定・避難判断方法の構築に向け、本手法を拡張予定である。

謝辞：本研究の着想段階において、中央大学山田正教授から貴重なご助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局：水防災意識社会 再構築ビジョン，2015.10.
- 2) 例えば、鬼怒川・小貝川下流域大規模氾濫に関する減災対策協議会：「水防災意識社会再構築ビジョン」に基づく鬼怒川・小貝川下流域の減災に係る取組方針，2016.5.
- 3) 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，第22巻，pp.345-350，2016.6.
- 4) 関谷直也・作間敦・柏田すみれ・荒木優弥・松尾一郎：関東・東北豪雨における常総市の災害情報の伝達と避難行動：避難行動の詳細，日本災害情報学会第18回学会大会予稿集，pp.18-19，2016.
- 5) 入江さやか：鬼怒川決壊 常総市の住民はどのように避難したのか？，放送研究と調査，pp.34-65，2016.8.
- 6) 片田敏孝・桑沢敬行・信田智・小島優：大都市大規模水害を対象とした避難対策に関するシナリオ分析，土木学会論文集 B1(水工学)，vol.69，No.1，pp.71-82，2013.
- 7) 関克己・岡安徹也・湧川勝己：水害時の住民避難のための意思決定とリスク評価・専門家の活用に関する研究，河川技術論文集，第21巻，pp.467-472，2015.6.
- 8) 関克己・湧川勝己・岡安徹也：水害時の避難指示等の意思決定構造に関する研究，河川技術論文集，第22巻，pp.361-366，2016.6.
- 9) 内閣府（防災担当）：避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン，2015.8.
- 10) 株式会社ゼンリン：建物ポイントデータ，2016年版.
- 11) 菊池広顕：住民の水害時避難選択に関する研究—大東市によるアンケート調査を通じて—，神戸大学修士論文，2007.
- 12) 株式会社ゼンリン：歩行者ネットワークデータベース，2016年版.
- 13) 愛知県：愛知県市町村津波避難計画策定指針，2015.2.
- 14) 総務省消防庁：津波対策推進マニュアル検討報告書，2002.
- 15) 内閣府（防災担当）：東日本大震災時の地震・津波避難に関する調査結果について，資料1-1，2012.12.

(2017. 4. 3受付)