

## 自然型意思決定に基づく水害時避難行動モデルの構築

熊本大学工学部 学生会員 近藤 真由, 正会員 柿本竜治

### 1. はじめに

近年, 毎年のように死傷者を出す水害が発生し, 水害の脅威は認知されたかのように思われたが, まだまだ避難遅れは多い状態にある. 平成30年7月に発生した西日本豪雨災害では比較的早い段階で避難勧告等が発令されたにも関わらず, 避難遅れにより多くの犠牲者を出す事態となった. このように, 自然災害のリスク認知が高くても, 正しい防護行動を取れていないという自然災害リスク認知のパラドックスが存在する. 自然災害の脅威の認知と行動のギャップを埋めることが, 減災・防災を進めていく上で重要な課題であると言える.

水害発生時の避難遅れの要因の一つとして状況認識(SA)の失敗が挙げられる. 平成24年7月に発生した九州北部豪雨災害の際, 熊本県熊本市北区龍田地区では, 河川氾濫による被害があった. 幸いにも犠牲者は出なかったが, 多くの住民が自宅に取り残され, 救助を必要とする事態に陥った. 避難情報の発令が遅れたことも原因の一つであるが, それに加え, 状況認識の失敗が起こり, 意思決定を行うには難しい状況にあったと考えられる. 早朝に, 刻々と変化する, 周辺の社会状況を混乱した状況の中で行わなければならないのである.

そこで本研究では, 九州北部豪雨災害で被害を受けた, 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, 避難するまでの水害に対する意識の時間変化をモデルで表現する. そして, 人々が周辺の社会状況をどのように受け取り, 意識変化に影響が出たか, SAの失敗を考慮してモデルを作成する.

### 2. 状況認識 (SA)

図-1のモデルはMica R. Endsleyによって<sup>1)</sup>示された心理モデルであり, 気づき・状況理解・予測の三つのレベルの状況認識・意思決定・行動の三段階で構成されている. このモデルは状況認識(SA)と意思決定を切り離して考えられており, いくらある分野に熟練している専門家であってもSAレベルをどれか誤ると, 意思決定も誤ってしまうことを説明できるものとなっている.

このモデルと次章の不安度モデルより, 水害時の避難意思決定までの過程を示していく.

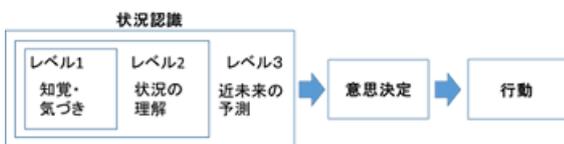


図-1 意思決定における状況認識のモデル

### 3. 災害時の不安度モデル

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. 今回用いるアンケート調査でも, 予防的避難を実践した人は, 避難意思を持った人の25%程度であった. そこで, 発生まで時々刻々と状況が変化する水害に対してどのような心理状態であるか検証する. 避難行動は, 刻々と変化する災害情報を取得しながら決定していくと考えられる. ここでは, 九州北部豪雨災害時に被災した熊本市北区龍田地区の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, 周辺の社会状況の認知のデータを利用する. なお龍田地区の調査内容については参考文献2)に詳細が記載されている. 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-2に示す. ここでは, 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.

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 $\epsilon_n^t$ とで表されるものとする. すなわち, SAに関わる変数は, 時間変化のある $z_n^t$ の関数となる.

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

起床後の各時間帯の個人の意識状態は「1. 平常状態と思っている」、「2. 河川氾濫を疑っている」、「3. 河川氾濫を確信した」、「4. 避難を決めた」、「5. 避難を実行」の5段階とする. 各意識状態には図-3のように閾値 $k_i$ 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 $\epsilon_n^t$ が, 平均0, 分散 $\sigma^2$ 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.

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

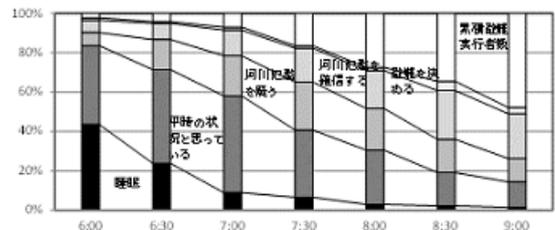


図-2 河川氾濫への不安の時系列推移

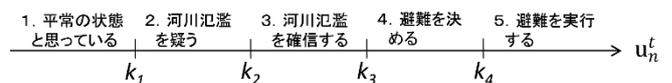


図-3 不安度と不安意識の状態

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( $\geq i$ )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 $V(\mathbf{x}_n, \mathbf{z}_n^t) (= v_n^t)$ は、 $\beta, \gamma$ 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。

$$v_n^t = \mathbf{x}_n \beta + \mathbf{z}_n^t \gamma \quad (4)$$

パラメータベクトル $\beta, \gamma$ 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。

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

ここで、 $\delta_{ij}^{nt}$ 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( $\geq i$ )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、「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 $k_i$ は0に固定する。説明変数は、河川の確認、避難の呼び掛け、周辺の通勤状況の認知、周辺の避難状況の認知、ハザードマップの予想浸水深を用いる。その中でSAに関わる変数は周辺の通勤状況の認知、周辺の避難状況の認知の二つである。ほかにもSAに関わる説明変数はあったが、有意な値の出たこの二つが残った。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-1に示す。パラメータはすべて有意である。河川の確認、避難の呼びかけ共に、8時-8時30分のパラメータが最も大きくなっている。この時間帯は、河川氾濫発生直前の時間であり、不安に大きく作用している。すなわち、災害が眼前に差し迫っている状況で、不安が増大することが分かる。その一方で、6時以前の時間帯の呼び掛けも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。また、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関わらず、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」の失敗に繋がる。よって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、避難に対する意識に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時-8時30分は、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

ていないということは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。

表-1 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**

(\*\* : 1%有意, \* : 5%有意)

#### 4. おわりに

九州北部豪雨災害で被害を受けた、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、状況認識(SA)の失敗を考慮した避難するまでの意識変化のモデルを作成した。災害時、人は危険が目に見えて迫ってこない避難行動を実施しないという現状があり、原因としてSAの失敗があげられる。今回作成したモデルによって、河川の確認や早いタイミングでの避難の呼びかけは不安を増大させ、避難を促すことがわかった。そしてSAの失敗が不安にどのように影響するか示すことができた。これまでの防災計画等では、災害時の避難行動が慎重な思考で行われることを前提としている。だが、水害時のように刻々と変化する周辺の社会状況の中で意思決定を行う場合であれば、SAの失敗が起こることを想定に入れた計画を作っていかなければならないことがわかる。

#### 参考文献

- 1) Mica R. Endsley: Toward a Theory of Situation awareness in Dynamic Systems, Human Factors Journal, Vol.37, No.1, pp. 32-64, 1995
- 2) 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—平成24年7月九州北部豪雨時の龍田地区の避難行動実態調査に基づいて—, 都市計画論文集, 第48巻, 3号, pp.946-950, 2013