公益社団法人日本都市計画学会 都市計画報告集 No.20, 2021 年 11 月
Reports of the City Planning Institute of Japan, No.20, November, 2021

水害発生時の避難行動シミュレーションが住民意識の変容に及ぼす効果の分析

—さいたま市西区荒川・鴨川流域を事例として—

Analysis of residential conscious improvements in behavior simulation model at floods -A case study of the Arakawa and Kamogawa river basins in Saitama City-

中口毅博*・杉山峻太**
Takahiro Nakaguchi*・Shunta SUGIYAMA**

In this study, we held a learning program for junior high school students in the area using a simulation video of evacuation behavior at the time of flood damage in the Arakawa and Kamogawa basins of Saitama City. We measured change consciousness to support vulnerable people. As a result, the following became clear.
1) In the evacuation behavior simulation, by creating scenario A where you will be involved in inundation and scenario B where they will not only help themselves but also help people who need consideration as an evacuation guide, people can prepare for disasters and evacuate early. we could create an easy-to-understand material to encourage people to evacuate.
2) It became clear that holding learning program using evacuation behavior simulations is effective in raising residents' awareness of disaster prevention.
keywords : Flood damage, evacuation behavior, public participation, disaster prevention education, SDGs
キーワード：水害、避難行動、住民参加、防災教育、SDGs

1. 研究の背景と目的

1.1 災害における課題

2019 年 10 月、台風第 19 号により記録的な大雨となり、河川の氾濫による 140 箇所での堤防決壊など甚大な被害が発生している。10 月 10 日から 13 日までの総降水量が東日本を中心に 17 地点で 500 ミリを超えた。特に静岡県や新潟県、関東甲信地方、東北地方の多くの地点で 3、6、12、24 時間降水量の観測史上 1 位の値を更新するなど記録的な大雨となった。これらにより 2,019 年の水害被害額が、統計開始以来最大となる約 2 兆 1,500 億円（暫定 値）を記録している。また、避難勧告等を出しても 安全確保行動をとらない、避難行動を行わずに被災する人が多い、避難勧告等の情報を入手した にも関わらず、「自分が被害を受けるとは思わなかった」との理由から避難しない住民が少なくないといった課題がある。

また、高齢者や障がい者など、自力で避難ができない層の避難行動支援が課題となっており、自主防災組織等による住民の共助の必要性が増しているが、少子高齢化の進行や近隣関係の希薄化などにより、この体制が整っていないのが実情である。

1.2 既往研究における課題

本研究に関連する既往研究は、水害時の避難行動シミュレーションに関する研究と避難行動を中心とした防災教育の効果測定に関する研究に分けられる。

前者の研究としては、マルチエージェントモデルを用いた避難行動シミュレーションが多く行われている（例えば Pel ら、2008;Dawson ら、2012; El-Sergan ら、2012; W. Li ら、2012；大上ら、2014; 長木ら、2020）。また防災教育への活用を目的としたアプリケーション開発としては M. Hirokane ら(2016)の研究がある。

一方後者の研究としては、後者としては、黒光ら(2020)が、生徒自ら桜島噴火時の避難行動シミュレーションを作成し家族に説明する学習活動の効果測定を行い、また、平山ら(2020)が滋賀県近江八幡市の小学校において河川環境と防災を融合した体験型学習プログラムの効果検証を行っている。

ここでの論点は災害弱者支援であるが、これに関連した研究としては、荻原ら(2013)による高齢者を含む譲り合いを考慮した避難行動シミュレーションに関する研究、片田ら（２０１３）による荒川下流における決壊時における住民の避難意向を反映したシミュレーションがあげられるが、これは災害弱者世帯や避難困難世帯への対策をモデルに含んでいる。また、長木ら(2020)は時間経過を考慮した避難行動要支援者の浸水危険性に関する分析を行っている。さらに B. Nonnecke ら（2018）は、災害弱者の避難行動を支援する対話型音声応答システムを開発している。

しかし、昨今の課題である、災害弱者の避難を支援活動や、その意識を醸成するための学びの機会の提供といった視点での既往研究は存在しない。

1.3 研究の目的

そこで本研究は、さいたま市の荒川・鴨川流域を対象とした水害発生時の避難行動シミュレーション動画を用いて、地区内の中学生などに対する学習会を開催しその効果測定を行うことで、災害弱者（以下、要配慮者と称する）を支援する意識の変化について分析することを目的とする。

既往研究では、自分の命を最優先とした避難行動の改善や方法を目的としていることが多いが、本研究では、要配慮者を支援する避難誘導者としての意識の醸成を目的としている。

1.4 研究の手順

研究の流れを図１に示す。本研究はO社との共同研究と位置づけ、避難行動シナリオについて協議したうえで、シミュレー

*正会員　芝浦工業大学　Shibaura Institute of Technology
**非会員　芝浦工業大学　Shibaura Institute of Technology

ションソフトを用いた動画作成を委託した。まず避難場所、避難者数、収容人数、位置情報などのデータを収集・加工し、入力データを作成した。次にO社によって作成 されたシミュレーション動画を教材として、対象地域 内の中学生及び自治会役員を対象とした学習会を開催 し、アンケート調査の結果から水害への意識や避難行 動の変容について分析、考察をおこなう。

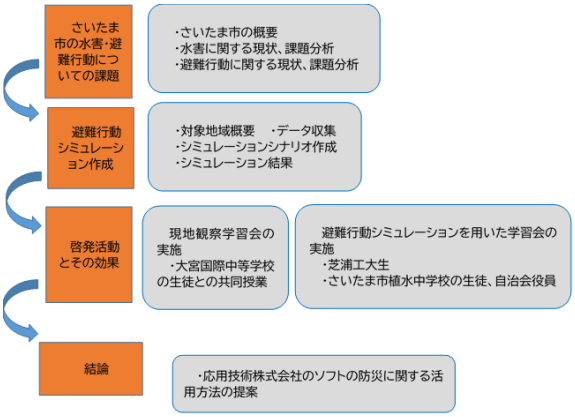

図１　研究の流れ

2. 水害から見るさいたま市の現状と課題

2.1 さいたま市の概要

さいたま市の人口は約 130 万人で、市域は、東西、南北ともに約 20km の広がりをもち、面積は 217.43km²である。図 2 に示すように、その地形は、台地とその間を流れる河川および低地から形成されており、高低差が約 16mと少なく全体的に平坦である。低地部分は、荒川周辺に荒川低地、岩槻台地の東部から南部にかけて中川低地が広がっている。

図２ さいたま市の地形

2.2 さいたま市の水害および防災意識の現状と課題

水害の発生状況をみると、2019 年の台風１９号による大雨により、さいたま市内では県内で最も多い 871 件の床上浸水、292 件の床下浸水の被害が出ている。中でも桜区では床上浸水が市全体の約 8 割になる 689 件、床下浸水が 7 割超となる 210 件に及んでいる。市では「想定以上の雨が降って各河川に流れ、排水処理しきれず行き場を失った水が特定の地域にたまったのでは」と分析している。

荒川沿いは地形的に低い場所となっており、それによって浸水による被害が大きい原因である。大雨が降ると内水氾濫や造成地自体の安定性が問題になり、宅地被害が発生する可能性を有していると想定される。

さいたま市は災害から命を守るために緊急に逃げ込む施設・場所である「指定緊急避難場所」と、自宅に居住できなくなった方が一時的に避難生活を送るための施設である「指定避難所」を指定しており、指定緊急避難場所は、地震や洪水など災害の種別ごとに、洪水時に避難できる指定緊急避難場所は、原則として、各洪水ハザードマップの安全区域（浸水が想定されていない場所）にある学校や公園などを指定している。

一方 2019 年度のさいたま市民意識調査によると、防災分野のボランティアに参加している人の割合は全体の2.4%である。さいたま市のイメージとして「災害に強い街だと思う」に回答した人は 28.9%という結果である。市政への満足度・重視度の項目においても防災・治水対策、消防体制の充実に対して「満足している」に回答した人は全体の 2.5%である。

3. 避難行動シミュレーション動画の作成

水害及び避難行動に関しての意識変化を目的とした学習会を開催するために、まず学習会の資料として避難行動シミュレーション動画を作成する。

3.1 対象地区の選定

対象地域を選定する際の基準は以下の 3 点とした。

①地区の近辺に河川が存在していること

②中高生など若い世代がある地区

③SDGs や防災教育に力を入れている学校がある

その結果、図 3 の赤枠で示した区域、すなわち、さいたま市三橋 4 丁目、大字飯田、大字中野林、大字植田谷本、三条町の 5 つの地区を対象とした。

図３　さいたま市西区の位置

図４　対象地区

対象地域の周りには荒川と鴨川が存在しており、大部分が２つの川に挟まれている。したがって両河川が氾濫してしまったとき、逃げる場所がなくなってしまうことが避難行動においての課題である。

次に地区内における学びの対象校を選定する。本研究では若年層が避難誘導者になることを想定していることから、学習活動の対象は防災教育の指定校にもなっている植水中学校と、ＳＤＧｓの学びに力を入れている大宮国際中等学校とした。

3.2 避難行動シミュレーションに必要なデータの収集

避難行動シミュレーションを実施するためには、避難場所の位置情報や、避難場所を設定する必要がある。表１は対象地域内の総人口と 65 歳以上の人口である。対象地区全体の人口は 11,692 人で、65 歳以上の人口は 3,558 人である。5 地区の中では大宮区三橋４丁目が最も多く、次いで大字植田谷本が総人口 2,603 人、65 歳以上の人口が 973 人で多くなっている。

図５に避難施設の位置を示した。鴨川から見て西側に４つの避難施設、右側に１つの避難施設が存在していることが特徴である。さいたま市立植水小学校・植水中学校、大宮国際中等学校、埼玉県立大宮光陵高校・大宮南高校も避難施設として指定されている。三橋４丁目に住んでいる住民は大宮国際中等学校、大字飯田の住民は大宮光陵高校といったようにそれぞれの地域で目標とする避難施設を条件として設定した。

図５　避難施設の位置

表１　対象地区の町丁目別人口（2015 年）

対象地域		総人口	65歳以上の人口
さいたま市大宮区	三橋４丁目	5,202	1,282
さいたま市西区	大字飯田	1,071	271
さいたま市西区	大字中野林	2,284	873
さいたま市西区	大字植田谷本	2,603	973
さいたま市西区	大字三条町	532	159
合計人数		11,692	3,558

表２はコロナウイルス感染対策を考慮した各避難所の収容人数である。ソーシャルディスタンスを保つために校舎の使用可能面積は延べ３分の１を乗じた面積とし、収容人数は通常の６㎡ではなく、一人あたり２㎡に設定した。その結果、コロナウイルス感染対策を考慮した収容人数合計は 1,267 人となり、感染対策を考慮していない通常の収容人数 7,033 人と比較すると約６分の１となった。対象地域全体の人口が 11,692 人であることから 10,425 人が対象地域内の避難施設に入ることができない。このことから、コロナ禍の中で災害が起きた場合、住民が避難所に避難できない問題が発生し、大変な事態になると予想できる。

表２　避難施設別収容人数

避難施設名	収容人数	対象地域内人数	階数	使用可能階数（以上）	水害時の収容人数	コロナウイルス時収容人数	不足人数
大宮国際中等学校	1,211		4	2階	908	303	
埼玉県立大宮光陵高校	2,336		4	3階	1,168	389	
さいたま市立植水小学校	1,044		3	3階	348	116	
埼玉県立大宮南高校	1,568		5	3階	941	314	
さいたま市立植水中学校	874		4	3階	437	146	
合計人数	7,033	11,692			3,802	1,267	10,425

3.3 シナリオパターンの設定

学習会での学びを効果的なものにするために、避難行動シミュレーションは表３と表４に示すような２つのシナリオパターンを設定した。

①シナリオパターンＡ

10 時に警戒レベル３が発令される。この時点では要配慮者の 15%が秒速 0.5m で避難を始める。11 時に警戒レベルが４に引き上げられ、避難勧告が出されるが、残り 85%の要配慮者や一般住民がまだ避難しない。13 時に避難指示が出されるが、残り 85%の要配慮者や一般住民がまだ避難しない。14 時に荒川が破堤し、全住民が避難を始める。一般住民の避難速度は秒速 1.11m とする。

②シナリオパターンＢ

10 時に警戒レベル３が発令される。この時点で全住民が避難を始める。要配慮者の歩行速度は秒速 0.5m、一般住民は秒速 1.11m とする。

表５は時間軸での比較のため、シナリオＡとシナリオＢをタイムラインで示したものである。

表３　シミュレーションパターンＡ

避難者	避難開始	避難速度	備考
要配慮者(15%)	警戒レベル3（10時）	0.5m/s	避難成功
要配慮者(85%)	破堤と同時（14時）	0.5m/s	破堤まで避難を開始しなかったため逃げ遅れ
要配慮者以外	破堤と同時（14時）	1.11m/s（=4km/h）	→一部の人は避難困難

表４　シミュレーションパターンＢ

避難者	避難開始	避難速度	備考
要配慮者(100%)	警戒レベル3（10時）	1.11m/s（=4km/h）	避難誘導（早期避難呼びかけ・道案内・移動補助などの支援）を受けて避難開始時間繰り上げ・移動速度向上。 →避難成功
要配慮者以外	警戒レベル3（10時）	1.11m/s（=4km/h）	自身の避難開始時間を早めるとともに避難誘導も行う。 →避難成功

表５　シナリオタイムライン

荒川タイムライン	荒川警戒レベル	シミュレーションイメージA	シミュレーションイメージB
10:00	レベル３	要配慮者避難開始(15%)	要配慮者(100%) 住民避難開始(100%)
11:00	レベル４、避難勧告発令		
13:00	避難指示		
14:00	レベル5、氾濫	要配慮者避難開始(85%) 住民避難開始(100%)	
16:00	対象地域内浸水		

3.4 シミュレーション結果

10 時の時点では、シナリオＡでは避難開始しているのはわずか69 人であり、シナリオＢは全員が避難を開始している。シナリオＡは14 時まで11,160 人もの人がまだ避難を開始していない。14 時になり、荒川が氾濫してやっと全員避難を開始している、避難開始時間が遅いために14 時では586 人、15 時では1,642 人の避難困難者が出てしまう結果となった。それに対し、シナリオＢは避難困難者が皆無である。避難開始時間が早かったこと、避難誘導者がいたことで避難速度が早まったことが要因である。

表６　シミュレーション結果比較

	シナリオA				シナリオB			
	避難前	避難途中	避難成功者数	避難困難者数	避難前	避難途中	避難成功者数	避難困難者数
10:00	11,160	69	463	0	0	0	11,692	0
11:00	11,160	0	532	0	0	0	11,692	0
12:00	11,160	0	532	0	0	0	11,692	0
13:00	11,160	0	532	0	0	0	11,692	0
14:00	0	3,368	7,738	586	0	0	11,692	0
15:00	0	0	9,464	2,228	0	0	11,692	0

しかしシナリオＢにおいても、要配慮者が自力で避難できることを前提としているが、実際は避難誘導者の支援がなければ避難困難者が出てしまうと考えられる。実際は独居老人宅を訪問したり要所に立って避難を誘導するなど、要配慮者の支援が必要不可欠である。そのためには地域住民、特に若い世代の学習会を実施することで、避難誘導者の役割の重要性を認識してもらうことが重要である。

4. シミュレーション動画を用いた啓発活動とその効果

以上のことから本研究では、避難行動シミュレーションを使って啓発活動を実施した。具体的方法としては、植水中学校の生徒会や JRC 部の生徒と、中野林自治会の役員など周辺住民を対象とした学習会を2021年1月13日に多目的室で開催した。

4.1　避難行動に関する学習会の概要

まず、全国やさいた ま市の水害の現状について説明し、シミュレーション動画を見てもらった（写真1）。動画だけでは避難の困難さを実感できないので、5 分間ほどの時間をとって参加中学生全員に要配慮者の避難速度 0.5m/s と住民の避難速度 1.0m/s の速さを実際に歩いて体験してもらった（写真 2）。さらに中学生同士で水害発生時に取るべき行動に関する話し合いの時間を設けた。最後に、避難誘導者として要配慮者を助けることの重要性を伝えた。

中学生を対象にした学習会のあと、自治会役員が残て懇談会を開き、避難行動シミュレーションシナリオへのご意見をいただいた（写真3）。

写真１　学習会の様子

写真２　歩行体験

写真３ 自治会役員との懇談会の様子

4.2 学習効果の測定

効果測定においては、学習会によって「避難行動に関する意識が高まる」「要配慮者支援の意識が高まる」という仮説を立て、これが検証されれば効果があったとみなした。これを把握するために学習会後にアンケートを実施した。

検証にあたっては学習会の前後での回答比率を比較するとともに、芝浦工大生に対してオンラインの学習会を開催し、植水中学校の学習会と同じ項目のアンケートを実施した。表７はアンケートの概要を示した。また、内閣府が全国民を対象に実施した「防災に関するアンケート」世論調査結果とも比較した。これは全国の 20 歳以上の男女で調査会社の登録者約2,000 人を対象とした調査で、国民の災害対策に関する意識と、対策の実施状況ならびに対策が進まない理由について把握することを目的としたものである。

表７　アンケート概要

実施日	SDGs月間イベント：12月20日 植水中学校啓発活動：1月13日
方法：	Googleフォーム、紙媒体アンケート用紙
調査対象	SDGs月間イベント参加者（芝浦工大生）、中学生、自治会役員、社会人
回収状況	回収数36票： SDGs月間イベント（13票） 植水中学校学習会（23票）

4.3 学習会の効果分析結果

(1)避難行動に関する意識向上効果

事後アンケートQ1の「避難についての意識」で「大変変わった」に回答した人は芝浦工大生は0%だったことに対し、対象地域の中学生・住民は65%であり99%以上の確率で有意な差が得られた。したがって、対象地域の中学生・住民の方が意識変化が大きいことになる。要因としてオンラインではなく対面学習会だったことによって理解が深まったこと、河川の近くに住んでいることによって水害の危険性について再認識できたことだと考えられる。

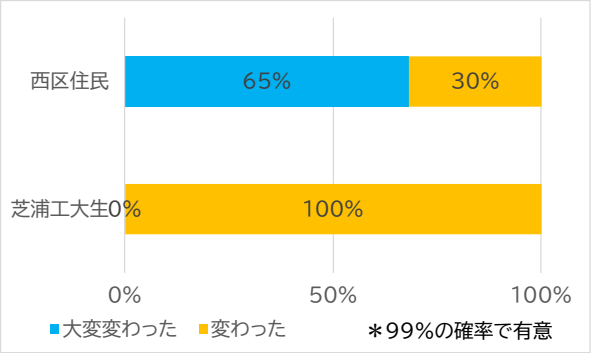

図6　避難についての意識

図7は学習会前後の事前準備について、学習会前と後で比較をおこなったものである。「家族との連絡方法を決めている」、「家族が落ち合う場所を決めている」、「防災用品を備蓄している」の項目が最も差が大きい結果となっている。啓発活動後のアンケートで、「家族との連絡方法を決めている」、「防災用品を備蓄している」は全員が対策を講じると回答した。

また、要配慮者など体の不自由な人の存在を確認している」は、57.1%から85.7%と向上し、90%の確率で有意な差がみられた。また、「連絡方法」、「落ち合う場所」、「防災用品」「避難レベル情報」、「要配慮者」、「何も得ていない」についても、学習会前後で99%の確率の有意な差がみられた。その要因として学習会に参加したことによって水害や避難行動についての現状を知ることができたこと、今後の災害に対する対策を考えることができるようになったことが要因であると考える。

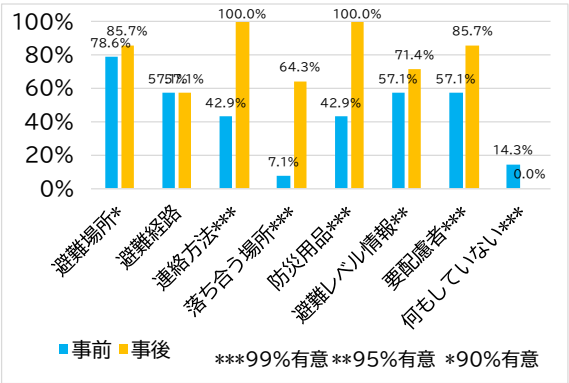

図7 学習会前後の防災に関する対策

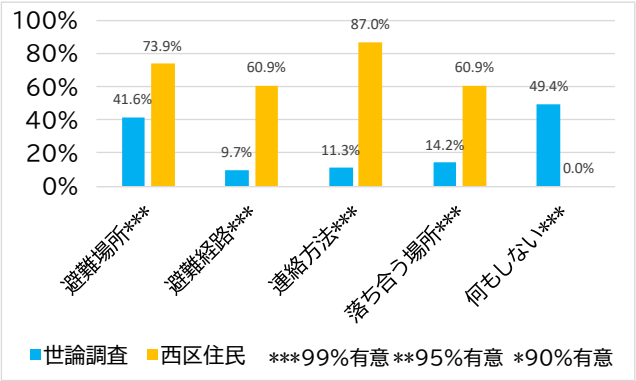

図8　災害に対する具体的備えの意識

図8は「地震や水害などが起きた時、あるいは避難しなければならない事態に備えてどのような対策をとりたいと思いますか？」という質問に対して世論調査の結果と比較したものである。その結果「家族との連絡方法を決めている」が最も差が大きい結果となっている。次に「実際に場所まで行き、避難経路も確認している」の差が大きい。比率の差の検定結果ではすべての項目が99%の確率で有意な差の結果が得られた。

(2)要配慮者支援の意識向上効果

図9は「今後、地震や水害などが起きた時、あるいは避難しなければならない事態に備えてどのような対策を取りたいと思いますか？」いう質問に対して芝浦工大生と比較した結果である。「防災用品を備蓄している」という項目に対して芝浦工大生は40%だったことに対して対象地域（西区住民）は100%の回答率だった。

また、「要配慮者」の項目に対して芝浦工大生は0%の回答率だったのに対し、対象地域は74%となった。比率の差の検定の結果により、「連絡方法」、「防災用品」、「要配慮者」の項目が99%の確率で有意な差が見られた。

以上のことから、要配慮者支援の意識向上効果があったことが検証された。

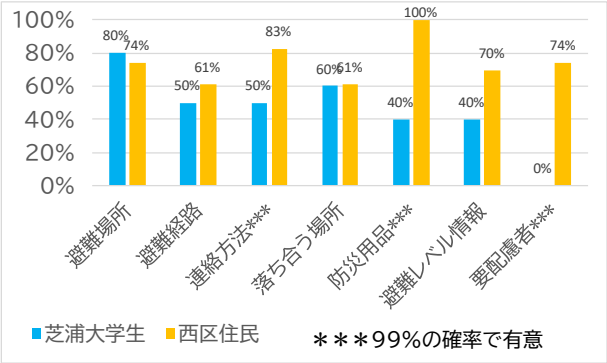

図9　要配慮者支援意識の比較

5．産学官民連携による防災活動の提案

以上の分析を踏まえ、SDGs達成の視点からみた産学官民連携による防災活動が有効と思われることから、ここでは産学官民連携による防災活動について提案する。

要配慮者の支援により不平等をなくすことができること、災

害からの回復力が高い安全なまちや居住空間を作ることができることからSDGsの貢献をはかることができると考えることができる。

また、今後避難行動シミュレーションを活用した授業や自治会との交流、防災訓練などの際に活用することで水害の危険性の再認識、避難誘導者としての意識を向上することができる。それだけでなく避難誘導者を目的とした教育をおこなっていくことで地域住民や中高生や保護者、自治会役員など様々な世代の方と交流を図ることによって共助のある地域づくりを目指すことができるのではないかと考えられる。これらによってSDGｓの「3. すべての人に健康と福祉を」「4、質の高い教育をみんなに」「10. 人や国の不平等をなくそう」「11. 住み続けられるまちづくり」を達成することができると考える。今後の展開として水害だけでなく、火災や地震などさまざまな災害のシミュレーションをおこなっていくことで防災分野での向上を図れると考えられる。

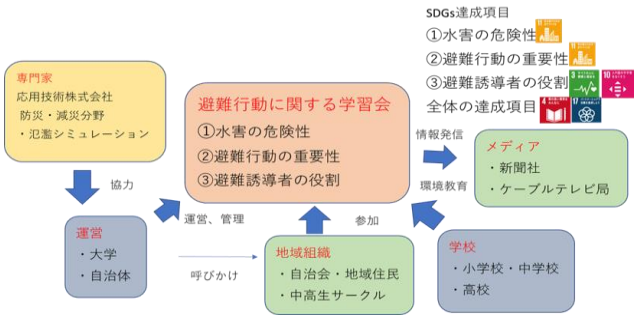

図９　避難行動に関する学習会の提案

7. 結論

本研究は、さいたま市の荒川・鴨川流域を対象とした水害発生時の避難行動シミュレーション動画を用いて、地区内の中学生および自治会役員に対する学習会およびその効果測定を行うことで、防災意識の変化について分析した。その結果、以下のことが明らかになった。

1） 避難行動シミュレーションでは浸水に巻き込まれてしまうシナリオ A と、自身が助かるだけでなく避難誘導者として要配慮者の人を助けるというシナリオ B を作成することで、災害への備えや早めの避難を促すためのわかりやすい資料を作成することができた。

2） 避難行動シミュレーションを活用した学習会の開催が、住民の防災意識向上に有効であることが明らかになった。

今後の課題として、今回は２つの単純化したシナリオに基づき動画を作成したが、今後は一定の仮定に基づいた条件であるためいろいろなパターンが必要であること、条件設定をもっと細かくすることが課題であると考えられる。また、４月より「大雨・洪水警戒レベル」が改定されるため、これに対応した動画の改良が必要と考えられる。また学習会の対象者を広げるとともに、総合的な探究の時間の中に組み込むことで正課授業として実施する方法を検討することが必要である。

参考文献

1) 大上俊之・山本祐輔・豊田政史・小山茂:マルチエージェントモデルを用いた河川氾濫時の避難行動シミュレーション. 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol. 70, No. 2, I_123-I_128, 2014.

2)平山 奈央子, 瀧 健太郎：身近な河川の環境・防災を融合した体験型学習プログラムの効果検証. 土木学会論文集 F6 (安全問題) , 76 巻 2 号 p. I_75-I_80,2020.

3)黒光 貴峰, 野口 裕二, 山元 卓也, 眞木 雅之, 飯野 直子:学校・家庭・大学が連携した防災の視点を取り入れた中学校理科での授業実践.鹿児島大学研究紀要. 教育科学,53-67,2020.

4)長木 雄大, 森崎 裕磨, 藤生 慎, 高山 純一, 柳原 清子, 西野 辰哉, 寒河江 雅彦, 佐無田 光, 平子 紘平:大規模水害時の時間経過を考慮した避難行動要支援者の浸水危険性に関する分析.土木学会論文集 D3（土木計画学）/75 巻 (2019) 6 号 p. I_153-I_161,2020.

5)荻原 さなえ・横川 京平・谷 賢太朗：高齢者を含む譲り合いを考慮した避難行動シミュレーションの検討. IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会講演論文集, 87-90, 2013

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）/69 巻 (2013) 1 号/ p. 71-82.

7) El-Sergany, A. and Alam, S.: Trip distribution model for flood disaster evacuation operation, ITE Journal, Vol. 82,pp. 42-47, 2012.

8) Pel, A. J., Bliemer, M. C. J. and Hoogendoorn, S. P.: EVAQ: A new analytical model for voluntary and mandatory evacuation strategies on time-varying networks,Proceedings of IEEE Intelligent Transport Systems conference, Beijing, China, 2008.

9) Dawson, R., Peppe, R. and Wang, M.: An agent-based model for risk-based flood incident management, Natural Hazards, Vol. 59, Issue 1, pp. 167-189, 2011.

10)W. Li and H. Zhang, "The model and simulation for the city flood and evacuation," 2012 IEEE Symposium on Robotics and Applications (ISRA), 2012, pp. 261-264, doi: 10.1109/ISRA.2012.6219173.

11)M. Hirokane, K. Nishiwaki and T. Endo, "Experiment of Disaster Prevention Education and Evaluation Using a Torrential Rain Simulated Experience Application," 2016 Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS), 2016, pp. 432-437, doi: 10.1109/SCIS-ISIS.2016.0097.

注

政府は、防災情報を５段階に分類した「大雨・洪水警戒レベル」の改定を決めた。（図 2.3.2）最も危険度が高いレベル５の段階で、市区町村が発令する情報を「災害発生情報」から「緊急安全確保」に変更する。分かりにくさの解消が狙いである。住民にはレベル４までに避難するよう求めることに変わりはない。