

# 土砂災害地域での避難のための マルチエージェントシミュレーションモデルの開発

加賀屋 誠一

## 1. はじめに

日本は、河川流域で急峻な地形を持った国である。それゆえ土砂災害や土石流などが起こりやすい都市地域が多く存在している。近年の豪雨災害での人的被害では、土砂災害によるものが最も多くを占める。土砂災害は一瞬のうちに大きな規模を伴いながら発生するため、事後に被害を防ぐことが難しく、事前の避難行動が重要となる。しかし、現況の技術では発災を正確に予測することは困難である。

よって、今後の予測技術の開発及び情報提供システムの検討を行う上で、第一に住民がどのような情報を得ることで避難行動を決断するか現状を把握していく必要がある。

また、発災予測の不確実性を補完する役割として、「共助」の重要性が高まりつつある。土砂災害事前避難における「共助」には、土地に有識な住民による避難の判断・その伝達や、高齢者等の災害弱者に対する情報提供や避難誘導が挙げられ、確率情報に頼らない避難行動の判断が可能である。このような背景のなか、これまで土砂災害に対する避難行動の解析において、「共助」の有効性を明らかにした研究は少ない。

これらを受けて本研究では、住民の行動エージェントシステムに基づいた新しい方法論を開発する。そして札幌市の土砂災害危険区域の住民を対象としたマルチエージェントシステムシミュレーションを行う。このモデルは、避難行動選択のモデルを内包したものである。これらから、土砂災害事前避難における行動選択に影響する要因及び「共助」の有効性を明らかにする。

## 2. 意識調査の概要

### 2.1 調査票の配布

意識調査は、札幌市南区藤野地区の緑町町内会及び、十五島町内会周辺の地域住民を対象とした。図1に調査対象地域図を示す。対象地域は、札幌市の公表する土砂災害危険区域内に住宅が密集しており、札幌市の中でも特に高齢化が進んでいる。

また、調査票の配布は、調査対象町内会及び周辺の土砂災害危険区域内の住宅に無作為に行った。調査票配布概要を表1に示す。なお調査にあたり、回覧板等による、住民への調査票配布の事前周知を各町内会に依頼した。



図1 調査対象地域図

表1 調査票配布概要

配布日時	2009/12/21 (月)
配布地域	札幌市南区藤野地区 緑町町内会・十五島町内会
配布部数	1300部
配布方法	ポスティング
回収方法	郵送回収
回収数	348部 (回収率: 26.77%)
有効回答数	291部

## 2.2 調査票の内容

避難行動の選択は、住民個々の属性及び災害に対する考え方に加えて、住民が取得した情報に影響されると考えられる。本調査では、情報取得に関わる条件を変化させて、「仮想的な災害情報提供下での避難行動の選択」を主な回答項目として設定した。情報を発災の危険度の低い順で示すと「土砂災害警戒情報」、「避難勧告」、「避難指示」の発令であり、また「付近での小さながけ崩れ」の発生の有無、「近隣の避難する住民からの接触」を受けたかを、状況を変化させる要因として設定した。調査票ではこれらを、直交計画の考え方に基づき、情報間の整合性に注意しながら組み合わせ、8パターンの仮想的な状況を設定した。

また調査票では、行動選択する時刻を平日午後2時に設定した。この時刻は、自宅にとどまる高齢者が多く、人的被害が大きくなると推測できる。午後2時時点での危険な降雨状況として、「20～30mm/h程度の強さの降雨」、「前日から24時間以上降雨の継続」、「大雨警報発令中」を回答者に想定してもらった。

## 3. 避難行動選択モデルの構築

### 3.1 多項ロジットモデル

回答者の避難行動選択は、ランダム効用理論に基づく非集計行動モデルによって表現する。避難するか否かに加えて住民間の自発的な「共助」に注目し、避難する場合は「近隣の住民を誘って避難するか否か」、避難しない場合は「避難について近隣の住民に相談するか否か」、4つの行動選択を多項ロジットモデルによりモデル化した。回答者は効用が最大となる行動を選択するという仮定のもと、それぞれの効用のパラメータを推計し、行動選択確率を算出する。<sup>9)</sup> 以上について、本研究における効用の定式化は以下の(i)式のとおりである。

$$V_i = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_{ki} x_k \quad \dots(i)$$
$$\therefore V_4 = 0$$

$V_i$ : 選択行動*i*の効用

$i$ : 

1.避難する(誘う)	2.避難する(誘わない)
3.家で待機(相談する)	4.家で待機(相談しない)

$\alpha_i$ : 選択行動*i*の定数項

$\beta_{ki}$ : 選択行動*i*固有の未知パラメータ

$x_k$ : 説明変数*k*の値

$K$ : 説明変数の総数

### 3.2 分析結果

#### (1) パラメータ推定結果

表2に最尤法によるパラメータ推定結果を示す。的中率は約62.59%であり、得られたモデルの尤度比が比較的高いことから、モデルの適合度は概ね良好である。「近所付き合い」、「リスク意識」は、それぞれ付き合いの良さ、意識の高さを4段階の水準で、その他の要因は全てダミー変数（情報取得の有無であれば、0：取得なし、1：取得あり）として表している。

推定値に注目するとまず、確率情報は避難行動に結びつくことがわかる。特に「避難勧告」、「避難指示」は避難行動に対するパラメータ値が大きい。よって、多くの住民は「避難勧告」を受け取ることで避難意思を持ちはじめると考えられる。また、「小規模ながけ崩れ」の発生や「避難する人との接触」も積極的な避難に結びつくことがわかる。

表2 行動選択モデルのパラメータ推定結果

	避難 (誘う)		避難 (誘わない)		家で待機 (相談する)	
	推定値		推定値		推定値	
切片	0.48		-3.30	***	2.11	***
土砂災害警戒情報	1.77	***	1.49	***	0.75	***
避難勧告	4.52	***	4.44	***	1.02	***
避難指示	6.57	***	5.78	***	1.41	***
小規模ながけ崩れ	1.43	***	1.11	***	0.94	***
避難する人との接触	2.32	***	1.69	***	1.25	***
高齢者単身世帯	-0.56	**	-1.48	***	0.37	*
高齢者夫婦世帯	-0.46	**	-0.74	***	-0.05	
近所付き合い (1:よい~4:わるい)	-0.81	***	0.66	***	-0.81	***
リスク意識 (1:高い~4:低い)	-0.79	***	-0.79	***	-0.43	***

(\*\*\*:1%有意, \*\*:5%有意, \*:10%有意)

尤度比:0.308, サンプル数:2328 (291×8), 的中率:62.59%

\*V<sub>4</sub>:家で待機(相談しない)の効用・パラメータは0として推定

また、「近所との付き合い」が少ない人ほど、「避難(誘わない)」の効用が正に作用し、他の効用が負に作用するため、「避難(誘いなし)」の選択確率が高くなる。つまり、「近所付き合い」が良い住民ほど、行動選択の際に近隣の住民を気に掛ける傾向があるといえる。

「高齢者単身世帯」、「高齢者夫婦世帯」のパラメータ値は、避難行動に対して負となっており、高齢者のみで構成される世帯の住民は避難に消極的であることがわかる。これは、高齢者のみで構成される世帯には、身体を動かすことに難のある人が多いことが理由として考えられる。

### (2) 高齢者世帯に注目したセグメントによる推計

世帯の65歳以上の高齢者の構成によって回答者を分類し、それぞれに対し選択行動を推計した。推計においては、表2に示す要因から世帯構成に関する要因を除き、それぞれに対し新たにパラメータ推定を行った。図2に高齢者単身・夫婦世帯、図3に高齢者を含まない世帯の回答者の確率情報毎の選択行動の推計結果の比較を示す。

両者の推計結果を比較すると、高齢者単身・夫婦世帯の住民には、避難勧告を受け取ったとしても避難しない住民が多いことがわかる。(1)でも高齢者のみで構成される世帯は避難行動に消極的であることがわかったが、加えてこの推計結果の比較から、避難を選択するタイミングが遅いということがわかる。

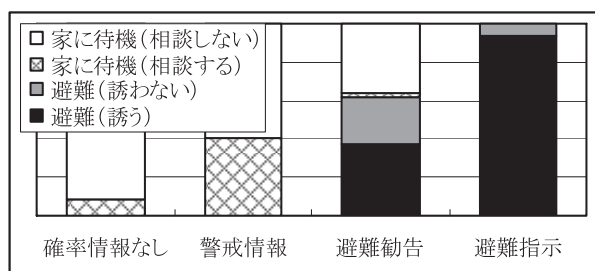


図2 高齢者単身・夫婦世帯の推計結果の比較  
(確率情報毎)

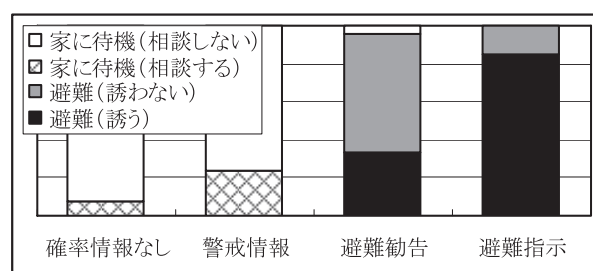


図3 高齢者を含まない世帯の推計結果の比較  
(確率情報毎)

また高齢者単身・夫婦世帯の住民は、避難する場合は近隣の住民を誘い、家で待機する場合は避難について相談する住民が多いことがわかる。これは居住年数が長く、地域の関わりが強いことが理由として考えられる。

また、図4に高齢者単身・夫婦世帯の回答者の「避難勧告」を受け取った上での、確率情報以外の状況変化による選択行動の推計結果の比較を示す。これを見ると、「小さながけ崩れの発生」や「避難する人との接触」は、高齢者のみで構成される世帯に代表されるような、避難に対し消極的な住民が早いタイミングで避難することに対し特に有効であると考えられる。

### (3) エージェントの行動ルールベース

エージェントの行動ルールベースはクラスター分析により5つのパターンで表わされる。シミュレーションは総数6,900のエージェントで行われた。シミュレーションはモンテカルロ法により乱数を発生させ、10回の試行で行われ平均をとって結果とした。避難に要する歩行速度は、高齢者の場合、0.8m/sec、それ以外は1.4m/secとした。家族単位は単一家族として、その構成を実態と整合させ導入した。シミュレーション感覚は5分ごとに繰り返す、進めていくことを考えた。また彼らが避難をする意思を持った後に行動を起こすことを条件とした。したがって、すべてのエージェントが同時に行動を起こすということではない。もしエージェントが、避難所を見つけた場合、その方向に移動するという行動パターンを導入した。世帯特性によるクラスターについては表3のように示される。

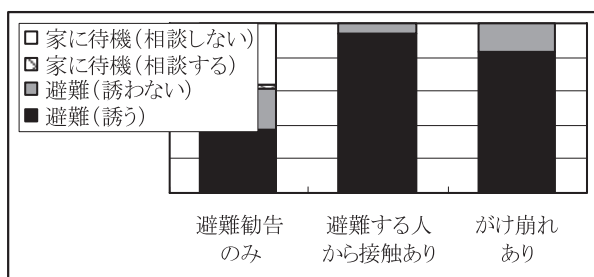


図4 高齢者単身・夫婦世帯の推計結果の比較 (避難勧告発令時)

表3 世帯特性によるクラスター

クラスター	世帯条件	比率(%)
C-1	若年層のみ世帯	10.3
C-2	高齢者同居の労働年齢層	23.7
C-3	労働高齢者世帯	40.5
C-4	夫婦同居高齢者世帯	15.2
C-5	独居高齢者生態	11.3

## 4. 得られた成果と今後の課題

土砂災害による被害の事例では、避難勧告等が発令されないまま発災するケースが多く見受けられる。本研究の分析結果と照らし合わせても、確率情報に頼るのみでは、多くの住民が避難しないまま被災することが危惧される。しかし同時に、住民間での助け合いを活発にすることで早期の避難を行う住民が増加し、人的被害を抑制できる可能性を示すことができた。特に高齢者のみの世帯の住民にはこの傾向が強い。よって、さらに精度のよい確率情報の提供はもちろんだが、住民個々に対する土砂災害や確率情報の知識の普及及び、地域内での助け合いを積極的に行う意識を持たせることができるような施策に重点を置くことが重要であると言えよう。

今後は、実際により近い行動選択のモデル化を目指すため、ネスティッドロジットモデルによる行動選択モデルの構築や、住民間の情報取得の差や住民間の相互作用を表現するようなシミュレーションモデルの構築を行い、より深い分析及び考察を行っていく必要があると考えられる。

(この論文は37ページ以降、英文論文の和文概要版である)