

避難意思決定モデルを導入した津波避難シミュレーションモデルの検討

東北大学大学院 学生会員 宇川 弘朗
東北大学大学院 正会員 今村 文彦
東北大学大学院 正会員 越村 俊一
東北大学大学院 正会員 河野 達仁

1. はじめに

津波による人的被害を低減させる最も効果的かつ効率的な手段は、住民による早期避難である。しかしながら、津波来襲時の避難行動の実情として、避難警報等による一斉避難開始は非現実的であり、情報の伝達と避難の開始は直結しないという問題点が存在する。既存の避難シミュレーションでは、情報に対する住民の反応を十分に表現できているとは言いがたく、避難行動の啓発や避難場所・避難経路の整備といった避難誘導計画が住民の避難行動に及ぼす効果を検証することは不可能である。

本研究では、津波避難シミュレーションに避難意思決定モデルを導入することで、避難に関する意思決定過程から避難完了までの一連の避難行動を表現しうるモデルを構築し、宮城県K市を対象に避難誘導政策の効果を定性的に評価することを試みる。

2. 方法論とデータセット

(1) 方法論

本研究では、個々の住民の避難有無を佐藤ら(2008)が開発した避難意思決定モデルを用いて判断し、避難場所までの避難行動を宇川ら(2010)が開発した避難行動モデルを用いて表現する。

佐藤ら(2008)の避難意思決定モデルの一期モデルは、避難時の行動特性として合理的意思決定と認知的不協和に着目し、これらを明示的に組み込んだ唯一のモデルである。佐藤ら(2008)により提唱された避難有無の行動判断式は以下の式-(1)で表される。

$$\min \left[\frac{C_m}{pC_d + C_{fs} - C_{fe}} C_{fe} + C_m, pC_d \right] \quad (1)$$

p は津波による死亡客観確率、 C_{fe} は避難中の不安感コストパラメータ、 C_{fs} は待機中の不安感コストパラメータ、 C_m は移動コスト、 C_d は死亡コストを意味する。第一項が避難する場合のコストを、第二項が避難しない場合のコストを示しており、コストが低い行動が選択される。

宇川ら(2010)が構築した避難行動モデルは、自由空間に拡張したポテンシャルモデルを用い、避難者間の物理的な相互作用によって歩行速度を算出するモデルである。詳細については、宇川ら(2010)を参照されたい。

(2) 避難意思決定モデルのパラメータ設定

意思決定モデルの死亡客観確率 p と死亡コスト C_d と単位時間あたりの移動コスト C_m^{unit} は、住民の属性を性別×年齢別(20-49歳・50-69歳・70歳以上)の6カテゴリに分けて予め算出し、一般的に設定が困難と思われる不安感コストパラメータ C_{fe} と C_{fs} に関しては過去の津波災害事の避難行動アンケート調査から推定する。

p は、過去の地震発生・警報発令履歴、 C_d と C_m^{unit} は、費用便益計算に用いられる人的損失額や時間価値の概念に基づいて算出し、その数値を表-(1)に示す。なお、表中の m は男性、 f は女性を意味しており、 C_d 、 C_m^{unit} の単位は[10⁷ yen]、[yen/s]である。 WS は歩行速度であり、単位は[m/s]である。

算出した各パラメータを式-(1)に代入し、 C_{fe} を一定値で与えることで、 C_{fs} の閾値が求まる。 C_{fs} が年齢ごとに式-(2)に示したロジスティック分布に従う分布を持つと仮定し、2010年チリ地震津波発生時のK市住民の避難行動アンケート調査結果の非集計データを用い、最尤法によりその分布を推定する。なお、 β は回帰するパラメータ、 x_{sex} は性別に関するダミー変数、 x_{inside} 、 $x_{outside}$ は居住地区がハザードマップの予想浸水区域内、外、分からないという回答に関するダミー変数である。推定結果及びその精度を表-(2)に示す。

$$f_{C_{fs}} = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha)} \quad (2)$$

$$\alpha = \beta_0 + \beta_1 x_{sex} + \beta_2 x_{inside} + \beta_3 x_{outside} + \beta_4 C_{fe} \quad (3)$$

シミュレーション上では、個々の住民の C_{fs} は算出した確率分布に基づいて設定し、 C_m は初期位置から避難場所までの距離と歩行速度から避難所要時間を求め、 C_m^{unit} を乗じて算出する。以上の流れで求めた各パラメータを行動判断式に代入し、個々の避難者の避難有無を判断する。

表-1 所与パラメータの算出値

	20-49 m	20-49 f	50-69 m	50-69 f	70- m	70- f
p	0.00333					
C_d	3.919	3.808	3.256	3.207	0.861	0.999
C_m^{unit}	1.051	1.126	1.603	0.856	0.875	1.469
WS	1.444	1.228	1.190	1.041	0.983	0.891

表-2 パラメータ推定結果と精度 (括弧内はp値を表す)

年齢	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	ρ
20-49	-176.73 (0.09)	0.83 (0.06)	-1.48 (0.001)	2.32 (0.001)	175.11 (0.09)	0.25
50-69	-45.29 (0.22)	-0.12 (0.59)	-0.78 (0.002)	2.10 (0.001)	44.56 (0.23)	0.18
70-	-4.38 (0.48)	0.62(0.02)	-1.26 (0.001)	2.34 (0.001)	3.81 (0.52)	0.24

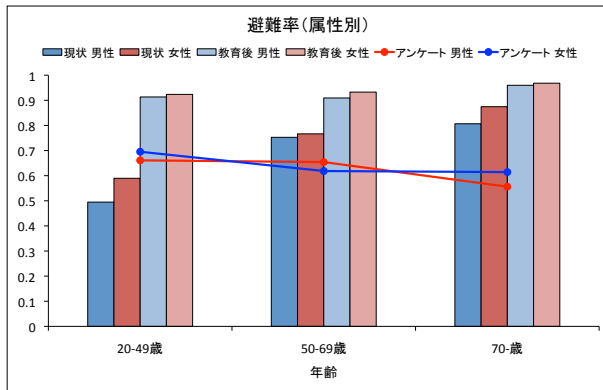


図-1 属性別の避難率

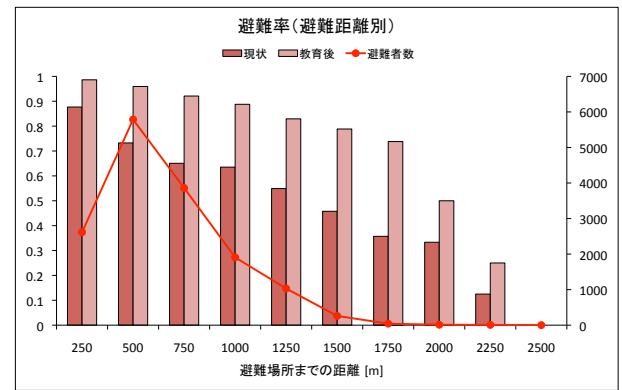


図-2 避難場所までの距離別の避難率

3. 津波避難シミュレーション

避難シミュレーションの計算条件を表-(3)に示す。領域内に居住する20歳以上の住民15,526人を対象とし、個々の性別・年齢は行政区別に人口分布に従って設定した。住民は、津波警報情報を取得した瞬間に、避難意思決定モデルに従って避難の有無を選択する。ポテンシャル場は、住民が最寄りの指定避難場所へ最短経路を通過して向かうように設定した。既往最大の津波を想定するため、東北地方太平洋太平洋地震津波を対象とし、断層モデルには東北大学モデル(ver.1.0)を用いて津波浸水計算を行い、その結果を津波の影響判定に用いた。

表-3 計算条件

計算時間	地震発生から90分間
警報発令	地震発生60秒後
津波の影響判定	浸水深1.0 m以上

避難誘導計画の評価を行うために、現状分析として算出パラメータをそのまま用いるケースと、防災教育実施後を仮定し、各年齢層でそれぞれ最も避難意向性が高くなるようにパラメータを設定したケースの2ケースで計算を行った。

各ケースにおける避難率を属性別・避難距離別で図-(1)(2)に示す。現状の属性別避難率をみると、アンケート結果と比較して20-49歳で過小評価、70歳-で過大評価となっている。この結果は、 C_{fs} の確率分布における分散パラメータが20-49歳では非常に小さく、70歳-では大きな値である事に起因すると推測される。避難距離と避難率には相関が見られるが、これは C_{fs} よりも、 C_m の方が行動判断式に与える影響が大きいためであると考えられる。

防災教育実施後には、いずれの属性においても高い避難率を示したが、避難距離が大きくなるにつれ避難率が低下する結果となった。津波影響人口は、現状では25.7%の住民が浸水した津波に影響を受けるという結果であったのに対し、防災教育実施後では13.6%とおおよそ半減した。防災教育が避難率向上に関する効果は認められるが、避難距離が大きくなるにつれ、その効果が減少する。

4. まとめ

本研究では、避難行動アンケートにより意思決定モデルのパラメータ推定を行い、宮城県K市を対象に避難意思決定モデルを導入した津波避難シミュレーションを行った。そして、避難行動の現状分析と防災教育実施後の避難行動の分析を行い、定性的に避難誘導計画の効果を評価した。

今後は避難場所・避難経路の整備という政策の評価として、領域内に新たな避難場所を設置し、移動コスト C_m を低下させた場合、そして防災教育及び避難場所・避難経路の整備を同時に行なった場合の避難率と最終的な津波影響人口の変化を評価する予定である。

参考文献

佐藤太一・河野達仁・越村俊一・山浦一保・今村文彦(2008): 認知的不協和を考慮した津波避難行動モデルの開発-避難シミュレーションへの心理的要素の導入-, 地域安全学会論文集, No.10, pp.394-400

宇川弘朗・今村文彦・越村俊一(2011): 津波避難時の住民の歩行特性を考慮した避難シミュレーションモデルの検討, 土木学会東北支部技術発表会(平成22年度)講演概要集, II-87

気仙沼市・東北大学 災害制御研究センター・独立行政法人 防災科学技術研究所・株式会社 社会安全研究所, チリ地震津波における気仙沼市の避難に関するアンケート, 2010