

水災害における避難システム構築のための マルチエージェントシミュレーション解析

Multi-Agent Simulation Analysis for Building of Cooperative Evacuation System in Landside Disaster

加賀屋誠一¹ 宇佐美沙織² 霜鳥 知行³

Seiichi KAGAYA, Saori USAMI, Tomoyuki SHIMOTORI

¹北海道大学大学院工学院 教授

²北海道大学

³北海道大学

要 旨

わが国は河川流域に多くの急傾斜地と低平地を有している。それゆえ、土砂崩壊や土石流さらに内水氾濫がそのような都市地域においてしばしば発生している。豪雨や台風シーズンにおいては、ゲリラ豪雨と呼ばれる降雨があり災害の起因となっている。最近の数年間においてもそのような水災害が丘陵地のみではなく都市地域の境界部分において開発された住宅地において発生している。土石流において特に高齢者の犠牲者が多いのが土石流災害である。そこで特に自治体にとって大規模自然災害の総合的避難プログラムの作成が重要となってきた。このプログラムでは、避難時間での人々に対する適正な情報を与えることを継続的にこなうことが盛り込まれている。

本研究では行動を主としたエージェントシステムを用いて新しい方法論を開発することを論じている。様々な属性をもつグループのプロダクションルールが被害を受ける地区からの避難行動を調査することによって構築される。そのようなプロダクションルールを用いて、仮説的な土砂崩壊災害および低平地水災害におけるマルチエージェントシミュレーションモデルがMAS手法によって開発された。マルチエージェントシステムは、札幌市および江別市において被害が発生した地域から安全な避難所への避難行動に適用された。結論として、避難の可能性が地理的かつ人々の属性条件の両方から検討された。

Abstract

Japan is a country which has many steep slopes and low-lying areas along rivers. Therefore, the disasters due to landslide, mud flood and inundation have often occurred in such urbanized areas. In rainy or typhoon season an unusual rainfall called as the guerilla heavy rain often triggers such disasters. In these years such disasters have been increased in not only mountainous areas but also the housing area

developed in the fringe of the urban region. The aged people have also fallen victim to mudslide disasters remarkably. So it has been important for a local government to build a comprehensive evacuation program of a large natural disaster. In this program, it is substantial to give appropriate information on human behavior for the evacuating time.

In this study a new methodology using the behavior-oriented agent system should be discussed to develop. The production rules of the attributive groups were built by the questionnaire survey on evacuation trips from damaged districts. Using such production rules, a multi-agent simulation models in a hypothetical landslide disaster or low-lying area flooding were developed due to a multi-agent system (MAS) method. The multi-agent system was applied to the evacuation from a damaged district to a safe shelter in Sapporo and Ebetsu city, Japan. It comes to the conclusion that the possibility of the evacuation was found in view of both topographic and human attributive conditions.

《Keywords: Cooperative Evacuation, Landside Disaster, Multi-Agent Simulation》

1. はじめに

近年、各地で予測の難しい局所的集中豪雨による自然災害が多発しており、その犠牲者の約半数が土砂災害によるものである。また札幌市においても土砂災害の発生危険個所が存在しており、いつ発生するかもしれないという危険性を有している災害といえる。災害への情報の量は向上してきている一方、行政からの情報に依存しすぎてしまっている住民や、高齢者等の災害弱者を考慮した避難対策は緊急の課題となっている¹⁾。

そこで本研究では、土砂災害時に行政による公助のみに依存するのではなく、地域住民自らが主体となった自助力・共助力による避難困難者の軽減効果を評価することを目的とする。

2. 想定状況と対象地域

本研究で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を対象とした(図-1)。この地域は土砂災害警戒区域に指定されており、地域内の多くの世帯が土砂災害の危険性にさらされている。また、厚生労働省によると高齢人口率26.41%と、札幌市の中でも比較的高い値を示しており、土砂災害が発生した際の人的被害が大きくなることが危惧されることから、対象地域として選定した。

3. 土砂災害における避難活動シミュレーション

3.1 マルチエージェントシミュレーション

本研究では、マルチエージェントシミュレーション(MAS)を用いて土砂災害時避難行動をモデル化する。個人の避難行動は、時間・空間・個人の属性などの相互作用により決定されると考えられる。避難者を「エージェント」、周辺の空間を「環境」と考えMASでモデル化することで、互いの相互作用が避難行動全体に及ぼす影響を把握することが出来ると考えられるためMASの適用は有効であるといえる。

3.2 土砂災害時シミュレーションの流れ

土砂災害時避難の行動決定は、災害の予兆が現れ、行政から発令される災害情報の取得や住民間での情報交換などによって住民が次の行動を想起する。そして、避難を想起した住民については避難を実際に行うかどうか判断し、実際に避難行動を開始するものと仮定した。また、行政から発令される災害情報は「土砂災害警戒情報」「避難勧告」「避難指示」の3つとし、初めに設定したタイミングに発令するものとした。

本シミュレーションでは、災害情報が発令されると、エージェントは情報を取得する。次に、情報を取得したエージェントは、個人属性と発令情報ごとに効用を算出し、「近隣住民を誘って避難する」「避難する」「待機しながら住民から情報を集める」「待機する」の4つの行動から一番効用値の高い行動を選択する。そして避難行動が想起された場合に、個人属性によって実際に避難行動に移すかが決定される。

3.3 エージェントの設定と特性

災害時における住民の避難行動は、個人単位に比べて世帯単位でその意思決定が行われる場合が圧倒的に多いとされている²⁾ことから、本モデルでは各世帯を一つのエージェントとして避難行動時シミュレーションモデルを構築する。表-1に設定した各エージェントの割合を示す。

表-1 エージェント割合

世帯	居住人口(人)	割合(%)
高齢者単身	292	11.28
高齢者夫婦	393	15.18
高齢者同居	1049	40.52
若者	855	33.02
合計	2589	100

表-2 属性値

世帯	身体の不自由の有無(%)		普段から気にかけている人の有無(%)		近所付き合い(%)				リスク意識(%)			
	あり	なし	あり	なし	仲が良い	そこそこ	あまりない	ない	あり	少しある	あまりない	ない
高齢者単身	10	90	69	31	15	31	51	3	13	21	51	3
高齢者夫婦	13	87	62	38	5	32	55	8	18	17	55	8
高齢者同居	25	75	41	59	5	21	59	16	5	25	59	16
若者	0	100	42	58	14	21	62	3	8	29	62	3

避難場所の知識(%)				避難準備時間(%)				被災経験の有無(%)			
知っている	場所はだいたい	名前は知ってい	全く知らない	～10	10～29	30～59	60～	あり 発災あり	あり 発災なし	なし 発災あり	なし 発災なし
70	22	1	7	24	47	24	5	11	2	8	79

世帯	情報取得時間(%)			
	発令直後	1～2時間	2時間以上	知らない
高齢者	72.9	14.6	6.3	6.3
一般世帯	61.3	22.6	11.3	4.8

世帯	自主避難可能(%)	援護可能(%)	援護要請可能(%)			
			近所付き合い			
			仲が良い	そこそこ	あまりない	ない
高齢者単身	25.7	0	44.6	29.7	14.8	0
高齢者夫婦	38.3	0	44.6	29.7	14.8	0
高齢者同居	100	80	100	50	25	0
若者	100	100	100	50	25	0

3.4 属性値設定のためのアンケート調査

土砂災害避難行動シミュレーションを構築するにあたり、鈴木氏らが平成20年12月21日に対象地域内で実施した聞き取り調査結果²⁾と片田氏らが実施した調査結果³⁾を用いて、避難の意思想起・決定に影響を与える要因や人々の属性を把握し、仮想的な災害状況における住民の避難行動を説明するモデルを作成した。

世帯ごとにクロス集計を行ったところ、「身体の不自由の有無」「普段から気にかけている人の有無」「近所付き合い」「リスク意識」に有意差が認められた。そこで上記の4つの項目については世帯別に初期属性値として設定した。それ以外の属性値については、他の属性に関係なく設定した。これら特性値を表-2に示す。

4. マルチエージェントモデルによる意思と行動の決定方法

4.1 避難意思想起モデル

土砂災害発生時の避難行動の意思決定に関する予測モデルを構築した。避難情報を得てからの行動意思選択には、ランダム効用理論に基づく線形効用関数値を用いた。「住民を誘って避難する」「避難する」「待機しながら住民から情報を集める」「待機する」の4つの行動に対する効用をそれぞれ求め、エージェントは効用が最大となる行動を意思決定すると仮定した。

4.2 避難行動決定モデル

「避難する」という意思を想起してから、実際に避難行動に移すと決定するまでのモデルを構築した。このモデルでは、自主避難が可能なエージェントは援護が必要なエージェントを援護し、自主避難が困難なエージェントについては、援護申請が可能であるかどうかによって行動が決まると仮定した。

4.3 シミュレーション結果

本シミュレーションでは乱数を含んでいるため、50回シミュレーションを行い、その平均値をとった。再現結果を図-1に示す。

避難行動を開始するエージェントは、時間と共に変化する発令災害情報によって増加している。しかし、高齢者のみの世帯と若者を含んでいる世帯とでは、避難行動を開始する住民の割合にかなりの差が生じている。避難指示が発令された段階で避難行動を開始している若者世帯は約75%に対して高齢者のみの世帯は3割にも達していない。

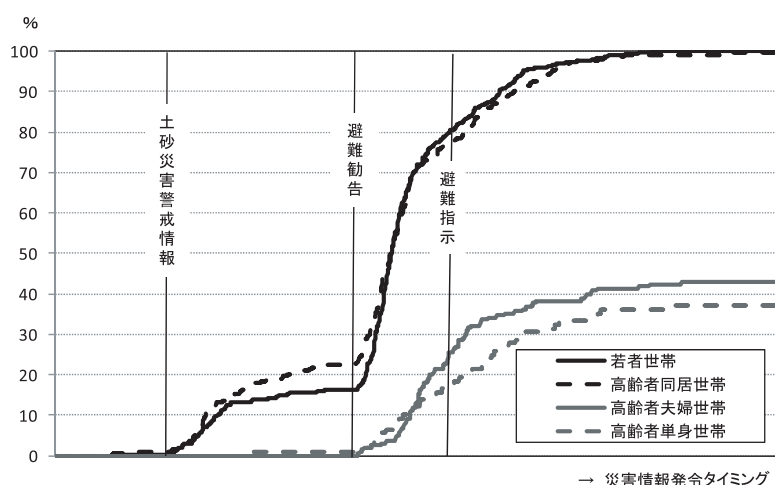


図-1 世帯構成の違いによる避難行動の違い

世帯別に、避難行動を想起した住民の割合と実際に避難行動を決定した住民の割合を比較した結果が図1に示されている。すると、若者世帯に比べて、高齢者のみの世帯でははるかに差が生じていることがわかる。つまり、避難したいと思っけていても、避難することの出来ない高齢者住民の存在が危惧されるといえる。

この結果をうけ、想定したシナリオによる人的被害の規模を評価する指標として、自力での避難行動が困難となり援護が必要であると考えられる高齢者を「災害弱者」と定義し、住民主体の自助・共助による「災害弱者」の軽減対策を考えていく。具体的には、住民間での情報共有による効果、援護活動による効果を構築したモデルを用いて検討していく。

4.4 災害弱者(高齢者世帯)への情報の伝達と支援の改善によるシミュレーション結果

(1) 情報共有による効果

住民間での情報共有の有無による避難行動を想起する災害弱者の割合を比較し図-2に示す。一度目の災害情報発令直後に避難の想起を行う災害弱者の割合は、情報共有がされない場合に比べて情報共有がされた場合のほうが多くなっている。住民間での情報共有は早期避難想起を促し、被災者の低減に効果を持つと考えられる。

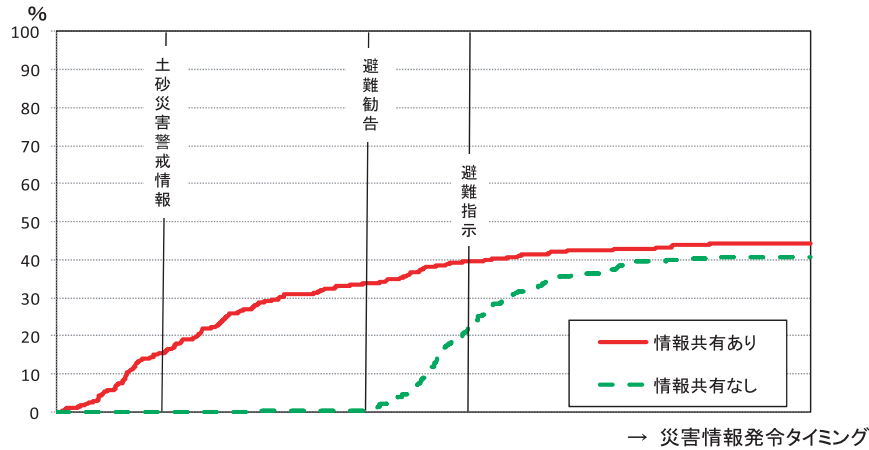


図-2 災害弱者（高齢者世帯）における早期の情報共有の有無による避難行動の開始時間

(2) 援護活動による効果

次に、住民間での避難援護活動の有無による避難行動を開始する災害弱者の割合を図-3に表す。援護活動が行われた場合、約20%もの災害弱者が避難行動可能となるという結果が示された。ここから住民間での援護活動は避難開始可能率の向上に有効であることが確認できる。

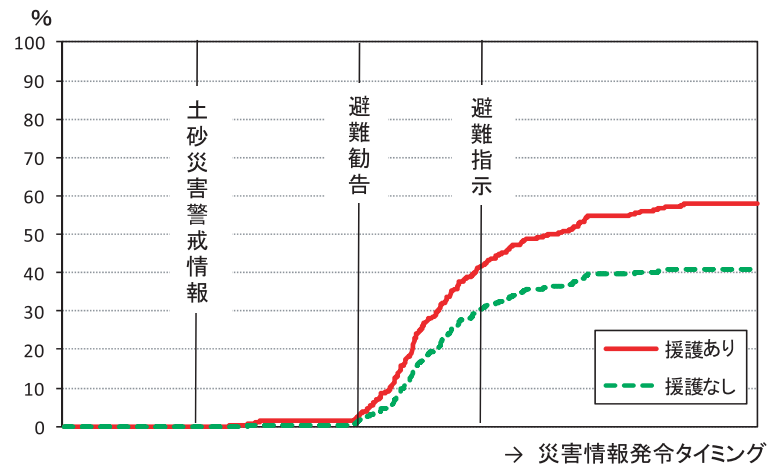


図-3 災害弱者（高齢者世帯）への援護活動の有無による避難行動開始時間の違い

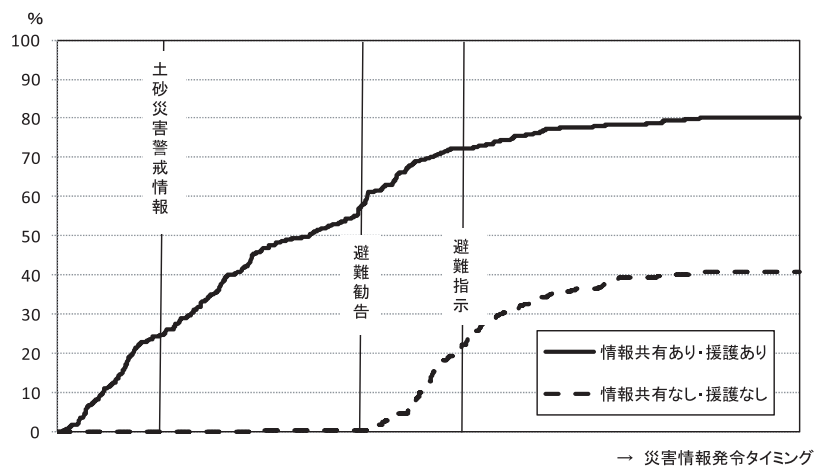


図-4 情報の早期伝達と援護活動による総合的改善の結果

(3) まとめ

行政から発令される災害情報のみでなく、住民間での情報共有・援護活動によって災害弱者の避難開始可能率の向上に繋がること明らかとなった。また災害弱者自らの援護要請が援護活動を活性化に繋がることも示された。

5. 防災活動経験による避難行動への影響分析

防災に関して、避難経路等の情報周知、地域コミュニティによる防災訓練は防災意識啓発に効果的であるということはすで実証されているが、実際の避難行動にどれだけ影響するのかは検証されておらず、効果を定量的に検証していく必要があると考えられる。

ここでは、特に水害の危険性がある地域において、防災活動経験の有無が実際の避難行動にどれだけ影響するかを分析し、地域における防災活動の効果を検証する。

5.1 低平地域におけるアンケート調査

(1) 研究対象地域

研究対象地域として、江別市を検討することとした。江別市には石狩川をはじめ、その支川である千歳川などの河川が存在しており、1981年の石狩川の堤防決壊による被害等、幾度の水害被害を受けてきた経緯がある。江別市においては、水害経験を有している方と防災活動の経験を有している方が比較的多いと思われ、この地域を研究対象地域として設定した。

(2) アンケート概要

水害経験を有している人とそうでない人、自主防災組織が行う防災活動経験がある人とない人の比較・検証を行うことを考慮し、アンケート調査を実施した。アンケート調査は、江別市上江別地区を対象に実施した(図-5)。表-3に、アンケート調査の実施概要を示す。水害経験と防災活動経験の有無、普段の水害への意識、水害の危険性がある様々なシチュエーションでの行動選択について伺った。アンケートはポスティング配布し、郵送により回収した。



図-5 研究対象地域（江別市上江別地区）

表-3 アンケート調査の実施概要

調査日時	平成23年12月10日／11日
調査場所	江別市上江別地区
配布部数	2,000部
配布方法	ポスティング配布
回収方法	郵送回収
回収数	458部
回収率	22.90%
有効回答数	394部
主な質問項目	水害経験・避難訓練の経験・DIGの経験・避難時の行動選択・防災への意識・個人属性etc.

5.2 分析手法

(1) 非集計行動選択モデル

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選択モデルによって表現した⁴⁾。本研究では、水害の危険性がある状況下で、「避難するか家で待機して様子を見る」か、更に「避難する場合はひとりで避難する」か、「家族や周りの人を誘い避難する」か、以上の3つの行動をロジットモデルによって定式化した。

(2) 定式化とパラメータ推計方法

各々の選択行動における効用 V （確定項）は、次に示す線形関数によって与えられるものと仮定し、パラメータ推計を行なった。

$$\Delta v_{step1} = v_t - v_a = \alpha_0 + \sum_{i=1}^I \alpha_i \chi_i^{step1}$$

$$v_e = \ln(\exp(v_a) + \exp(v_t))$$

$$\Delta v_{step2} = v_s - v_e = \beta_0 + \sum_{j=1}^J \beta_j \chi_j^{step2} + \theta \cdot \ln(\exp(v_a) + \exp(v_t))$$

v_t : 周りの人を誘い、避難所へ向かう際の効用

v_a : 一人で避難所へ向かう際の効用

v_s : 家で待機して様子を見る際の効用

v_e : 避難所へ避難する際の効用

χ_i^{step1} : Step1における説明変数 i の値

χ_j^{step2} : Step2における説明変数 j の値

α_0 : 周りとの避難する選択行動の定数項

α_i : Step1での説明変数 i の未知パラメータ

β_0 : 家で待機する選択行動の定数項

β_j : Step2での説明変数 j の未知パラメータ

θ : ログサム変数項の未知パラメータ

I : Step1における説明変数の総数

J : Step2における説明変数の総数

パラメータ推計について、Step1としてひとりで避難するか、家族や周りの人を誘い避難するか、Step2として避難するか家で待機して様子を見るかについて推計を行なった。これらがバイナリー分布に従うという仮定の下、一方の効用値をゼロと仮定して推計した。表-4と表-5に、各々のパラメータとその推計結果を示す。

5.3 水害経験と防災活動経験の効果

行政から発令される避難勧告情報の信頼確率が90%と10%の場合における避難所までの距離と避難率の関係を図-6と図-7に示す。水害経験と防災活動経験の有無により、避難率に差が生じることが判明した。特に、避難勧告情報の信頼確率が低いほど、防災活動経験の属性が大きく関係することがわかった。

避難勧告情報の信頼確率が90%、避難所までの距離が1,000mと仮定した場合の避難率を比較すると、防災活動経験がある人と無い人とでは避難率がおおよそ90%と80%の違いがあることが判明した（図-6）。

一方、避難勧告情報の信頼確率が10%、避難所までの距離が1,000mと仮定した場合は、防災活動経験がある人と無い人との間では避難率がおおよそ40%と20%の違いがあることが判明した（図-7）。

5.4 防災活動経験による避難行動のまとめ

本研究では、防災活動経験の違いが水害避難行動に与える影響を定量的に評価することを試みた。今後の地域防災計画のあり方を考える上で、防災活動の役目は重要になってくると考えられ、その効果を示せたことは新たな知見ではないかと思われる。

表-4 Step1におけるパラメータ推計値

変数名	推計値	P値
定数項	-0.5170	0.0704*
防災活動経験の有無	0.6929	0.0455**
世帯構成	3.8044	0.0000***

有意水準：***1%有意，**5%有意，*10%有意
的中率：93.30%

表-5 Step2におけるパラメータ推計値

変数名	推計値	P値
定数項	2.8777	0.0000***
避難勧告情報の信頼確率	-0.0324	0.0000***
自宅周りの浸水の有無	-1.2136	0.0000***
避難所までの距離	0.0008	0.0000***
水害経験の有無	-0.7790	0.0002***
ログサム変数項	-0.1741	0.0058***

有意水準：***1%有意，**5%有意，*10%有意
的中率：70.70%

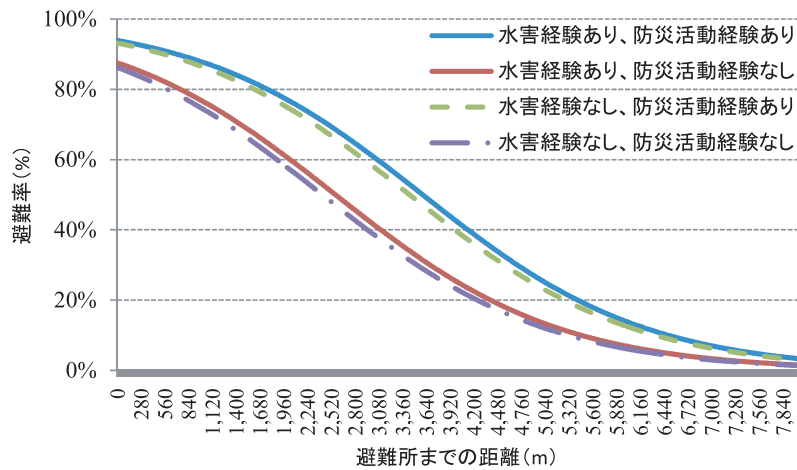


図-6 避難勧告情報の信頼確率90%での避難率

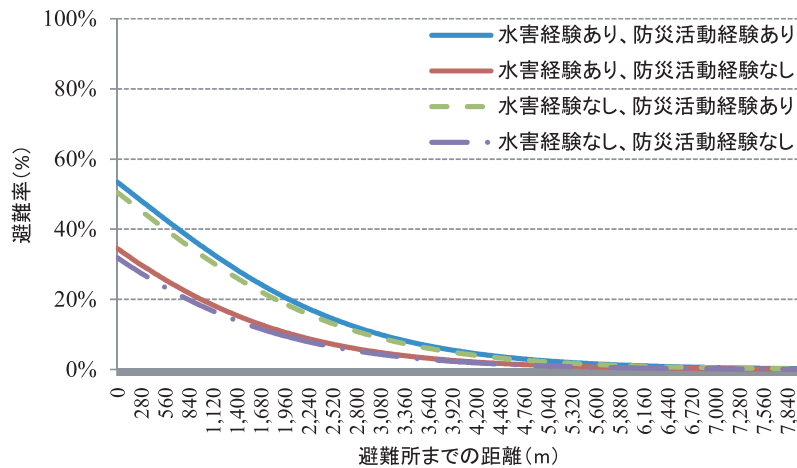


図-7 避難勧告情報の信頼確率10%での避難率

6. 本研究の成果

本研究では、地域住民の自助・共助に着目した土砂災害避難行動モデルを構築し、避難行動の変化を予測した。また、防災経験が避難行動に及ぼす影響についても検討をおこなった。その結果構築したモデルを使用して、地域住民が主体となった自助力・共助力が避難困難者の削減に有効であることを示すことができた。また日頃の防災活動経験が、避難行動に効果を与えることが明らかとなった。

災害による被害を最小限にとどめ、生活の安全・安心を守るためには、市民一人一人や企業が自らを守る「自助」、地域コミュニティなどが協力して行う「共助」、国や地方公共団体による「公助」の連携が不可欠であると考えられる。また日常的な防災活動や具体的な防災経験の重要性が確認できた。

7. 今後の課題

コミュニティの希薄化が進んでいる近年、こうした高齢者に対して積極的な避難援助対策の検討を行うことが課題といえる。また行政の情報の正確性の向上に努めていくことが必要である。研究の課題としては、不確定なパラメータについて現実の調査結果をもとに調整し、モデルをより妥当なものにしておくことがあげられる。

参考文献

- 1) 矢守克也：災害情報のダブル・ハインド. 災害情報 no.7, 28 - 33. (2009)
- 2) 鈴木健一郎，加賀屋誠一，内田賢悦：札幌市土砂災害危険区域における共助に注目した住民避難行動に関する研究. (2009)
- 3) 片田敏孝，及川康，寒澤秀雄：河川洪水時における要介護高齢者の避難実態とその問題点
- 4) 土木学会土木計画学研究委員会：非集計行動モデルの理論と実際 (1995)，丸善