

避難行動予測に基づく地域防災力の
向上化に関する研究

2016年1月

YANG YONG

目 次

第1章 序論.....	1
1.1 研究の背景.....	1
1.2 研究の目的.....	2
1.3 本論文の構成.....	3
<参考文献>.....	3
第2章 避難行動シミュレーションについて.....	4
2.1 避難行動シミュレーション利用の有用性.....	4
2.2 既存の避難行動シミュレーションモデルについて.....	5
2.2.1 避難行動シミュレーションモデルの分類.....	5
2.2.2 ポテンシャル法.....	6
2.2.3 セルオートマトン.....	6
2.3 マルチエージェントモデルの概要.....	7
2.3.1 マルチエージェントシミュレータの概要.....	7
<参考文献>.....	10
第3章 キャンパスにおける避難誘導対策に関する数値的検証実験.....	11
3.1 緒言.....	11
3.2 対象とする建物のモデル化.....	11
3.2.1 空間のモデル化.....	12
3.2.2 エージェントのモデル化.....	13
3.2.3 学生エージェントの行動ルール.....	14
3.3 共通教育E棟，大学院棟の避難行動シミュレーションモデル.....	15
3.3.1 共通教育E棟および大学院棟の基本状況.....	15
3.3.2 避難経路上の混雑状況と対策モデル.....	16
3.3.3 対策モデルの検証結果.....	18
3.3.4 階段部の避難行動における譲り合いモデル.....	19
3.3.5 各棟の最適な避難経路について.....	21
3.4 地域学部棟，農学部棟，附属図書館棟の避難行動シミュレーション.....	22
3.4.1 各棟の基本状況.....	22
3.4.2 避難行動シミュレーション結果に基づく脆弱性評価.....	25
3.4.3 地域学部棟における対策とその効果について.....	26
3.4.4 附属図書館における対策とその効果について.....	28
3.4.5 農学部棟における対策とその効果について.....	29
3.4.6 各棟の最適な避難経路について.....	30
3.5 附属小中学校棟の避難行動シミュレーション.....	32
3.5.1 避難行動シミュレーションに基づく脆弱性評価.....	33
3.5.2 附属小学校棟における譲り合いモデル.....	34
3.5.3 附属中学校棟における譲り合いモデル.....	35
3.5.4 附属小中学校棟の最適な避難経路について.....	36
3.6 工学部における避難行動シミュレーション.....	37
3.6.1 工学部の基本状況.....	37
3.6.2 避難行動シミュレーション結果に基づく脆弱性評価.....	38
3.6.3 工学部における対策とその効果について.....	39
3.6.4 学部における最適な避難経路.....	40
3.7 各棟から屋外一時避難場所までの避難行動シミュレーション.....	41
3.7.1 一時避難場所について.....	41
3.7.2 対象とする施設.....	42

3.7.3	避難行動シミュレーションの設定	42
3.7.4	シミュレーション結果および考察	43
3.8	結語	45
	<参考文献>	45
第4章	住民の自律的防災・減災行動に向けた支援施策に関する考察	46
4.1	緒言	46
4.2	自律的避難意思決定の必要性	47
4.3	自律的避難意思決定の醸成および実現に向けての既存支援ツール	48
4.3.1	避難行動シミュレーション	48
4.3.2	洪水ハザードマップ	48
4.3.3	地域防災・減災マップ	49
4.4	洪水災害について	52
4.4.1	洪水とは	52
4.4.2	洪水による被害	52
4.5	洪水災害に関わるアンケート調査の基礎分析	52
4.5.1	対象エリア	53
4.5.2	調査の概要	54
4.5.3	アンケート調査の結果整理および基礎分析	54
4.5.4	アンケート調査結果のクロス分析	61
4.6	住民の自律的避難意思決定に関わる要因分析	62
4.6.1	共分散構造分析	62
4.6.2	パス図の作成と推定結果	64
4.7	結語	73
	<参考文献>	73
第5章	歩行者と車両避難が混在する避難行動シミュレーションモデル	74
5.1	緒言	74
5.2	高齢社会における車両による避難誘導の必要性について	74
5.2.1	避難の観点から高齢者の運動能力について	75
5.2.2	災害への備えの実態調査	76
5.3	歩行者の避難行動に関するシナリオ設定	79
5.3.1	避難経路の導出および選択方法(ダイクストラ法)	79
5.3.2	避難時の移動速度	80
5.3.3	洪水氾濫中の避難による人的被害モデル	81
5.4	自動車の避難行動に関するシナリオ設定	82
5.4.1	避難経路の導出および選択方法(ダイクストラ法)	82
5.4.2	避難時の移動速度	83
5.4.3	洪水氾濫中の車両避難による人的被害モデル	85
5.5	結語	85
	<参考文献>	86
第6章	洪水を対象とした歩行者と車両避難に関する避難行動分析	87
6.1	緒言	87
6.2	道路ネットワークの構築	87
6.3	避難想定モデルと避難開始時間の設定	88
6.4	避難シミュレーションの効用の検証	91
6.5	車両避難の割合を変化させたモデルの検証	98
6.6	防災ワークショップの開催効果の考察	102
6.7	自動車避難の割合を変化させたモデルの検証	109
6.8	結語	112
	<参考文献>	112

第7章 結論.....	113
7.1 本研究のまとめ.....	113
7.2 今後の課題.....	114
謝 辞.....	116
付 録.....	117

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

日本は世界でも有数の地震、台風、豪雨、火山噴火などによる自然災害が発生しやすい国土である。世界全体に占める日本の災害発生割合は、マグニチュード 6 以上の地震が 20.5 % であり、世界の 0.25 % の国土面積に比して非常に高い¹⁾。災害が発生した際の被害には様々なものがあるが、主要因として家屋倒壊等による窒息死や圧死が挙げられる。例えば、阪神淡路大震災による兵庫県の死者数は 6,402 人とされており、震災後の自殺や避難生活での体調悪化による死亡(震災関連死)を除く直接死は 5,483 人とされている。この直接の主死因である窒息死や圧死に着目すると、死者数は 3,979 人で実に 72.6 % を占める²⁾。記憶に新しい、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に端を発する巨大津波の甚大な被害は、自然が持つ恐るべき力を我々に改めて認識させた。

災害の発生を未然に防ぐことが出来れば理想的であるが、自然災害の発生は予測不可能である。また、現在ハード防災の方はすごく発展してきたが、災害発生の場所や時間、地理位置のため、防災施設や設備などを効き難くなる。そのため、被害を最小限に抑えるには、万が一災害に直面したときに、冷静に対処し、円滑な避難が行えるよう、適切な避難誘導と事前の避難計画が必要である。ソフト対策は、水害が発生した際に、最低限、住民の人命を守るセーフティネットとしての重要な役割を果たしている。しかしながら、ソフト対策の効果を測定するには、いまだ困難を生じる。その理由として、ソフト対策の効果は災害に対する人間の反応や行動に大きく影響を受け、それらは多分に不確実性を含むからである。同じ状況の災害においてさえ、各個人の行動は、居住地域、世代、生活様式、その他の習慣によって違う。適切なソフト対策を検討する場合、こうした住民の特性を考えつつ、より実態に即した水害時の避難行動をシミュレートすることは施策の効果測定には欠かせない。

屋内の避難行動においては、なるべく短い時間と短い距離で屋外に避難できることが重要であるが、それだけでは不十分な場合もある。特に通路の容量を超える避難者が発生するような場合には、避難開始時間をコントロールして混雑度を低めることが重要になってくる。高密度に混雑した状況下での円滑な避難行動がとれない場合、精神的な面からパニックなどが発生しやすく、結果的に避難完了時間が長引くことが報告されている。このような点を踏まえれば、例えば、コンピュータシミュレーションにより高層建築物における避難時間を算出するとともに、避難時の無用な混乱を生じさせないような避難誘導方法の検討が事前に行われていることが、円滑な避難対策につながるものと考えられる。

一方、屋外での避難行動を対象とした支援ツールの開発に関しては、主として災害に関する危機管理の視点から、様々な研究が行われてきた。被災地の中人が歩行する様子を浸水来るまでの時間との関係でとらえてコンピュータ上でシミュレートするアプローチや、住民の意識や意志決定過程を含めてシミュレーションを行う災害避難マイクロモデル、GIS を用いて災害情報伝達過程

をシミュレーションするモデルが開発されている。以上のように、避難行動のシミュレーションモデルに関する研究は、より詳細にかつ個別的な人の行動をシミュレートできる方向に進んできたと言える。これらの避難行動モデルにおいては、それぞれの解析目的によって、重視するパラメータが違っているものの歩行者のみによる避難が前提として開発されてきた。

近年の特に都市部での浸水を考えると、比較的広い領域にわたって大人数が避難しなければならないというような状況も懸念される。このような避難においては、避難域に隘路となる橋梁があったり、障害物が存在したりすることの影響を把握しておくことが重要になる。しかしながら、従来の避難行動モデルの多くは、街路を一次的に点と線で表現するため、経路上が混雑している際に、避難者が他者を回避する行動の詳細などを表現することには向いていない。このことから、道路ネットワークを面的に捉え、経路上で避難者がとる追い越しや減速などの回避行動を表現するモデルが望まれる。

屋外避難における自動車避難の取り扱いが十分に検討されていない。平成 20 年の中央防災会議はその答申において、避難行動に関して「原則徒歩」として、状況に応じては自動車の使用も許容する表現を初めて用いた。つまり、避難行動は徒歩に限るという前提が転換期を迎えつつあると言える。実際には、自動車を用いた避難も多数行われている。さきの 2011 年 3 月の東日本大震災においても、津波からの避難のために多くの避難者が自動車による避難を試み、また実行に移した事が確認されている。自動車が避難行動に用いられる理由としては、いち早く危険区域から離脱できる事が考えられる。また、乳幼児や高齢者、重病人など自力の避難が困難ないわゆる災害弱者の避難のためには車両は不可欠とも言える。しかしながら、自動車による避難にはリスクもある。場合によって車も被災し、走行不能に陥った事例が多数報告されている。また、水没車両からの脱出も容易ではない。実際、これらの水没車両は、避難遂行の障害物となる恐れがある。また、避難行動には用いられなくとも、現実には市街には多くの自動車が存在しており、これらの自動車が被災したり、同様に交通障害を引き起こし、歩行者の避難に影響を与えたりする場合もある。このような状況から、より現実的に避難行動をシミュレートする場合には車両避難の存在も含める必要があると言える。

1.2 研究の目的

本研究は、屋内避難と屋外避難における一連の避難行動過程での課題の発見とその解決策としての避難行動のあり方について、上記の課題認識に基づいて、屋内避難時間の短縮、経路上の混雑や、屋外避難時における自動車の使用やその存在を取り扱うことのできるより一層現実的な災害時の避難行動モデルの開発を試みるものである。また、ソフト面からの地域防災力の向上化を目的に災害時における住民の自律的な意思決定の醸成およびその実現に向けて、洪水災害に対する住民の自律的な意思決定に有効な支援ツールを明らかにするため、防災ワークショップの開催や住民の洪水災害時の防災意識に関するアンケート調査を実施し、洪水避難行動シミュレーショ

ンの防災・減災行動の効果を検証するものである。さらに、従来の歩行避難行動シミュレーションに自動車避難行動シミュレーションを追加することで、災害時の要援護者に対するアプローチを考慮した避難行動シミュレーションの構築を目指す。

1.3 本論文の構成

本論文は、全7章で構成されている。各章における概要は以下のとおりである。

第1章では、研究の背景を述べ、背景を踏まえた研究の目的を述べた。

第2章では、避難シミュレーション利用の意義について述べ、既存の避難シミュレーションで用いられている考え方や手法を整理する。また、本研究で用いる避難シミュレーションの開発用ツールについて述べる。

第3章では、屋内避難について避難者高度集中する大学キャンパスを対象としてシミュレーションを行い、避難経路上の構造的脆弱性に関する評価よりスポット的な設備改善提案とその効果を検討した。また、階段における混雑解消の観点より、安全な避難行動のあり方として上層階からの避難者に避難経路を譲るモデルを提案して避難所要時間の短縮効果を考察し、最終的に最適な避難経路および避難行動モデルについて検討を行った。

第4章では、大正地区災害時の住民の行政依存から自律的防災・減災行動に向けて、避難行動シミュレーションや地域防災マップ、地盤高マップの提示を行う防災ワークショップをはさんで、二度の住民の防災意識に関するアンケートを実施した。

第5章では、4章から得られたアンケートの結果、自律的な意思決定に有効な支援ツールの検証を行う。さらには、従来の歩行者避難行動シミュレーションに自動車避難行動シミュレーションを追加することで、災害時の要援護者に対するアプローチを考慮した避難行動シミュレーションの構築を目指す。

第6章では、新たな洪水避難行動シミュレーションモデルの開発に必要となる、歩行避難と自動車避難のそれぞれの避難行動モデルについて記述した。

第7章では、第2章から第6章で得られた主要な結果を要約することで結論とする。

<参考文献>

- 1) 内閣府編, 平成15年版防災白書," 2005.
- 2) 兵庫県庁, 阪神・淡路大震災の死者にかかる調査について (平成17年12月22日記者発表), "http://web.pref.hyogo.lg.jp/pa20/pa20_000000016.html, Jan2008.

第2章 避難行動シミュレーションについて

2.1 避難行動シミュレーション利用の有用性

災害発生時における人的被害の軽減には、何よりも住民の適切な避難行動を促すことが重要である。しかし、災害情報（避難勧告等を含む）が伝達されても住民の危機意識が低ければすぐには避難行動に直結しないのが現状である。人の行動は本来、自発的な意志に基づくものであり、行動の必要性をその人自らが認識しなければ行動は起こされないと考えられる。すなわち、個々人が自分の置かれている危機状況を正しく認識し、避難しなければならないという危機意識を持たなければ避難行動を取らない。また、危機状況の認識度合いには個々の防災意識の高さが深く関係しており、防災意識が高いほど危機状況の認識度合いは高く、避難行動の意思決定に結びつきやすい。そのため、防災意識の向上が住民の適切でかつ迅速な避難行動に繋がると考え、本研究では避難行動シミュレーションの利用によるメリットに注目した。

避難行動シミュレーションを利用することのメリットは、次の2つがあると考えられる。1つは住民の防災意識を高め、効果的な避難活動に繋がられる点である。すなわち、避難行動シミュレーションの結果を住民に見てもらうことで、住民は災害時の状況を擬似的に体験することが可能となる。この疑似体験によって自分がどのように避難すれば良いのかを認識することができ、住民の防災意識を向上させることができる。河川洪水の避難行動について調査した片田¹⁾によると、避難勧告を受けても避難しない住民が存在することが問題として挙げられている。避難勧告を受けても避難しない原因として、防災意識の違いや、過去に発生した災害が脅威をもたらす規模ではなかったという経験等が挙げられており、それにより人的被害が増加すると指摘している。特に防災意識の高さは、避難に必要な知識の取得に影響を与え、効果的な避難ができるかどうかを左右するとも言われている。防災意識の向上のための具体的な例を挙げると、今まで行われてきた地域住民で行う避難訓練は、ソフト防災として大変有意義なものであるが、参加者は比較的防災意識の高い住民であり、一方、防災意識の低い住民は避難訓練に要する時間と労力から参加しないことがあると考えられる。そこで、避難行動シミュレーションを用いれば、その実行結果を住民に見てもらっただけで避難を疑似体験してもらうことが可能となり、住民の避難訓練に要する時間と労力は少なくなる。この容易さにより多くの住民の防災意識の向上に役立つと考えられよう。

もう1つの効果は地域の防災上の弱点を見つけ出し、ハード面およびソフト面での改善方法を検討し、実際の防災施策の検討に役立てられる点である。災害時の状況をシミュレーションで再現することで、住民の避難時間を算出し、その対象地域での避難に不可欠な重要な道路、脆弱性の高い場所、避難場所認知の重要性等を明らかにし、費用の掛かるハード防災に対する効率的な実施方法やソフト防災実施の重要性の証明に役立つと考えられる。これらにより対象地域に合った防災施策の提案が可能となる。

以下、避難行動シミュレーションモデルの分類と特徴を述べ、本研究で用いる避難行動シミュ

レーションモデルの構築について言及していく。

2.2 既存の避難行動シミュレーションモデルについて

2.2.1 避難行動シミュレーションモデルの分類

ここでは、避難行動シミュレーションモデルの構築およびそれを用いた分析に関する従来の研究について、対象と手法に着目して分類する。避難行動シミュレーションはこれまで屋内火災を対象として議論され、発展してきたものである。現在では、避難行動シミュレーションが適用されるものとして、屋内火災時の避難、地震後の避難、津波、河川洪水等を対象としたものがあり、ソフト防災への着目によって、津波防災計画においても避難行動シミュレーションが利用されるようになってきている。今村ら²⁾によると、避難行動シミュレーションモデルは下記のように分類されている。

1) 流体型・トランザクション型

避難群集の表現方法としては、避難路上の群集流を連続流体と見なし、流体の方程式により群集を表現する流体型と、個人属性の相違による行動の差を表現するために避難群集を粒子として捉え、それぞれを個々人もしくは同一属性の集団として扱うトランザクション型がある。

2) 一方向流型・二方向流型

群集の流動方向としては、経路上の群集流を一街路一方向とする一方向流型と街路上の群集流を二方向流で取り扱い相互の影響を考慮する二方向流型がある。

3) メッシュ型・ネットワーク型

対象地区の扱いとしては、実際の市街地の街路パターンをメッシュで表現するメッシュ型と実際の市街地街路パターンをノードとリンクからなるネットワークで表現するネットワーク型がある。メッシュ型では、メッシュの属性として道路や家屋、または通行上の障害等を与え、避難者は道路を表すメッシュを移動しながら避難場所として指定されたメッシュを目指す。その際、メッシュに入れる人数を決定するなど物理的な制約をかけられることで混雑による移動の停滞を表現しやすい。津波や河川洪水を対象とした避難行動シミュレーションモデルでもメッシュ型のモデルは存在している。一方、ネットワーク型では、道路網の交差点をノード、道路をリンクで表現し、避難者はリンク上を移動しながら避難場所として指定されたノードを目指す。一般にネットワーク型はメッシュ型より地形データを構築するための情報量が少なく、データ入力の手作業も少なくなるために広域避難行動シミュレーションを行いやすい。また、屋外の場合は、屋内ほど群集による移動の制約を受けないという点があり、津波や河川洪水を対象とした屋外の避

難行動シミュレーションを行う場合、ネットワーク型モデルを採用する例は多い。

4) 外生型・内生型

現象の表現方法としては、情報や条件をプログラムの実行者が外部から与える外生型とシミュレーション内部の情報や状況によって情報を加工し、数値や行動を決定する内生型がある。例えば経路選択の方法で説明すると、出発地点から避難場所までの経路をあらかじめ入力情報（与条件）として与える方法が外生型、モデル内でのその場の条件・避難者の避難場所に関する知識・認識などによって避難者自身に順次経路を選択させる方法が内生型と言える。避難経路を外生的に与える場合、対象地域を変えるごとに調査し、その都度データ入力も必要となるため作業量が増大する。一方、避難経路を内生的に決める場合、プログラムの設計は複雑になるが、対象地域の変更や状況設定が行いやすくなり、高い汎用性を有する。

以下では、近年のコンピュータ性能の向上によって避難行動シミュレーションで用いられるようになった手法である、セルオートマトンを用いた手法とマルチエージェントシミュレーションの内容を紹介する。

2.2.2 ポテンシャル法

ポテンシャル法とは、物理学の重力ポテンシャルやクーロンポテンシャルに類似のものを、経路の空間特性、避難する個人の特性、災害状況等に対し、適切なポテンシャルを設定し、避難者一人一人の移動先を定めながら避難者の動きの再現を試みる手法である。

比較的シンプルな空間においては現実的な避難者流動の再現に成功しているものもあるが、結果の信頼性は設定されたポテンシャルに依存する。また、複雑な施設配置や歩行者の感性等について客観的にポテンシャルを決定する原理や方法がないことから、信頼度の確保が重要な緊急避難行動を予測するには適していないと言える。

2.2.3 セルオートマトン

セルオートマトンは、外部からの介在なしで組織が自然形成される数理モデルである。日本建築学会³⁾では、セルオートマトンの数学的な要素として、空間の次元、近傍形、セルの内部状態の集合、各セルの状態遷移を定める写像、の4つを挙げている。シミュレーション空間は格子状のセル（細胞のような単位）で構成されており、各セルは複数の種類の内部状態（避難行動シミュレーションの場合、避難者、道路空間、障害物等が内部状態として与えられる）を持ち、時間が進むと共に内部状態は変化していく。各セルは自身の状態と近傍のセルの状態をもとに自身の状態を変化させる局所的ルール（遷移規則）を有しており、離散的な時間刻みで変化を繰り返す。

このセル同士の局所的な相互作用を積み重ねることで全体として秩序だった振る舞いが生まれ、仮想社会を創り上げることができる。

現在、セルオートマトンを用いた避難行動シミュレーションモデルの研究がいくつか見られる。このシミュレーション手法は計算が比較的単純であり、また、簡単な追従行動を再現することができる。しかし、人間自身ではなく空間を表すセルに対してルールを記述するため、避難のように、人の動きが外部環境や周囲の人に影響されて行動が変わるという複雑な状況を扱うには限界があると考えられる。

2.3 マルチエージェントモデルの概要

それぞれ異なった判定アルゴリズムの特徴を持った複数のエージェントから構成されるシステムである。例えば、複数ある一定のエージェントを多数設定し、人工社会を構成しそれぞれ別の特徴を持ったエージェントの相互作用をシミュレーションし、現実には起こりうる状況をシミュレーションすることができるシステムである。⁴⁾

マルチエージェントモデルの基本的な特性として以下の4項目があげられる。

1. 自立性

エージェントは人間などの直接的介入なしに動作し、自身の行動や内部状態を制御することができる。

2. 社会性

何らかの言語を介して他のエージェントや人間と情報交換することができる。

3. 反応性

エージェント自身が自分自身の置かれた環境を認知し、その変化に対して適切に応答することができる。

4. 自発性

外部環境に対して単純な反応だけでなく、目標を持った自発的な行動を起こすことができる。

すなわち、エージェントモデルではエージェント自身が環境を認知し、自律的に自分自身を環境に対応させるように変化し、目標を達成するためによりよい行動を自分自身で計画し、実現することができるという特性を持っている。

2.3.1 マルチエージェントシミュレータの概要

マルチエージェントシミュレータは、構造計画研究所が開発したシミュレータ `artisoc` である。`artisoc` に利用されている記述言語は、Microsoft の Visual Basic に沿ったものであり、画像・グラフ表示等も含めて容易にプログラム開発を行える特徴を持っている。また、`artisoc` の特性として以

下が挙げられる⁵⁾。

(1) プログラム構成は階層構造であり，最上位には「Universe」が存在する．Universe の下階層には「空間」や「エージェント」，「変数」を配置し，システムを構成している．これらの全階層を「ツリー」と呼ぶ．（図 2-1 赤円の部分）

(2) マルチエージェントシミュレーションでは「組み込み関数」と呼ばれる関数がいくつか用意されており，エージェントの配置や移動，エージェントの周辺環境の情報の収集，データや実行画面の入出力を行うことが出来る．（図 2-1 緑円の部分）

(3) ルールの記述箇所は「ルールエディタ」と呼ばれ，Universe とエージェントに設けられている．エージェント内では該当するエージェントのみ参照可能であり，Universe 内では全てのエージェントが参照可能である．（図 2-1 赤円の部分）

(4) 二次元表示マップや様々なグラフが用意されており，エージェントの動作を視覚的にとらえることが出来る．さらに「実行ウエイト」という値を調整して，シミュレーションの実行を遅らせることができ，エージェントの動きをより視覚的にとらえることが出来る．（図 3 紫円の部分）

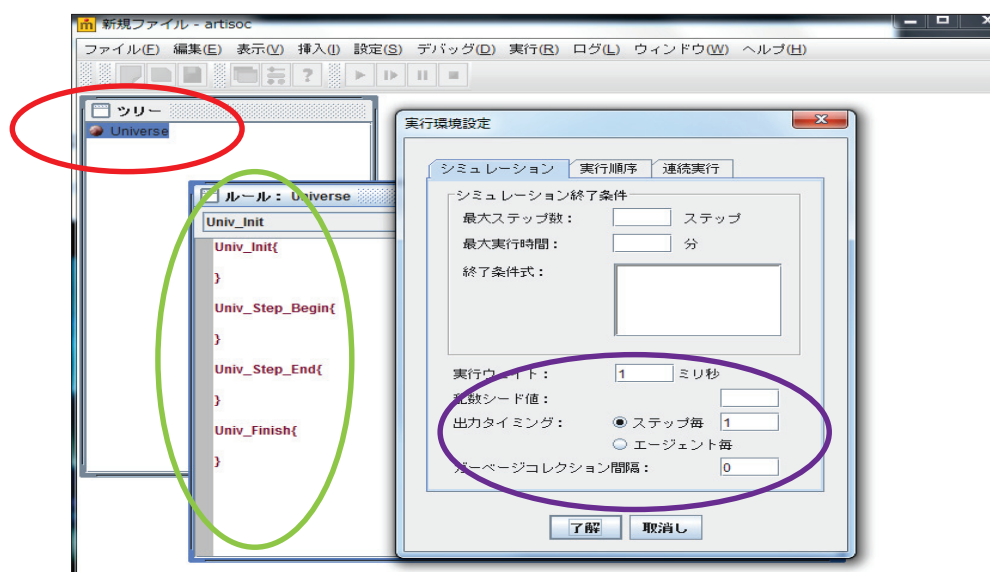


図 2-1 artisoc のプログラム画面

キャンパス内の避難行動には宇佐美⁶⁾が構築したマルチエージェントモデルに基づき，四方向流型の避難行動シミュレーションを開発している．このシミュレーションは，Excel csv ファイルで対象とする施設の平面図を作成し，artisoc でそれを読み込み再現するといった手法である．避難者であるエージェントが移動することができる空間情報に関して，別のエージェントの初期値に，Excel csv ファイルで「ポテンシャル」と呼ばれる値を与え，様々なパターンの避難口に向かう空間情報を与えている．本研究もこの方法を参考し，構造計画研究所が開発した「artisoc 用 CAD

データ変換ツール（Ver.1.1）」⁷⁾（以下 CAD ツール）（図 2-2）を用いて避難行動シミュレーションで用いる施設の平面図を作成し、その結果を出力した「potential.csv」ファイルを artisoc で読み込み、避難行動シミュレーション計算するといった手法である。ポテンシャルの値や壁などの情報を変えることで最適な避難計画を考案することができる特徴を有している。

なお、宇佐美が構築したシミュレーションでは火災発生時の避難行動シミュレーションであるが、本研究では地震や火災などの災害をシミュレーションの中に組み込まず、人の避難行動のみに着目して避難行動シミュレーションを構築する。

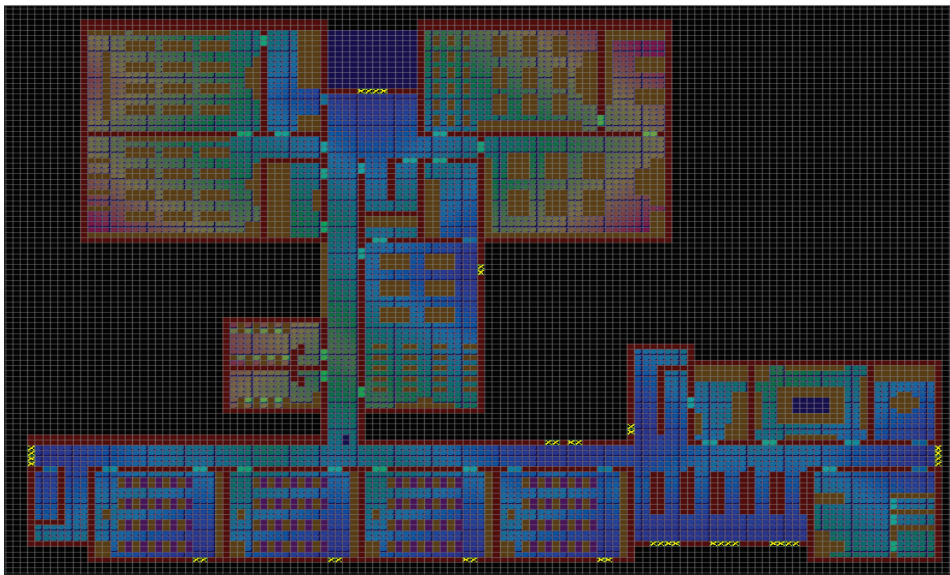


図 2.2 artisoc 用 CAD データ変換ツールで作った平面図イメージ

地域避難における避難行動には、蘆田⁸⁾が構築したマルチエージェントシミュレーションを基に避難行動シミュレーションを開発する。避難という複雑な現象を再現するためには、個々人の判断、行動を決定できるモデルが良いとされている。トランザクション型を用いることにより、個人属性の相違による意思決定や動作の違いを表現することが可能となる。

本研究は、広範囲に及ぶため、効率的に行うことを考慮し、ネットワーク型のモデルを使用する。さらに、避難者が避難経路を順次選択することを念頭に置き、内生型のモデルを採用する。

なお、マルチエージェントシステムでもエージェントを空間全体に敷き詰め、ルールを設定することで、セルオートマトン法も表現できることを付記しておく。

<参考文献>

- 1) 片田敏孝, 桑沢敬行: 津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.23, pp.250-261, 2006.
- 2) 今村文彦, 鈴木介, 谷口将彦: 津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適応, 自然災害科学, 第 20 卷, 第 2 号, pp.183-195, 2001.
- 3) 日本建築学会: 知的システムによる建築・都市の創造, pp.38-39, 技報堂出版, 1998.
- 4) 山影進: 人口社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門, pp.29-30, 書籍工房早山, 2007.
- 5) 株式会社 構造計画研究所, MAS コミュニティ, <http://mas.kke.co.jp/index.php>.
- 6) 宇佐美一郎: マルチエージェントを用いた火災発生時の避難行動シミュレーション～大阪市浪速区の個室ビデオ店放火事件の実例に基づいた研究～, 芝浦工業大学システム工学部環境システム学科, 総合研究, pp.2-8, 2008.
- 7) 株式会社 構造計画研究所, MAS コミュニティ, <http://mas.kke.co.jp/index.php>.
- 8) 蘆田哲也: 避難行動シミュレーションを用いた沿岸地域の津波に対する脆弱性の評価, 鳥取大学大学院工学研究科社会開発システム専攻, 修士論文, 2008.

第3章 キャンパスにおける避難誘導対策に関する数値的検証実験

3.1 緒言

地震の場合、被害が拡大する要因として震災後の火の不始末による火災や不適切な避難行動による群集なだれなど、人為的ミスによる二次災害の発生が挙げられる。特に大学のキャンパス内の施設は、学生や職員をはじめとする不特定多数の利用者によって人としての密度の高い状態で共有される閉鎖空間である。災害などの緊急事態が発生した場合、利用者が限られた避難経路上に殺到して混雑が発生することが予想される。場合によっては避難経路が閉塞して、利用者がパニック状態に陥り正確な判断ができなくなって、誤った避難行動を取る可能性も予測できる。その結果、階段付近をはじめとする混雑箇所における将棋倒し、転落死、圧迫死などの二次災害の発生が十分に考えられ、誤った避難行動をとって被害が拡大すれば多数の死傷者を出す大惨事につながりかねない。

災害時の被害軽減のためには、事前の災害リスクマネジメントが不可欠である。災害リスクマネジメントとしては、構造物を新設または改修することで被害軽減を図るハード的な対策だけに頼らず、ソフトとハードが一体となった防災対策を行う必要がある。ソフト的な防災対策とは、情報伝達体制の充実、防災意識の啓発、災害危険場所の周知、避難訓練など様々な対策であり、防災・減災対策として昨今において重要性を増している。さらに、事前に避難計画を策定しておくことが極めて重要であることは言うまでもない。

キャンパスの避難を対象とした既存の研究は数多くあるが、その大部分が教室からの避難経路の設定や教室・出入り口の扉の開放幅の変化等による避難所要時間の短縮に注目したもの¹⁻³⁾であり、階段における単位時間当たりの避難者を把握し、危険性を伴う混雑の解消策を目指した研究事例は少ない。

本研究は、鳥取大学湖山キャンパスにおける講義室、研究室等を含めた各部屋から各棟の出入り口までの避難行動シミュレーションを構築し、避難完了までの移動時間や経路といった時空間的な情報に関する解析を行った。そのシミュレーション結果に基づいて、避難経路上の構造的脆弱性に関する評価よりスポット的な設備改善提案とその効果を検討すると共に、安全な避難行動のあり方として上層階からの避難者に避難経路を譲るモデルを考案して避難所要時間の短縮効果を検証し、最終的に最適な避難経路および避難行動モデルについて明らかにするものである。

3.2 対象とする建物のモデル化

本研究では、鳥取大学湖山キャンパス（図-1）における、各学部棟、附属図書館棟および附属小中学校棟の各講義室が満席状態での避難を対象として、避難行動シミュレーションを構築する。それぞれの講義室を満席状態で避難行動シミュレーションを構築する。多数の学生が同時刻に講

義で利用するため、万が一緊急事態が発生した際、避難計画が十分にできていない場合、学生が闇雲に避難を行い、1つの避難経路に殺到し、全員が避難を完了するまでの時間が増大することが考えられる。そのため、それぞれの建物内の構造をふまえた災害リスクマネジメントしておくことは施設の避難計画を策定する際に非常に重要である。

本研究ではエレベーターを使つての避難は考えないこととした。建物の特徴は以下のとおりである。講義室には、災害時に注意を要する実験機器や薬品はない。利用する学生や教職員は、建物の階段と出入口の位置、経路を熟知しており迷わず避難できるものとする。最後に、机および椅子は固定され、教室から廊下に出にくい欠点があるが、机や椅子が散乱して避難を妨げることがない。



図3-1 鳥取大学鳥取地区キャンパスマップ

3.2.1 空間のモデル化

シミュレーションモデルを構築するに当たり、対象とする建物平面空間をモデル化する必要がある。本研究では、避難行動シミュレーション用のポテンシャルデータを作成するための基礎資料として、artiscoc¹⁾およびartiscoc用CADデータ変換ツール²⁾を用いて避難行動シミュレーションの対象とする施設のメッシュ構造平面図を作成する。メッシュの1セルあたりの大きさは、辺長50cmの正方形とする。(これは人体寸法と1セルに1人だけ存在できると考えている。)その結果、廊下および階段の幅は3, 4セルで近似され、階段のステップ幅も1セル近似された。また、講義室内の机の間の通路幅が約60cmであることから、シミュレーションでは1人分の通行幅(1セル幅)

に設定した。

壁	壁	出口 0	出口 0	壁	壁
3	2	1	1	2	3
4	3	机	机	3	4
5	4	5	5	4	5

図3-2 ポテンシャルの作成事例

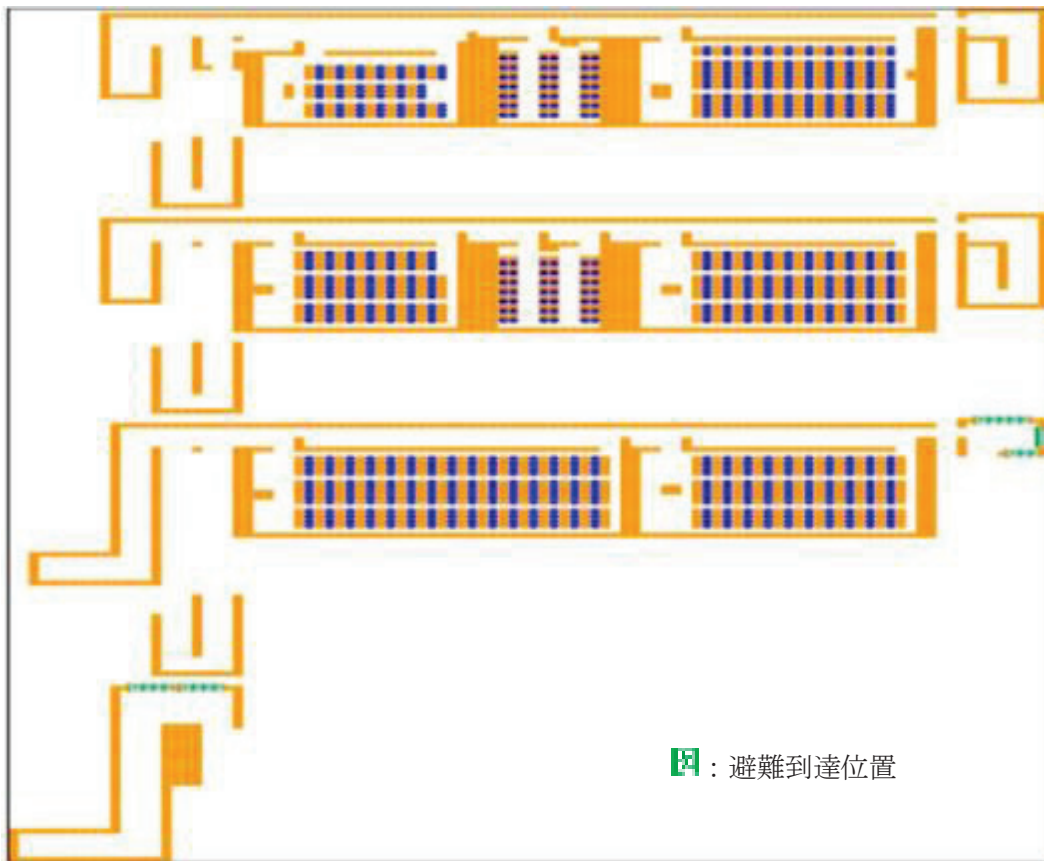


図 3-3 学生エージェントの初期配置図

3.2.2 エージェントのモデル化

artisoc用CADデータ変換ツールから出力した「potential.csv」ファイルには空間メッシュのポテンシャル値が格納され、その値は「壁」、「机、座席」、「通路」、「出口」、「床」、「避難者」によって分けられる。「机、座席」は、通路として利用できないため「壁」と同じ取り扱い

になる。次に「床」のポテンシャル値には、出口までのメッシュ数が設定され、出口へ近づくほどポテンシャルの値が小さくなる。ポテンシャルの作成方法の例として図3-2に示す。

artisocの中に壁エージェント、避難完了地点エージェント、床エージェント、学生エージェントを作成し、初期配置としてこれらのファイルを読み込む。その結果としてartisocで出力される画面の事例を示したのが図3-3である。図中の灰色のセルは壁と座席、階段の最下段位置に楕円で囲んでいるセルは避難完了地点、黒色の丸は学生の初期位置である。

3.2.3 学生エージェントの行動ルール

学生の避難移動は、計算1ステップに1セル移動することとし、壁エージェントの上は移動することができないものとする。高層建築物における階段での歩行速度が0.5m/秒であること³⁾と、閉鎖空間である施設内部は混雑が起きやすい環境であることを考慮して、本研究ではシミュレーション上の計算1ステップを1秒に設定している。すなわち、学生エージェントは0.5m/秒移動するように設定している。

避難する際は、床ポテンシャル値が小さい方だけに移動する。図3-4（左の図）に示すように、自分がいる床ポテンシャル値と周り8か所の床ポテンシャルの値を比べ、小さいところに向かって移動を行う。ただし、artisocの特性上、図3-4（右の図）に示す順番でポテンシャルの値を比べるため最小値が同じ場合、学生エージェントが位置する右側から反時計回りにより早い順番のセルへ移動することとなる。

学生エージェントは、1セル内に1体のみ存在することができ、進行方向のセルに別の学生エージェントがいる場合は次に小さいポテンシャルを持つセルに移動するか、その場に止まることになる。建物内にいる学生全ての避難が完了した時点で、シミュレーションは終了するように設定している。

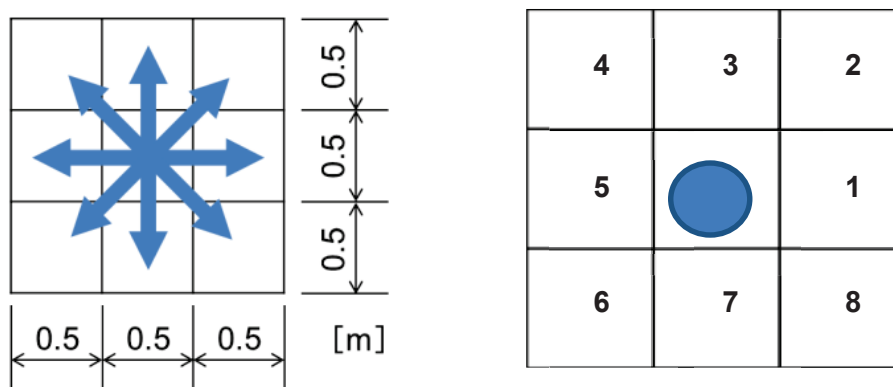


図 3-4 左：学生エージェントの移動方向 右：ポテンシャル値を比べる順番

3.3 共通教育 E 棟, 大学院棟の避難避難行動シミュレーションモデル

3.3.1 共通教育 E 棟および大学院棟の基本状況

ここでは、鳥取大学工学部大学院棟（以下大学院棟）、共通教育 E 棟（以下、E 棟と称す）（図 3-5）を対象とし、避難行動シミュレーションの構築を行うものである。大学院棟や E 棟は、ゼミナール室や講義室などを複数設置している。それぞれの収容定員は異なり最大のものが 2 階大講義室の約 300 人であり、全体で院棟 915 人であり、E 棟 816 人である（表 3-1）。大学院棟の主な避難経路として（図 3-6）は施設内の階段と外階段がある。E 棟には避難経路として施設内の階段と非常階段の 2 つの階段となる。多数の学生が同時刻に講義で利用するため、万が一緊急事態が発生した際、避難計画が十分にできていない場合、学生が闇雲に避難を行い、ひとつの避難経路に殺到し、全員が避難を完了するまでの時間が増大することが考えられる。そのため、それぞれの建物内の構造をふまえた災害リスクマネジメントをしておくことは施設の避難計画を策定する際に非常に重要である。



図3-5 E棟, 院棟キャンパスマップの位置

表 3-1 E 棟, 院棟の配置状況

	共通教育棟 E 棟	大学院棟
階数	4	4
講義室数	8	11
定員数 (人)	816	915

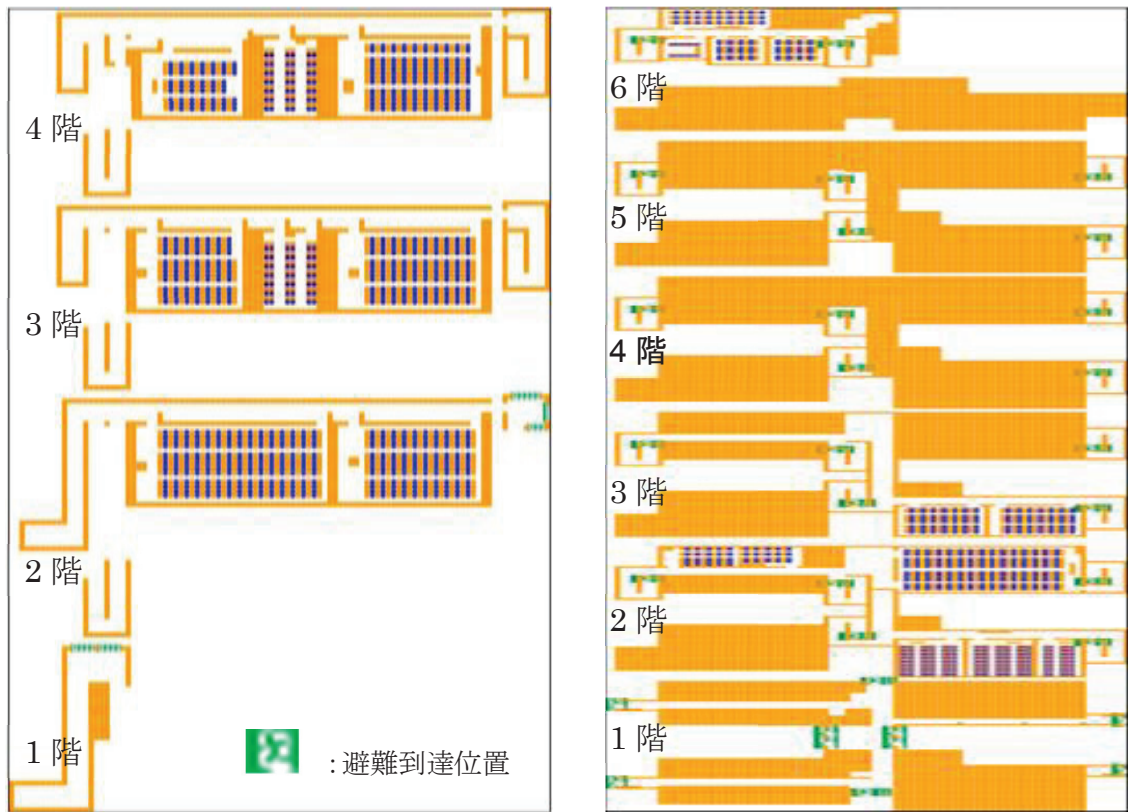


図 3-6 E 棟，院棟の平面図および初期配置図

3.3.2 避難経路上の混雑状況と対策モデル

ここでは、シミュレーションの動画より各棟の脆弱性（混雑）を確認し、各棟の脆弱性に対する対策を考え、対策後の避難行動シミュレーションによる避難完了時間を基にその効果検証した。避難行動シミュレーションの実行に当たっては、artisocでは学生エージェントの移動開始が配列の順番ではなく、ランダムに開始されることから、ここでは同じ条件下で200回の計算を行った。表3-2は、E棟と大学院棟の対策前の避難完了時間に関するシミュレーション実行結果を示したものである。

表3-2 両棟対策前の避難完了時間に関する実行結果

	最大避難 完了時間(s)	最小避難 完了時間(s)	平均避難 完了時間(s)	標準 偏差(s)
共通 E 棟	348	333	340.4	3.30
大学院棟	382	367	374.0	3.31

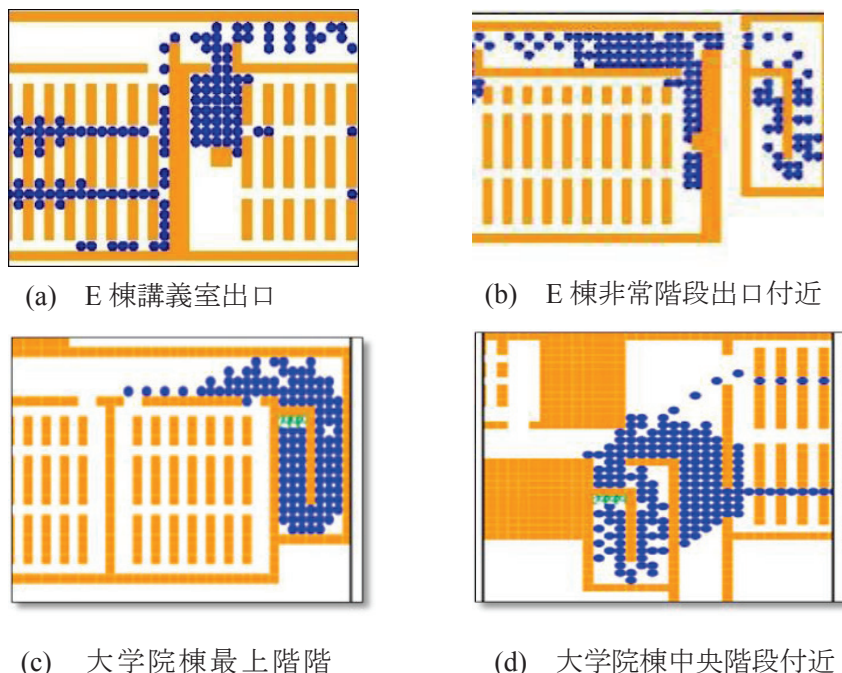


図 3-7 混雑状況の事例

シミュレーション出力画面より各棟の脆弱性として、すべての棟において一致する混雑箇所は、講義室における出口、各講義室から出た後に学生が殺到する廊下、階段と階段周辺であることが確認できた。それぞれの混雑する箇所の例を図3-7に示す。図(a)は講義室の出入り口の両開きドアの片方の扉が通常時施錠され、かつ外開きのために廊下を狭くするためによる混雑状況を示す。図(b)の混雑は、非常口の扉が片側引き戸のために廊下幅より狭くなるためである。図(c)の混雑は、下層階からの避難者による混雑の影響である。図(d)の混雑は、260名収容の大講義室から一箇所の階段へ避難が集中するためによるものである。

このように混雑による二次災害の危険性は非常に高いことから、本研究では避難に所要する時間の短縮のための対策と共に、以下のような混雑抑制の対策についてその効果を考査する。

・講義室に関する対策モデル1

図3-7 (a)を例とする講義室から廊下へとつながる出口付近での混雑解消として、扉の種類を外開きから引き戸などに変更する対策と、両開き戸については両扉のロックを解除することによる避難経路幅の拡大を図る対策 (1-1) を検証する。また、講義室に2つ以上の出口がある場合、講義室からの避難経路選択として出口までの距離に頼らない方法として講義室内のすべての学生がより早く廊下へ出ることができるような対策 (1-2) , さらには講義室後方の壁近くまで設置された机・椅子の撤去による後方出口の混雑の緩和対策 (1-3) を検証する。

・講義室毎に避難開始に時間差を設定する対策モデル2

図3-7 (b), (c)を例とする階段と階段周辺の混雑については階毎に避難開始時刻にタイムラグを持たせることにより学生の階段の利用時間に幅を持たせる対策を検証する。

・非常階段ドアの開口幅の拡張化の対策モデル3

図3-7 (b)を例とする非常階段扉付近の混雑については扉の種類を開き戸から両開きに変更する対策を検証する。

・避難経路の分散化の対策モデル4

避難に使用する廊下や階段を強制的に分散させることにより混雑の解消を目的に、避難経路を設定する床エージェントのポテンシャル値を各避難経路に向けるように（ポテンシャル値を避難経路方向に小さくする）設定した対策モデル「強制」などを検証する。

3.3.3 対策モデルの検証結果

各棟について対策モデル組み合わせて検証した結果について、避難完了時間を効果の指標として表3-3と表4に示す。表3-3より、まず対策モデル4の避難経路の分散化対策については平均避難完了時間を短縮させる効果があることがわかる。一方、講義室から廊下へ出るまでの混雑解消を目的とした対策モデル1の3ケースにおいては、対策1-2および1-3の結果を見ると、平均避難完了時間は若干減少するものの、大きな効果が認められない。このように効果が低かった対策モデルについて要因をシミュレーション出力画面より考察したところ、いずれの建物も施設内部の階段と非常階段において混雑しており、講義室からいくら早く出ても、その後の階段の混雑によって避難が停止状態となっていることが確認できた。すなわち、避難完了時間の短縮化には、階段部のボトルネックの対策が重要となる。

そこで、階層ごとに講義室からの避難開始時間にタイムラグを設けた対策モデル2について、平均避難完了時間は対策前に比べてほとんど変化していない。なお、シミュレーション出力画面より階段における混雑が解消され、階段での移動がスムーズに行われる様子が確認できた。さらに、これら対策モデルを組み合わせたケースについても、すべての棟において平均避難時間の短縮、階段での混雑の解消の両面から総合的に評価して効果を確認できた。しかしながら、その効果は表3-3と表3-4に示すように避難完了時間の大きな短縮化につながらなかった。

以上の対策モデルの検証より、対策モデル1と3のような施設構造に関する物理的な対応では階段部における混雑の解消に効果がなかった。一方、対策モデル2と4のような階層毎に避難開始時刻にラグを持たせる方法や避難経路の分散化は、階段部におけるボトルネックの解消に効果があることがわかった。そこで、避難経路の分散化と、特に階層毎の避難開始タイムラグに対して学生のモラルに依存する対策モデルを検討することにした。

表3-3 E棟各対策モデルの避難完了時間に関する実行結果

対策モデル	最大避難完了時間(s)	最小避難完了時間(s)	平均避難完了時間(s)	標準偏差(s)
対策前	348	333	340.4	3.30
1-2	345	324	336.6	3.50
1-3	340	319	323.0	3.51
2	350	331	339.2	3.35
3	347	325	336.2	3.90
4	311	293	302.0	3.16
4+3+1	312	297	304.0	3.06
2+4	325	317	320.6	1.27
2+4+1-3	321	313	318.0	1.35

表3-4 院棟各対策モデルの避難完了時間に関する実行結果

対策モデル	最大避難完了時間(s)	最小避難完了時間(s)	平均避難完了時間(s)	標準偏差(s)
対策前	382	367	374.0	3.31
1-3	348	329	339.0	3.41
4	298	308	302.8	2.02
1-3+4	346	330	338.9	3.02
2+	326	309	316.8	3.03
1-2+2+4	293	277	284.3	2.93

表3-5 「譲り合いモデル」の避難完了時間に関する実行結果

棟名	最大避難完了時間(s)	最小避難完了時間(s)	平均避難完了時間(s)	標準偏差(s)
E棟	313	297	304.3	2.72
院棟	298	287	292.1	2.32

3.3.4 階段部の避難行動における譲り合いモデル

上記の対策モデル2の講義室毎に避難開始に時間差を設定する対策は、下層階の学生から避難を始めて上層階学生は避難開始時刻になるまでは講義室内で待機するという方法であった。ここで提案する「譲り合いモデル」とは、避難開始時刻は階を問わず一斉に開始するが、階段において上層階の学生が下りてきた場合、下層階の学生が階段への出口で避難を一時停止して上層階の学生に避難を譲り、上層階の学生がすべて降りる、もしくはほぼ降りた後に下層階の学生が階段を利用して避難を再開するモデルである。この対策モデルは、非常事態という危機状態に学生一人一人が相手を思いやり避難経路を譲らなければ成立しないことを言及する。本対策モデル

を機能させるためには、日ごろからの防災教育、避難訓練などによって、正しい防災知識を身に付け、常に災害に対して危機意識を持ち、非常時のモラルを身に付けておく必要がある。

表3-5は、E棟と大学院棟において「譲り合いモデル」を適用した時の避難完了時間を示したものである。先の表3-3および表3-4の対策前に比べて、避難完了時間が短縮されたことが確認できる。E棟における対策前と「譲り合いモデル」を適用した場合の避難開始150秒後のシミュレーション結果を図3-8に示す。対策前の階段部における混雑状況は、譲り合いモデルを適用することにより3階廊下での待機はあるものの、特に図面向かって右側階段での混雑の解消に高い効果が確認できる。

次に、E棟における対策前と「譲り合いモデル」を適用した場合の各階段における避難者数の時間変化を図3-9と図3-10である。図の凡例は、図3-8に併記しているように、F43_EとF32_Eが右側階段における4階から3階と3階から2階での避難者数を示し、F43_W、F32_WおよびF21_Wが左側階段における4階から3階、3階から2階、2階から1階での避難者数を表している。図の縦軸「人数」の値は、大きい数値ほど階段が混雑している状態を示している。図3-9と図3-10を比較すると、F43_Wを除くすべての階段において避難者数の最高値が低下していることが確認できる。特にF43_EとF32_Wについては大きな改善が認められる。さらに、F32_Eのような利用者数の最高値に大きな改善が見られないものについても混雑した状態が継続する時間が短縮していることが確認できる。F43_Wについても対策前よりも一時的に利用人数が増える時間があるものの、それほどの危険性はない状態で避難経路として使用されていることをシミュレーションより確認できた。また、大学院棟についてもE棟と同様の効果を確認している。

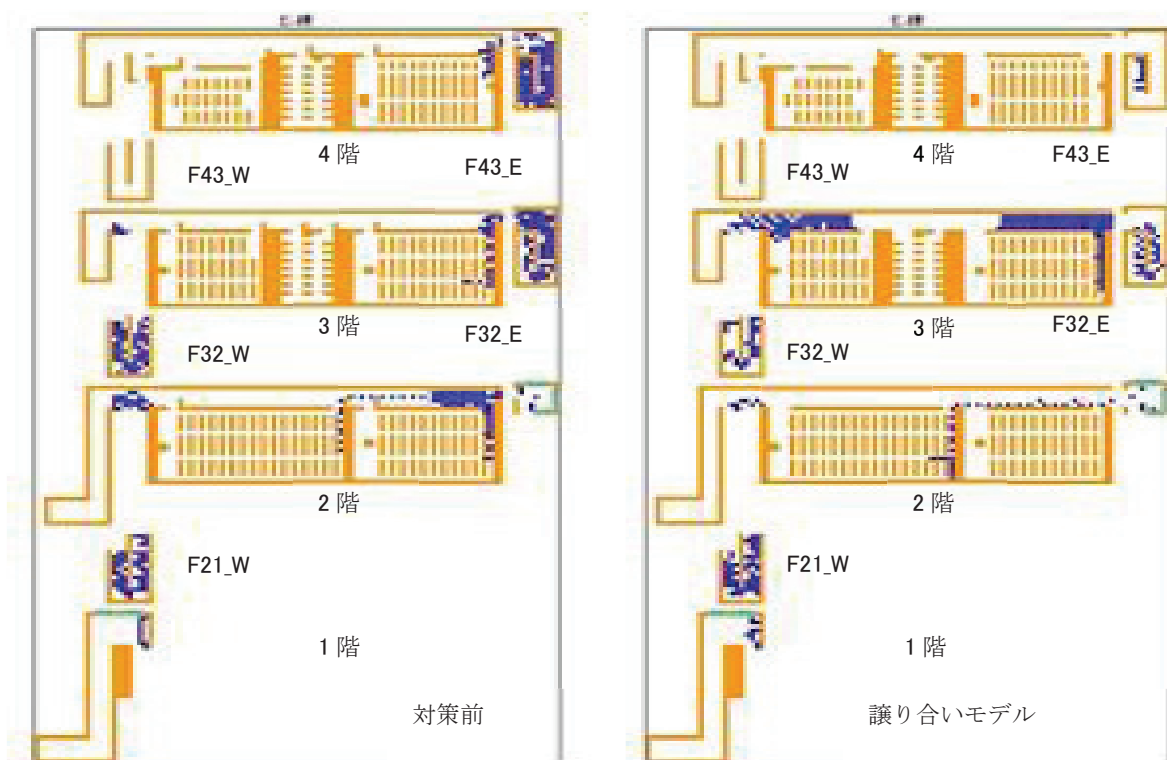


図 3-8 E棟対策前と譲り合いモデル（150秒時点）

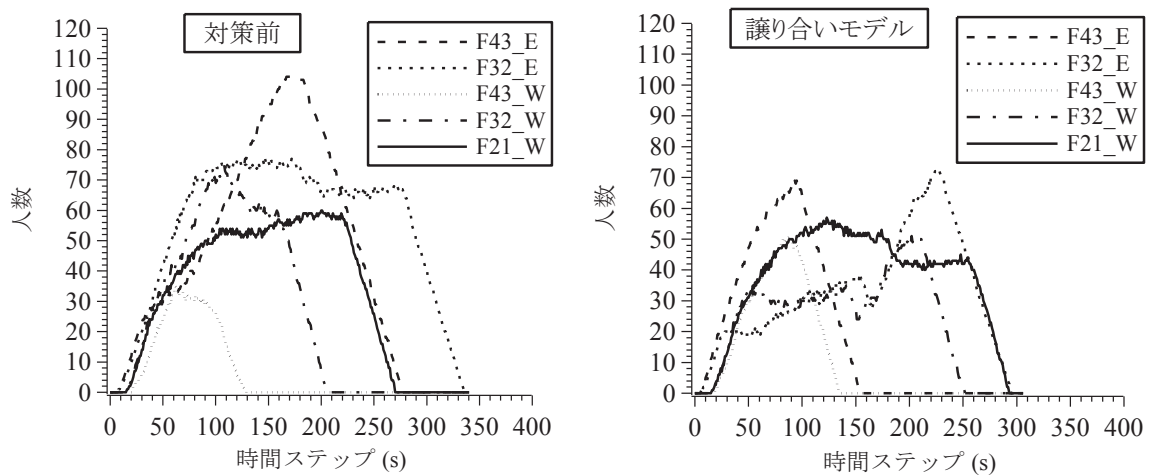


図 3-9 E 棟対策前後における各階段の避難者数の時間変化

これらの結果より、「譲り合いモデル」は階段の混雑の抑制に効果があり、階段の混雑による将棋倒しや転落死など二次災害の発生が抑制され、より安全に避難することができるモデルであることが確認できた。

3.3.5 各棟の最適な避難経路について

ここでは、各棟の対策後のシミュレーション結果を基に、講義室や教室が満席状態を想定した避難経路上の脆弱性を踏まえた各講義室から各階段までの最適な避難経路を提示する。ここでの最適な避難経路とは、上記の避難モデルや譲り合いモデルなどについて比較したなかで避難経路上で混雑が最も起き難く、かつ避難完了時間の短縮化がはかれる避難経路を示すものである。以下に、共通 E 棟と大学院棟の最適な避難経路を図 3-11、図 3-12 にそれぞれ示す。これらの最適な避難経路を学生および教職員に周知徹底することにより、いざという時に迅速かつ円滑な避難行動がとられることになる。

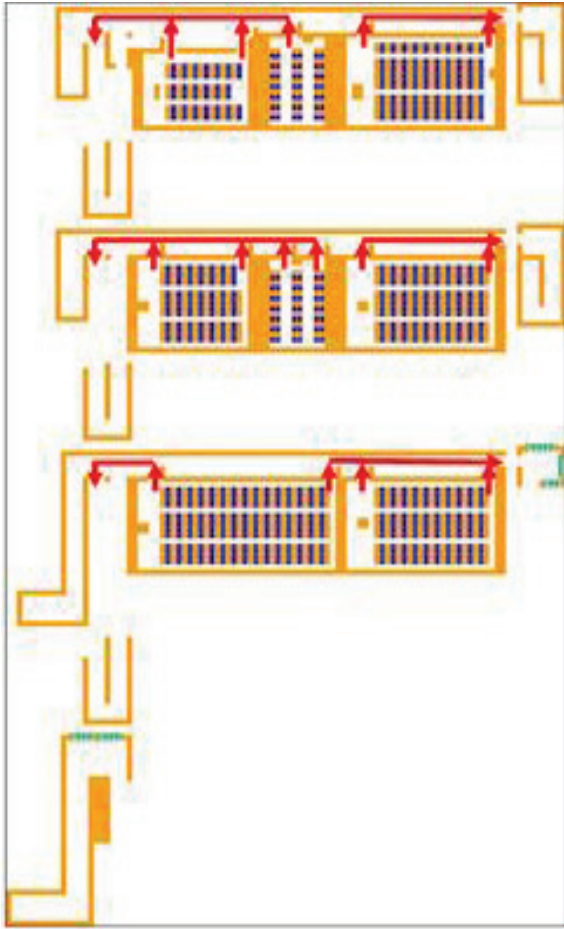


図 3-11 共通教育 E 棟の最適な避難経路



図 3-12 大学院棟の最適な避難経路

3.4 地域学部棟，農学部棟，附属図書館棟の避難行動シミュレーション

3.4.1 各棟の基本状況

本研究では，鳥取大学附属図書館と鳥取大学地域学部棟，鳥取大学農学部棟を対象とする．当施設は，図 3.13 に示す赤い円で囲った鳥取大学鳥取地区キャンパスの中央部に位置する建造物である．地図の右側にあるのが鳥取大学地域学部棟で中央にあるのが鳥取大学附属図書館，左側にあるのが鳥取大学農学部棟である（図 3-14）．鳥取大学附属図書館では図書館を利用する全ての学生，また事務員を避難対象者とした．自習室は全部で 4 つあり，ひとつだけドアのついていないオープンな自習室があるが他 3 つには全てドアがついている．鳥取大学地域学部棟と鳥取大学農学部棟の場合は，研究室，教員室，講義室全ての座席に人が座っていると仮定してシミュレーション実験を行った．地域学部棟，農学部棟の人数はそれぞれ 1155 人，1386 人である．

主な避難経路としてそれぞれの棟に施設内の階段と非常階段が設けられている。多数の学生が同時刻に講義で利用するため、万が一緊急事態が発生した際、避難計画が十分にできていない場合、学生が闇雲に避難を行い、ひとつの避難経路に殺到し、全員が避難を完了するまでの時間が増大すると推察できる。そのため、それぞれの棟内の構造をふまえた災害リスクマネジメントをしておくことは施設の避難計画を策定する際に非常に重要である。



図 3-13 E 棟，院棟キャンパスマップの位置

表 3-6 各棟の基本状況

	階数	講義室数	研究室数	教員室数	定員 (人)
附属図書館	3	4	—	1	652
地域学部棟	5	11	22	75	1155
農学部棟	4	10	42	66	1386

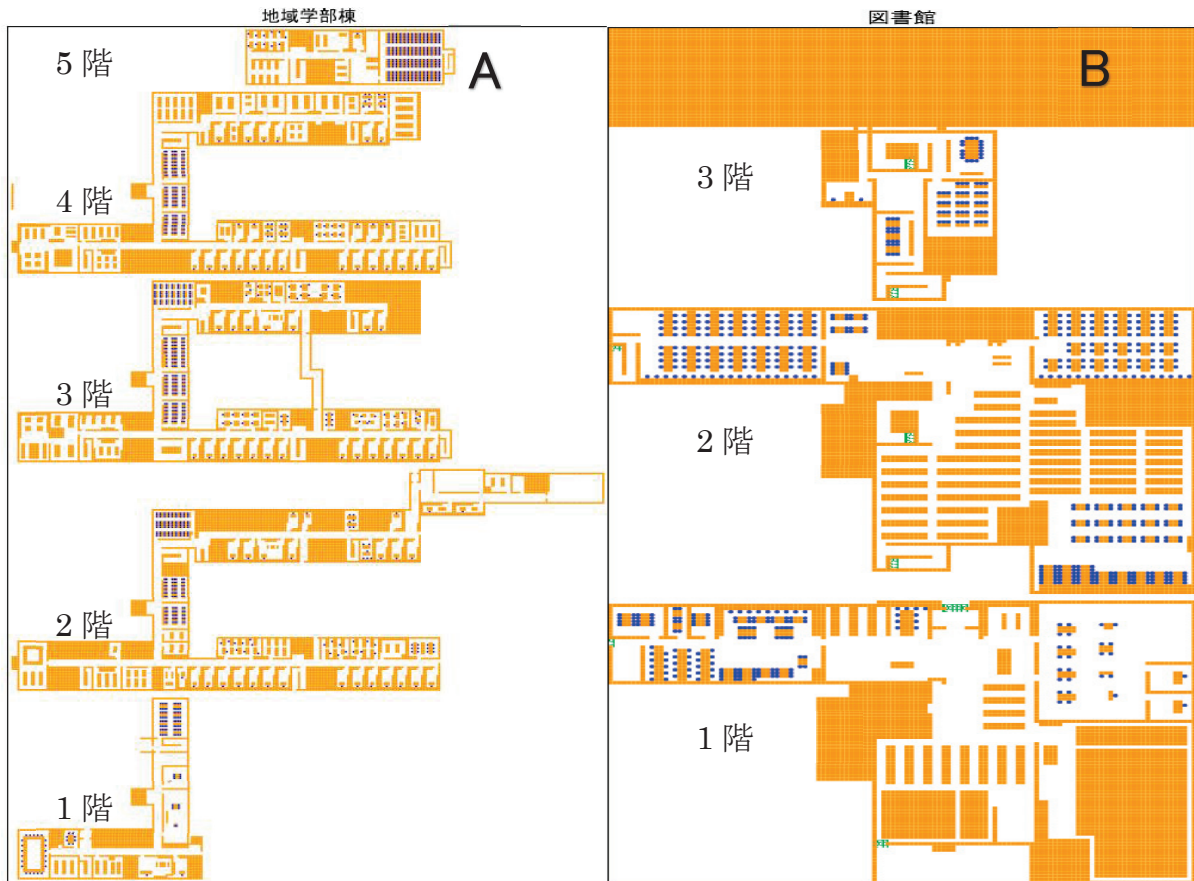


図 3-14 地域学部棟(A), 農学部棟(C)および附属図書館棟(B)の初期配置図

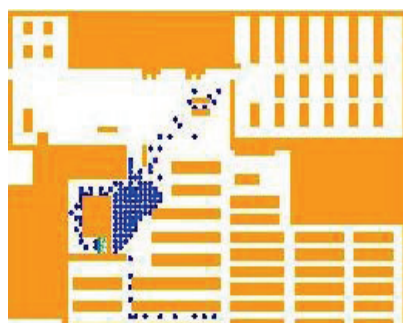
3.4.2 避難行動シミュレーション結果に基づく脆弱性評価

附属図書館，地域学部棟，農学部棟それぞれの対策前の避難完了時間に関するシミュレーション実行結果は表 3-7 のようになった。なお，各棟のシミュレーションを実行した 200 回分の実行結果は付録に掲載している。

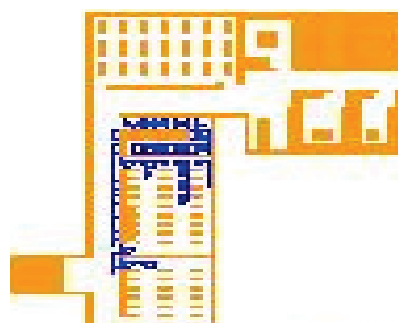
表 3-7 各棟の避難完了時間に関する実行結果（対策前）

	最大避難完了時間 (s)	最小避難完了時間 (s)	平均避難完了時間 (s)	標準偏差 (s)
附属図書館棟	317	294	305.4	3.93
地域学部棟	554	518	528.7	4.37
農学部棟	426	403	414.7	4.65

シミュレーション出力画面より各棟の脆弱性を確認した結果，すべての建物において混雑箇所は，講義室における出口，各講義室から出た後に学生が殺到する廊下，階段と階段周辺であることが確認できた。それぞれの混雑する箇所を図 3-15 に示す。



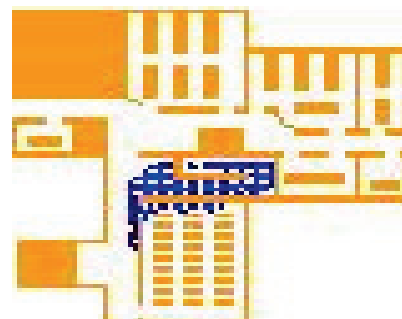
附属図書館中央階段周辺の混雑状況



地域学部棟 3 階北側階段周辺の混雑状況



地域学部棟 5 階東側非常階段周辺の混雑状況



農学部棟 3 階北側階段周辺の混雑状況

図 3-15 各棟におけるの混雑状況の例

ここでは、図 3-15 に示すそれぞれの混雑箇所について脆弱性を評価し対策を考察する。階段や階段周辺、廊下などで避難者が混雑する要因として、地震や火災などが発生した際に全ての階で一斉に多くの人が近くの階段に殺到することが挙げられる。また、地域学部棟 5 階東側非常階段から避難をする際に避難者は、より近くの階段に向かう傾向があり、特定の階段に人が集中することが挙げられる。それにより階段や周辺に混雑が発生すると考えられる。そのため、全ての階で一斉に避難するのではなく、より上階の人が優先的に避難を開始し下階にいる人たちは上階にいる人たちが全員階段を降りるまで、すぐ側の廊下で待機し下りきると同時に避難を開始するという“譲り合い”というモデルを取り入れる。このモデルは、このモデルを用いていかに早く避難できるかということではなく、階段内または階段前の混雑を解消し、避難者がより安全に避難できることを目的としている。また、混雑している階段は避け、少し離れた場所にある階段に向かうというルールを組み込む。

3.4.3 地域学部棟における対策とその効果について

シミュレーション結果から、5 階南東講義室前非常階段 (F54_SE)と 4 階北側階段 (F43_N)で深刻な混雑が発生しており、北側階段周辺にいたっては避難開始してから約 40 秒後に混雑し始め、困雑がおさまるのが避難開始後約 230 秒後であった。それを改善するために以下の 2 つのルールを対策前のシミュレーションに組み込むこととする。

- (1) 避難開始時刻は階を問わず一斉に開始するが、各階の講義室から北側階段 (F32_N), (F21_N) に避難を開始する学生と 1 階北側講義室から北側玄関に避難を開始する学生は、1 階、2 階または 3 階から学生が下りてきた瞬間に避難をやめ、上の階の学生に避難経路譲り、上の階の学生がほとんど階段を下りきる直後に避難を再開する。
- (2) 5 階南東講義室から東側非常階段 (F54_H) へ向かうに向かつて避難する学生をポテンシャルの値を変更し、従来の避難経路である東側非常階段(F54_E)と比較的に避難者が少ない東側階段 (F54_E) に分けて避難をさせる。

対策前と対策後の避難完了時間に関する実行結果を表 3-8 に示す。なお、各校舎のシミュレーションを実行した 200 回分の実行結果は付録に掲載している。また、これ以降行う校舎の譲り合いモデルの実行結果も併せて付録に掲載する。

地域学部棟において避難対象とした部屋が一般の講義室 11 部屋と学生研究室 22 部屋、教員室 75 部屋であり、避難対象者は 1155 人である。図 3-14A で示しているように地域学部棟の各階の中央部では講義室が密集しており、一斉に避難が始まると避難中の混雑は二次災害を引き起こす可能性が十分である。

表 3-8 より避難者の避難完了時間が最大避難完了時間、最小避難完了時間ともに約 100 秒短縮になった。また、図 3-16 に示す階段部での人数の時間変化において、各階段における人数のグラフ変動の差が減少していることがわかる。特に大学院棟右側非常階段の 3 階と 2 階との間に位置

する階段(F32_RS)では、階段にいる人数 100 人を超えている時間が約 30 秒間続いており、一時的なものであるが最大で 104 人が階段に密集していることがわかる。さらに、大学院棟中央部階段の 3 階と 2 階に位置する階段(F32_CN)でも同じような混雑が見受けられ、最大で 80 人弱の人が階段周辺で密集しているときがある。

この混雑を軽減させるために譲り合いモデルを適用させると、図 3-16 の結果になる。前述で考案した(1)のルールを適用することで混雑が解消され、階段に密集している最大人数も 104 人から 70 人弱まで減少した。さらに(2)のルールを適用することで中央階段(F21_CN)に向かっていった学生が左側の非常階段(F21_L)の二手に分かれたことで、中央階段(F21_CN)が密集することも解消され上階から避難してきた学生も円滑に避難を完了することができた。なお、この譲り合いモデルを適用することで 2 階の右側の非常階段(F21_RS)のグラフが 150 秒後を境に急激に上昇する結果となった。この理由としては、上階の学生が階段下り終えるまで廊下で待機していた 2 階の学生が一斉に避難を再開したためである。

表 3-8 地域学部棟における対策前と対策後避難完了時間の比較

	最大避難完了時間(s)	最小避難完了時間(s)	平均避難完了時間(s)	標準偏差(s)
対策前	554	518	528.7	4.37
対策後	430	421	425.0	1.54

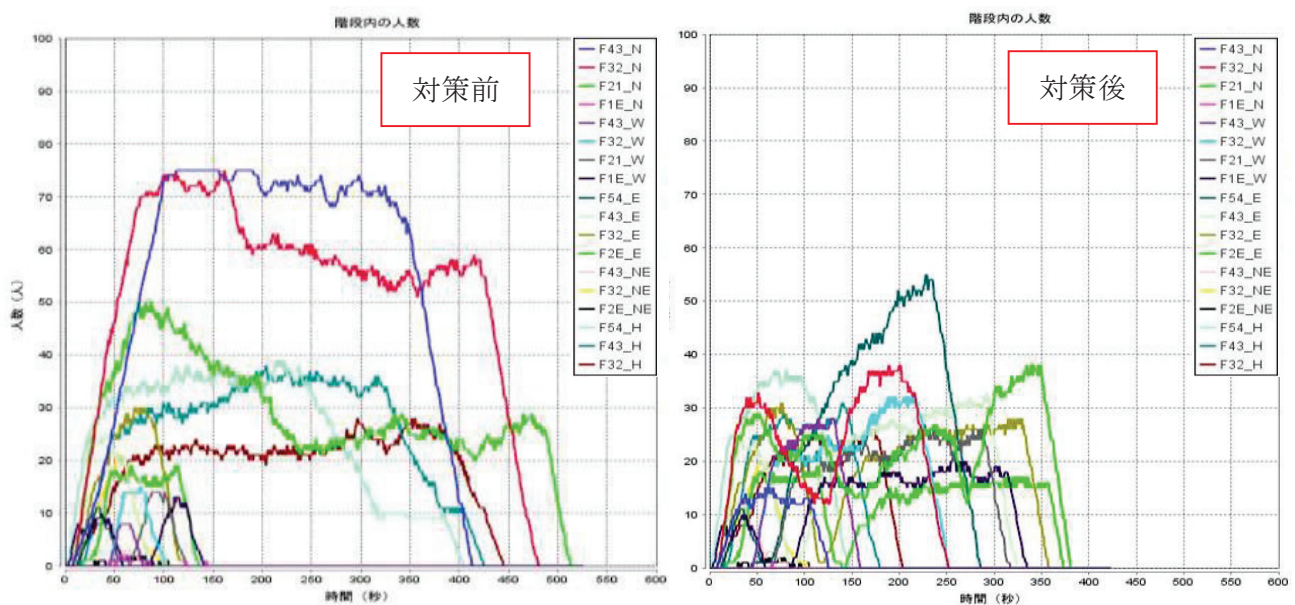


図 3-16 地域学部棟における対策前後の各階段における人数の時間変動

3.4.4 附属図書館における対策とその効果について

対策前のシミュレーションから 2 階中央階段周辺(F21_N)と 1 階西側の非常階段付近(F21_W)で深刻な混雑が発生している。それを改善するために以下の 2 つのルールを対策前のシミュレーションに組み込むこととする。

- (1) 避難開始時刻は階を問わず一斉に開始するが、1 階自習室から西側の非常階段(F21_W)と 2 階自習室から中央階段(F21_N)に避難を開始する学生は、2 階または 3 階から学生が下りてきた瞬間に避難をやめ、上の階の学生に避難経路譲り、上の階の学生がほとんど階段を下りきる直後に避難を再開する。
- (2) 2 階南東自習室から中央階段(F21_N)に向かって避難する学生をポテンシャルの値を変更し、南側の非常階段(F21_S)に全員を避難させる。また、1 階自習室から西側非常口へと避難する学生の約 3 分の 2 を北側玄関へ避難させる。

対策前と対策後の各階段における時間あたりの人数の変化を図 3-17 に、避難完了時間の比較の表 3-9 に示す。

表3-9 附属図書館棟における対策前と対策後避難完了時間の比較

	最大避難完了時間(s)	最小避難完了時間(s)	平均避難完了時間(s)	標準偏差(s)
対策前	317	294	305.4	3.93
対策後	289	269	275.9	2.56

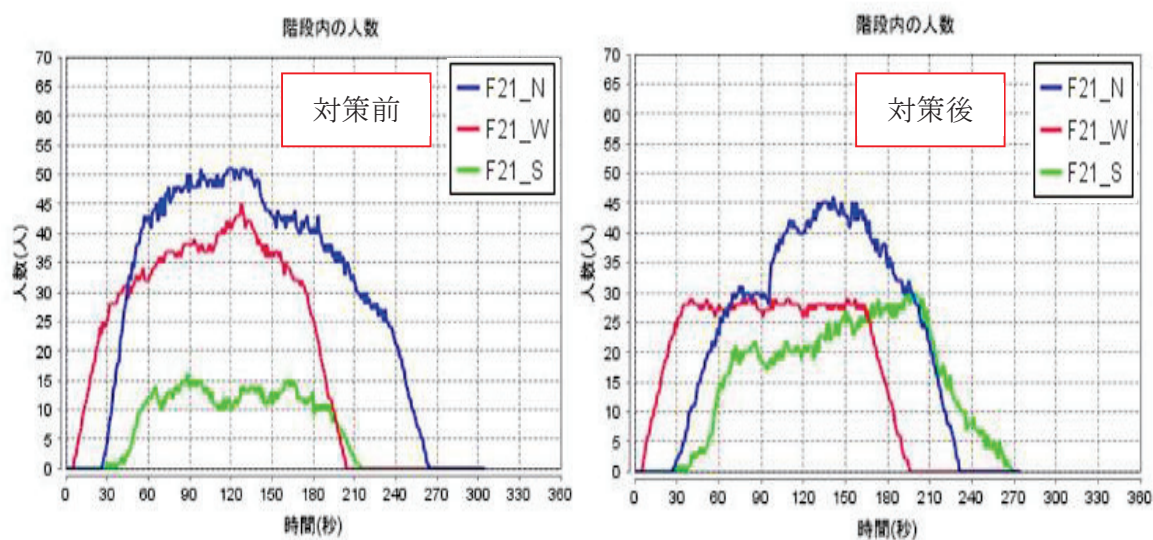


図 3-17 附属図書館棟における対策前後の各階段における人数の時間変動

表 4.3 に示すように避難時間としては、目立った差が表れなかったが、図 3-17 に示す附属図書館棟対策前後の各階段における人数の時間変動から見て分かるように階段内また階段前で混雑が解消され、避難者がより安全に避難できるようになることが確認できる。

3.4.5 農学部棟における対策とその効果について

対策前のシミュレーションでは、避難開始してから約60秒後から3階、2階の北側階段(F32_N, F21_N)と南側階段(F32_S, F21_S)で混雑し始めている。さらに、対策前のシミュレーションでは2階南西階段、3階南東階段 (F21_SW, F32_SE)があまり使用されていないことがわかる。従って、この混雑を解消するために避難開始直後から2階中央講義室、3階中央講義室の学生はそれぞれ2階南西階段、3階南東階段 (F21_SW, F32_SE)へ避難を開始するようルールを取組むことにした。また、南西階段、南東階段、北東階段では上にいる学生が階段を下り始めると同時に下の階にいる学生は上階からの学生に避難経路を譲り、上階の学生が全て下の階段を下りきる直後に避難を再開する。さらに、1階中央講義室にいる学生は半分以上を北側玄関へと避難を開始するようにするが、北側階段を使って2階から北側玄関へ避難する学生が1階へと降り始めると同時に避難経路を譲り、上階の学生が全て下の階段を下りきる直後に避難を再開するモデルを検証する。対策前と対策後の各階段における時間あたりの人数のグラフと避難完了時間の比較の表を以下に示す。

表3-10 農学部棟における対策前と対策後避難完了時間の比較

	最大避難完了時間(s)	最小避難完了時間(s)	平均避難完了時間(s)	標準偏差(s)
対策前	426	403	414.7	4.65
対策後	348	326	336.2	3.83

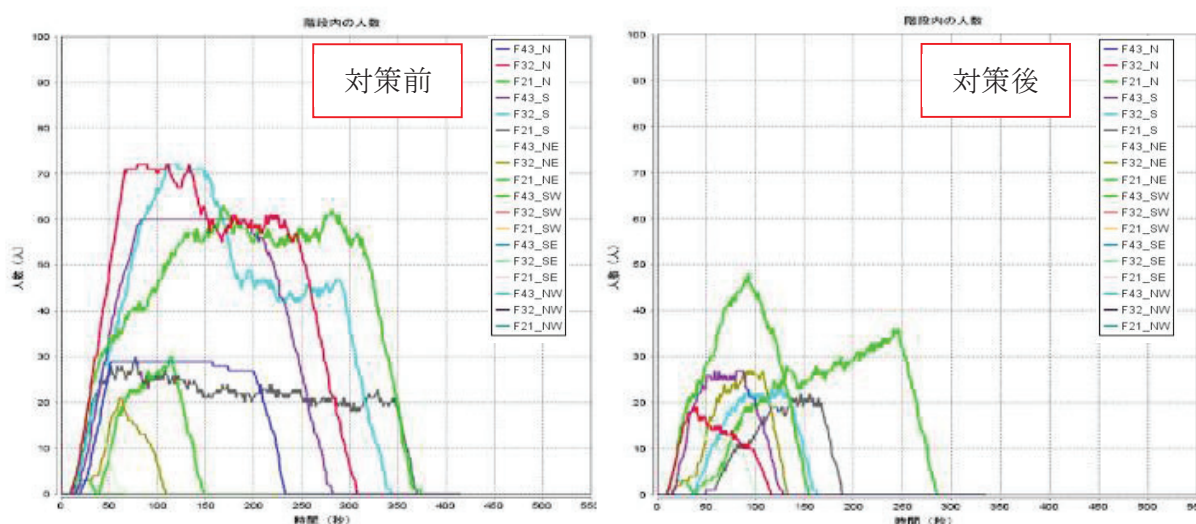


図 3-18 農学部棟における対策前後の各階段における人数の時間変動

図3-18の階段内の人数を見ても分かるように、階段内の混雑を大幅に解消すると共に、避難完了時間も約100秒短縮することができた。また、2階、3階中央講義室の学生を一番近い北側階段ではなく一番遠い南西側階段、南東側階段へ向かわせたことで北側階段、南側階段の混雑を解消し、混雑の分散を図ることが確認できる。

3.4.6 各棟の最適な避難経路について

以上の対策モデルの検討結果より明らかになった、農学部、地域学部および地域学部の各棟に関する最適な避難経路を図3-19と図3-20に示す。



図 3-19 農学部棟における最適な避難経路

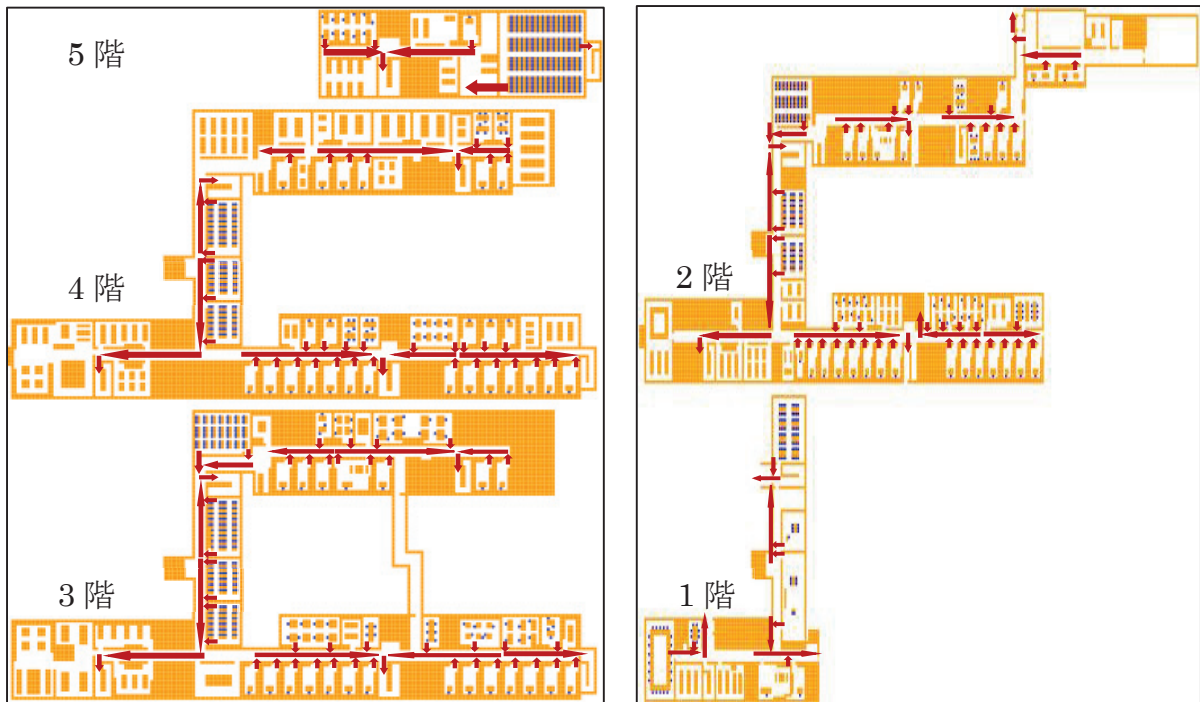


図 3-20 地域学部棟における最適な避難経路

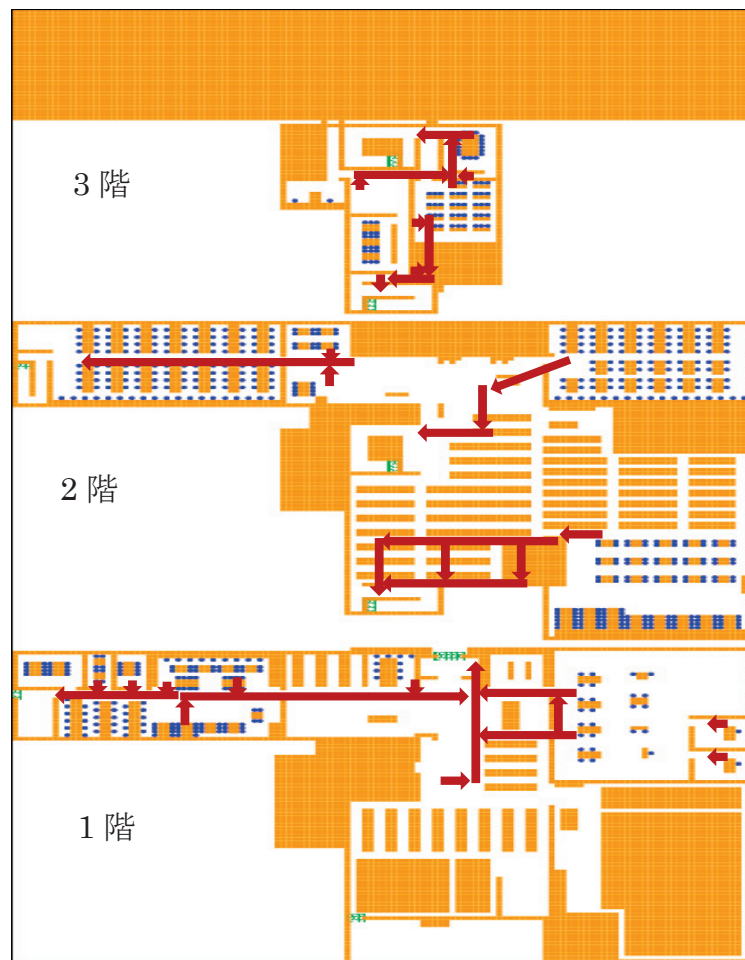


図 3-21 附属図書館における最適な避難経路

3.5 附属小中学校棟の避難行動シミュレーション

ここでは、鳥取大学附属取大学附属中学校棟を対象とする。当施設は、図3-22に示す赤い円で囲った鳥取大学鳥取地区キャンパスの北側と南側に位置する建造物である。地図の上側に位置するのが鳥取大学の下側が鳥取大学附属小学校と中学校である。鳥取大学附属小学校と中学校では避難対象者として教職員を除いて生徒のみとし、人数は小学校が40人のクラスが各学年に2クラスあり合計で480人、中学校では40人のクラスが各学年に4クラスあり合計で480人である。クラスや学年によっては生徒の人数に差があるが、結果をより分かりやすくするために今回は人数を40人に統一し、全ての座席に人が座っていると仮定してシミュレーション実験を行った。

主な避難経路としては、それぞれの棟に施設内の階段と非常階段が設けられている。多数の学生が同時刻に講義で利用するため、万が一緊急事態が発生した際、避難計画が十分にできていない場合、学生が闇雲に避難を行い、1つの避難経路に殺到し、全員が避難を完了するまでの時間が増大すると推察できる。そのため、それぞれの棟内の構造をふまえた災害リスクマネジメントをしておくことは施設の避難計画を策定する際に非常に重要である。



図 3-22 附属小中学校キャンパスマップの位置

表 3-11 基本状況

	階数	講義室数	定員（人）
附属小学校	3	12	480
附属中学校	3	12	480

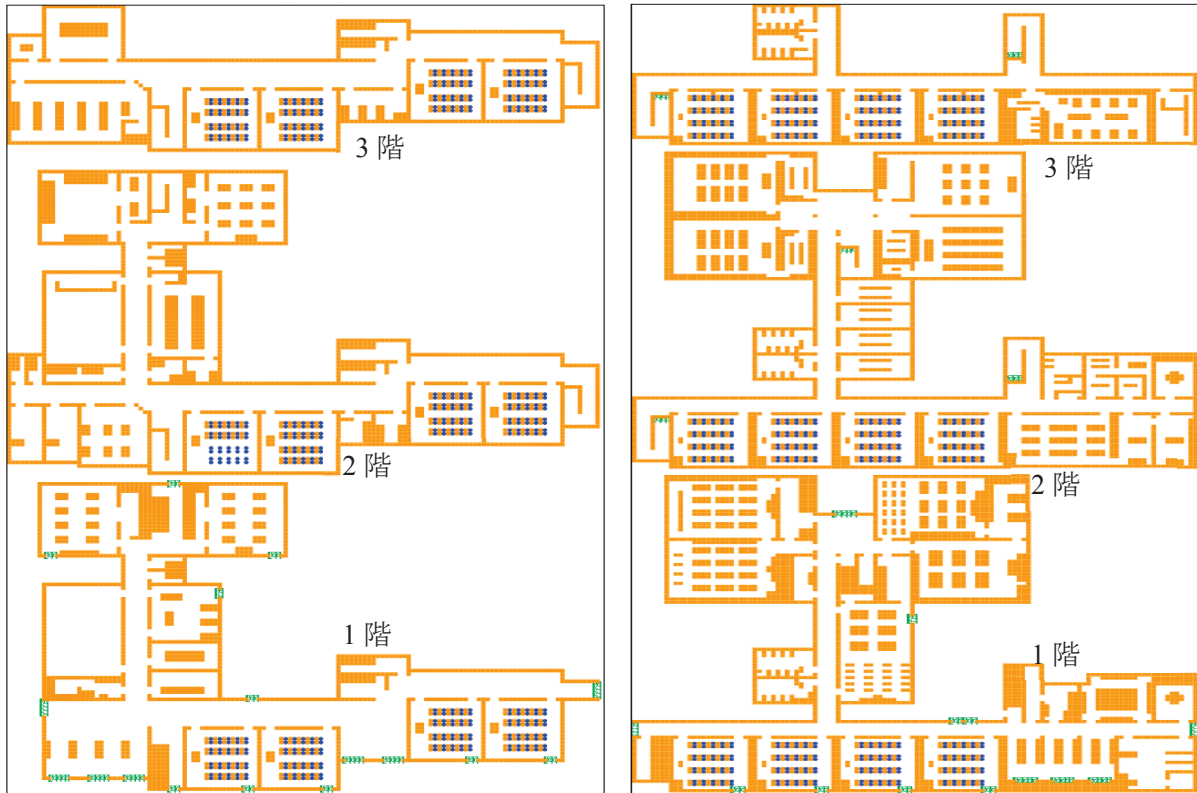


図 3-23 附属小中学校の平面図および初期配置図

3.5.1 避難行動シミュレーションに基づく脆弱性評価

対策前の基本的な避難行動シミュレーションの条件は、学生が自分の位置から避難終了地までの最短経路を使用するように設定している。すなわち、「CAD ツール」で作った、出口へ向かって小さくなるポテンシャル値のみに依存して避難経路を選択するものである。

本研究では、シミュレーションの動画より各棟の脆弱性（混雑状況）を確認した。すべての棟において一致する混雑箇所は、図 3-24 に示すように講義室における出口、各講義室から出た後に学生が殺到する廊下、階段と階段周辺で見られた。図 3-25 小学校 3 階の中央階段入口の間が大変混雑することが見られた。中学校にも図 3-26、図 3-27 に示すように階段において混雑することも分かった。

表 3-12 附属小中学校棟における対策前の避難完了時間に関する実行結果

	最大避難完了時間(s)	最小避難完了時間(s)	平均避難完了時間(s)	標準偏差(s)
附属小学校	211	204	207.3	1.82
附属中学校	200	190	194.8	2.16

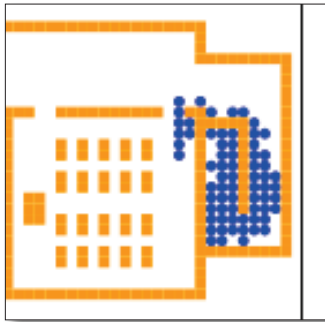


図 3-24 小学校棟 3 階右階段

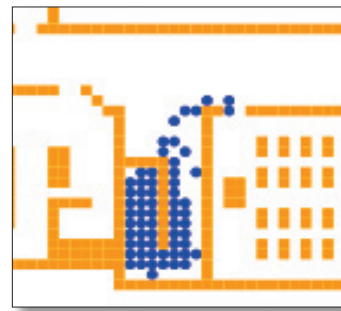


図 3-25 小学校棟 3 階中央階段

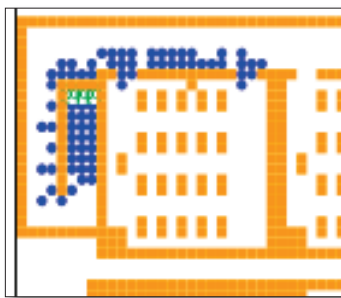


図 3-26 中学校棟 3 階左階段

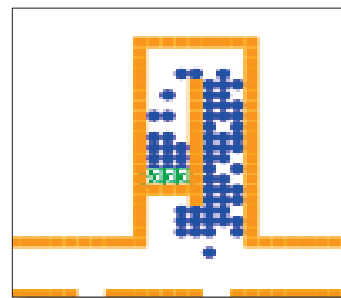


図 3-27 中学校棟 3 階右階段

3.5.2 附属小学校棟における譲り合いモデル

対策前のシミュレーションでは、避難開始後60秒後に3階の左(F32_F)と右側(F32_R)の階段で混雑し始め、混雑したままの状態が約60秒間続いている。この混雑を解消するために、避難開始後しばらくは避難を続け、3階にいる学生が3階の階段を下りきると同時に2階にいる学生が避難をやめ、上階にいる学生の避難経路を譲り、上階の学生が全て2階の階段を下りきる直後に避難を再開するようにルールを組み込む。対策前と対策後の各階段における時間あたりの人数のグラフと避難完了時間の比較を図3-28に示す。

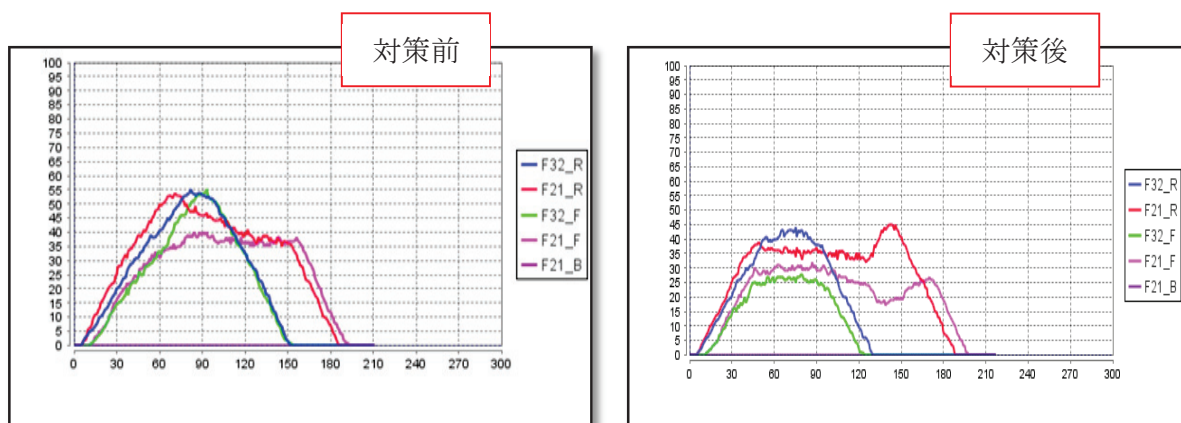


図 3-28 附属小学校における対策前後の各階段における人数の変動

表 3-13 より譲り合いモデルを使用した避難行動シミュレーションは、平均避難完了時間が 10 秒ほど伸びてしまった。ただし、シミュレーションの実行画面および図 3-29 階段に居る人数の時間変化をみると階段の人数を減らすことにより混雑解消され、二次災害の発生を抑えたことに対して 10 秒を伸ばしたことが原因ではないと考えられる。

表 3-13 附属小学校棟における対策前後避難完了時間の比較

	最大避難完了時間(s)	最小避難完了時間(s)	平均避難完了時間(s)	標準偏差(s)
対策前	211	204	207.3	1.82
対策後	223	212	218.6	1.84

3.5.3 附属中学校棟における譲り合いモデル

対策前のシミュレーションでは、避難開始してから約 60 秒後から 3 階の両側(F32_L と F32_R)の階段で混雑し始めている。特に左側の階段(F32_L)での混雑の度合いは深刻である。さらに、対策前のシミュレーションでは、2 階中央階段(F21_C)が使用されていないことがわかる。従って、この混雑を解消するために避難開始後しばらくは避難を続け、3 階にいる学生が 3 階の階段を下りきると同時に 2 階にいる学生は避難をやめ、上階にいる学生の避難経路を譲り、上階の学生が全て 2 階の階段を下りきると同時に避難を再開すると同時に、2 階にある 4 つある教室のうち中央寄りの 2 つの教室から避難する学生は避難をする際に左右の階段を使うのではなく、少し離れた中央階段を利用し避難を行うようにルールを組み込む。対策前と対策後の各階段における時間あたりの人数のグラフと避難完了時間の比較図 3-29 のように示す。

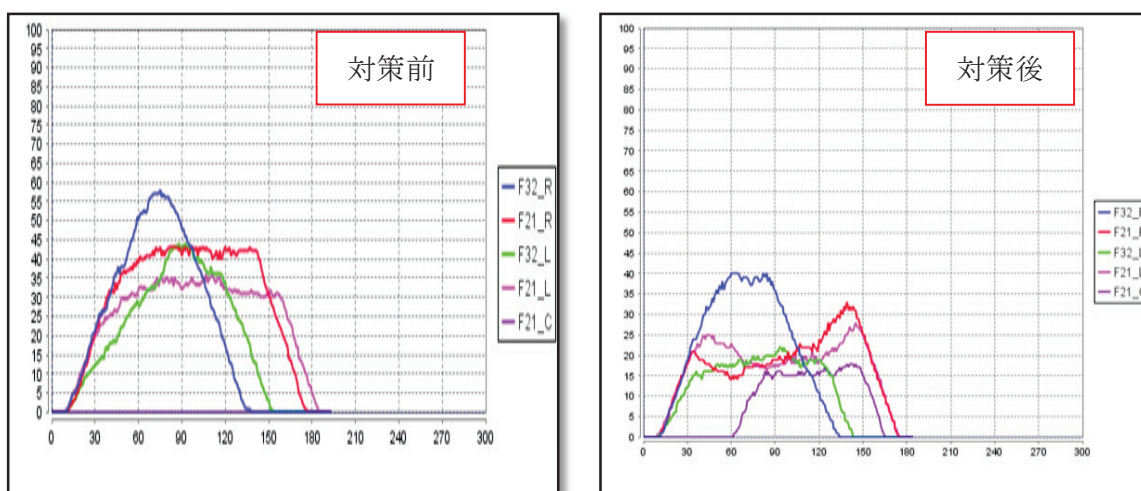


図 3-29 附属中学校棟における対策前後の各階段における人数の変動

表 3-14 のように示す避難時間としては目立った差が表れなかったが、シミュレーション画面より階段での混雑が解消されることが確認された。さらに、図 3-29 から各階段における人数も減少していることが読み取れる。

表 3-14 附属中学校における対策前後避難完了時間の比較

	最大避難完了時間(s)	最小避難完了時間(s)	平均避難完了時間(s)	標準偏差(s)
対策前	200	190	194.8	2.13
対策後	188	180	183.8	1.40

3.5.4 附属小中学校棟の最適な避難経路について

以上の対策モデルの検討結果より、附属小中学校の最適な避難経路は図3-21に示す結果が得られた。

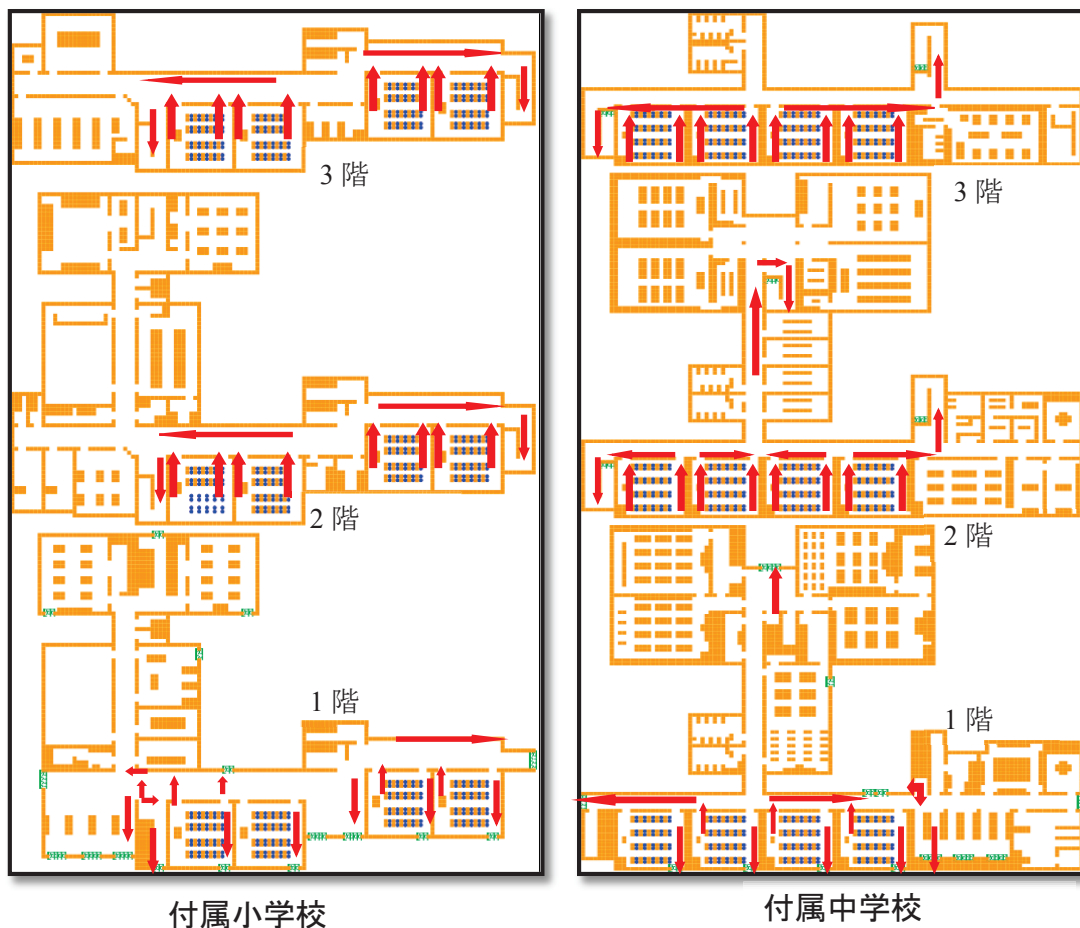


図 3-21 附属小中学校棟の最適な避難経路

3.6 工学部における避難行動シミュレーション

3.6.1 工学部の基本状況

鳥取大学工学部のキャンパス内の位置は図 3-31 を示している。工学部は 4 階の建物であり、多数の講義室，研究室，の他に教員室が設置してあり，定員は約 1672 人となる。（表 3-15）



図 3-31 工学部キャンパスマップの位置

表 3-15 基本状況

	階数	講義室数	研究室数	教員室	定員（人）
工学部棟	4	7	47	105	1672

主な避難経路としてそれぞれの棟に施設内の階段と非常階段が設けられている。多数の学生が同時刻に講義で利用するため、万が一緊急事態が発生した際、避難計画が十分にできていない場合、学生が闇雲に避難を行い、1つの避難経路に殺到し、全員が避難を完了するまでの時間が増大すると推察できる。そのため、それぞれの棟内の構造をふまえた災害リスクマネジメントをしておくことは施設の避難計画を策定する際に非常に重要である。



図 3-32 工学部棟の初期配置図

3.6.2 避難行動シミュレーション結果に基づく脆弱性評価

工学部棟の対策前の避難完了時間に関するシミュレーション実行結果は、最大避難完了時間 564 秒であり、最小避難完了時間 520 秒、平均避難完了時間 547.1 秒となった。シミュレーションの出力画面より各棟の脆弱性を確認したところ、各棟において一致する混雑箇所は、講義室における出口、各講義室から出た後に学生が殺到する廊下、階段と階段周辺であることが確認できた。さらに、工学部棟については出口から出たすぐの道で混雑していることも確認できた。それぞれの混雑する箇所の例を図 3-33 から図 3-34 までに示す。

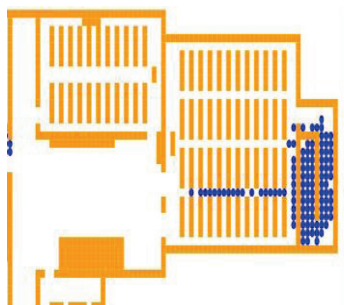


図 3-33 工学部棟第 21 講義室の後方にある非常階段における混雑状況

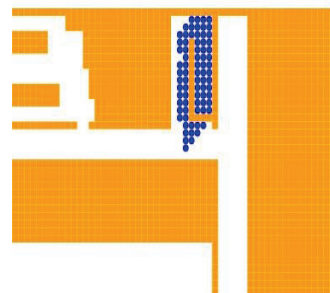


図 3-34 工学部棟 3 階社会開発システム棟入口の階段における混雑状況

3.6.3 工学部における対策とその効果について

対策前のシミュレーションの出力結果から 3 階土木棟入口の階段(F32_C)と社会開発システム棟入口の階段(F32_N)と第 21 講義室の後方にある非常階段(F21_NE)で深刻な混雑が発生しており、3 階土木棟入口の階段(F32_C)では避難開始から約 35 秒後に混雑し始め、混雑がおさまるのは避難開始後約 210 秒後であった。さらに社会開発システム棟入口の階段(F32_N)でも避難開始後約 35 秒後に混雑し始め、混雑がおさまるのに避難開始後約 210 秒後であった。

第 21 講義室の後方にある非常階段(F21_NE)では避難開始後 30 秒で混雑し始め、混雑がおさまるのは避難開始後 650 秒後であった。それぞれを改善するために以下のルールを対策前のシミュレーションに組み込むこととする。

- (1)避難開始時刻は階を問わず一斉に開始するが、2 階から土木棟入口の階段(F21_C)に避難する学生は、3 階から学生が下りてきた瞬間に 2 階の学生は避難をやめ、3 階の学生に避難経路を譲り、3 階の学生のほとんどが 2 階の階段を下りきる直後に避難を再開する。
- (2)避難開始時刻は階を問わず一斉に開始するが、2 階から社会開発システム棟入口の階段(F21_N)に避難する学生は、3 階から学生が下りてきた瞬間に 2 階の学生は避難をやめ、3 階の学生に避難経路を譲り、3 階の学生のほとんどが 2 階の階段を下りきる直後に避難を再開する。

表3-16より、避難者の平均避難完了時間は約80秒短縮された。また、図3-35に各階段における対策前と対策後の避難者の人数の変動を示したが、これにより各階段における人数のグラフ変動の差が減少していることがわかる。対策前もともと混雑していた第21講義室後方にある非常階段(F21_NE)は人数が85人を超えている時間が50秒間続いている、最大で90人が階段に密集していたことがわかる。さらに3階から2階に位置する土木棟入口の階段(F32_C)と社会開発システム棟入口の階段(F32_N)でもそれぞれ最大73人と76人の人が階段に密集していた。

この混雑を解消するために上記のルールを適用すると、図3-35に示す対策後の結果になる。(1)と(2)のルールを適用することで土木棟入口の階段(F32_C)の最大人数は73人から47人にまで減少し、社会開発システム棟入口の階段(F32_N)の最大人数も76人から68人に減少した。なお、この譲り合いモデルを適用することにより、土木棟入口の階段(F21_C)における人数が図3-35に示すように210秒後を境に急激に上昇している理由としては、上階の学生が階段下り終えるまで廊下で待機していた2階の学生が一斉に避難を再開したためである。

表3-16 対策前と対策後の避難完了時間の比較

	最大避難完了 時間 (s)	最小避難完了 時間 (s)	平均避難完了 時間 (s)	標準偏差 (s)
対策前	564	520	547.1	8.41
対策後	499	454	465	5.30

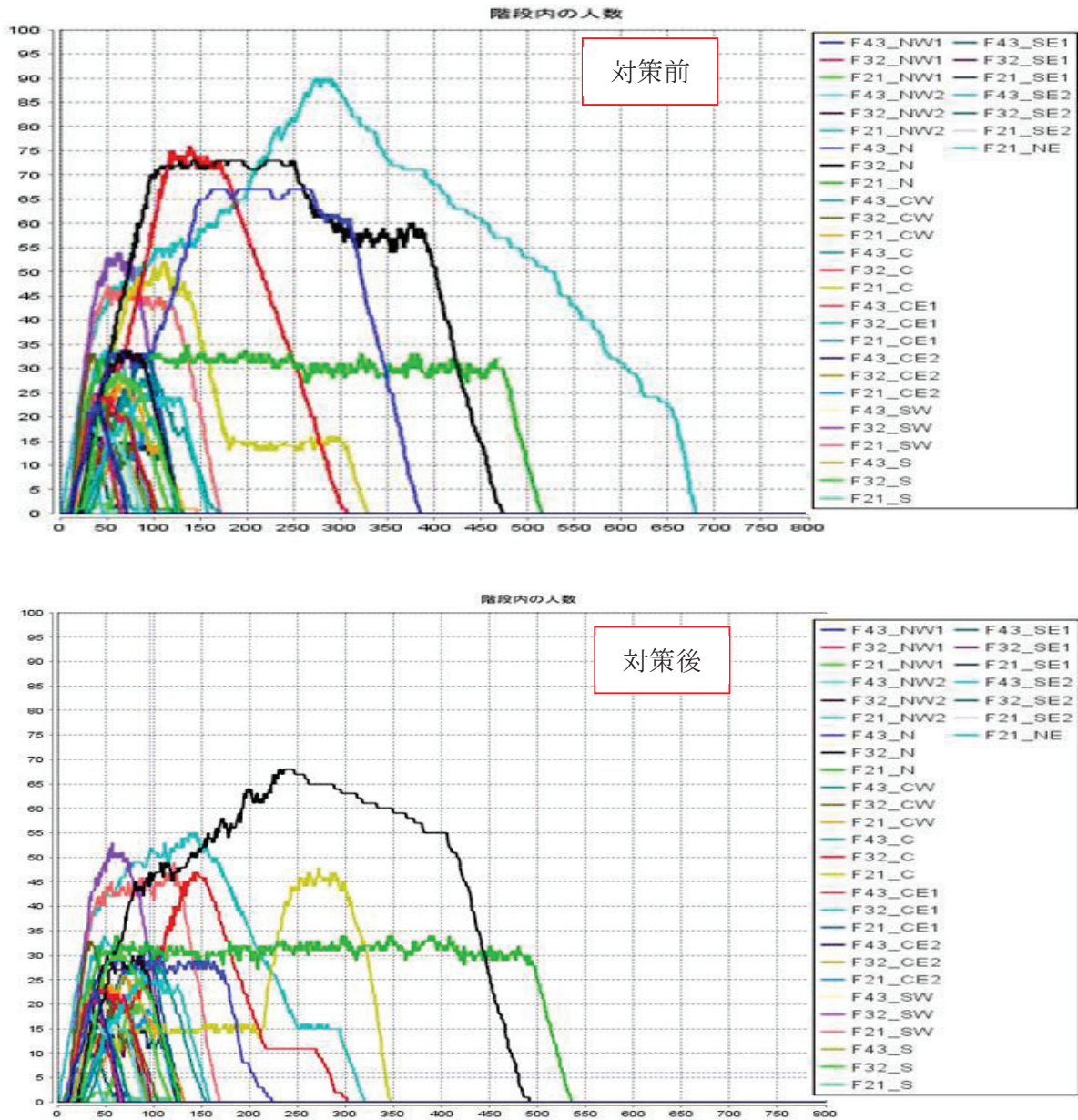


図 3-35 工学部棟における対策前後の各階段における人数の変動

3.6.4 学部における最適な避難経路

以上の対策モデルの検討結果より, 工学部棟の最適な避難経路は図3-36に示す結果が得られた.



図 3-36 工学部棟における最適な避難経路

3.7 各棟から屋外一時避難場所までの避難行動シミュレーション

3.7.1 一時避難場所について

ウィキペディア⁴⁾によると、一時避難場所とは災害時の危険を回避するために一時的に避難する場所、または帰宅困難者は公共交通機関が回復するまで待機する場所のことで、公園等の敷地内に建造物の無い場所が指定されている場合が多い。

また、行政上の一時避難場所は「延焼火災などから一時的に身を守るために避難する場所」のことを指す。地域住民等の集合・待機場所としての位置づけもある。このような目的から、小規模な広場（オープン・スペース）が指定されている。この一時避難場所が危険になった際に、さらに規模が大きな「広域避難場所」へ、集団で避難することになる。避難所のように避難生活をする場所としての位置づけはない。なお、一時避難場所・広域避難場所ともに、災害の種類（火災・風水害・津波・高潮など）によって避難場所が異なる場合がある。

3.7.2 対象とする施設

本研究では、鳥取大学湖山キャンパスの地域学部棟（本章 3.4 に参照），附属図書館棟（本章 3.4 に参照），工学部棟（本章 3.6 に参照）および大学院棟（本章 3.3 に参照）から一時避難場所までの避難行動シミュレーションを構築する．なお，それぞれの避難者の初期配置などの基本状況は建物出口までのシミュレーションモデルと同じにする（本章 3.3～3.6 に参照）．各対象施設の初期配置は図 3-31～3-34 となる．

一時避難場所は地震などの突発的な災害において災害の様子を確認することが可能な場所で，本研究においては学生や教職員の安否確認や帰宅困難者が公共交通機関の回復を待つことができる場所として工学部棟および大学院棟が少し距離は遠くなるが周りに高い建物がなく広いスペースがある第 1 駐車場（図 3-35 赤い円）を一時避難場所とし，地域学部棟と附属図書館棟が工学部棟前の多目的広場（図 3-35 青い円）を一時避難場所として選んだ．

3.7.3 避難行動シミュレーションの設定

各棟の建物出口までの避難が各棟の譲り合いモデルのルールを設定した上で，各施設の周りに設置されている駐輪場や花壇，林など避難経路として使わないものとする．また，各施設から一時避難場所までの避難経路上には図 3.31～3.34 で示した学生エージェント以外の避難者はいないものとする．

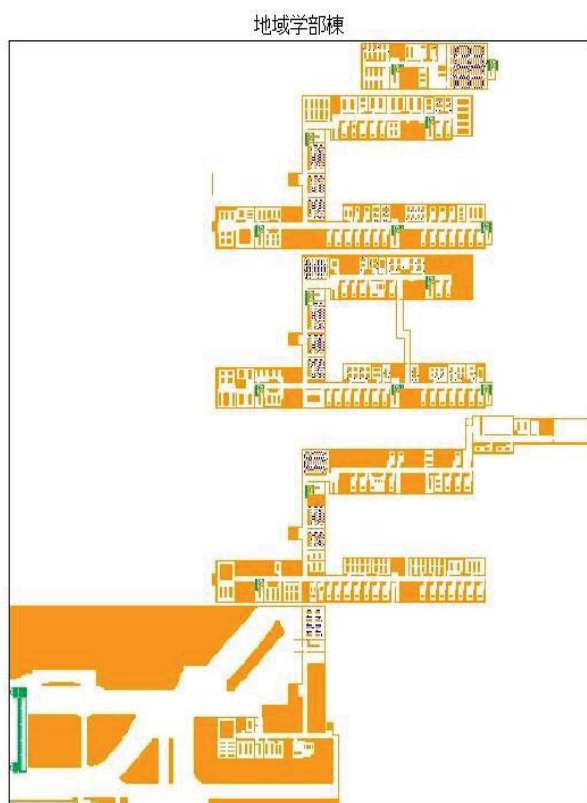


図 3-31 地域学部棟の初期配置図

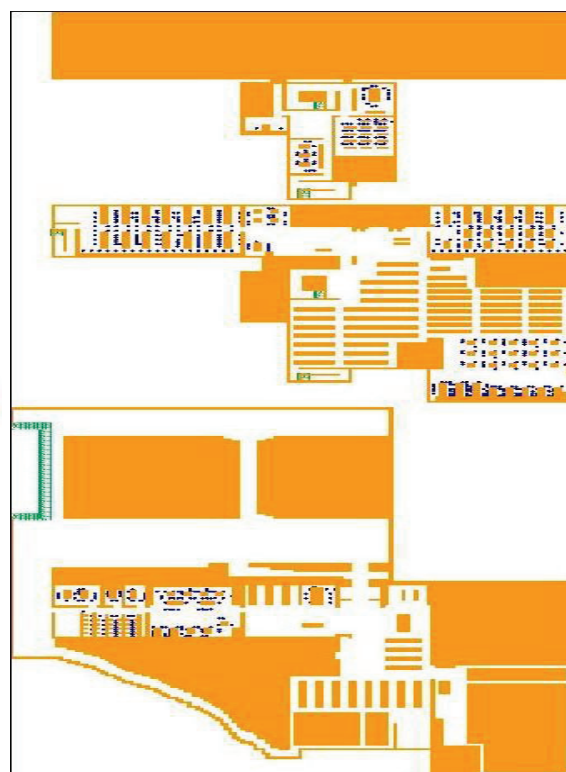


図 3-32 附属図書館棟の初期配置図

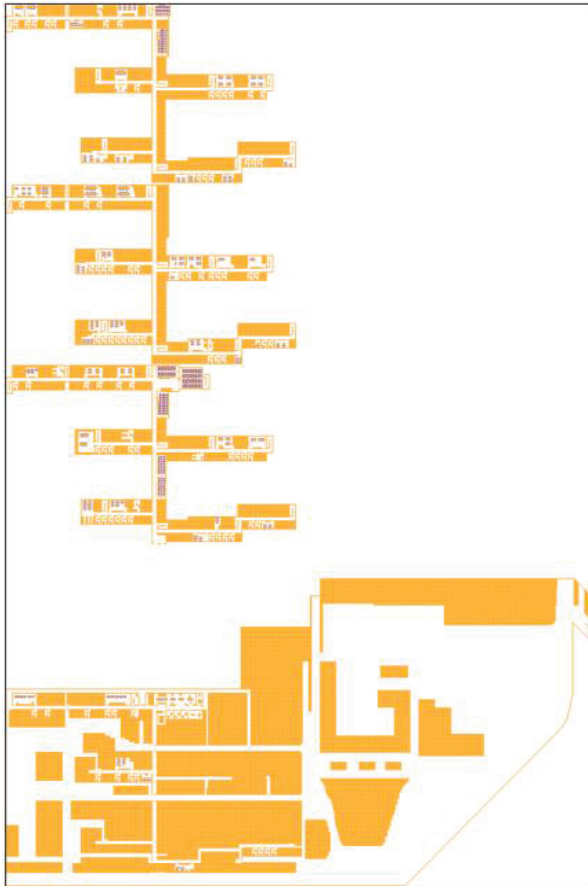


図 3-33 工学部棟の初期配置図

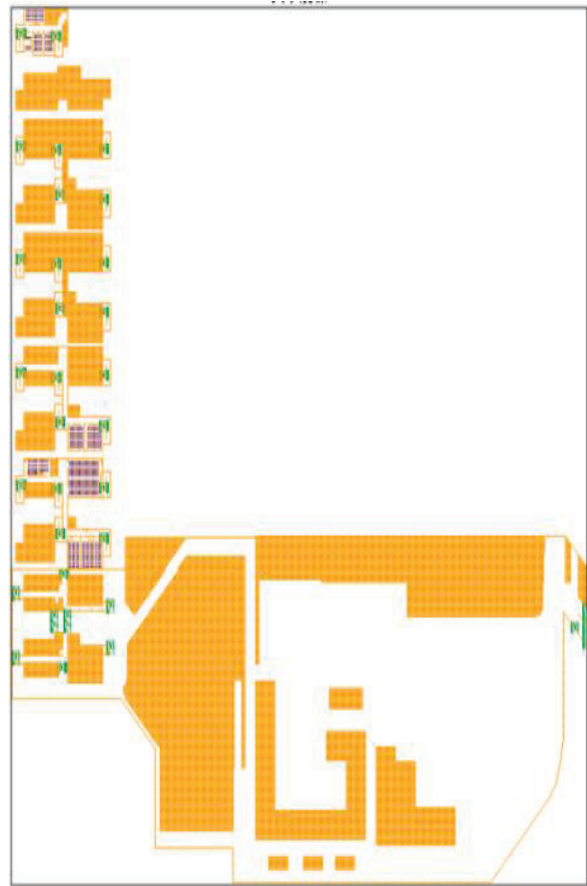


図 3-34 大学院棟の初期配置図



図 3-35 一時避難場所のキャンパスマップの位置

3.7.4 シミュレーション結果および考察

各棟の避難シミュレーションを100回実行して、その結果が表3-17のように示している。また、各棟避難中に各階段に居る避難者人数の時間変化は図3-36のように示している。

各棟の避難シミュレーションの実行画面と混雑を起こったところが屋内の避難シミュレーシ

ョンの時とほぼ同じところが分かった。すなわち、避難完了地点の位置に関わらず屋内の避難行動とすれば階段部における混雑の解消がボトルネックと言える。また、各棟の出口からの避難経路上の移動が混雑など見付けなかった。それが今回の避難者が初期配置した人しかないのが原因だと考えられる。

表 3-17 各棟の避難完了時間

	最大避難完了時間 (s)	最小避難完了時間 (s)	平均避難完了時間 (s)	標準偏差 (s)
地域学部棟	924	908	915.1	3.47
附属図書館棟	440	422	430.2	3.18
工学部棟	2249	2206	2224.35	6.879
大学院棟	1325	1314	1319.56	2.128

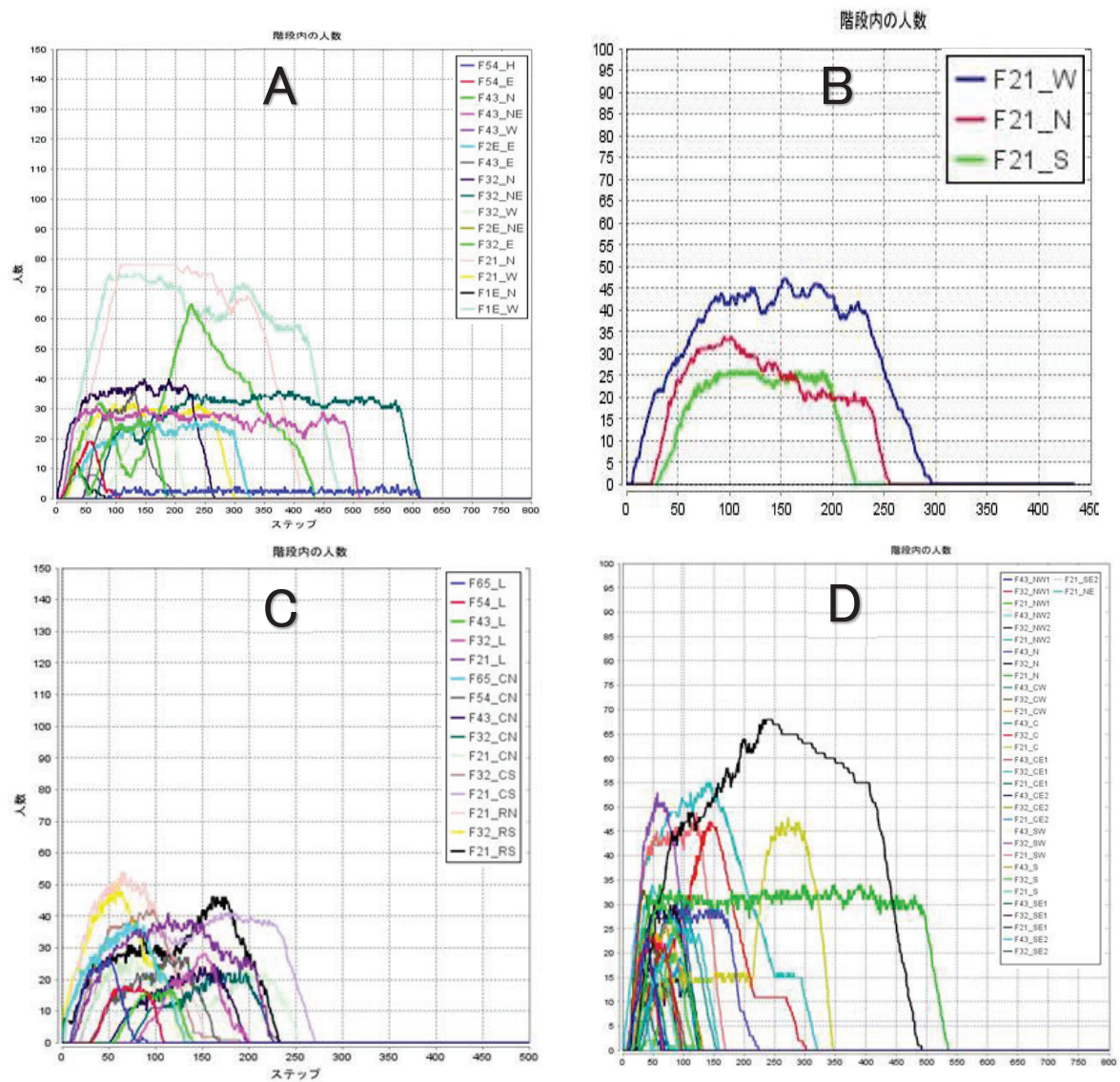


図 3-36 各棟の階段における人数の時間変動

3.8 結語

本研究では、鳥取大学湖山キャンパス内の各学部棟，図書館棟および附属小中学校棟における講義室から建物出口までの避難行動シミュレーションに基づいて，避難経路上の構造的脆弱性に関する評価よりスポット的な設備改善提案とその効果を検討した．また，階段における混雑解消の観点より，安全な避難行動のあり方として上層階からの避難者に避難経路を譲るモデルを提案して避難所要時間の短縮効果を考察し，最終的に最適な避難経路および避難行動モデルについて検討を行った．その結果，上層階からの避難者に避難経路を譲ることにより階段での混雑の緩和が可能となることを明らかにした．また，キャンパスの各施設の外に出た後の一次避難場所までの歩行者流動を再現再現することで，大学のキャンパス全体における災害リスクマネジメントを行うことができると考える．本対策モデルを機能させるためには，正しい防災知識を身に付け，災害に対して危機意識を持ち，非常時のモラルを身に付けておく必要があり，そのための教育のあり方が課題となる．

最後に，本研究の今後の課題を記す．実際の災害現場は避難者のみではなく，避難者の避難行動に影響を及ぼす物や状況（出火地点や通路状況、負傷者など）を考慮する必要がある．次に火災と想定する場合は，煙の蔓延状況を考慮する必要がある．また災害は，全て想定内のことが起きるわけではなく，場合によってはシミュレーションで構築した経路が使えなくなる可能性も大いにありうるので，あらゆる状況に応じたシミュレーションを何通りも予測し構築する必要があると考える．

<参考文献>

- 1) 株式会社 構造計画研究所，MAS コミュニティ，<http://mas.kke.co.jp/index.php> 2)
- 2) 株式会社構造計画研究所，MAS コミュニティ，<http://mas.kke.co.jp/index.php>.
- 3) 日本建築学会：知的システムによる建築・都市の創造，pp.38-39，技報堂出版，1998
会社構造計画研究所.

第4章 住民の自律的防災・減災行動に向けた支援施策に関する考察

4.1 緒言

我が国は国土の約70%が山地であるため限られた少ない平地で経済活動を行なっている。経済活動の拠点は沿岸や河川といった水域付近に多く存在し、そこに多くの人口や資産が集中している。また、我が国の河川は距離が短く急勾配という特徴があるため、台風や梅雨前線による豪雨が発生した際、雨水は一気に河川に流れ込み洪水になりやすい。したがって、我が国は洪水災害を受けやすい自然条件にあるだけでなく、洪水災害が発生した時に被害が拡大しやすい条件にも曝されている。このような国土を持つ我が国では、政府が主体となって洪水災害による被害を軽減するための公共事業が盛んに行われてきた。政府の公共事業は、堤防の整備や河川幅拡幅、河川流路の整備といった主にハード防災が多く、避難情報の伝達方法の整備や気象予測の精度向上化等のソフト防災は、どちらかと言えばハード防災からの外的要因によるものと考えられる。ところで、ハード防災が大規模な洪水災害から人々を守ってこれなかったと言えば決してそうではなく、数万人、数千人、そして数百人規模の災害に対して非常に大きく貢献してきたと言える。

しかし、ハード防災は予め外力を想定して事業を行うが、想定した外力を上回った場合、ハード防災は災害に対して著しく効力を失う。また、災害規模が大きければ大きいほど行政機関も被災する可能性が高まり、行政による住民への対応に遅れが生じることになる。阪神・淡路大震災以来、あらゆる分野で防災計画の見直しや再検討が行われたが、その中でソフト防災の重要性に触れる機会が多くある。

平成17年7月に水防法が改正された際、浸水想定区域の指定対象河川が拡大され、主要な中小河川でも浸水想定区域を指定するよう明記されただけでなく、これまでは努力目標に過ぎなかった浸水想定区域図やハザードマップの作成が義務付けられた。財賀ら¹⁾は洪水に対する防災意識の向上には、ハザードマップの利活用が最も影響を与えることを明らかにしており、今後住民のさらなるハザードマップの利活用が望まれる。

しかし、ハザードマップは洪水災害の際の意識向上に対して一定の効果が認められるが、ハザードマップは行政側が作成するものであり、いわゆるトップダウン的な考えのもと作成されているため、無関心、廃棄・紛失、洪水災害イメージの誤った固定化等様々な問題が指摘されている。

こういった状況では、ソフト防災が重要視されたとしても、ハード防災で指摘されてきた行政依存から脱却できるとは言い難く、結局のところ住民は発災時に自律的な意思で危機を認知せず、行政からの情報により危機を認知していることに他ならない。したがって、ハザードマップを利活用し意識向上の効果をさらに高めるためには、ハザードマップに掲載されている情報を住民に正しく理解してもらい、実際の防災・減災行動に繋げてもらうことを目的とした、防災ワークショップの開催や防災訓練の実施が極めて重要である。また近年では、災害時要援護者への対応方法の問題が顕在化しており、行政サービスによる支援ではままならず住民同士の協力による支援が必要不可欠なのだが、支援者側の高齢化が懸案となっている。

本研究では、災害時における住民の自律的な意思決定の醸成および実現に向けて、洪水避難行動シミュレーションや地域防災・減災マップ、地盤高の地図の提示を行う防災ワークショップを

はさんで、住民の洪水災害時の防災意識に関するアンケート調査を二度実施することで、洪水災害に対する住民の自律的な意思決定に有効な支援ツールについて検証する。また、洪水避難行動シミュレーションを用いて、防災ワークショップの開催による洪水災害時の防災・減災行動の効果を検証する。さらに、従来の歩行避難行動シミュレーションに自動車避難行動シミュレーションを追加することで、災害時の要援護者に対するアプローチを考慮した避難行動シミュレーションの構築を目指す。

4.2 自律的避難意思決定の必要性

来たる自然災害に備えるために、近年全国各地で防災ワークショップが活発に開催されている。多様な捉え方があるが、一般的に防災ワークショップとは、地域住民と専門家、行政が協働のもとで実施される講習会や地域の行事のことである。防災ワークショップは、専門家や行政が地域住民に対して一方的に災害の知識や情報を提供するだけの場ではなく、専門家や行政、地域住民が一体となって活発かつ有益な議論を交わす場でもある。すなわち、上記の三者が災害時における地域の問題を解消していく場、いわゆる「ソリューション」の一端を担う場なのである。このソリューションに対して、地域住民が様々なアイデアを出す行為、あるいは出したアイデアを実際の行動に移すことこそが自律的意思決定であると言えよう。

近年ではハード防災の性能を超え、観測史上最大記録を更新するような自然災害が頻発しており、行政だけでは対応しきれないのが現状であるため、災害時には想定にとらわれない適切な対応行動が必要不可欠である。このような想定にとらわれない適切な対応行動を取るために、“行政による指示があったら”や“周辺住民の多くが避難しているのを確認したら”といった受動的な意思決定を下すのではなく、自律的な意思決定を下さなければならない。換言すると、“現にいる場所では必ず被災するので避難する”、“今から避難すれば移動中に被災するので自宅に待機する”といった判断を下さなくてはならないのである。このような意思決定を下すことが防災・減災行動に繋がり、自然災害からの被害最小化に大きく貢献するだけでなく、地域コミュニティの強化にも繋がると考えられる。

しかし現状では、避難するか自宅に待機するか意思決定に躊躇している住民が多数であると言わざるを得ない。これは「正常性バイアス」という外部からの強い刺激から平常心を保つ機能や、「集団同調性バイアス」という自分がどうすれば良いかわからない時は周囲の人間と同じ行動を取れば安心する機能が、我々人間に自然に備わっているためである。藤井ら²⁾は、地域の顔見知りの人からの呼びかけが避難開始の意思決定に最も影響するという、集団同調性バイアスを逆手に取って、地域に率先して避難誘導を行う「避難誘導世帯」を配置し、避難行動シミュレーションによって避難所要時間の短縮を定量的に明らかにしている。現状の防災ワークショップが希望者参加型で行われている以上、まず防災ワークショップに参加する防災意識の十分高い住民に対して、自律的な意思決定の醸成および実現を図る必要がある。次節では、自律的な意思決定の醸成および実現に有効なツールについて紹介する。

4.3 自律的避難意思決定の醸成および実現に向けての既存支援ツール

4.3.1 避難行動シミュレーション

避難行動シミュレーションは、当初行政の防災計画立案に有効なツールとして発展してきたが、現在ではしばし防災教育ツールとして用いられている³⁾。近年では、コンピュータの性能の向上により、さらに再現性の高い避難シミュレータの開発が可能となっている(図4-1)。自律的避難意思決定の醸成と実現に向けて、避難行動シミュレーションを用いる利点は二点あると考えられる。

一点目は、防災ワークショップ等で避難行動シミュレーションを住民に見てもらうことで、住民は自分が避難する様子をダイレクトに捉えられ、あたかも実際の災害に直面したかのような体験ができる。このような擬似体験により、住民は発災時の自分の行動を客観的に見ることができ、実際の災害時において自分はどのような判断を下せば的確な避難行動ができるか、そしてどの移動手段でどういった避難経路を通れば安全かつ迅速に避難所まで辿り着けるかを認識できるようになる。

二点目は、避難行動シミュレーションで再現された避難行動の中で、現在の地域に存在する脆弱性を見つけ出した上で、ハード面およびソフト面における改善方法を検討し、実際の地域の防災対策の実施に有効な点である。発災時の状況を避難行動シミュレーションで再現することにより、避難経路として使われる可能性の高い道路を見つけることができるため、膨大に存在するハード面の防災整備を局地的に行うことが可能となる。つまり、地域に合った防災計画の提案が可能となる。さらに、住民の意見やアイデアをシミュレーションに反映させれば、住民の自律的な意思決定力をさらに高めることに期待ができよう。



図4-1 3D空間表示に対応したシミュレーション

4.3.2 洪水ハザードマップ

洪水ハザードマップは、万一の洪水災害時における円滑な住民避難によって人的被害の軽減を図ることが主な目的として、豪雨時に想定される浸水深や土砂崩れ発生の可能性がある区域、避難に関する情報を1つの地図にまとめたものである(図4-2)。行政から公表された洪水ハザードマ

ップが、実際の洪水災害時に利用され、効果が初めて確認されたのは1998年の東日本豪雨災害である⁴⁾。片田らは、豪雨災害後に福島県郡山市を対象として住民避難に関する調査をした結果、洪水ハザードマップを見ていた住民の避難率は、見ていなかった住民よりも10%高く、また避難開始のタイミングが1時間早かったことなど、洪水ハザードマップが住民の速やかな避難行動に関する意思決定に効果をもたらしたと報告している。また片田らは、郡山市の洪水ハザードマップの公表は、このような住民の意思決定に対する効果をもたらしただけでなく、郡山市当局の洪水危機管理にも効果をもたらしたと述べている。

洪水ハザードマップは、受け手である住民が掲載された情報や作成意図を正しく理解し、その理解に基づいた行動を取って初めて、住民と行政の双方に効果が発揮されると言える。すなわち、行政からの一方的な情報提供に留まってしまうと、自律的意思決定に必要なツールとしての洪水ハザードマップの効用は著しく低下してしまうことは言うまでもない。したがって、洪水ハザードマップを用いて自律的意思決定の実現を図るためには、洪水ハザードマップに掲載された情報を住民に正しく理解してもらい、その理解に応じた防災・減災行動に繋げてもらうことを目的とした、防災ワークショップの開催や防災訓練の実施が必要不可欠であると考えられる。

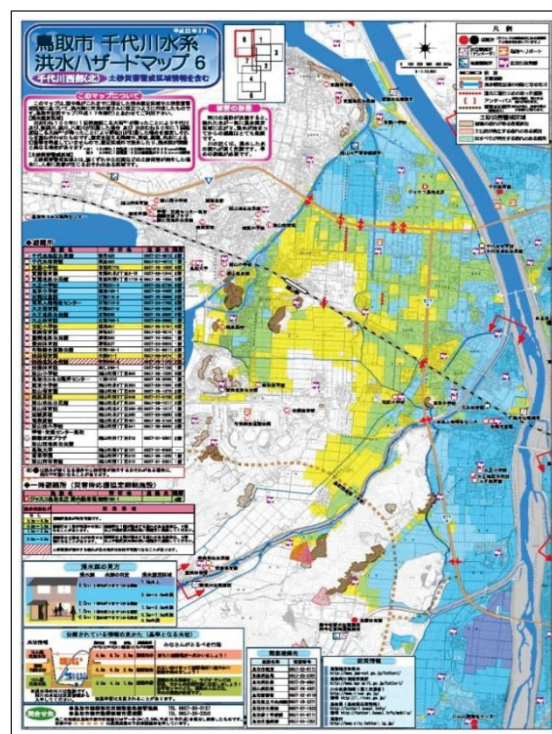


図 4-2 洪水ハザードマップ

4.3.3 地域防災・減災マップ

自助と共助に基づき、地域の防災力を高めるための資料として、現在注目されているのが地域防災・減災マップである。地域防災・減災マップは、地域住民同士が地図と鉛筆を持ちながら協力して街歩きを行い、ハザードマップ等では記載できないような、地域の危険箇所や災害時に役立つものや施設といった詳細な情報を地図に直接書き込み、それらの情報をまとめた地域オリジ

ナルの地図のことである。地域防災・減災マップのメリットは、地域住民の視点に立った情報が載せられている点に留まらず、マップ作成時に地域住民が集まることによる地域コミュニティの強化に繋がる点が多いのではないかと考えられる。すなわち、地域コミュニティの強さが、自律的な意思決定に基づいた住民個々人の防災・減災行動の高さであると思われる。

ここで、平成23年7月から同年12月にかけて著者らをはじめとする研究チームが行った、鳥取市富桑地区地域防災マップづくりに関する研究より、住民の避難に関する考え方についてのアンケート調査結果より得られた見解を述べる。アンケート調査は平成23年12月3日、富桑地区公民館で開催した「富桑地区防災マップ ワークショップ3」に参加した住民26名を対象に行ったアンケート調査結果であり、アンケートの全集計結果は付録に記載している。

(1) 地域防災マップはどのような点で役立つに関する回答

図4-3より、「④日頃の備え」に続き、「①浸水箇所の予測」と「②避難所や避難経路の決定」の回答が多い。このような結果となった理由は、富桑地区防災マップには「地盤高マップ」と、消火栓やブロック塀の段数、道路幅員3m未満の道路等の情報を載せた「災害時に役立つ情報マップ」が収録されているためであると思われる。

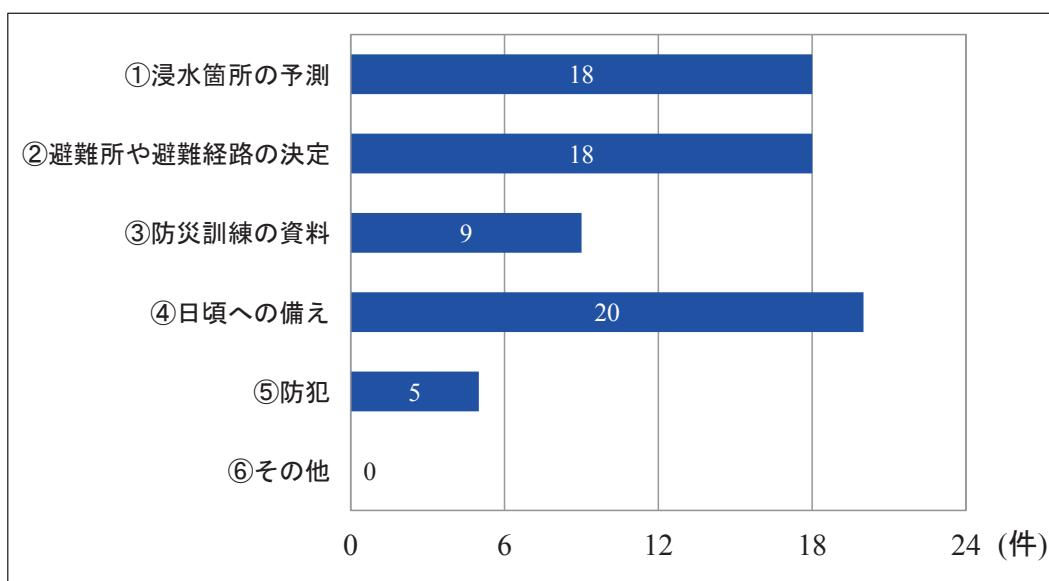


図4-3 富桑地区防災マップの役立つ点

(2) 地域防災マップを見て、日頃の備えで改めて対策が必要と思うものに関する回答

図4-4を見ると、「②家族内で約束事を決める」、「⑥地域コミュニティの強化」の回答が最も多い。

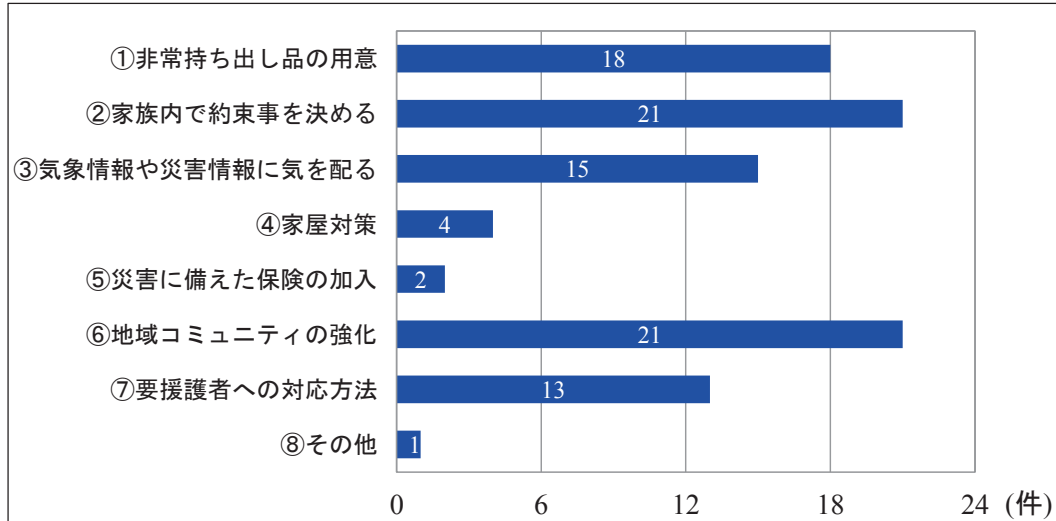


図 4-4 地域防災マップを見て，日頃の備えで改めて対策が必要と考えたもの

(3) 富桑地区の地域防災活動が続ける上で，今後も行政や大学の協力がどのような点で必要だと思
いことに関する回答

図 4.5 より「⑥防災教育(自然災害に対して理解を深める場)」に次いで「④地域コミュニティの
強化」の回答が多いことが確認できる．これらの結果が示すことは，先程述べたように，地域防
災・減災マップづくりは地域コミュニティの強化に非常に有効なツールである裏付けではないか
と推察できる．すなわち，地域防災・減災マップづくりが，自律的な意思決定に基づいた住民個々
人の防災・減災行動を高める可能性があると言えよう．さらに図 4-5 を見ると，「⑧より現実感
がある避難行動シミュレーションの作成」も「⑥防災教育(自然災害に対して理解を深める場)」と
同様に多くの回答を得ており，避難行動シミュレーションを住民に見てもらふことも，住民の防
災意識の啓発，ならびに自律的意思決定に有効なツールであると考えられる．

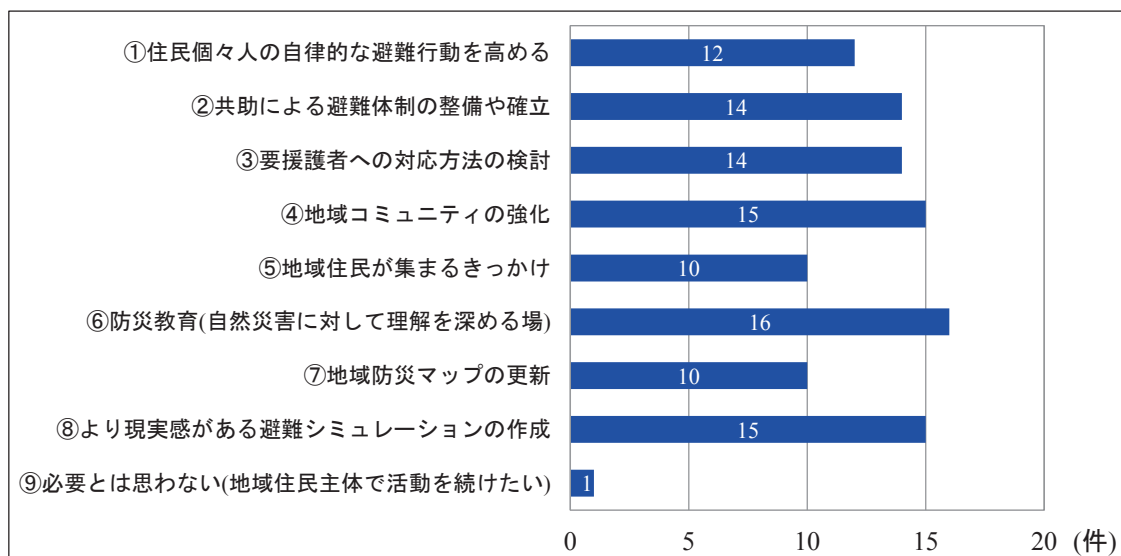


図 4-5 富桑地区の地域防災活動が続ける上で，協力が必要となる点

4.4 洪水災害について

4.4.1 洪水とは

洪水とは、自然災害の一種で大雨や融雪が原因で、異常に河川などが増水することを言う。洪水が起こる気象的な原因は、暖候期(6月から9月頃まで)の前線や台風に伴う大雨が主である。平成23年9月の台風12号による紀伊半島で発生した洪水災害および土砂災害は、台風による記録的な大雨によって引き起こされたものである。日本は前線や台風の経路上に位置しており、他の中緯度の国に比べて雨量が多く、世界平均降雨量の約2倍に相当する。山間部が海に迫っているために河川の長さは短く勾配が急であり、山間部に降った雨は短時間に平野部に流れ出てきて氾濫を起しやすくなっている。また日本の気象災害の中では、洪水による被害は、人的、経済的に大きな被害をもたらしている。日本の洪水対応する歴史は古くからあり、稲作が活発になった弥生時代に生産量の増量のために主流域まで耕作域を広めたことから、洪水との闘いが始まったとされている。当時は百済や中国などの治水技術を取り入れ、時代が進むにつれ河道を加え、河を分離させ、また堤などの建設がなされていた。

4.4.2 洪水による被害

現在全国各地で豪雨による洪水の被害に遭っている。平成22年10月20日に日積算雨量過去最高の691mmを観測した鹿児島県奄美大島では、洪水、土砂災害などにより、死者3名、負傷者2名、家屋全壊10棟、半壊479棟、床下・床上浸水886棟の被害を出した⁵⁾。平成23年9月に紀伊半島を中心に発生した洪水災害では、奈良県上北山村上北山で総降水量は1808.5mmとなり、総降水量が年間降水量平年値の6割に達しただけでなく、紀伊半島の一部の地域では解析雨量で2000mmを超え、北海道から四国地方にかけての多くの地点で総降水量が観測記録を更新するなど記録的な大雨となった。この記録的な大雨による土砂災害、浸水、河川の氾濫等により、和歌山県、奈良県、三重県等で死者49名、行方不明者55名、北海道から四国にかけての広い範囲で床上・床下浸水の住家被害、鉄道の運休などの交通障害が発生するという甚大な災害となった⁶⁾。鳥取県東部に流れる千代川流域でも、過去に何度も洪水の被害に見舞われている⁷⁾。

4.5 洪水災害に関わるアンケート調査の基礎分析

住民の自律的な避難行動の意思決定に有効な支援ツールの検証を行うため、アンケート調査を行った。本章では、鳥取県鳥取市の大正地区を対象に、二度の洪水災害に係る防災・減災アンケート調査の基礎集計と整理分析を行う。

4.5.1 対象エリア

アンケート調査は、図 4-6 に示す鳥取市大正地区の洪水災害に係る防災・減災に関する意識調査を対象に行った。大正地区は鳥取市北東部に位置し、鳥取県東部を南北に流れる一級河川、千代川の西側に隣接している。17 町内会(徳吉団地、徳尾、徳尾ニュータウン、緑ヶ丘 1 区、緑ヶ丘 2 区、緑ヶ丘 3 区、緑ヶ丘 4 区、古海 1 区、古海 2 区、古海 3 区、古海 4 区、高草団地、古海上、山ヶ鼻、菖蒲、服部、野寺)から構成されている。平成 23 年 9 月 30 日現在、世帯数が 1,664 戸、人口が 4,073 人の地区である。

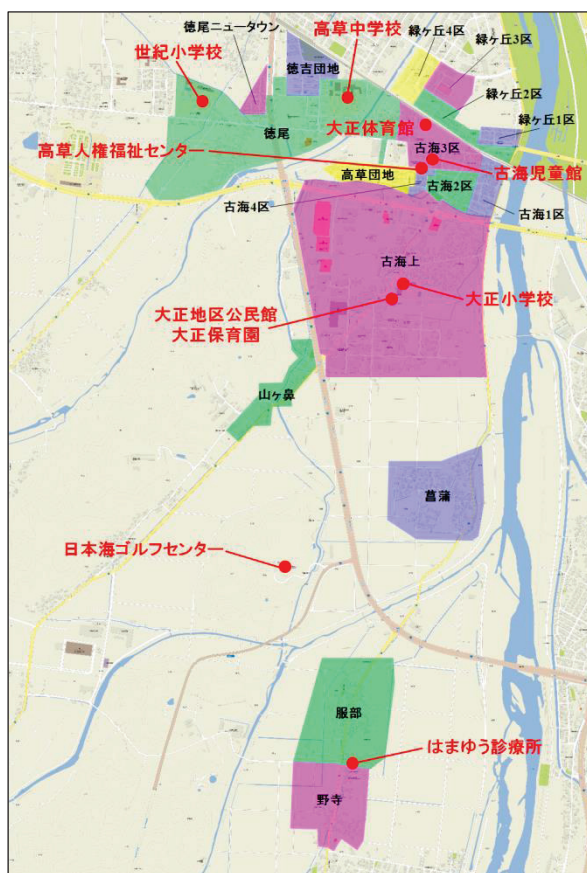


図 4-6 鳥取市大正地区における避難所および町内会図

鳥取市は、かつて千代川の氾濫により、最大で海拔 8m 程にも達した大規模な洪水が何度も発生した街である。大正地区は千代川に隣接しているため、他地域と比較して洪水の被害を受けやすい地域である。また、大正地区は自主防災組織が結成されており、年に数回地域で防災訓練を行っている。特に、ほっと大正まちづくり協議会が中心となって、大正地区防災マップを独自で作成するとともに、鳥取市の洪水ハザードマップを大正地区用の内容に修正して大正地区公民館のホームページで公開するなど、防災・減災活動に積極的に取り組んでいる。

4.5.2 調査の概要

アンケートの内容と全結果は付録に記載する。アンケートの内容は4つの設問から構成されており、設問1は洪水災害時の防災・減災対応のあり方に関する考え、設問2は家族・住居情報、設問3は自然災害に対する普段からの備えや行動、設問4は洪水発生時の行動について回答して頂いた。アンケート調査の概要を表4-1に示す。

表 4-1 アンケート調査の概要

	アンケート調査 1	アンケート調査 2
調査地域	鳥取県鳥取市大正地区	
調査対象者	鳥取県鳥取市大正地区 町内会加入者 140 名	防災ワークショップ参加者 42 名
調査期間	平成 23 年 11 月 1 日～ 同年 11 月 26 日	平成 23 年 11 月 26 日～ 同年 11 月 30 日
調査方法	大正地区公民館職員から町内会加入者 140 名に対して配布。防災ワークショップ開催日(平成 23 年 11 月 26 日)に直接回収。	防災ワークショップ開催日に参加者に直接配布。後日、防災ワークショップ参加者が公民館へ提出。
配布数(通)	140	42
回収数(通)	48	21
有効回答数(通)	42	18
有効回答数率(%)	30.00	42.85

4.5.3 アンケート調査の結果整理および基礎分析

アンケートの全集計結果は付録に記載する。本節では集計した中で抜粋したものを挙げる。なお、1つの問いに対して2つの図を掲載していることに関して、2図の内、上図はアンケート調査1の結果のもの、下図はアンケート調査2の結果のものであることを付記しておく。

(1) あなたがお住まいの地域で洪水が発生する場合、浸水範囲に関する回答

鳥取市の洪水ハザードマップ⁸⁾より、大正地区は浸水深の程度に関わらず全域が浸水域に含まれている。図4-7と図4-8の両図で「③町内の比較的低い一部の地域のみが浸水」や「④浸水はしない」の回答が目立つ理由として、地域全体を想定して本設問に回答しているのではなく、回答者自身の周辺のみを想定して本設問に回答しているためではないかと考えられる。また、図4-8の方が「③町内の比較的低い一部の地域のみが浸水」の回答率が増えた原因は、防災ワークショップで地盤高の地図や避難行動シミュレーションといった複数の資料を利用したことで、さらに客観的な判断に至ったのではないかと考えられる。

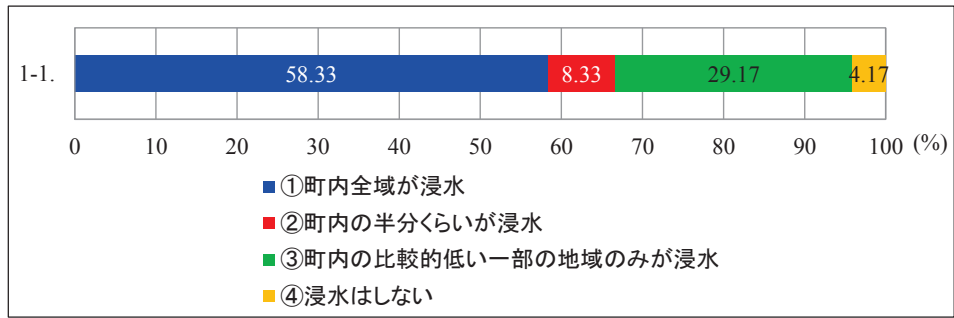


図 4-7 住まいの地域の予想浸水範囲(アンケート調査 1)

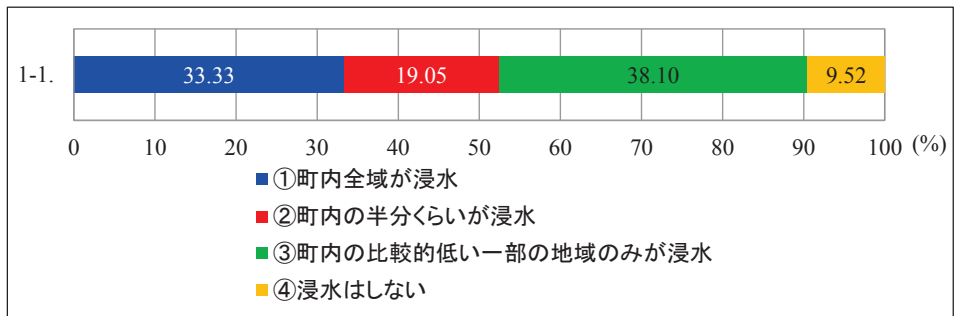


図 4-8 住まいの地域の予想浸水範囲(アンケート調査 2)

(2) 住まいの地域の浸水範囲を予想された時に、利用した資料に関する回答

図 4-9 と図 4-10 の両図とも、「①大正地区まちづくり協議会から配布された防災マップを見て」の利用率が高いことが確認できる。また、「⑤地図などを見ずに直感で」の割合が防災ワークショップの開催後では減少しており、地域の危険度を把握するために、何らかの資料を利用する傾向が表れたのではないかと推察できる。

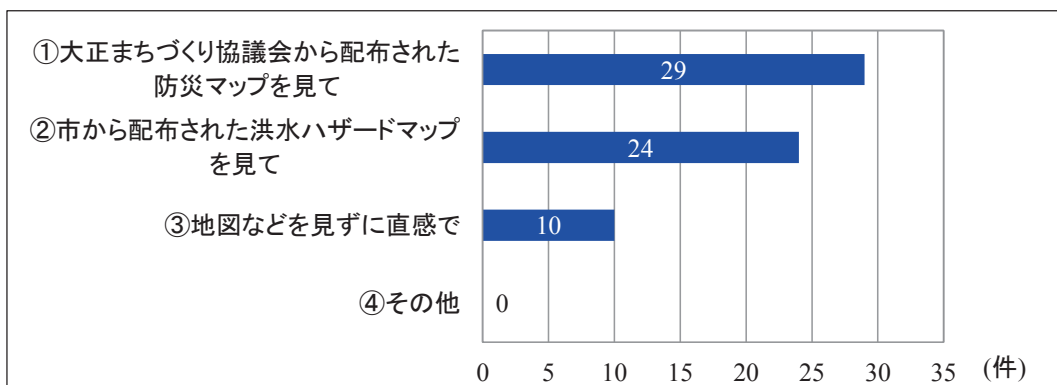


図 4-9 浸水範囲の予想時に利用した資料(アンケート調査 1)

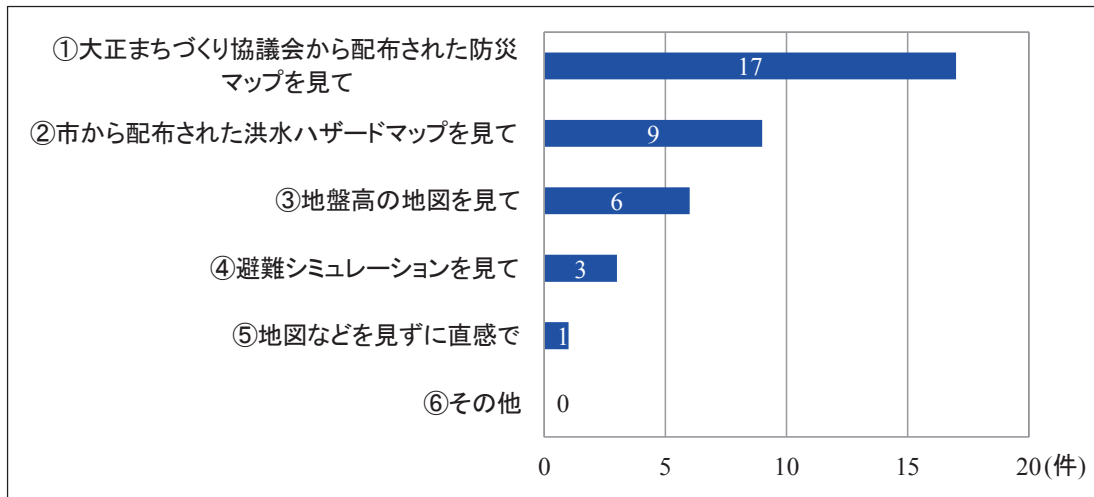


図 4-10 浸水範囲の予想時に利用した資料(アンケート調査 2)

(3) 近年では、2011年3月11日の東日本大震災や観測記録を更新するような大規模な洪水災害やその他自然災害が発生しています。これらを受けて災害時の被害を防いだり、減らしたりする方法(対策)に関心があるかに関する回答

図 4-12 を見ると「④関心がない」と回答する住民が無くなり、「①非常に関心がある」と回答する住民が大幅に増えたことが確認でき、防災ワークショップの開催により住民の防災・減災への関心度が高まった結果となった。

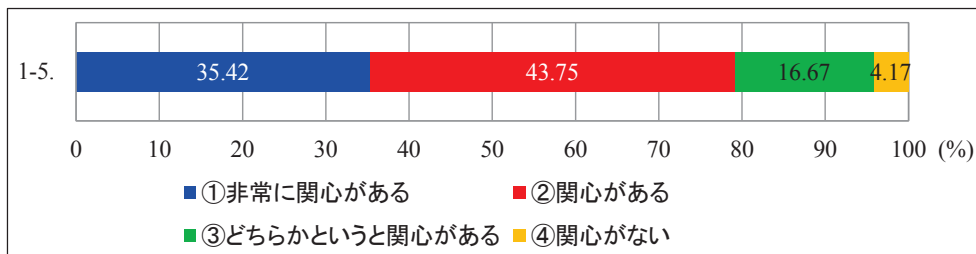


図 4-11 防災・減災への関心度(アンケート調査 1)

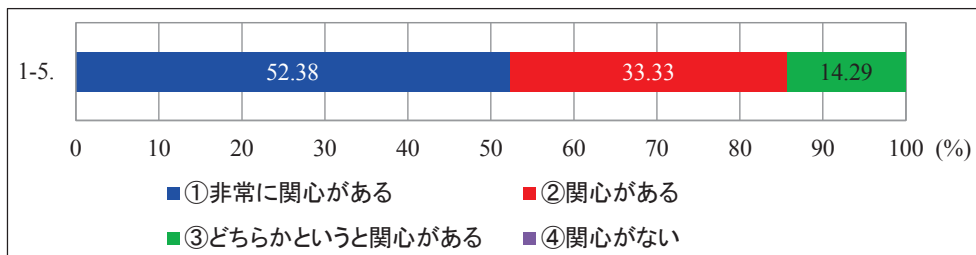


図 4-12 防災・減災への関心度(アンケート調査 2)

(4) 防災・減災対策のあり方について、「行政に期待すること」と「自治会に期待すること」に関する回答

「行政に期待すること」，「自治会に期待すること」ともに、アンケート調査 1 と 2 で分布形

状に大きな変化は見られない。強いて言うならば、図 4-13 と図 4-14 の「行政に期待すること」において「①避難所の新設」と「②安全に避難できる経路の整備や確保」の件数が減少している。減少した理由として、開催した防災ワークショップでは、ハザードマップに記されている洪水時の避難行動に関わる意思決定の重要性について説明し、“場合によっては自宅待機の方が安全です。”との説明をしたため、住民が避難所への避難より自宅待機の方が安全であるとの判断に至ったからではないかと考えられる。

先ほどの設問である「防災・減災対策のあり方について『行政に期待すること』と『自治会に期待すること』」の考察と同様に、図 4-18 において「②自宅待機に決めている」の割合が増加している。このような結果となった理由も、住民が避難所への避難より自宅待機の方が安全であるとの判断に起因するのではないかと推察される。

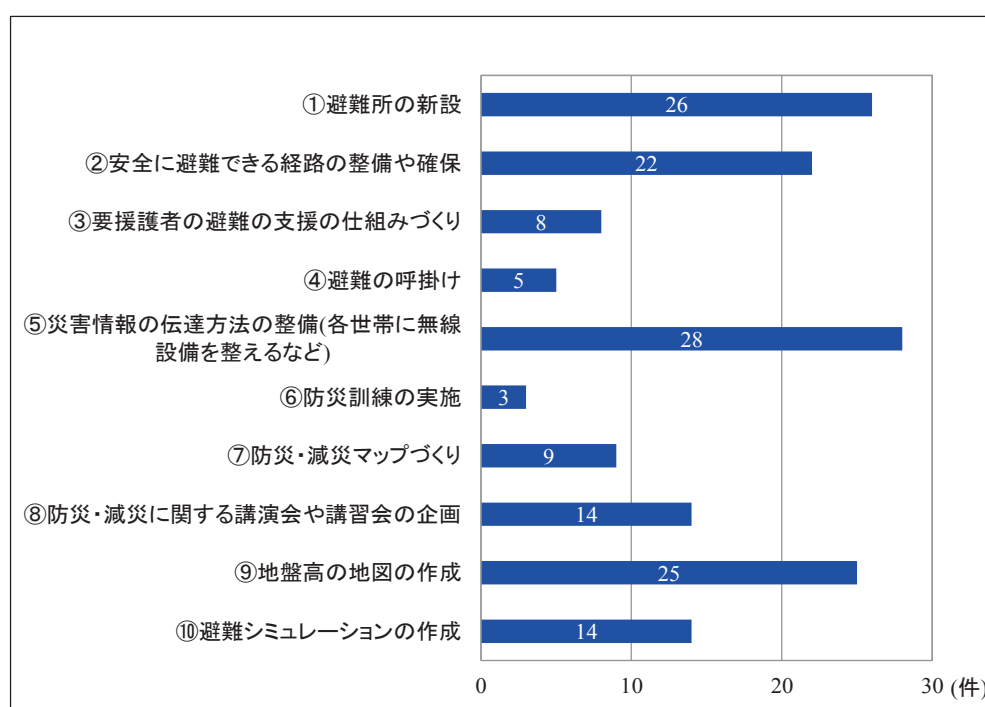


図 4-13 防災・減災対策のあり方について行政に期待すること(アンケート調査 1)

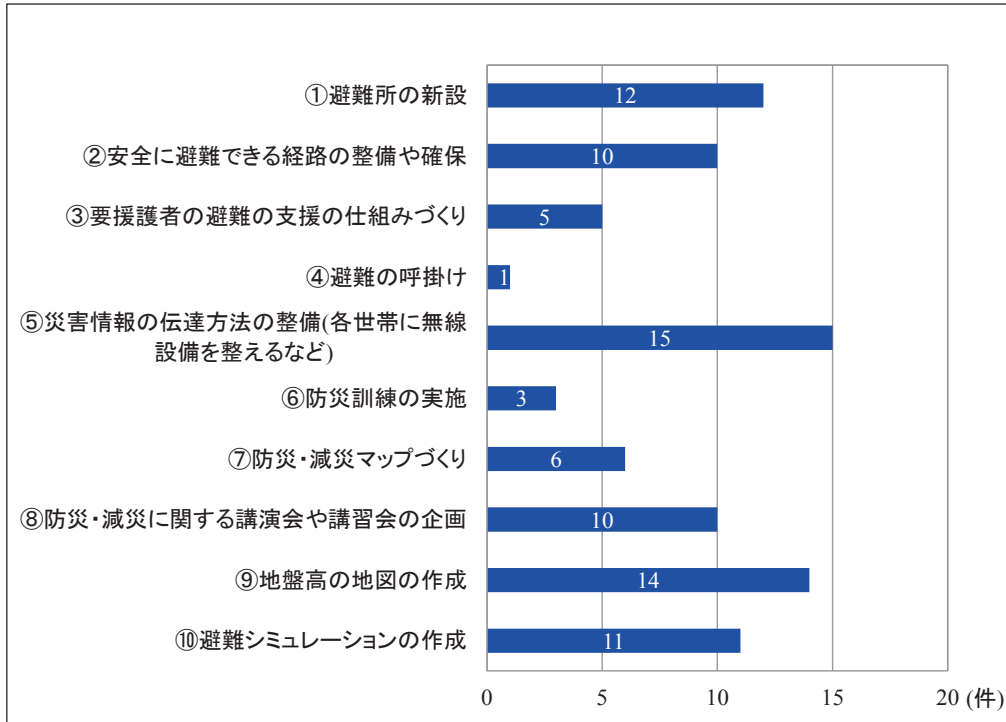


図 4-14 防災・減災対策のあり方について行政に期待すること(アンケート調査 2)

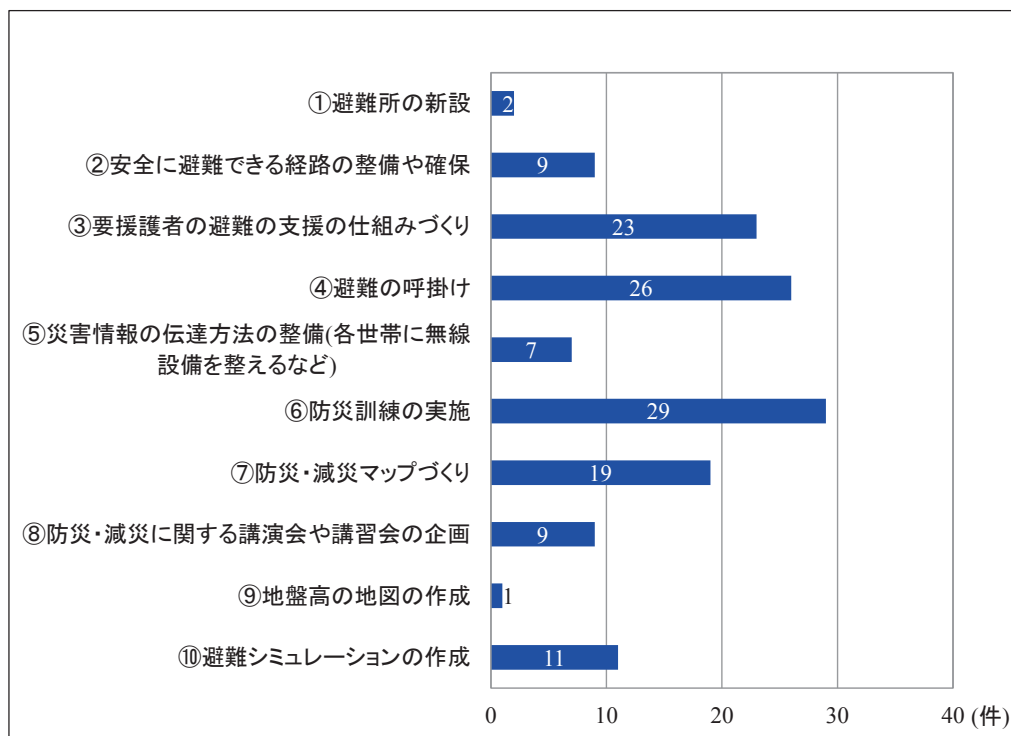


図 4-15 防災・減災対策のあり方について自治会に期待すること(アンケート調査 1)

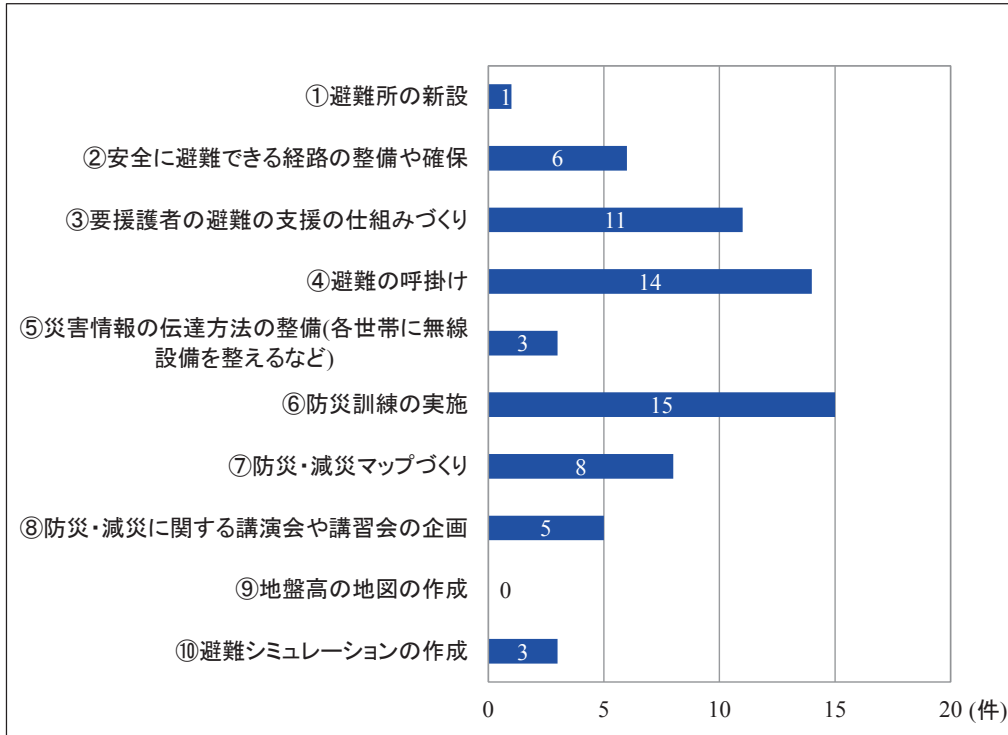


図 4-16 防災・減災対策のあり方について自治会に期待すること(アンケート調査 2)

(5) 洪水の際、避難所を決めていますかに関する回答

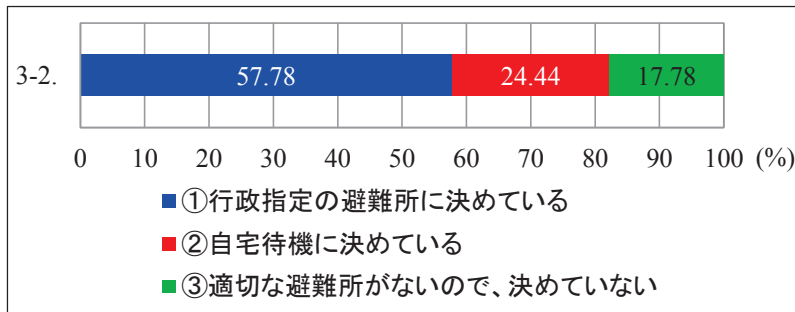


図 4-17 洪水時の避難所の決定について(アンケート調査 1)

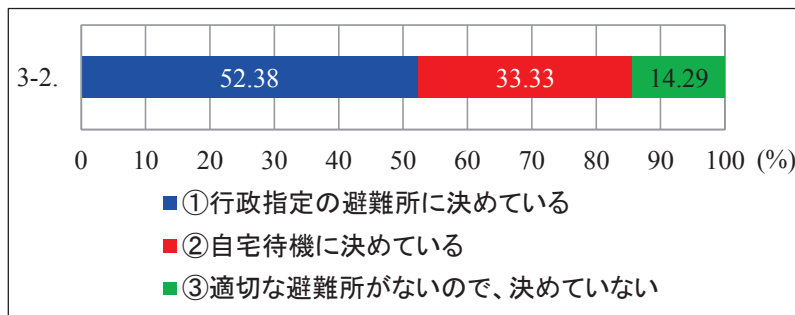


図 4-18 洪水時の避難所の決定について(アンケート調査 2)

(6) 避難経路を決めていますかに関する回答

アンケート調査2の結果である図4-20において、避難経路を「①決めている」の割合が増加している。この結果も防災ワークショップの開催効果であると捉えられよう。

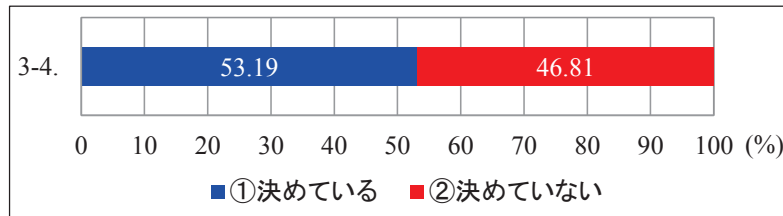


図 4-19 避難経路を決定しているかどうか(アンケート調査 1)

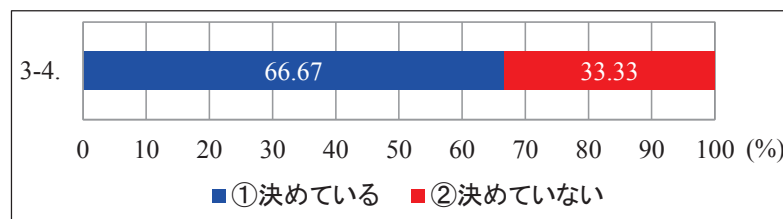


図 4-20 避難経路を決定しているかどうか(アンケート調査 2)

(7) 避難の際、どの移動手段を取りますか？取る可能性が最も高いと思うものに関する回答

防災ワークショップで「避難の際の移動手段は、救助救援車両の走行の妨げとならないよう原則徒歩で行ってください。」と説明を行ったため、アンケート調査2の結果である図4-22では、9割の住民が「①徒歩」を選択する結果となった。

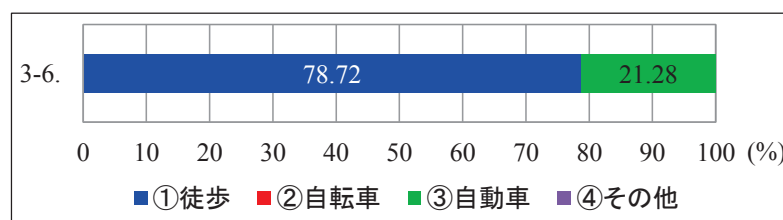


図 4-21 避難時の移動手段(アンケート調査 1)

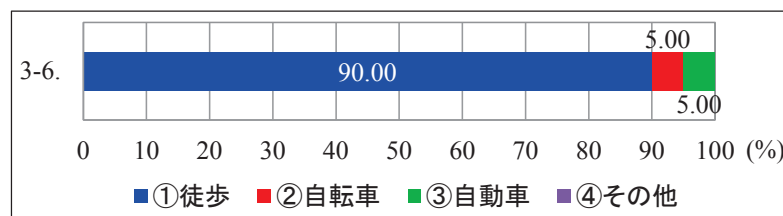


図 4-22 避難時の移動手段(アンケート調査 2)

(8) 記録的な降雨により避難勧告が発令された時、あなたやご家族はどのような行動を取りますかに関する回答

図 4-24 において、「②しばらく様子を見る」の割合が急増していることが確認できる。このような結果となった理由も、防災ワークショップで“場合によっては自宅待機の方が安全です。”との説明をしたため、住民が避難所への避難より自宅待機の方が安全であるとの自立的な意思決定をしたからではないかと考えられる。

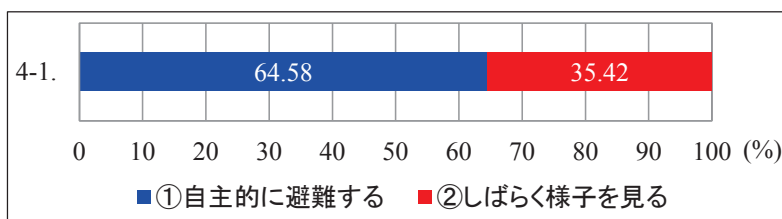


図 4-23 記録的降雨による避難勧告発令時の行動(アンケート調査 1)

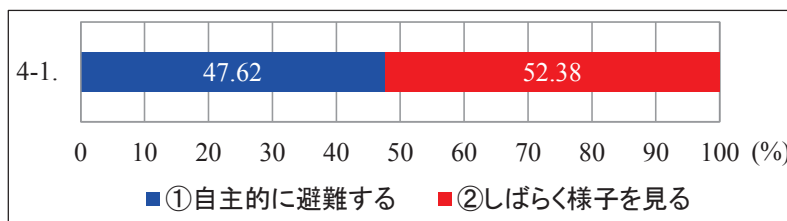


図 4-24 記録的降雨による避難勧告発令時の行動(アンケート調査 2)

4.5.4 アンケート調査結果のクロス分析

前節で述べたように、大正地区は浸水深の程度に関わらず全域が浸水域に含まれている。そこで本節では、アンケート調査 1 の問 1-1、問 1-5 についてクロス分析を行い、次章で扱う共分散構造分析によるアンケート調査 1 と 2 の分析の基礎資料を得ることとする。

ここで、「防災・減災への関心が高い人ほど、資料を適切に理解した上で浸水範囲の予想を正しく行っている」という仮説を立てる。「防災・減災への関心が高い」という住民とは、問 1-5 において「①非常に関心がある」と「②関心がある」に回答している住民のことであり、次いで「③どちらかというに関心がある」、「④関心がない」の順に防災・減災への関心が低くなると考えた。また、「浸水範囲の予想を正しく行っている」という住民とは、問 1-1 において「①町内全域が浸水」と回答している住民のことであり、次いで「③町内の比較的低い一部の地域のみが浸水」、「②町内の半分くらいが浸水」、「④浸水はしない」の順に浸水範囲の予想を正しく行っていないとした。

なお問 1-1 において、「②町内の半分くらいが浸水」より「③町内の比較的低い一部の地域のみが浸水」の方が浸水範囲の予想を正しく行っていると決定した理由には以下の二点ある。一点目は、「③町内の比較的低い一部の地域のみが浸水」と回答した住民は、地域全体を想定して問 1-1 に回答しているのではなく、回答者自身の住居周辺のみを想定して回答しており、洪水

ハザードマップの作成意図を理解し、資料を適切に利用していると判断したためである。二点目は、「②町内の半分くらいが浸水」と回答した住民は資料を利用しているものの、洪水ハザードマップの適切な作成意図の理解までは至らず“とりあえず町内は半分くらい浸水するのでは”と考えて、「②町内の半分くらいが浸水」を選択したと判断したためである。

図 4-25 において防災・減災への関心が高い人ほど、資料を適切に理解した上で浸水範囲の予想を正しく行っていることがわかる。すなわち、先述した「防災・減災への関心が高い人ほど、資料を適切に理解した上で浸水範囲の予想を正しく行っている」という仮定が正しいと判断できる。

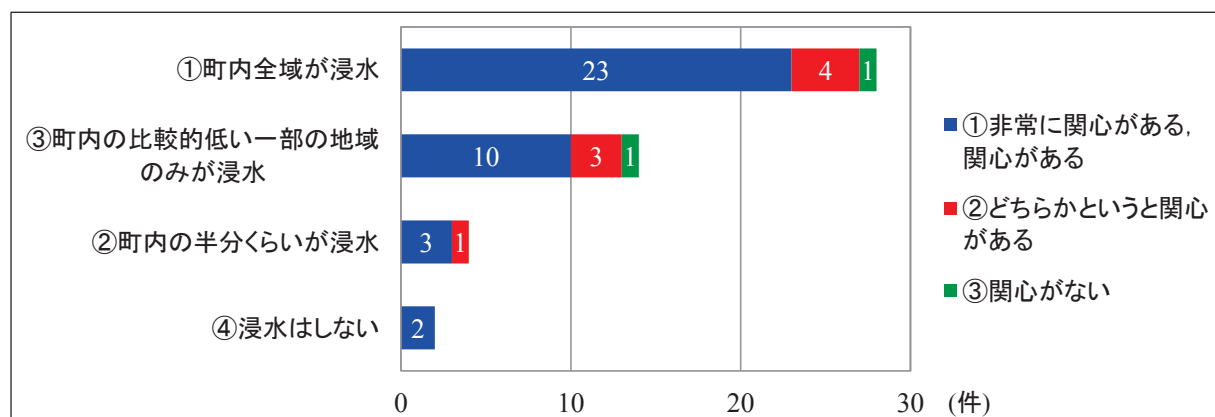


図 4-25 浸水範囲予想の適切さと防災・減災への関心度の関係

4.6 住民の自律的避難意思決定に関わる要因分析

ここでは、アンケート調査の結果に基づき、住民の自律的避難意思決定に係る要因を明らかにするため、共分散構造分析を行い、その結果を基に災害時における住民の自律的意思決定に有効な支援ツールの検証を行う。

4.6.1 共分散構造分析

共分散構造分析⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾とは、観測データの背後にある様々な要因の関係を分析する統計的手法である。ここで要因と呼ばれるものには、「(仕事の)達成感」、「知能」、「ブランド価値」といったような、数値として直接には観測できない概念的なものが含まれている。このような仮説構造体を、共分散構造分析では「構成概念」と呼ぶ。一方、アンケートなどによってデータとして得られるものを「観測変数」と呼ぶ。

共分散構造分析は、重回帰モデルや主成分分析モデル、因子分析モデルなどといった多変量解析モデル、さらには分散分析モデルを解析することのできる分析法である。以下に各統計手法を整理する¹²⁾。

(1)重回帰分析

多変量データに基づき、式(3.1)に示すように、目的変数 y を 2 つ以上の説明変数 x_i の 1 次式として表現し、目的変数の予測や各説明変数の目的変数に対する影響度分析を行う指標である。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_p x_p \quad (4.1)$$

ここに、 y は目的変数、 x_1, \dots, x_p は説明変数、 β_0 は切片(定数項)、 β_0, \dots, β_p は偏回帰係数である。式(4.1)は重回帰式と呼ばれ、 n 組のデータ $y_{i1}, x_{i1}, \dots, x_{ip}$ より、未知数である $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ を統計的に算出し、上式を求める。ここでの 1 次式とは、 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ に関する 1 次式であり、対数関数や指数関数などの複雑な関数であっても、変数変換を行うことで重回帰式を求めることができる。重回帰式においては、目的変数、説明変数共に量的変数となる。

(2)主成分分析

多変量データの中から、相互に相関の強い特性の合成変量を主成分として抽出し、主成分と個々の特性との関係を調べることで特性の分類を行う手法である。重回帰分析のように目的変数が存在せず、特性間関係を分析することで相互関係を整理するものである。複数の特性値が持つ情報をより少ない数の主成分へと集約し、重回帰分析を行う際に、取り上げる説明変数の絞り込みの手段として用いられるたりする。

(3) 因子分析

多変量データに基づき、特性間関係の背後にある潜在的な「共通因子」の存在を想定して因子を抽出し、因子と個々の変数との関係を調べることで、様々な仮説の立案を行うための手法である。主成分分析と同様に、目的変数は存在しない。因子分析は心理学や商品企画、およびマーケティングの分野で広く用いられており、想定した共通因子に対する特性間関係や、サンプル間関係を可視化して、そこから様々な仮説を立案することが行われている。因子分析には探索的因子分析(Exploratory Factor Analysis)という、観測変数の背後にある因子を探索する分析手法と、確認的因子分析(Confirmatory Factor Analysis)という、観測変数の背後にある因子構造をあらかじめ分析者が想定して現象の説明を行う分析手法の 2 つに分けることができる。

(4) 分散分析

分散分析とは、線形仮定、誤差の正規性、不偏性、等分散性、独立性を前提条件として、因子の水準変化に対する目的特性の変化と実験誤差による目的特性の変化を分散という統計量で表し、その比率の大小で、目的特性の変化に対す因子の有意性を検定する。回帰式の統計的な検証方法であり、3 つ以上の平均の有意差の検定の場合に分散分析を用いる(2 つの平均の有意差の検定の場合は t 検定を用いる)。

本研究では、アンケート調査により得られた観測変数間の因果関係を分析する確認的因子分析の手法を用いる。分析ツールには、エス・ピー・エス・エス株式会社の「Amos(エイモス: Analysis

of moment structures, 積率構造分析の略)」を用いる。Amos の大きな特徴のひとつとして、「複雑な関係をパス図で表現できる」ということが挙げられる。パス図とは、構成概念(因子分析で言う潜在変数)を楕円、観測変数を四角形とし、この二つの関係が矢印を使って表現したものである。変数間に因果関係を仮定する場合、Amos では単方向の矢印で表し、矢印の向きは、独立変数(原因となる変数)から、従属変数(結果となる変数)に向けている。パス図を使うことによって数式を使わずに表現できるため、第三者に対して自分の研究仮説(分析モデル)を分かりやすく伝えることが出来るというメリットがある。また、分析モデルの信頼性に関しては適合度指標によって判定される。適合度指標とは、分析モデルがデータに対して信頼性の高いモデルであることを示すもので、代表的な指標に NFI, CFI, RMSEA などがある。NFI, CFI の値が 0.9 より大きく 1 に近いほど、また RMSEA の値が 0.05 以下であれば、分析モデルがデータに対して信頼性の高いモデルであると見なされる。最終的に分析モデルの適合性に関しては、RMSEA を含む 2 つ以上の適合度指標が満たされている場合に、良いモデルと言われている。

4.6.2 パス図の作成と推定結果

ここでは、大正地区の洪水災害に対する住民の自律的意思決定に有効な支援ツールを明らかにするため、共分散構造分析を用いて検討する。分析資料には、住民に回答頂いたアンケート調査 1 と 2 の結果を用いる。本研究では、「防災・減災対応のあり方」に関する問いの選択肢、「避難所の新設」、「防災訓練の実施」、「防災・減災に関する講演会や講習会の企画」が住民の自律的意思決定であると捉えこれらを従属変数とし、従属変数に影響を与える独立変数、すなわち住民の自律的意思決定に影響を与える要因を「浸水範囲の予想時に利用する資料」とした。従属変数と独立変数の得点化については、2.4 を参考に決定している。具体的には、浸水範囲の予想を正しく行っており、防災・減災への関心が高い人ほど得点を高く設定している。表 4-2 および表 4-3 は、浸水範囲の予想時に用いた資料、および防災・減災対応のあり方に関する変数とその説明をしたものである。なお、大正地区防災マップには鳥取市の洪水ハザードマップの内容も含まれているため、大正地区防災マップと洪水ハザードマップは 1 つの観測変数にまとめている。

表 4-2 アンケート調査 1 の場合におけるパス図の変数について

	観測変数	アンケート項目
独立変数	大正地区防災マップ (洪水ハザードマップ)	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
	地図などを見ずに直感	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
従属変数	避難所の新設, 防災訓練の実施, 防災・減災に関する講演会や 講習会の企画	防災・減災対応のあり方
		防災・減災への関心

表 4-3 アンケート調査 2 の場合におけるパス図の変数について

	観測変数	アンケート項目
独立変数	大正地区防災マップ (洪水ハザードマップ)	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
	地盤高の地図	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
	避難行動シミュレーション	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
地図などを見ずに直感	浸水範囲の予想時に利用する資料	
	防災・減災への関心	
従属変数	避難所の新設, 防災訓練の実施, 防災・減災に関する講演会や 講習会の企画	防災・減災対応のあり方
		防災・減災への関心

(1) 避難所の新設に影響を与えるツール

図 4-26 を見ると、避難所の新設に最も影響を与えている変数は、アンケート調査 1 では推定値が 0.65 の「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」，アンケート調査 2 でも推定値が同じく 0.65 の「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」であることがわかる。また、アンケート調査 1 では「地図などを見ずに直感」が比較的高い推定値を示していたが、アンケート調査 2 では「地図などを見ずに直感」の推定値が下がり、「地盤高の地図」の推定値が少し高くなるといった傾向に変化している。このような結果となった原因は、防災ワークショップの開催により、住民は直感に頼らず何らかのツールを利用するようになったためであると考えられる。なお、全パス図に置かれている e は誤差変数であることを付記しておく。

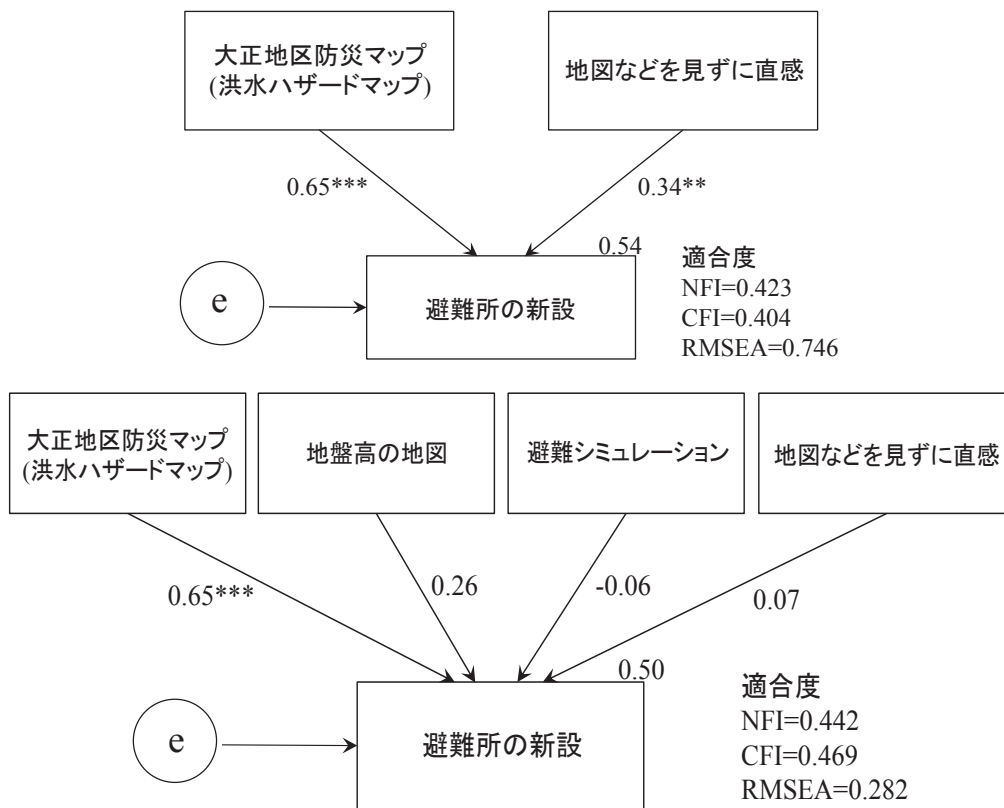


図 4-26 避難所の新設に関するパス図(上：アンケート調査 1，下：アンケート調査 2)
図中の*は 5%有意，**は 1%有意，***は 0.1%有意であることを表す

(2) 防災訓練の実施に影響を与えるツール

図 4-27 を見ると、アンケート調査 1 では「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」の方が高い推定値を示しているが、「地図などを見ずに直感」の推定値もかなり高い推定値を示している。ところがアンケート調査 2 では、「地図などを見ずに直感」の推定値は負の値となり、一方で「地盤高の地図」と「避難行動シミュレーション」が「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」に次いで「防災訓練の実施」に影響を与えていることがわかる。この結果は、防災訓練を実施すべきと考えている住民にとって、大正地区防災マップが必要な不可欠なツールであることに加えて、地盤高の地図と避難行動シミュレーションにおいても必要なツールとなりうることを表していると推察される。

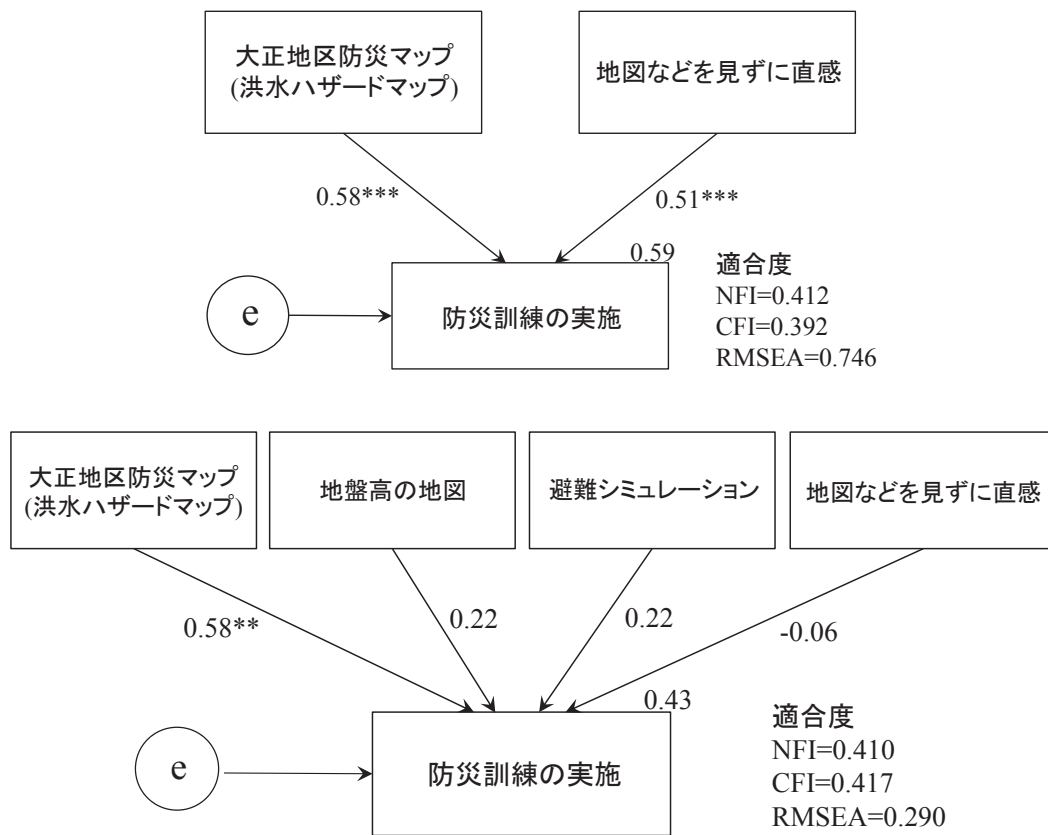


図 4-27 防災訓練の実施に関するパス図(上：アンケート調査 1, 下：アンケート調査 2)
 図中の*は 5%有意, **は 1%有意, ***は 0.1%有意であることを表す

(3) 防災・減災に関する講演会や講習会の企画に影響を与えるツール

図 4-28 を見れば図 4-27 と同様に、アンケート調査 1 では「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」の方が高い推定値を示しているが、「地図などを見ずに直感」の推定値もかなり高い推定値を示している。またアンケート調査 2 では、「地図などを見ずに直感」の推定値は負の値となり、一方で「地盤高の地図」の推定値が 0.37 と「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」の推定値 0.40 とほぼ同等の推定値となっている。したがって、大正地区における防災・減災に関する講演会や講習会を開催するきっかけには、大正地区防災マップと地盤高の地図が重要なツールとなると考えられる。

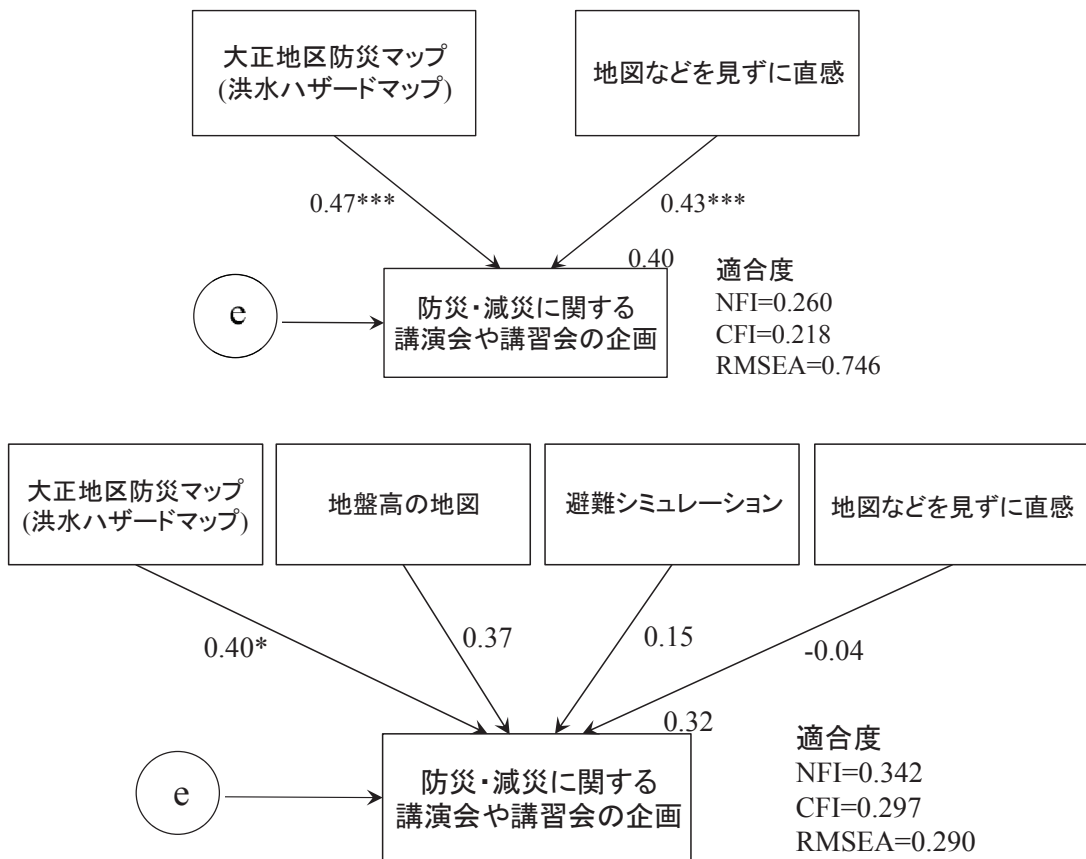


図 4-28 防災・減災に関する講演会や講習会の企画に関するパス図
 (上：アンケート調査 1, 下：アンケート調査 2)
 図中の*は 5%有意, **は 1%有意, ***は 0.1%有意であることを表す

4.6.2.2 自宅待機世帯を対象とした自律的意思決定に有効なツールの検証

4.6.2.1 と同様に、大正地区の洪水災害に対する、住民の自律的意思決定に有効な支援ツールに関する分析を行う。本項では、避難勧告発令時の意思決定において「しばらく様子を見る」、すなわち「自宅に待機する」と回答した住民を対象とした分析を行う。浸水範囲の予想時に用いた資料、および防災・減災対応のあり方に関する変数とその説明を表 4-4 および表 4-5 に示す。なお、従属変数と独立変数の得点設定は 3.2.1 と同じとしている。

表 4-4 アンケート調査 1 の場合におけるパス図の変数について

	観測変数	アンケート項目
独立変数	大正地区防災マップ (洪水ハザードマップ)	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
		避難勧告発令時の意思決定
	地図などを見ずに直感	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
		避難勧告発令時の意思決定
従属変数	避難所の新設, 防災訓練の実施, 防災・減災に関する講演会や 講習会の企画	防災・減災対応のあり方
		防災・減災への関心
		避難勧告発令時の意思決定

表 4-5 アンケート調査 2 の場合におけるパス図の変数について

	観測変数	アンケート項目
独立変数	大正地区防災マップ (洪水ハザードマップ)	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
		避難勧告発令時の意思決定
	地盤高の地図	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
		避難勧告発令時の意思決定
	避難行動シミュレーション	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
		避難勧告発令時の意思決定
	地図などを見ずに直感	浸水範囲の予想時に利用する資料
		防災・減災への関心
		避難勧告発令時の意思決定
従属変数	避難所の新設, 防災訓練の実施, 防災・減災に関する講演会や講習会 の企画	防災・減災対応のあり方
		防災・減災への関心
		避難勧告発令時の意思決定

(1) 避難所の新設に影響を与えるツール

図 4-29 を見ると、「避難所の新設」に最も影響を与えている変数は、アンケート調査 1 では推定値が 0.67 の「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」, アンケート調査 2 では推定値が 0.82 の「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」であることがわかる. 図 4-26 と図 4-29 とを比較すると, アンケート調査 1 の場合では「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」と「地図などを見ずに直感」の各推定値に大きな違いはないが, アンケート調査 2 の場合では, 自宅待機を選択する住民の方が「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」の推定値が大きくなっている. すなわち, 洪水時に自宅待機を選択する住民ほど大正地区防災マップを利用する傾向があると言えよう.

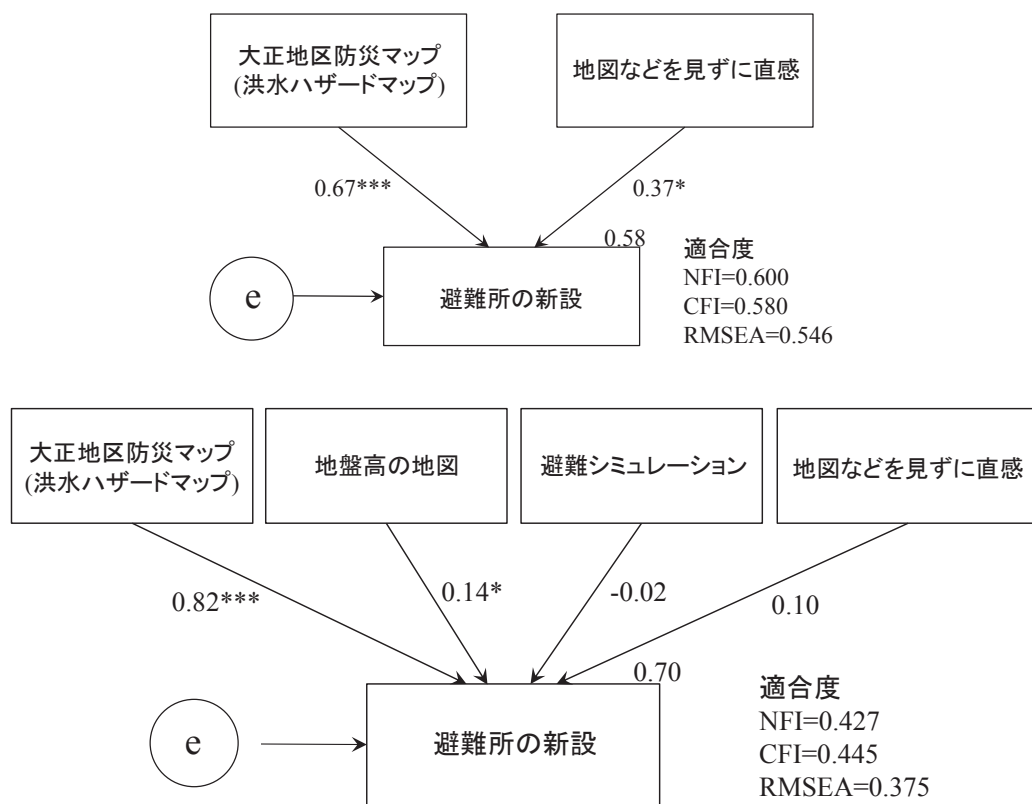


図 4-29 避難所の新設に関するパス図(上: アンケート調査 1, 下: アンケート調査 2)
 図中の*は 5%有意, **は 1%有意, ***は 0.1%有意であることを表す

(2) 防災訓練の実施に影響を与えるツール

図 4-30 を見ると、アンケート調査 1 では「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」の推定値より、「地図などを見ずに直感」の推定値の方が高い推定値を示している。ところがアンケート調査 2 では、「地図などを見ずに直感」の推定値は負の値となり、一方で「地盤高の地図」と「避難行動シミュレーション」が「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」に次いで「防災訓練の実施」に影響を与えていることがわかる。これらの結果は、洪水時に自宅待機を選び、防災訓練を実施すべきと考えている住民にとって、大正地区防災マップが必要不可欠なツールであることに加えて、地盤高の地図と避難行動シミュレーションにおいても必要なツールとなりうることを表していると思われる。

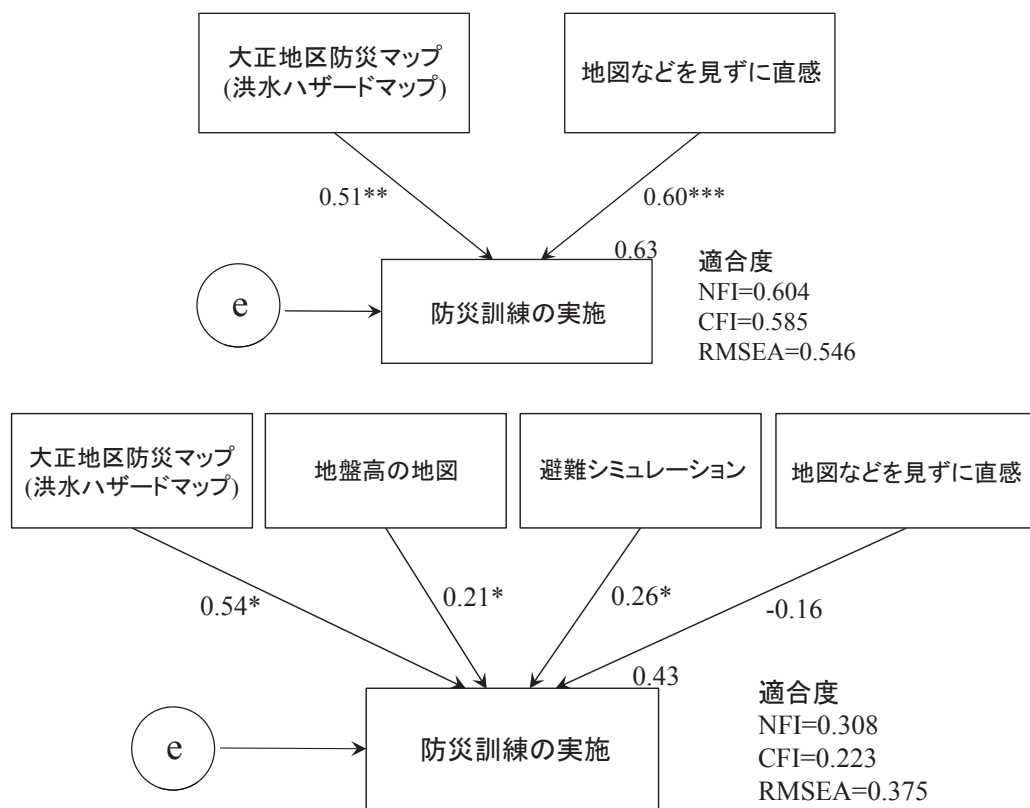


図 4-30 防災訓練の実施に関するパス図(上：アンケート調査 1，下：アンケート調査 2)
 図中の*は 5%有意，**は 1%有意，***は 0.1%有意であることを表す

(3) 防災・減災に関する講演会や講習会の企画に影響を与えるツール

図 4-31 を見れば図 4-30 と同様に、アンケート調査 1 では「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」の方が高い推定値を示しているが、「地図などを見ずに直感」の推定値も高い推定値を示している。またアンケート調査 2 では、「地図などを見ずに直感」の推定値は負の値となり、一方で「地盤高の地図」の推定値が 0.35 と「大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)」の推定値 0.39 とほぼ同等の推定値となっている。したがって、洪水時に自宅待機を選択する住民にとっても、大正地区における防災・減災に関する講演会や講習会を開催するきっかけには、大正地区防災マップと地盤高の地図が重要なツールとなると考えられる。

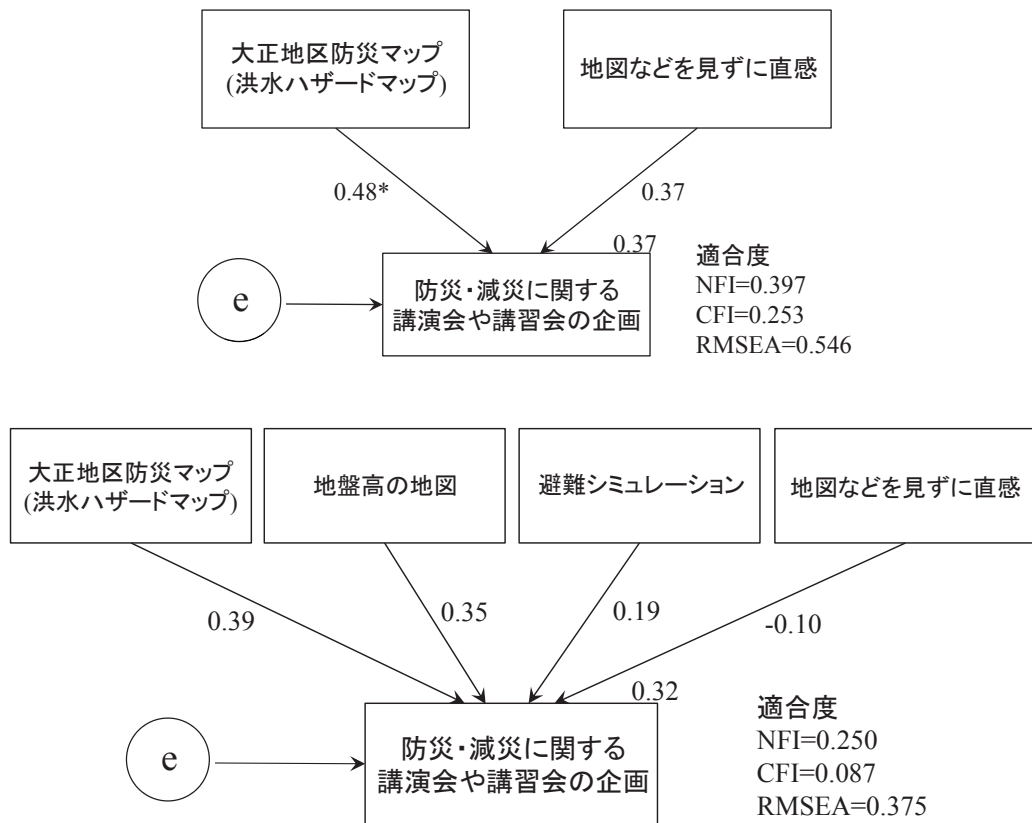


図 4-31 防災・減災に関する講演会や講習会の企画に関するパス図
 (上：アンケート調査 1，下：アンケート調査 2)
 図中の*は 5%有意，**は 1%有意，***は 0.1%有意であることを表す。

4.7 結語

本研究の結果をまとめると、鳥取市大正地区における住民の洪水災害に対する自律的意思決定には、大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)が極めて有効なツールであることが明らかとなった。また、防災・減災に関する講演会や講習会を開催するきっかけには、地盤高の地図も有効なツールであることがわかった。さらに、大正地区防災マップ(洪水ハザードマップ)を利活用し、洪水時には自宅に待機する住民は、避難所の新設を期待していることが確認された。1.3.3の鳥取市富桑地区における地域防災・減災マップづくりが、自律的な意思決定に基づいた住民個々人の防災・減災行動を高める可能性がある観点からも、地域防災・減災マップは、地域住民の自律的意思決定に対して大きな役割を持っていることは間違いないであろう。

<参考文献>

- 1) 財賀美希, 藤井俊久, 雁津佳英, 杓見吉晴: 住民の洪水災害に対する防災意識の把握と向上化施策に関する研究, 安全問題討論会'11 資料集, pp.191-196, 2011.
- 2) 藤井俊久, 雁津佳英, 杓見吉晴: 避難行動シミュレーションを用いた避難誘導世帯数と配置に関する検討, 安全問題研究論文集, Vol.5, pp.217-222, 2010.
- 3) 片田敏孝, 桑沢敬行: 津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.23, pp.250-261, 2006.
- 4) 片田敏孝, 浅田純作, 及川康: 洪水氾濫に備える河川情報, 日本災害情報学会 1999 研究発表大会論文集, No.1, pp.159-166, 1999.
- 5) 鹿児島県ホームページ, <http://www.pref.kagoshima.jp/index.html>
- 6) 気象庁ホームページ, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html>
- 7) 鳥取市ホームページ,
<http://www.city.tottori.lg.jp/www/toppage/000000000000/APM03000.html>
- 8) 鳥取市ホームページ, <http://www.city.tottori.lg.jp>
- 9) 小塩真司: はじめての共分散構造分析 Amos によるパス解析, 東京図書, 2008.
- 10) 田部井明美, SPSS 完全活用法 共分散構造分析(Amos)によるアンケート処理, 東京図書, 2001.
- 11) 豊田秀樹: 共分散構造分析[Amos 編], 東京図書, 2007.
- 12) 松岡由幸, 栗原憲二, 奈良敢也, 氏家良樹: 製品開発のための統計解析学—統計解析の誤用防止チェックリスト付き—, 共立出版, 2006.

第5章 歩行者と車両避難が混在する避難行動シミュレーションモデル

5.1 緒言

本章では、まず高齢者の運動能力や高齢社会での災害への備えに関する地域住民の実態調査結果より、高齢者の避難に対する自助の難しさと、地域の共助としてのコミュニティの重要性を検証し、ついで高齢者や災害時要援護者の避難対策としての自動車による避難誘導のための避難行動シミュレーションを構築する。特に避難行動シミュレーションの開発においては、今村ら¹⁾が提案した避難モデルの分類を参考に、蘆田²⁾がマルチエージェントシミュレーションに基づいて構築した避難行動シミュレーションモデルを応用して、新たに洪水避難行動シミュレーションモデルへ応用展開する。本研究のモデルは、個人属性の相違による意思決定の差や意思決定後の行動の違いを再現できるトランザクション型、対象地域の広さや分析の際の視覚性を考慮して交差点や避難場所をノード、道路網をリンクで表現したネットワーク型のモデルを採用している。また、避難経路の選択にあたり、刻々と変化する災害時の状況を避難者に知覚させ、順次避難経路の選択を考えさせることを念頭に置き、内生型のモデルを使用し、浸水データの作成にあたってはメッシュ型のモデルを採用している。災害時の避難対策としては、地域の住民の年齢構成を考慮した徒歩や車による避難誘導や、地理的条件を考慮した避難所設定など、地域特性に依存した避難行動について、ハードおよびソフト防災の両面から検討する必要がある。

本研究は、まず高齢社会での災害への備えに関する地域住民の実態調査結果より車での避難誘導の必要性を明らかにし、ついで徒歩と車による避難が混在した条件下での避難行動時の人と車の流れを時々刻々再現できる「動的な避難行動シミュレーション」の構築より、地域の道路事情に基づいた災害時要援護者に対する車での避難誘導方法についても考察したものである。また、この結果を鳥取市大正地区、明德地区に用いて、蘆田が開発した歩行者避難行動シミュレーションに自動車避難行動シミュレーションを追加し、要援護者の対応へのアプローチを考慮した現実性の高いモデルを開発している。

5.2 高齢社会における車両による避難誘導の必要性について

地震、津波、洪水、土砂崩れ、豪雪など、わが国は様々な災害に幾度となく見舞われてきた災害列島である。2011年3月に発生した東日本大震災は東北地方沿岸部のみならず、震源から遠く離れた都市の脆弱性をも改めて浮き彫りにし、様々な地域で災害に対する備えを進める必要性が再認識された。

都会と地方では、土地利用形態や人口が大きく異なるため災害への備え方も自ずと異なる。例えば、地方でも過疎地域では道路の途絶による集落の孤立、高齢者の迅速な避難には困難が想定され、これらの備えは重要である。このような地域で災害が昼間に発生した場合、高齢者の避難については、若者が遠方の勤務地で就労中であり、集落に高齢者しかいないという状況下で避難しなければならない可能性が高い。このように、地域の災害に対する耐力（防災力）が高齢化に伴って弱体化することは、過疎地域だけに限らず、高齢化が進む地方において固有の課題がある。

すなわち、自然災害の猛威が今後仮に今と変わらなくても、それに対抗する地域の人的な防災力が弱くなれば、災害で困難に直面する人が増え続けるという事態になる。

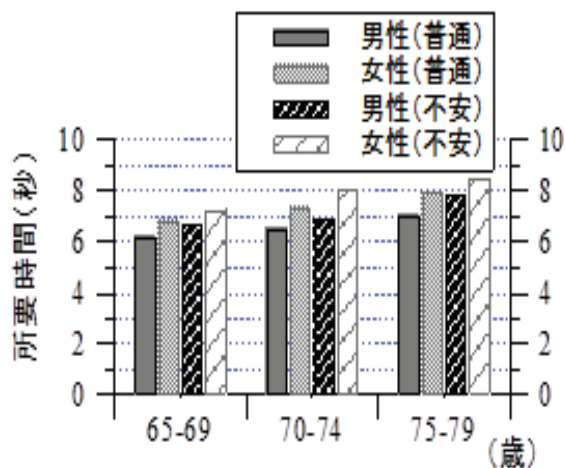
このようなことより、自然災害から地域を守るには、自然現象を理解し、それによる地域への影響を抑えるという視点も重要であるが、地域の人的な弱点を知った上で地域の耐力を高めるための仕組みづくりを始めることも地域防災力の向上化に対する本質的な視点となろう。

本研究は、まず高齢者の運動能力や高齢社会での災害への備えに関する地域住民の実態調査結果より、高齢者の避難に対する自助の難しさと、地域の共助としてのコミュニティの重要性を検証し、ついで高齢者や災害時要援護者の避難対策としての自動車による避難誘導の実現性を検討するため、人と車の流れを時々刻々再現できる「動的な避難行動シミュレーション」の構築より、地域の道路事情に基づいた災害時要援護者に対する車での避難誘導方法についても考察したものである。

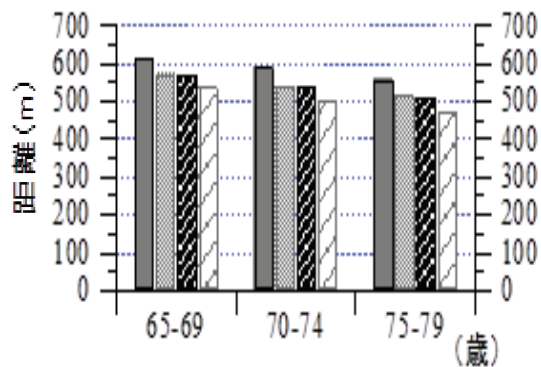
5.2.1 避難の観点から高齢者の運動能力について

文部科学省による平成22年度体力・運動能力調査⁴⁾によると、体力について普通、もしくは不安と回答した高齢者の10m 障害物歩行、6分間歩行のそれぞれの平均値を示したのが図5-1の (a) と (b) である。10m 障害物歩行とは、2m間隔で6個設置した障害物（幅10cm、高さ20cm）をまたぎ越すのに要する時間である。6分間歩行とは、1周30 m以上の周回路または50 m以上の折り返し直線路を利用して、普段歩く速さで6分間の歩行距離である。まず図5-1 (a) より体力が普通と回答された方の内、65～69歳という比較的若い高齢者と、今後人口の増加が予想される後期高齢者（75～79歳）の体力を比べてみると、10m 障害物歩行では男性で1.15倍、女性で1.17倍の時間を要している。さらに、体力が不安と回答されたかと比較すると、男性で1.27倍、女性で1.37倍と所要時間は増加する。この結果より、壮年層の男性が20分で避難できるところを後期高齢者では体力にも関係するが、23～27分以上要することになる。

また、避難先までの距離が長ければ、持久力の衰えも重なり、さらに多くの時間を要する可能性が十分に考えられる。このことは、図5-1 (b) に示す6分間歩行の結果からも窺える。後期高齢者の男女ともに65～69歳と比べて90%の距離しか到達できない。したがって、避難所への数分の遅れが致命的になりうる過酷な環境下では、運動能力のハンディキャップをカバーするために十分な早期の避難が必要となる。そのためには、災害への物的な備えや、防災意識の維持といった心理的な備えを平素から期すことが若者以上に重要となる。

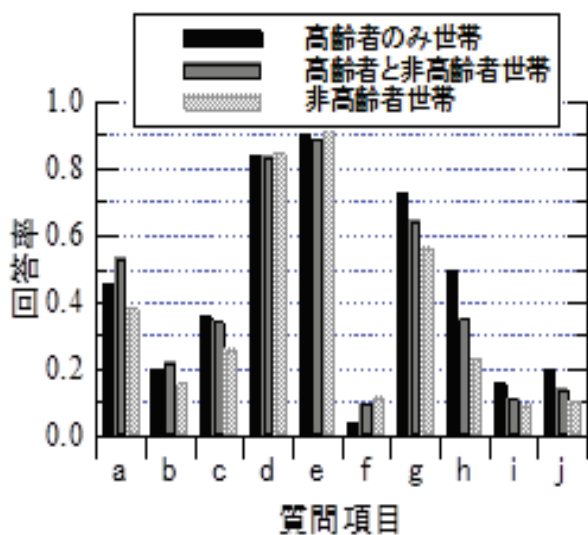


(a) 10m 障害物歩行



(b) 6min 歩行

図 5-1 高齢者の運動能力



項目番号	質問内容
a	災害に備えて保険に加入
b	防災訓練や防災活動に参加
c	高潮発生時の自宅危険性を想像できる
d	警報や注意報に注意を払う
e	日本に上陸しそうな台風に注意を払う
f	インターネットから情報を入手
g	テレビやラジオから情報を入手
h	避難場所と避難経路決めている
i	非常時飲食物や物品を用意
j	防災マップを所持

図5-2自然災害に対する普段の備え

5.2.2 災害への備えの実態調査

ここでは、平成20年に鳥取県境港市のある地区で実施したアンケート⁵⁾より、高齢者のみの世帯（サンプル数はn=70）、高齢者と非高齢者から成る世帯（n=210）、高齢者がいない世帯（非高齢者のみの世帯、n=250）という3種類の世帯の災害に対する普段の備えについて着目する。

運動能力ならびに家族の助力が得られる可能性を踏まえると、普段の備えに対する回答率について「高齢者のみの世帯>高齢者と非高齢者から成る世帯>非高齢者のみの世帯」という大小関係があれば、普段の備えを活かして迅速に避難することで、運動能力が低いという高齢者のハンディキャップは（少なくとも部分的に）カバーされることになる。

図5-3は、このような仮説の検証結果を示すもので、自然災害に対する普段の備えについて、それぞれ世帯種別に集計したものである。「d：警報や注意報に注意を払う」、「e：日本に上陸しそうな台風に注意を払う」、「f：インターネットから情報を入手」を除いては、ほぼ仮説の大小関係が成立している。「d：警報や注意報に注意を払う」、「e：日本に上陸しそうな台風に注意を払う」については、世帯属性の間に大差な大小関係が成立していないが、回答率が8割以上と備えを行っている世帯数の割合自体は高い。

次に、避難を決意してから持ち出し品などの準備を終えて家を出るまでに要する時間を図 5-4 に示す。この時間は、平素からの物的な備えや災害に対する危機意識が高ければ短くなると考えられる。この図において避難準備に要する時間が15分に対する累積割合がどの世帯種別についても55%ほどとなっており、3種類の世帯間に大きな差異はない。全体的な所要時間について3種類の世帯間を比較すると、僅かな差ではあるが、「高齢者のみ世帯<高齢者と非高齢者世帯<非高齢者世帯」の大小関係が成立している。すなわち、この結果についても同様に、高齢者の方がハンディキャップを平素から意識して補うように備えているものと推察できる。

しかしながら、この肯定的な結果を帳消しにするデータが図 5-5 である。この図は、高潮警報や避難勧告が出ている場合に「直ちに避難する」、「避難する必要があると思うが、しばらく様子を見る」、「避難する必要はないと思うが、しばらく様子を見る」、「避難しない」という4つの選択肢の内、どの行動をとるかを回答した結果である。「避難する必要はないと思うが、しばらく様子を見る」と「避難しない」の回答率が、「高齢者のみ世帯>高齢者と非高齢者世帯>非高齢者世帯」という大小関係である。また、「直ちに避難する」の回答率も他の世帯と比べて顕著に大きいわけではない。

備えがあり、また決意さえすれば避難開始行動も早いにもかかわらず、高齢者の構成比の高い世帯はそもそも避難を決意しない傾向にある。その理由として、高齢者にとって避難が身体に負担であるとか、自宅を離れるのが不安だということが考えられる。また、このアンケートでは過去に災害に遭遇した世帯がどの世帯についても2%以下と僅かであった。このため、長年にわたって被害遭遇の経験がなかったということが、避難の必要性を認めないことにつながっている可能性もあろう。いずれにせよ、高齢者の自助による避難には限界がある。

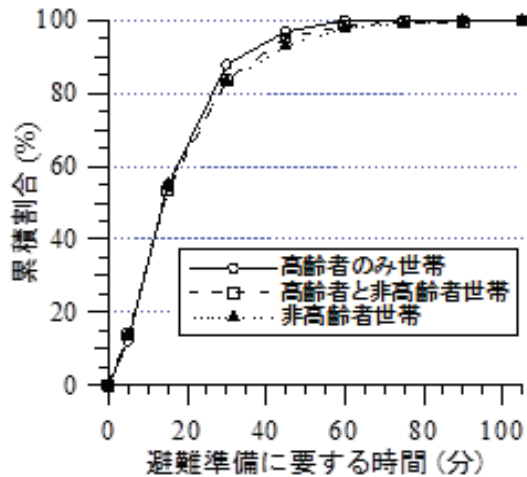


図 5-3 自然災害に対する普段の備え

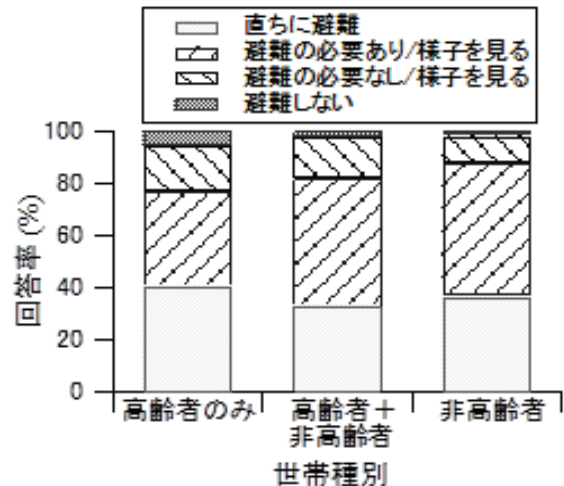
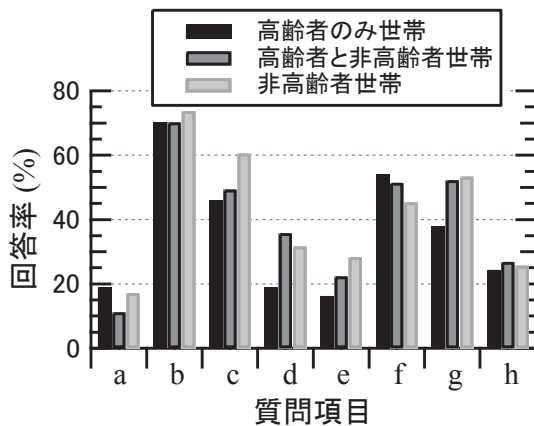


図 5-4 自然災害に対する普段の備え



項目番号	質問内容
a	町内会などが避難を手助けしてくれる
b	町内会などの避難の呼び掛けがある
c	近所の人たちが避難している
d	家族全員の居場所や状況が把握できている
e	家族全員が家に揃っている
f	自宅もしくは自宅周辺で家屋被害の予感
g	周辺状況（海や川）が危険だと感じる
h	長時間、暴風雨が続く

図5-5 避難の決意の条件

そこで、「避難する必要があると思うが、しばらく様子を見る」、「避難する必要はないと思うが、しばらく様子を見る」と回答した世帯に対して、どのような情報や条件が加われば避難を決意するのかについて集計した結果を図 5-5 に示す。どの世帯にも共通して「b：町内会などの避難の呼び掛けがある」が大きな回答率となっている。このことから、高齢者の避難の決意には、地域コミュニティによる共助が大きな意味をもつことが分かる。

地域コミュニティとして共助の役割が大きくても、地区内の限られた人材でどう対応すればよいのであろうかという疑問が生じる。この疑問を確かめるには、防災訓練などを実際に行うことも一案ではあるが、様子を見て避難すると回答している人は、そもそも訓練に参加してもらえないのかも怪しい。また、自動車による避難誘導も高齢者や災害時要援護者に対する共助として、さらには高齢者自ら自動車による避難も地域の自助・共助の連携に有効な手段と考えられる。そこで、自助や共助としての自動車避難の有効性を検証するため、地域における車両避難誘導に関する許容台数について歩行・車両避難行動シミュレーションより検討を行うこととした。

5.3 歩行者の避難行動に関するシナリオ設定

5.3.1 避難経路の導出および選択方法(ダイクストラ法)

グラフ理論において、最短経路問題を解くための代表的なアルゴリズムの一つにダイクストラ法があるが、本研究では各住民の自宅から避難場所までの最短経路の導出にこれを用いる。ダイクストラ法は、ある特定の起点ノードからネットワーク上の全てのノードまでのリンクコストを算出し、目的地となる終点ノードまでの最小リンクコストを求める手法である。リンクコストはリンクの物理的な距離のみならず、時間距離やコスト等であっても差し支えない。

蘆田は式(5.1)でリンク、すなわち道路長を道路幅で補正した値をリンクコスト c_1 と定義し、ダイクストラ法を用いて各避難場所ノードから各ノードまでの最小総リンクコストを算出している。本研究では、このリンクコストに「河からの距離」を指標に入れている。河川から水が溢れて氾濫する場合を想定し、河から離れようとする心理状態を考慮して、河からの距離によりリンクコストに影響を与えたとした。基本的に各ノードは道路網の交差点を表しており、道路が屈折している箇所は補間ノードを配置し、全体として滑らかな道路網となるよう表現した。また、住宅地が密集している箇所にもノードを配置し、避難開始から完了までのタイムラグを少なくした。歩行避難者の避難開始直前、および道路閉塞時の経路選択には、式(5.1)を用いて、現時点の自分の位置から最も近いノードを避難開始点、つまり起点ノードから終点ノードとなる避難場所までの最短距離を算定に与える。

$$c_1 = \begin{cases} l \left(1 + \frac{\alpha_1(4 - w_r)}{4} \right) + \frac{\alpha_2}{s_i} & (w_r < 4) \\ l + \frac{\alpha_2}{s_i} & (w_r \geq 4) \end{cases} \quad (5.1)$$

ここに、 c_1 を歩行避難用のリンクコスト、 l を道路(リンク)長[m]、 α_1 を各エージェントの道路幅に対する重みパラメータ、 w_r を道路幅[m]、 α_2 を各エージェントの河からの距離に関する重みパラメータ、 s_i を河からノード*i*までの距離[m]とする。 α_1 には0.25から0.75、 α_2 には2.5から7.5の数値を一様分布に従って乱数で与えており、これらの値はシミュレーション実行ごとに変化するよう設定している。なお、道路長を道路幅で補正する基準値($w_r=4$)の決定については、塚口ら⁶⁾の「道路幅員 4[m]未満の道路は歩行者も通行できない閉塞道路が非常に多い。」という考えを参考に決定していることを付記しておく。

式(5.1)は避難開始直前、および道路閉塞時の経路選択に用いているが、歩行避難者が避難開始後道路ネットワークを移動中に次に進むノードを決定する際、すなわち経路選択を行う際、式(5.1)によって算出した歩行避難者の現時点の位置から避難場所までの最小総リンクコストを用いて、式(5.2)に示す経路選択リンクコストを算出し、その経路選択リンクコストが最小となる経路を状況に応じて随時選択するように設定している。

$$C_1' = \begin{cases} C_{li} + l' \left(1 + \frac{\alpha_1(4 - w_r)}{4} \right) + \frac{\alpha_2}{s_i} & (w_r < 4) \\ C_{li} + l' + \frac{\alpha_2}{s_i} & (w_r \geq 4) \end{cases} \quad (5.2)$$

ここに、 C_1' を歩行避難用の経路選択リンクコスト、 C_{li} を次に進むノード*i*を経由して避難場所ノードに到達するのに要する歩行避難用の最小総リンクコスト、 l' を現時点のノードと次に進むノード間の道路(リンク)長[m]とする。なお、道路長を道路幅で補正する基準値($w_r=4$)の決定に関しては式(5.1)と同様である。

5.3.2 避難時の移動速度

避難行動の際の歩行速度に関する既往の研究は、今村らによると、避難速度は道路上の群集や車の密度、道路勾配の二つの要素の影響を受けるとし、各々の最高速度から交通密度と道路の縦断勾配による減速率の関係から避難速度を設定している。また、田村ら⁷⁾は道路の幅員による歩行可能性と歩行速度の逓減率を記している。さらに、鈴木ら⁸⁾はほとんどの住民が家族単位で一緒に避難行動を取ると述べており、岡田⁹⁾はグループ単位の避難行動では歩行速度が一番遅い者に同調する傾向が強くなると指摘している。

すなわち、群集密度が増大した場合、物理的な制約によって、人間の歩行速度は単純歩行時の自由歩行速度から群集歩行速度へシフトする。そして、やがて群集密度がある一定値を超えると、歩行速度は低下し、歩行速度の個人差も小さくなると推察できる。そこで、本研究では兼田¹⁰⁾の群集歩行速度式を参考に、新たな歩行速度式を式(5.3)から式(5.5)のように定義した。

$$V_1 = V_{cl} \times S \quad [\text{m/s}] \quad (5.3)$$

$$V_{cl} = \begin{cases} V_{01} & (0 \leq \rho_{cl} < 1) \\ V_{01} \exp\left[-\frac{1}{V_{01}}(\rho_{cl} - 1)\right] & (1 \leq \rho_{cl}) \end{cases} \quad [\text{m/s}] \quad (5.4)$$

$$\rho_{cl} = \frac{n_1}{3w_r} \quad [\text{人/m}^2] \quad (5.5)$$

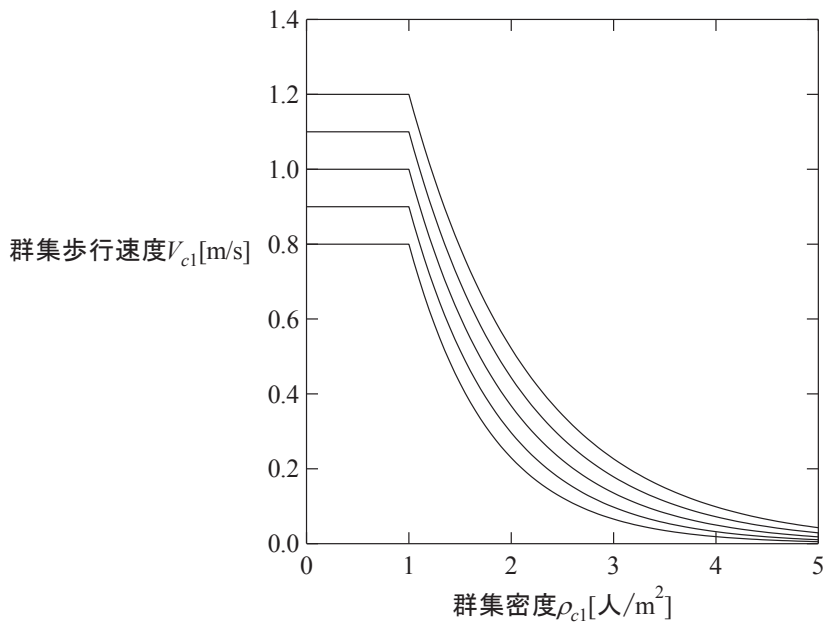


図 5-6 群集密度と群集歩行速度の関係

ここに、 V_1 を歩行速度[m/s]、 V_{c1} を群集歩行速度[m/s]、 S を幅の狭い道路に自動車が登場した場合に歩行を停止させるかどうかを判断する変数、 V_{01} を自由歩行速度[m/s]、 ρ_{c1} を群集密度[人/m²]、 n_1 を範囲内の人数[人]とする。

まず式(5.5)について説明すると、歩行中の前方範囲内の人数をカウントし、それを 1 秒当たり歩行に影響を与える距離である 3[m]と道路幅 w_r [m]を乗じたもので除したものが ρ_{c1} である。

次いで、式(5.4)および図 5-1 について説明すると、 ρ_{c1} が 1 以下の場合は自由歩行速度 V_{01} を低下させず、 ρ_{c1} が 1 以上の場合は自由歩行速度 V_{01} を低下させるように V_{c1} を与えている。 V_{01} は阿久津¹¹⁾の 65~69 歳女性の平均歩行速度および標準偏差を参考に、平均 0.9967[m/s]、標準偏差 0.1383[m/s]の正規分布に従うよう値を与えている(ただし V_{01} が 0[m/s]となるものは除外している)。

最後に式(5.3)についてであるが、道路幅 3m 以下の狭い道路上を通行している時、前方後方の各 5m 以内に自動車が存在する場合は $S=0$ として歩行を一旦停止させ、それ以外は $S=1$ とし歩行をそのまま V_{c1} の速さで続けさせるように設定している。

5.3.3 洪水氾濫中の避難による人的被害モデル

本研究で構築したシミュレーションモデルには、洪水による浸水エリアの広がりについて株式会社東京建設コンサルタントより提供して頂いた、洪水の浸水深メッシュデータを用いて再現した。このデータは地理情報システム(GIS)の 10m×10m メッシュに相当するもので、一定の時間間隔で浸水深のデータが作成されており、本シミュレーションモデルでは、データに対応する時間間隔で浸水データの更新を行うようプログラムしている。河川堤防の破堤による浸水開始後、2 分間隔で浸水データの更新を行う。

洪水氾濫時において、流速が 2.0[m/s]の時に浸水深[cm]/身長[cm]が 0.2 になると歩行ができなく

なる¹²⁾。例えば、身長 170[cm]の場合 34[cm]であり、身長 120[cm]の子供の場合は 24[cm]で歩行不能となる。今回の浸水データには流速が含まれていないため、浸水エリアには一律で 2.0[m/s]の流速を仮定し、浸水深が 30[cm](0.3[m])に達した時に歩行不能とする。これは子供のいる世帯では親が子を抱き、移動すると考えられることを想定して設定した。したがって、歩行避難の場合は避難移動中にノードおよびリンクの浸水深が 0.3[m]に達した時に歩行不能、すなわち被災者としてカウントし、経路選択時の次に進むノードが既に歩行不能浸水深 0.3[m]に達している場合は、そのノードを避難経路として選択しないように設定している。またリンク上を移動中、次に進むノードが歩行不能浸水深 0.3[m]に達してしまった場合、元いたノードに引き返し、元いたノードに戻った時、再びリンクコストを計算し避難経路を決定するように設定している。

以上より、本研究における歩行者の避難行動シナリオについて整理すると以下となる。

- i. 道路幅 4m 以上の広い道路をなるべく通る
- ii. 河川からなるべく離れながら避難する
- iii. i.と ii.を満たす条件の下、避難場所まで最短経路を用いる
- iv. 歩行不能浸水深は 0.3[m]である
- v. 経路選択時の次に進むノードが既に歩行不能浸水深に達している場合はそのノードを避難経路として選択しない
- vi. リンク上を移動中、次に進むノードが歩行不能浸水深に達してしまった場合、元いたノードに引き返して別の避難経路を決定する
- vii. 群集密度により混雑が発生している場合は歩行速度を低下させる
- viii. 幅の狭い道路で自動車の接近時には歩行を一端停止する

5.4 自動車の避難行動に関するシナリオ設定

基本的な行動シナリオは 5.2 と同じであるが、ここでは異なる箇所についてのみ以下に説明を記す。

5.4.1 避難経路の導出および選択方法(ダイクストラ法)

自動車避難者は避難を開始する直前、および道路閉塞時に式(5.6)を用いて、現時点の自分の位置から最も近いノードを避難開始点、つまり起点ノードから終点ノードとなる避難場所までの最短距離を計算している。なお、自動車避難者は歩行避難者と同様の道路ネットワーク上を移動することを付記しておく。

$$c_2 = \begin{cases} l \left(1 + \frac{\alpha_1 (10 - w_r)}{10} \right) + \frac{\alpha_2}{s_i} & (w_r < 10) \\ l + \frac{\alpha_2}{s_i} & (w_r \geq 10) \end{cases} \quad (5.6)$$

ここに、 c_2 を自動車避難用のリンクコストとする。なお、道路長を道路幅で補正する基準値 ($w_r=10$)の決定については、塚口ら 4)の「道路幅員 10[m]は自動車の通行が部分的であっても通行が可能であるか否かに大きく影響する幅員である。」という考えを参考に決定している。

次に、自動車避難者が避難開始後道路ネットワークの移動中、次に進むノードの決定には、式 (4.7)に示す経路選択リンクコストの算出によって、随時最適な避難経路を選択するようにしている。

$$C_2' = \begin{cases} C_{2i} + l' \left(1 + \frac{\alpha_1(10 - w_r)}{10} \right) + \frac{\alpha_2}{s_i} & (w_r < 10) \\ C_{2i} + l' + \frac{\alpha_2}{s_i} & (w_r \geq 10) \end{cases} \quad (5.7)$$

ここに、 C_2' を自動車避難用の経路選択リンクコスト、 C_{2i} を次に進むノード i を経由して避難場所ノードに到達するのに要する自動車避難用の最小総リンクコストとする。なお、道路長を道路幅で補正する基準値 ($w_r=10$)の決定に関しては式(5.6)と同様である。

また、上記以外の経路選択方法として、自動車避難者は自身の車幅を考慮して、道路幅員 2.5[m]未満のリンクは避難経路として選択しないようプログラムしている。さらに、一方通行や中央分離帯の存在による右折不可といった交通規制も、本研究の避難行動モデルでは有効にしている。

5.4.2 避難時の移動速度

自動車の車両速度は、道路上の群集や車両の密度、道路勾配、さらに車両間隔といった要因により変化する。本研究のシミュレーションモデルで定義した車両速度式を式(5.8)から式(5.11)に示す。なお、本研究における車両 1 台あたりの面積は、5 ナンバーの小型自動車の最大寸法¹³⁾を参考に 7.99[m²](全長 4.7[m]×全幅 1.7[m])としている。

$$V_2 = \begin{cases} V_{02} & (0 \leq \rho_{c2} < \rho'_{c2}) \\ V_{02} \exp \left[-\frac{1500}{V_{02}} (\rho_{c2} - \rho'_{c2}) \right] & (\rho'_{c2} \leq \rho_{c2}) \end{cases} \quad [\text{m/s}] \quad (5.8)$$

$$\rho_{c2} = \frac{n_2}{15w_r} \quad [\text{台/m}^2] \quad (5.9)$$

$$\rho'_{c2} = \frac{1}{1.7(1.8V_{02} + 4.7)} \quad [\text{台/m}^2] \quad (5.10)$$

$$V_2 = 2.777 \quad [\text{m/s}] \quad (5.11)$$

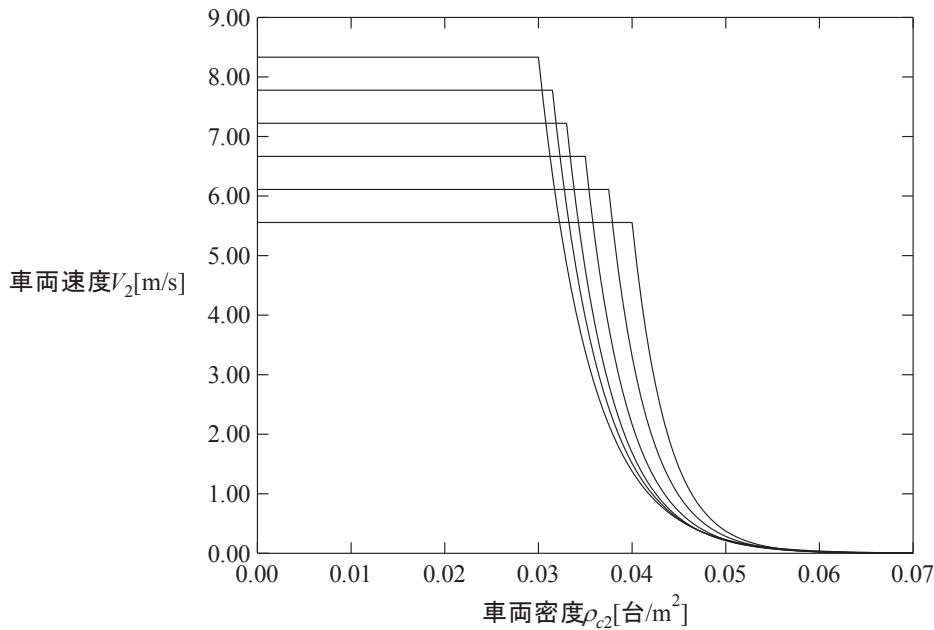


図 5-7 車両密度と車両速度の関係

ここに、 V_2 を車両速度[m/s]、 V_{02} を自由車両速度[m/s]、 ρ_{c2} を車両密度[台/m²]、 n_2 を範囲内の自動車の台数[台]、 ρ'_{c2} を車両速度の減速開始点[台/m²]とする。

自動車は走行中、常に適当な車間距離を取ろうとするが、自動車車間距離は自動車の車両速度により変化する。そこで、まず車両速度の減速開始点算出式である式(5.10)について説明すると、警視庁¹⁴⁾によれば車間距離は車両速度の 1.8 秒分が適当であるとしており、本研究では車間距離が車両速度の 1.8 秒分以下になる点を車両速度の減速開始点 ρ'_{c2} としている。

次いで式(5.9)について説明すると、走行中の前方範囲内の車両の台数をカウントし、それを 30[km/h]の 1.8 秒に進む距離である 15[m]と道路幅 w_r [m]を乗じたもので除したものが ρ_{c2} である。

さらに、式(5.8)と図 5-7 について述べると、車両密度 ρ_{c2} が ρ'_{c2} 未満である場合、そのまま自由車両速度 V_{02} で走行を続け、車両密度 ρ_{c2} が ρ'_{c2} 以上の場合、自由車両速度 V_{02} を低下させるように V_2 を与えている。なお、車間距離が 5[m]に近づく時(自分の車両一台分の面積 7.99[m²/台]に前方 5m 分のスペースを加えた面積 16.49[m²/台]に近づく時【車両密度で言うと 0.06[台/m²】)に、車両速度が 0[m/s]に近づくように設定している。 V_{02} は 5.556[m/s]から 8.333[m/s] (20[km/h]~30[km/h]) の速さをランダムに与え、 V_{02} の数値の設定については、以下 3 項目を理由に設定している。

- ① 研究対象エリアは狭い道路が多く、法定速度を 30km/h~50km/h と見込んだ
- ② 信号による停止時間をシミュレータで再現していない
- ③ 交差点の右左折による速度減少をシミュレータで再現していない

最後に式(5.11)について説明すると、道路幅が 3m 以下かつ、その道路上に歩行者が 1 人以上存在する場合に適用する車両速度である。なお、式(5.8)の 2 式目の車両速度と比較した時、式(5.8)の 2 式目の方の車両速度が低い場合は、式(5.8)の 2 式目を V_2 に適用する。

5.4.3 洪水氾濫中の車両避難による人的被害モデル

自動車避難の場合においても、5.2.3と同様の浸水データの読み込みによる人的被害の発生を有効とする。本研究では、自動車の場合の走行不能浸水深および流速を一意的に決定できなかったため、便宜的に歩行避難の場合と同様、浸水エリアに一律で2.0[m/s]の流速を仮定し、浸水深が0.3[m]に達した時に走行不能とした。したがって、自動車避難の場合についても避難移動中にノードおよびリンクの浸水深が0.3[m]に達した時に走行不能、すなわち被災者としてカウントする。

また、経路選択時の次に進むノードが既に走行不能浸水深0.3[m]に達している場合は、そのノードを避難経路として選択しないように設定している。なお、自動車避難の場合は、リンク上を移動中、次に進むノードが走行不能浸水深に達してしまった場合でも引き返さず、被災者としてカウントするようプログラムしている。これは、車両や歩行避難者が続いている中で、容易にUターンが出来ないと想定しているためである。

5.5 結語

本章では、高齢者の運動能力や高齢社会での災害への備えに関する地域住民の実態調査結果より高齢者や災害時要援護者の避難対策としての自動車による避難誘導の必要性を明らかにした。その避難行動を実現において必要不可欠な徒歩と車による避難が混在した条件下での避難行動時の人と車の流れを時々刻々再現できる動的な避難行動シミュレーションモデルを構築した。本モデルは、個人属性の相違による意思決定の差や意思決定後の行動の違いを再現できるトランザクション型、対象地域の広さや分析の際の視覚性を考慮して交差点や避難場所をノード、道路網をリンクで表現したネットワーク型のモデルを採用した。避難経路の選択方法については、刻々と変化する災害時の状況を避難者に知覚させ、順次避難経路の選択を考えさせることを念頭に置き、内生型のモデルを使用し、浸水データの作成にあたってはメッシュ型のモデルを採用した。なお、ここで開発された動的な避難行動シミュレーションモデルを鳥取市大正地区、明德地区を対象に適用し、その検証を次の6章で論じる。

<参考文献>

- 1) 今村文彦, 鈴木介, 谷口将彦: 津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適応, 自然災害科学, 第 20 卷, 第 2 号, pp.183-195, 2001.
- 2) 蘆田哲也: 避難行動シミュレーションを用いた沿岸地域の津波に対する脆弱性の評価, 鳥取大学大学院工学研究科社会開発システム専攻, 修士論文, 2008.
- 3) MAS コミュニティホームページ, <http://mas.kke.co.jp/index.php>
- 4) 文部科学省: 平成 22 年度体力・運動能力調査, 政府統計の総合窓口内, 14.体力に関する意識別体格測定・テストの結果, <http://www.estat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001016672>
- 5) 松見吉晴, 雁津佳英: 高潮災害を対象としたソフト防災に関する考察, 海岸工学論文集, 第 56 卷, pp.1366-1370, 2009.
- 6) 塚口博司, 戸谷哲男, 中辻清恵: 阪神・淡路大震災における道路閉塞状況に関する研究, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp.377-388, 1997.
- 7) 田村保, 西畑剛, 森屋陽一, 瀧本浩一, 三浦房紀: 街道閉鎖を考慮した津波浸水時の避難行動シミュレーション手法の適用, 海岸工学論文集, 第 52 卷, pp.1286-1290, 2005.
- 8) 鈴木介, 今村文彦: 住民意識・行動を考慮した津波避難行動シミュレーションモデル, 自然災害科学, 第 23 卷, 第 4 号, pp.521-538, 2005.
- 9) 岡田光正: 建築と都市の人間工学 空間と行動の仕組み, 鹿島出版会, 1977.
- 10) 兼田敏之: artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション, 書籍工房早山, pp.13-60, 2010.
- 11) 阿久津邦男: 歩行の科学, 不昧堂出版, pp.56-57, 1975.
- 12) 国土交通省: 地下空間における浸水対策ガイドライン 同 解説<技術資料>, pp.11, 2002.
- 13) 平成二三年一月七日国土交通省令第七九号, 別表第一.
- 14) 警視庁ホームページ, <http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/kousoku/osirase1.html>

第6章 洪水を対象とした歩行者と車両避難に関する避難行動分析

6.1 緒言

本章では、鳥取市大正・明徳の2つの地区を対象に第5章において開発した、洪水避難行動シミュレーションモデルを適用し、そのモデルの検証と併せて、当該地区での自動車による避難に関する許容台数を算出する。また、動的な避難行動シミュレーション結果を住民に見てもらい被避難勧告、避難指示発令後の避難開始に至るまでの時間短縮に対して、避難行動シミュレーションの効用の検証も行っている。

6.2 道路ネットワークの構築

避難モデルにおける世帯の構成人数の設定に当たっては、両地区共に1世帯を1つのエージェントとし、1世帯当たり1～5人を20%ずつランダムに、地区の総人数になるように与えている。道路ネットワークの作成には、Yahoo!地図より得た対象地域の地図データを背景に、道路網



図 6-1 大正地区北部分の道路ネットワーク



図 6-2 大正地区南部分の道路ネットワーク



図 6-3 明徳地区の道路ネットワーク

の交差点および道路の屈折部分に目視でノードをプロットして座標を取得した。リンクの距離には接続する2つのノードの座標から算出された距離を与えた。また、湾曲が大きい道路については補間ノードを配置し、全体として滑らかな道路網となるよう表現した。本研究で対象エリアとした大正地区は、東西約2km、南北約4kmと非常に広範囲であることから、シミュレーションでは北部分と南部分の2つに分割してネットワークを構築し、大正地区北部分はノード数537、リンク数676、世帯数1492で図6-1に示す道路ネットワーク、大正地区南部分はノード数290、リンク数353、世帯数172で図6-2に示す道路ネットワークをそれぞれ構築した。同じく明德地区では、ノード数504、リンク数611、世帯数867で図6-3のような道路ネットワークを構築した。図中の赤い丸印が避難所ノードを表している。

大正地区北部分の避難所は、世紀小学校、高草中学校、大正体育館、高草人権福祉センター、古海児童館、大正小学校、大正地区公民館、大正保育園の8ヶ所、大正地区南部分の避難所は、日本海ゴルフセンター、はまゆう診療所の2か所である。

明德地区の避難所は、中央人権福祉センター、明德地区公民館、JA トスク本店、明德小学校、代行パーキング、大丸パーキング、イオン鳥取店、ワールドカップパーキングの8ヶ所である。また、明德地区における避難所および町内会図は付録に掲載している。なお本研究では、シミュレーション開始時刻は避難勧告発令と同義としている。

6.3 避難想定モデルと避難開始時間の設定

大正地区を対象に行った洪水避難行動シミュレーションモデルは、表6-1に示す28種類のケースについて行う。なお、「浸水無」のモデルを設定した理由は、「浸水有」と「浸水無」とのモデルにおいて、避難所ごとの避難完了時間に差異が見られるかを考察するためである。

表 6-1 大正地区の洪水避難行動シミュレーションモデルの各ケース

Case1	大正地区北部分におけるアンケート調査1の結果を反映させたモデル(浸水無)
Case2	大正地区北部分におけるアンケート調査1の結果を反映させたモデル(浸水有)
Case3	大正地区北部分におけるアンケート調査2の結果を反映させたモデル(浸水無)
Case4	大正地区北部分におけるアンケート調査2の結果を反映させたモデル(浸水有)
Case5	大正地区南部分におけるアンケート調査1の結果を反映させたモデル(浸水無)
Case6	大正地区南部分におけるアンケート調査1の結果を反映させたモデル(浸水有)
Case7	大正地区南部分におけるアンケート調査2の結果を反映させたモデル(浸水無)
Case8	大正地区南部分におけるアンケート調査2の結果を反映させたモデル(浸水有)
Case13	大正地区北部分におけるアンケート調査2の結果を反映、および自動車避難の割合が10%のモデル(浸水有)
Case14	大正地区北部分におけるアンケート調査2の結果を反映、および自動車避難の割合が20%のモデル(浸水有)

Case15	大正地区北部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 30%のモデル(浸水有)
Case16	大正地区北部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 40%のモデル(浸水有)
Case17	大正地区北部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 50%のモデル(浸水有)
Case18	大正地区北部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 60%のモデル(浸水有)
Case19	大正地区北部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 70%のモデル(浸水有)
Case20	大正地区北部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 80%のモデル(浸水有)
Case21	大正地区北部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 90%のモデル(浸水有)
Case22	大正地区北部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 100%のモデル(浸水有)
Case23	大正地区南部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 10%のモデル(浸水有)
Case24	大正地区南部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 20%のモデル(浸水有)
Case25	大正地区南部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 30%のモデル(浸水有)
Case26	大正地区南部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 40%のモデル(浸水有)
Case27	大正地区南部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 50%のモデル(浸水有)
Case28	大正地区南部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 60%のモデル(浸水有)
Case29	大正地区南部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 70%のモデル(浸水有)
Case30	大正地区南部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 80%のモデル(浸水有)
Case31	大正地区南部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 90%のモデル(浸水有)
Case32	大正地区南部分におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 100%のモデル(浸水有)

住民を想定したエージェントは、大正地区北部分では 14 町内会(徳吉団地, 徳尾, 徳尾ニュータウン, 緑ヶ丘 1 区, 緑ヶ丘 2 区, 緑ヶ丘 3 区, 緑ヶ丘 4 区, 古海 1 区, 古海 2 区, 古海 3 区, 古海 4 区, 高草団地, 古海上, 山ヶ鼻)ごとに、大正地区南部分では 3 町内会(菖蒲, 服部, 野寺)ごとに世帯数を割り当て、各地区内で初期配置を実行回数ごとにランダムに設定した。洪水避難行動シミュレーションは、Case1 から Case8 については各 100 回ずつ、Case13 から Case32 については各 50 回ずつ、大正地区北部分は 1492 世帯、大正地区南部分は 172 世帯を対象に、1 ステップを 1 秒として実行した。

また、防災ワークショップ開催後に行ったアンケート調査 2 の結果を反映させたモデルでは、アンケート調査 2 の問 4-1 で「②しばらく様子を見る」と回答した住民に対して、避難時の移動手段に関わらず自宅待機で避難完了となるようモデルを構築している。このような判断を下した理由として、開催した防災ワークショップでは、ハザードマップに記されている洪水時の避難行動に関わる意思決定の重要性について説明し、「場合によっては自宅待機の方が安全です。」との説明をしたためである。

各ケースにおける移動手段と避難勧告発令後の避難開始時間の平均および標準偏差は、アンケート調査1と2の「避難開始のための準備時間」に関する設問より、表6-2から表6-5のように計算され、各モデルに設定している。すなわち、シミュレーションにおいて、住民の避難開始時間は各ケースにおける平均、標準偏差の正規確率分布に従う乱数を用いて決定している。なお、「浸水有」としたモデルでの浸水開始時間(破堤時間)は、避難勧告発令から何分後に破堤するかは予測不可能のため、今回は便宜的に避難勧告発令後60分(3600ステップ)とした。また、洪水による浸水エリアの再現については、株式会社東京建設コンサルタントより提供して頂いた、洪水の浸水深メッシュデータを用いており、シミュレーションでは2分ごとに浸水深メッシュデータを更新し、浸水域と浸水深を与えている。

表 6-2 Case1 と Case2 移動手段と避難勧告発令後の避難開始時間の平均, 標準偏差

移動手段とその割合	徒歩 75.76%	自動車 24.24%
自主的に避難する世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	64.0% 36.56', 6.09'	75.0% 23.33', 3.83'
しばらく様子を見る世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	36.0% 36.67', 6.11'	25.0% 55', 9.17'

表 6-3 Case3 と Case4 移動手段と避難勧告発令後の避難開始時間の平均, 標準偏差

移動手段とその割合	徒歩 100%	自動車 0%
自主的に避難する世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	41.67% 27.4', 4.57'	
しばらく様子を見る世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	58.33% 31.43', 5.24'	

表 6-4 Case5 と Case6 移動手段と避難勧告発令後の避難開始時間の平均, 標準偏差

移動手段とその割合	徒歩 80.95%	自動車 19.05%
自主的に避難する世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	58.82% 27.0', 4.50'	100.0% 27.5', 4.58'
しばらく様子を見る世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	41.18% 32.14', 5.36'	

表 6-5 Case7 と Case8 移動手段と避難勧告発令後の避難開始時間の平均, 標準偏差

移動手段とその割合	徒歩 100%	自動車 0%
自主的に避難する世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	70.0% 21.43', 3.57'	
しばらく様子を見る世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	30.0% 10.0', 1.67'	

6.4 避難シミュレーションの効用の検証

以下に Case1 から Case8 における，各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの所要時間に関する表と図を示す．まず，Case1 から Case4 の大正地区北部'に関する検証を行う．

表 6-6 Case1 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	大正小学校 大正保育園 大正地区公民館	高草中学校	古海児童館	高草人権福祉センター	大正体育館	世紀小学校
最大避難完了時間	5544step (92'24")	5131 step (85'31")	5105 step (85'5")	5096 step (84'56")	4687 step (78'7")	5604 step (93'24")
最小避難完了時間	3649 step (60'49")	3383 step (56'23")	3764 step (62'44")	3348 step (55'48")	3135 step (52'15")	3906 step (65'6")
平均避難完了時間	4455 step (74'15")	4253 step (70'53")	4442 step (74'2")	4099 step (68'19")	3838 step (63'58")	4597 step (76'37")
標準偏差	410 step (6'50")	366 step (6'6")	299 step (4'59")	364 step (6'4")	393 step (6'33")	387 step (6'27")

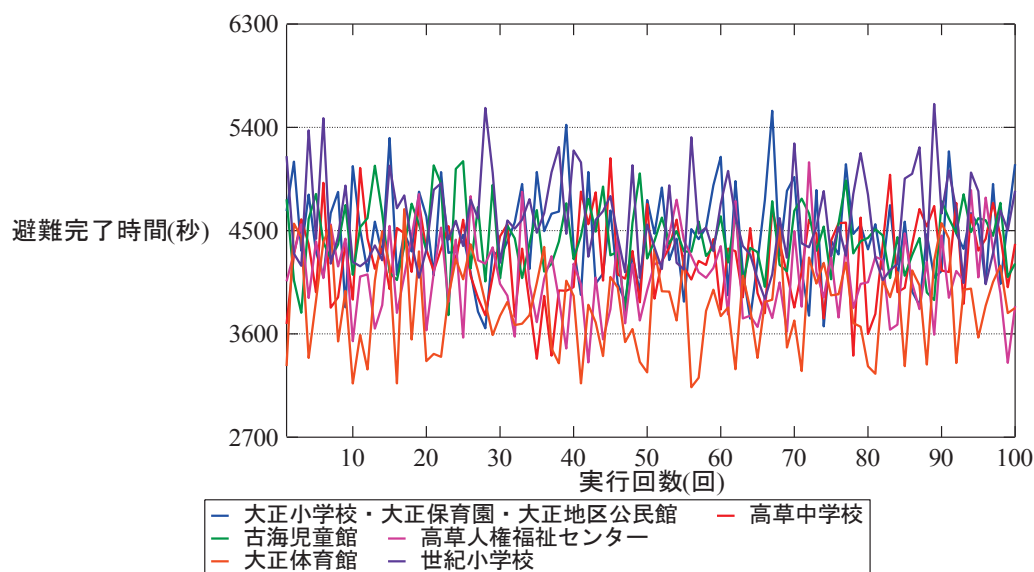


図 6-4 Case1 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

表 6-7 Case2 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	大正小学校 大正保育園 大正地区公民館	高草中学校	古海児童館	高草人権福祉センター	大正体育館	世紀小学校
最大避難完了時間	5158step (85'58")	4967step (82'47")	5411step (90'11")	4922step (82'2")	4794step (79'54")	5775step (96'15")
最小避難完了時間	3460step (57'40")	3437step (57'17")	3945step (65'45")	3442step (57'22")	3163step (52'43")	3906step (65'6")
平均避難完了時間	4301step (71'41")	4228step (70'28")	4454step (74'14")	4037step (67'17")	3861step (64'21")	4586step (76'26")
標準偏差	364step (6'4")	347step (5'47")	278step (4'38")	307step (5'7")	350step (5'50")	368step (6'8")

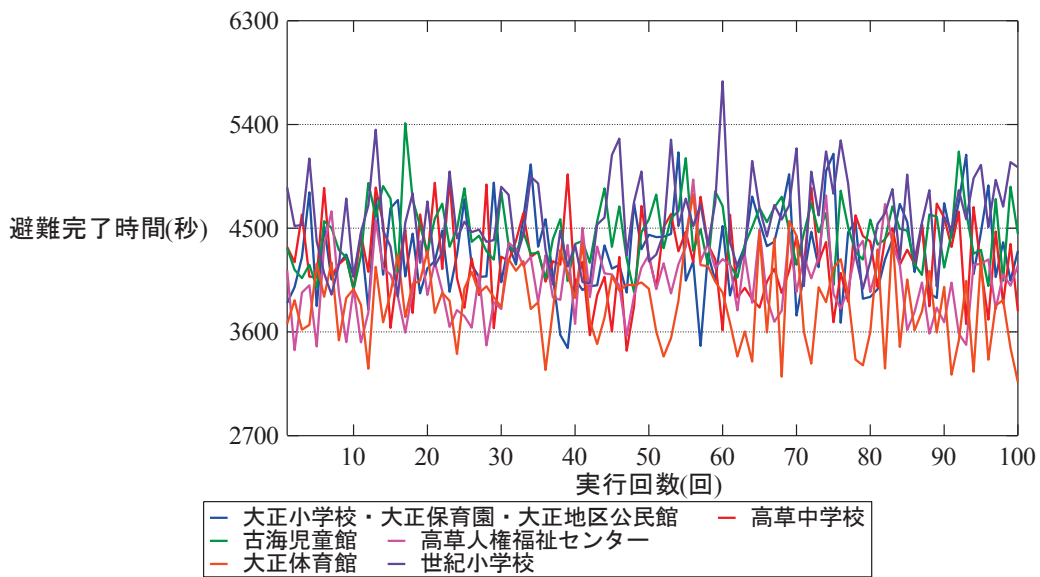


図 6-5 Case2 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

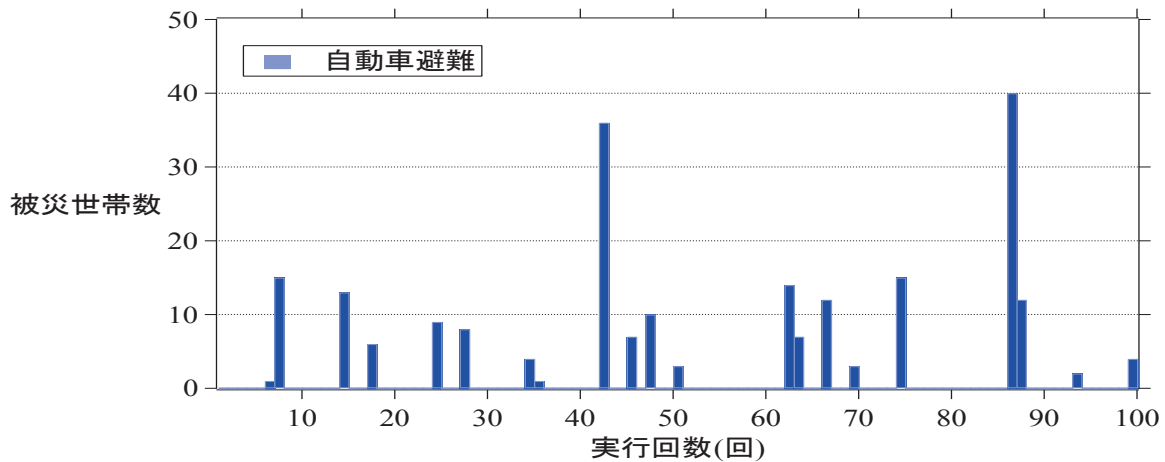


図 6-6 Case2 実行回数ごとの被災世帯数

Case1 のシミュレーションの結果を表 6-6 と図 6-4, Case2 のシミュレーション結果を表 6-7 と図 6-5 に示す. 避難所ごとに所要時間を見ると, 両ケースともに世紀小学校の避難完了時間が他の避難所より多くかかっているが, どの避難所も平均避難完了時間は 60 分以上を要しており, バラつきに差はあるものの, 避難完了時間はそれほど極端に異なっていない. また, Case2 の計算実行回数ごとの被災世帯を示した図 6-6 を見ると, 浸水有とした Case2 では, 避難時の移動手段が自動車である世帯で被災世帯が発生しており, シミュレーションでは約 5 回に一度の割合で被災世帯が発生していることが確認された. 被災世帯が発生した原因として, 移動手段が自動車で, 避難勧告後しばらく様子を見る世帯の平均避難開始時間が 55 分と遅く, 自動車での避難であることから狭い道路で渋滞が発生し, 被災したと考えられる.

表 6-8 Case3 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	大正小学校 大正保育園 大正地区公民館	高草中学校	古海児童館	高草人権福祉センター	大正体育館	世紀小学校	自宅待機
最大避難完了時間	3513step (58'33")	3620step (60'20")	3723step (62'3")	3025step (50'25")	2939step (48'59")	3428step (57'8")	3251step (54'11")
最小避難完了時間	2521step (42'1")	2397step (39'57")	3006step (50'6")	2385step (39'45")	2209step (36'49")	2588step (43'8")	2711step (45'11")
平均避難完了時間	2798step (46'38")	3120step (52'0")	3307step (55'7")	2638step (43'58")	2501step (41'41")	3010step (50'10")	2910step (48'30")
標準偏差	186step (3'6")	236step (3'56")	158step (2'38")	127step (2'7")	168step (2'48")	178step (2'58")	109step (1'49")

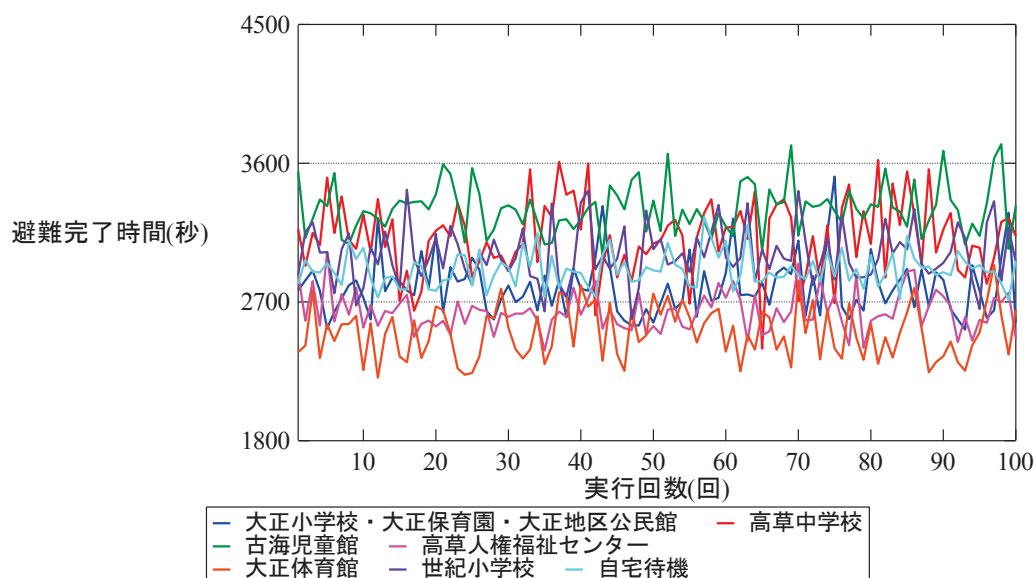


図 6-7 Case3 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

表 6-9 Case4 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	大正小学校 大正保育園 大正公民館	高草中学校	古海児童館	高草人権 福祉セン ター	大正体育 館	世紀小学 校	自宅待機
最大避難 完了時間	3429step (57'9")	3803step (63'23")	3889step (64'49")	3037step (50'37")	2829step (47'9")	3856step (64'16")	3375step (56'15")
最小避難 完了時間	2448step (40'48")	2700step (45'0")	2988step (49'48")	2440step (40'40")	2176step (36'16")	2649step (44'9")	2673step (44'33")
平均避難 完了時間	2779step (46'19")	3174step (52'54")	3336step (55'36")	2645step (44'5")	2465step (41'5")	3039step (50'39")	2899step (48'19")
標準偏差	180step (3'0")	223step (3'43")	171step (2'51")	120step (2'0")	139step (2'19")	194step (3'14")	127step (2'7")

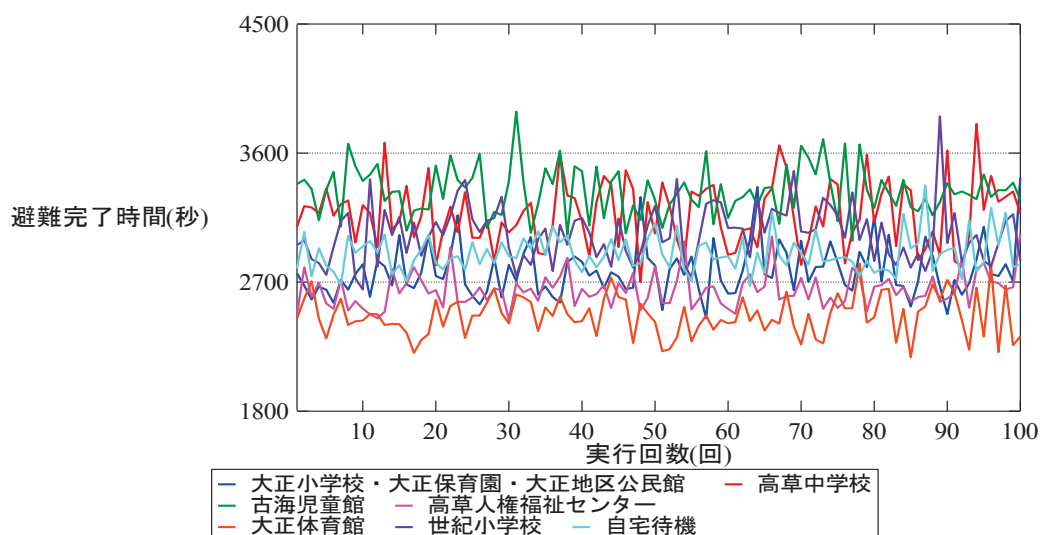


図 6-8 Case4 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

Case3 のシミュレーションの結果を表 6-8 と図 6-7, Case4 のシミュレーション結果を表 6-9 と図 6-8 に示す。避難所ごとに所要時間を見ると, Case1 と Case2 では世紀小学校の避難完了時間が他の避難所よりも多くかかっていたが, Case3 と Case4 では古海児童館の避難完了時間が他の避難所よりも多くかかっている。しかし, 防災ワークショップ開催後の状態の Case3 と Case4 の 2 ケースの状態を見ると, 開催前の状態の Case1 と Case2 の 2 ケースの状態と比較して, 最大避難完了時間, 最小避難完了時間, 平均避難完了時間とも 15 分から 30 分程度短縮されているのが確認できる。また標準偏差の数値も低下し, バラツキが少なくなった。

このような結果となった理由は, 表 6-2 と表 6-3 を見るとわかるように, 防災ワークショップの開催により平均避難時間が早くなったことが挙げられる。また, 移動手段がすべて徒歩に変わっただけでなく, しばらく様子を見る世帯が全て自宅待機となり, 避難経路の交通密度が減少して移動がスムーズに行われたことも理由の一つと考えられる。さらに, 表 6-2 と表 6-3 を見ると防災ワークショップ開催により, しばらく様子を見る世帯の割合が増加しており, これは住民の

洪水時における自律的な意思決定力が向上した結果であると捉えることができよう。なお、Case4 は浸水有にも関わらず被災世帯は確認されなかった。

次に、Case5 から Case8 の大正地区南部分に関する検証を行う。Case5 のシミュレーションの結果を表 6-10 と図 6-9、Case6 のシミュレーション結果を表 6-11 と図 6-10 に示す。避難所ごとに所要時間を見ると、両ケースともに日本海ゴルフセンターの避難完了時間がはまゆう診療所のそれより多くかかっているが、両ケースとも日本海ゴルフセンターは 60 分以上、はまゆう診療所は 30 分以上の避難完了時間を要している。また、浸水有である Case6 に被災世帯は確認されなかった。

表 6-10 Case5 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	日本海ゴルフセンター	はまゆう診療所
最大避難完了時間	5202 step (86'42")	3454 step (57'34")
最小避難完了時間	3712 step (61'52")	2482 step (41'22")
平均避難完了時間	4275 step (71'15")	2934 step (48'54")
標準偏差	256 step (4'16")	163 step (2'43")

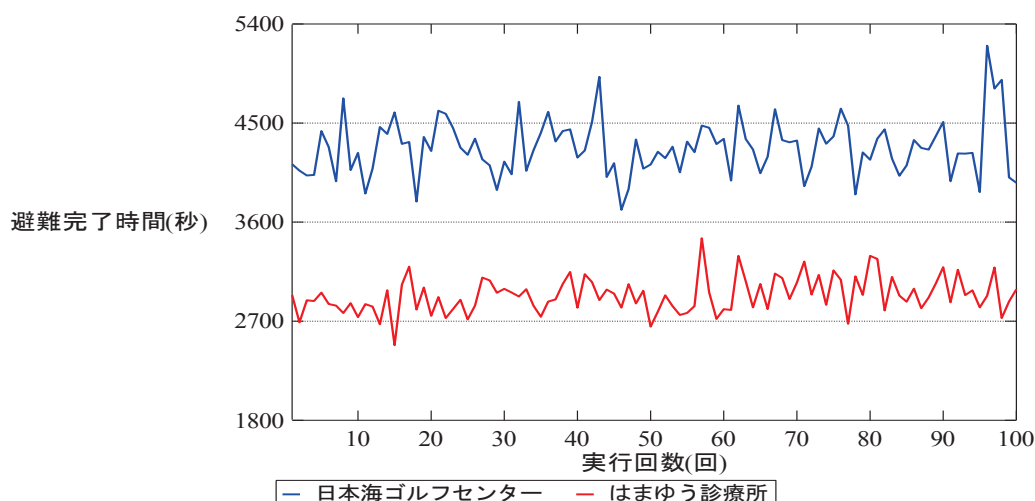


図 6-9 Case5 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

表 6-11 Case6 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	日本海ゴルフセンター	はまゆう診療所
最大避難完了時間	5064step(84'24")	3567step(59'27")
最小避難完了時間	3742step(62'22")	2616step(43'36")
平均避難完了時間	4318step(71'58")	2979step(49'39")
標準偏差	234step(3'54")	196step(3'16")

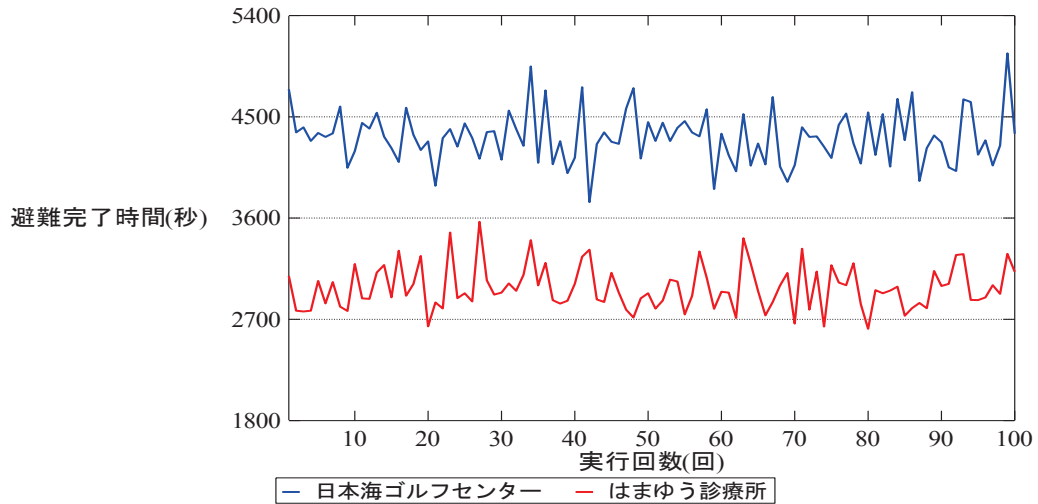


図 6-10 Case6 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

表 6-12 Case7 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	日本海ゴルフセンター	はまゆう診療所	自宅待機
最大避難完了時間	4061step(67'41")	2657step(44'17")	940step(15'40")
最小避難完了時間	3370step(56'10")	2078step(34'38")	748step(12'28")
平均避難完了時間	3684step(61'24")	2304step(38'24")	827step(13'47")
標準偏差	160step(2'40")	132step(2'12")	43step(0'43")

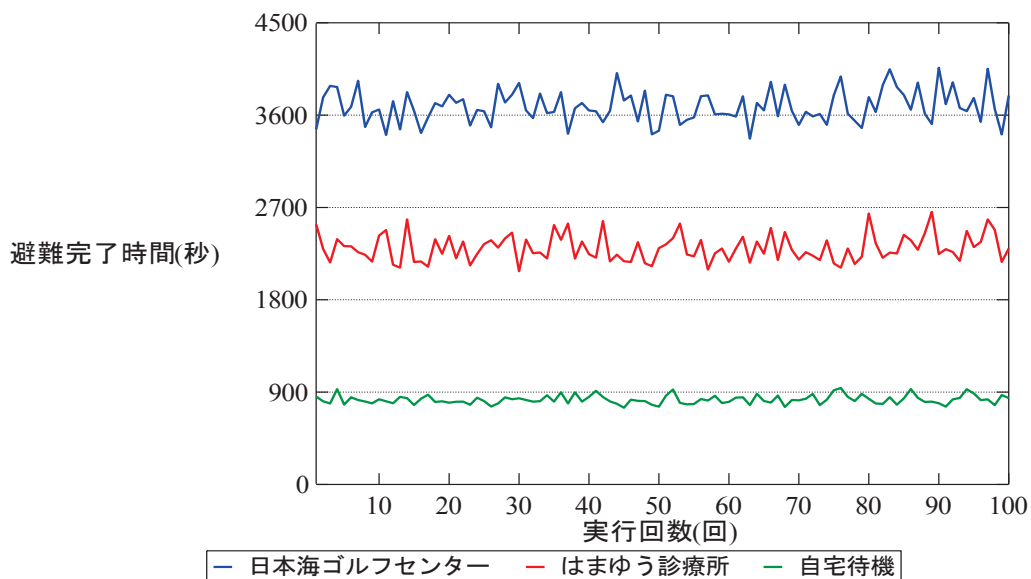


図 6-11 Case7 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

表 6-13 Case8 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	日本海ゴルフセンター	はまゆう診療所	自宅待機
最大避難完了時間	4195step(69'55")	2777step(46'17")	973step(16'13")
最小避難完了時間	3383step(56'23")	2096step(34'56")	725step(12'5")
平均避難完了時間	3716step(61'56")	2324step(38'44")	826step(13'46")
標準偏差	189step(3'9")	123step(2'3")	50step(0'50")

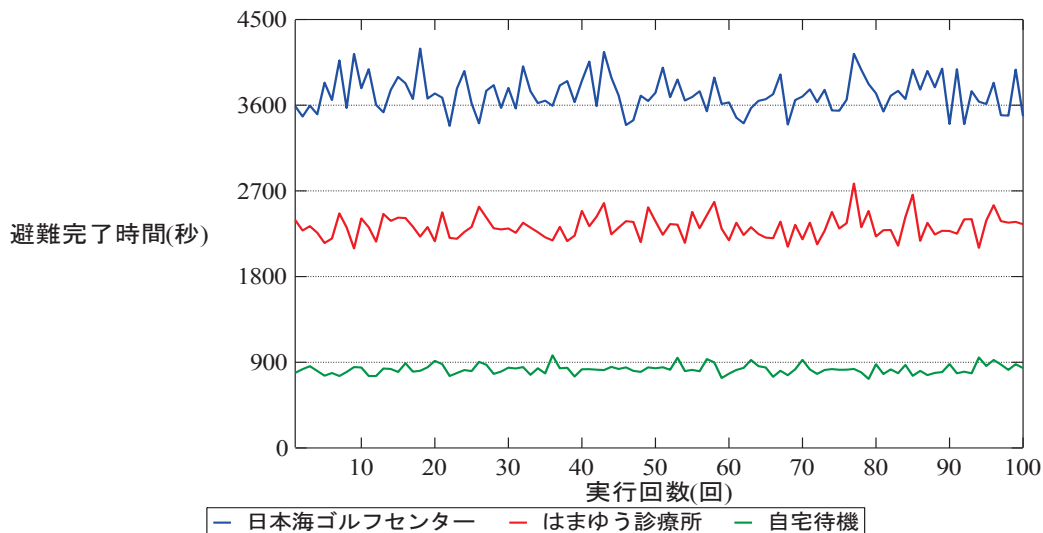


図 6-12 Case8 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

Case7 のシミュレーションの結果を図 6-12 と図 6-11, Case8 のシミュレーション結果を表 6-13 と図 6-12 に示す. 防災ワークショップ開催後の状態の Case7 と Case8 の 2 ケースの状態を見ると, 開催前の状態の Case5 と Case6 の 2 ケースの状態と比較して, 最大避難完了時間, 最小避難完了時間, 平均避難完了時間とも 5 分から 15 分程度短縮された. また標準偏差の数値も低下し, バラツキが少なくなった. このような結果となった理由は, 表 6-4 と表 6-5 を見るとわかるように, 防災ワークショップの開催により平均避難時間が早くなったことが挙げられる. また, 大正地区南部分は北部分と違い, 防災ワークショップ開催により自主的に避難する世帯の割合が増加しており, これは「自宅待機をしても被災する可能性が高いから, 自主的に避難しなければならない。」と, 住民が自律的な意思決定を下したためではないかと考えられる. なお, Case8 は浸水有であるが被災世帯は確認されなかった.

6.5 車両避難の割合を変化させたモデルの検証

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、避難時の移動手段として自動車を選んだ住民は約 57%に上り、自動車避難の選択理由として、「車で避難しないと間に合わないと思ったから」や「家族で避難しようと思ったから」といった理由が多数との報告がある¹⁾。本研究の対象とする自然災害は洪水災害であるが、実際には要援護者への対応も含め、自動車で避難する住民は少なくないと考えられる。そこで、本項では災害時要援護者に対する自動車避難を考慮して、地区における自動車避難の台数制限を明らかにするため、自動車避難の割合を変化させて避難完了時間に及ぼす影響を検討する。

Case13 から Case22 の大正地区北部分に関する、自動車避難の割合を変化させたモデルの検証を行うにあたり、避難開始時間に関する値(平均・標準偏差)を決定せねばならない。この値は、要援護者への対応方法の説明を含めた防災ワークショップ開催後の状態である、アンケート調査 2 の結果のもの(表 6-3 を参照)を用いるが、アンケート調査 2 の結果では自動車避難の割合が 0%のため、自動車避難の避難開始時間に関する値は歩行避難のものを用いている。

図 6-13 と図 6-14 は、それぞれ避難所まで避難する世帯の内、自動車避難の割合変化による避難完了時間およびその標準偏差の推移を示したものである。自動車避難の割合 0%はCase4である。また、図 6-13 において実線の折れ線グラフは平均避難完了時間、折れ線グラフの上側に伸びた青色棒グラフの端点は最大避難完了時間、下側に伸びた赤色棒グラフの端点は最小避難時間をそれぞれ示している。図 6-13 を見ると、平均避難完了時間は自動車避難の割合の増加につれて微減しているのが確認でき、割合が 100%の時は急激に減少している。また図 6-14 を見ると、避難完了時間の標準偏差は自動車避難の割合の増加につれて増加し、避難完了時間にバラツキが生じているが、割合が 100%の時は急激に減少している。

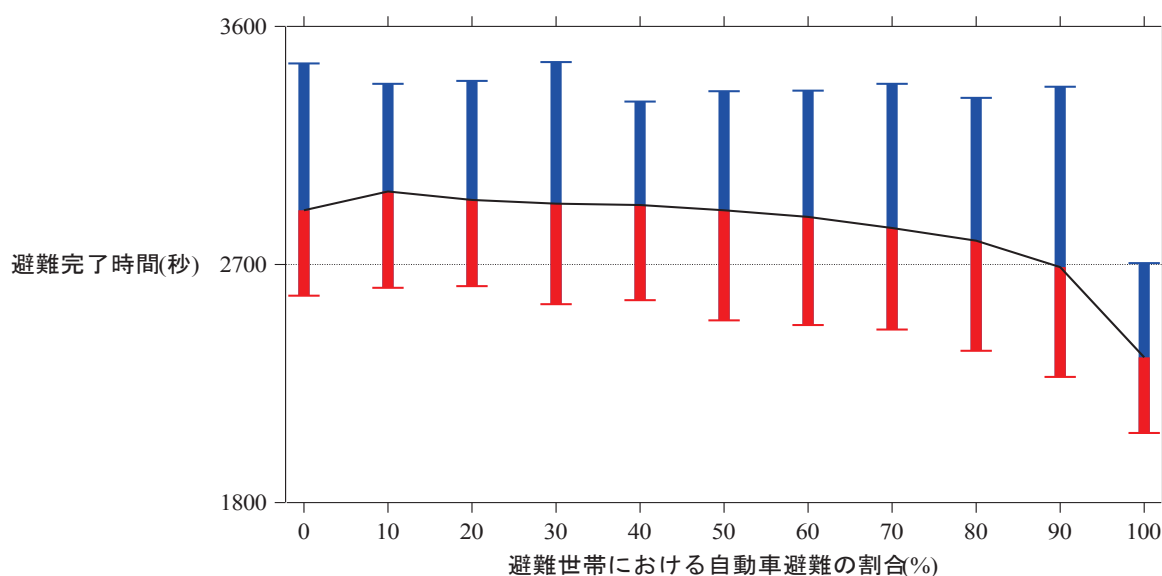


図 6-13 大正地区北部分 自動車避難の割合変化による避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間の推移

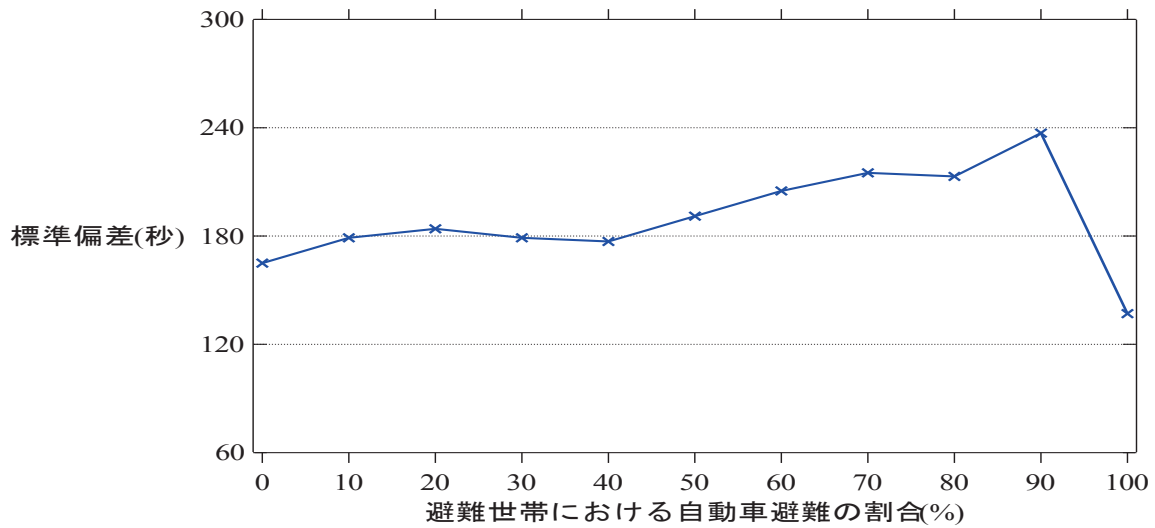


図 6-14 大正地区北部分 自動車避難の割合変化による避難完了時間の標準偏差の推移

表 6-14 大正地区北部分自動車の割合変化による（実行 50 回中の被災発生回数と 1 回当たりの平均被災世帯数）

ケース	自動車避難の割合	被災発生回数	1 回当たりの平均被災世帯数	ケース	自動車避難の割合	被災発生回数	1 回当たりの平均被災世帯数
Case4	0%	0/50	0	Case18	60%	0/50	0
Case13	10%	0/50	0	Case19	70%	0/50	0
Case14	20%	0/50	0	Case20	80%	2/50	18
Case15	30%	0/50	0	Case21	90%	0/50	0
Case16	40%	1/50	10	Case22	100%	3/50	22
Case17	50%	0/50	0				



図 6-15 大正地区北部分 自動車の混雑の発生が確認された区域

これらの結果は歩行避難者がゼロになったことで、自動車で速やかに避難が完了したことを表しているのではないかと推察される。しかし表-30を見ると、自動車避難の割合の増加に伴って被災発生回数と1回当たりの平均被災世帯数が増加傾向にあることが確認できる。図6-15は自動車の混雑の発生が確認された区域を2箇所示した図である。図6-15において、A区域とB区域の道路幅はそれぞれ3.5m、3.78mと自動車の行き違いが困難な区域であるとともに、世紀小学校、古海児童館への重要な避難経路となっている。したがって、A区域を避難経路として用いている徳尾、B区域を避難経路として用いている緑ヶ丘1区から4区までの世帯については、避難時の移動手段を歩行避難に限定する必要があると考えられる。

以上の結果を総合すると、自動車避難の割合の増加にともなって住民は速やかに避難できる可能性があるが、車両密度の増加による渋滞で避難移動中に被災する可能性もあるため、大正地区北部分においては、原則歩行避難が望ましいと言える。

次に、Case23からCase32の大正地区南部分に関する検証を行う。なお、Case23からCase32における避難開始時間に関する値(平均・標準偏差)は、大正地区北部分の際と同様、要援護者への対応方法の説明を含めた防災ワークショップ開催後の状態である、アンケート調査2の結果のもの(表6-5を参照)を用いるが、アンケート調査2の結果では自動車避難の割合が0%のため、自動車避難の避難開始時間に関する値は歩行避難のものを便宜的に用いている。

図6-16と図6-17はそれぞれ、避難所まで避難する世帯の内、自動車避難の割合変化による避難完了時間およびその標準偏差の推移を示したものである。自動車避難の割合0%はCase8である。また、図6-16において実線の折れ線グラフは平均避難完了時間、折れ線グラフの上側に伸びた青色棒グラフの端点は最大避難完了時間、下側に伸びた赤色棒グラフの端点は最小避難時間をそれぞれ示している。図6-16を見ると、平均避難完了時間は自動車避難の割合の増加につれて微減しているのが確認でき、割合が100%の時は急激に減少している。また図6-17を見ると、避難完了時間の標準偏差は自動車避難の割合の増加にともなって増加傾向が見られるが、割合が100%の時にやはり急激に減少している。これらの結果は大正地区北部分と同様、歩行避難者がゼロになったことで、自動車で速やかに避難が完了したことを表しているのではないかと推察される。さらに図6-15を見ると、自動車避難の割合の増加がしても、大正地区南部分とは違い被災は発生していない。このような結果となった理由は、大正地区北部分と大正地区南部分の面積ほとんど変わらないものの、シミュレーションで対象とした世帯数が大きく異なり、大正地区北部分は1492世帯であるのに対し、大正地区南部分は172世帯と北部分の約11.5%の世帯数に過ぎないことから、渋滞が発生しなかったためであると考えられる。

以上の結果を踏まえると、自動車避難の割合の増加にともなって住民は速やかに避難できる可能性があるため、菖蒲、服部、野寺の大正地区南部分3町内会に限っては、自動車避難を行っても差し支えないであろう。

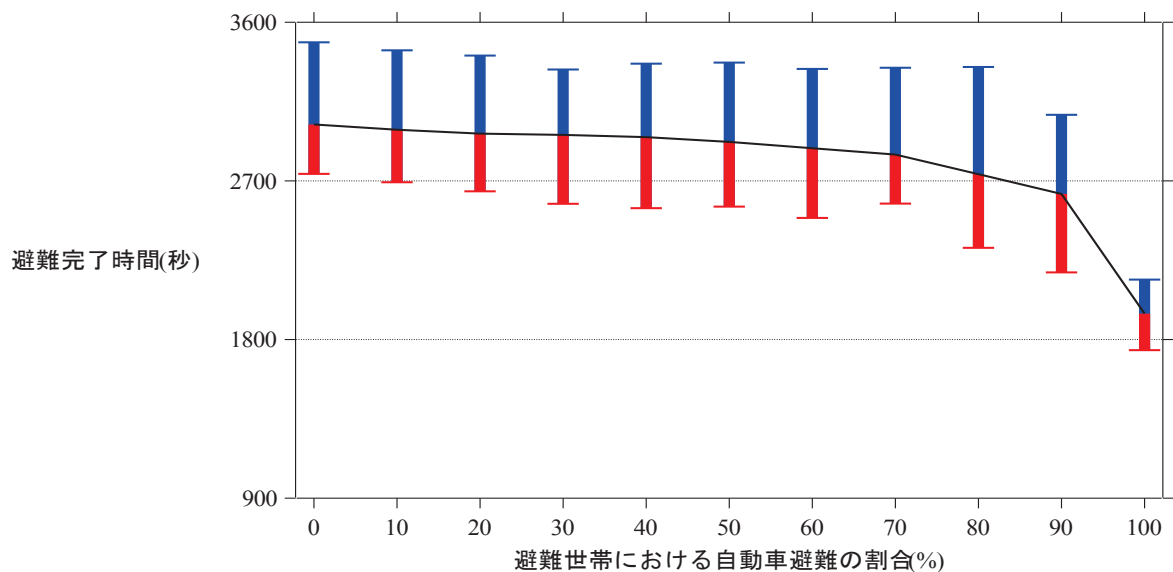


図 6-16 大正地区南部分 自動車避難の割合変化による避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間の推移

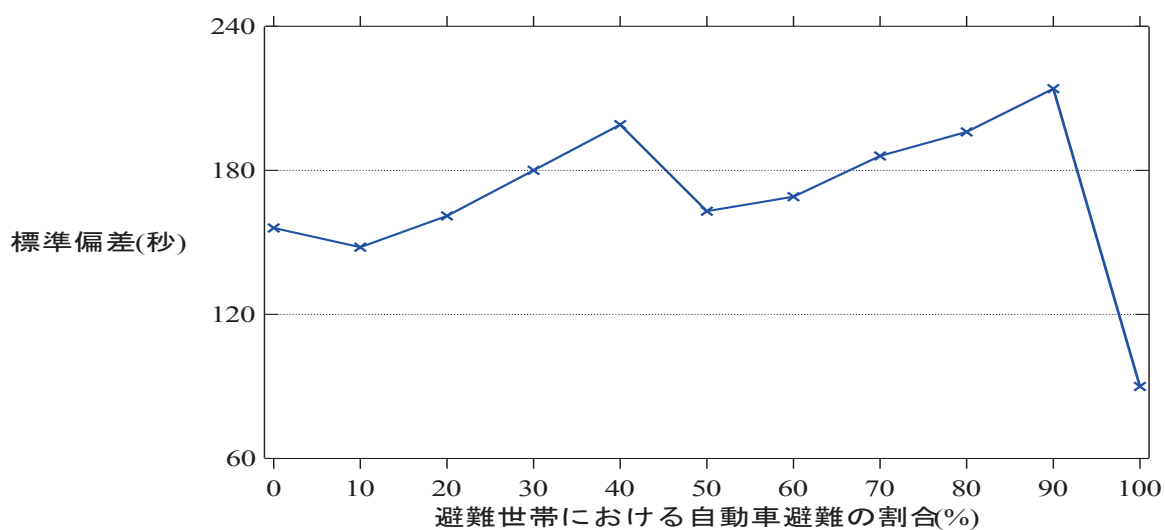


図 6-17 大正地区南部分 自動車避難の割合変化による避難完了時間の標準偏差の推移

表 6-15 大正地区南部' 自動車避難の割合変化による（実行 50 回中の被災発生回数と 1 回当たりの平均被災世帯数）

ケース	自動車避難の割合	被災発生回数	1 回当たりの平均被災世帯数	ケース	自動車避難の割合	被災発生回数	1 回当たりの平均被災世帯数
Case8	0%	0/50	0	Case28	60%	0/50	0
Case23	10%	0/50	0	Case29	70%	0/50	0
Case24	20%	0/50	0	Case30	80%	0/50	0
Case25	30%	0/50	0	Case31	90%	0/50	0
Case26	40%	0/50	0	Case32	100%	0/50	0
Case27	50%	0/50	0				

6.6 防災ワークショップの開催効果の考察

明德地区を対象に行った洪水避難行動シミュレーションは、表 6-16 に示す 14 種類のケースについて行う。なお、明德地区では防災ワークショップ、およびアンケート調査を行っていないため、洪水避難行動シミュレーションモデルの構築における基礎資料は、大正地区のデータを参考に決定している。

表 6-16 明德地区の洪水避難行動シミュレーションモデルの各ケース

Case9	大正地区におけるアンケート調査 1 の結果を反映させたモデル(浸水無)
Case10	大正地区におけるアンケート調査 1 の結果を反映させたモデル(浸水有)
Case11	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映させたモデル(浸水無)
Case12	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映させたモデル(浸水有)
Case33	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 10%のモデル(浸水有)
Case34	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 20%のモデル(浸水有)
Case35	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 30%のモデル(浸水有)
Case36	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 40%のモデル(浸水有)
Case37	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 50%のモデル(浸水有)
Case38	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 60%のモデル(浸水有)
Case39	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 70%のモデル(浸水有)
Case40	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 80%のモデル(浸水有)
Case41	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 90%のモデル(浸水有)
Case42	大正地区におけるアンケート調査 2 の結果を反映, および自動車避難の割合が 100%のモデル(浸水有)

住民を想定したエージェントは、11 町内会(南町, 有楽町, 太平, 瓦町, 今町一丁目, 今町二丁目, 南行徳, 行徳 4 区, 古市 2 区, 東品治, 棒鼻)ごとに世帯数を割り当て、各地区内で初期配置を実行回数ごとにランダムに設定した。洪水避難行動シミュレーションは、Case9 から Case12 については各 100 回ずつ、Case33 から Case42 については各 50 回ずつ、明德地区 867 世帯を対象に 1step を 1 秒として実行した。

また、防災ワークショップ開催後に行ったアンケート調査 2 の結果を反映させたモデルでは、アンケート調査 2 の問 4-1 で「②しばらく様子を見る」と回答した住民に対しては、避難時の移

動手段に関わらず自宅待機で避難完了となるようモデルを構築している。

各ケースにおける移動手段と避難勧告発令後の避難開始時間の平均と標準偏差についても、5.2と同様にアンケート調査1と2の「避難開始のための準備時間」に関する設問より、表6-17、表6-18のように計算され、各モデルに設定している。なお、「浸水有」としたモデルでの浸水開始時間(破堤時間)は、避難勧告発令から何分後に破堤するかは予測不可能のため、今回は便宜的に避難勧告発令後60分(3600step)とした。また、浸水データの更新時間間隔は2分であり、シミュレーションでは2分ごとに浸水域と浸水深の更新を行っている。

表 6-17 Case9 と Case10 移動手段と避難勧告発令後の避難開始時間の平均, 標準偏差

移動手段とその割合	徒歩 77.78%	自動車 22.22%
自主的に避難する世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	62.86% 31.59', 5.27'	80.0% 23.75', 3.96'
しばらく様子を見る世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	37.14% 38.08', 6.34'	20.0% 55', 9.17'

表 6-18 Case11 と Case12 移動手段と避難勧告発令後の避難開始時間の平均, 標準偏差

移動手段とその割合	徒歩 100%	自動車 0%
自主的に避難する世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	50.0% 24.11', 4.02'	
しばらく様子を見る世帯の割合 避難開始時間の平均, 標準偏差	50.0% 26.67', 4.45'	

以下に Case9 から Case12 における、各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの所要時間に関する考察を行う。

Case9 のシミュレーションの結果を表 6-19 と図 6-18, Case10 のシミュレーション結果を表 6-20 と図 6-19 に示す。避難所ごとに所要時間を見ると、両ケースともに明德小学校とワールドカップパーキングの避難完了時間が他の避難所より 15 分程度短い 45 分前後となっており、この 2 箇所以外の避難所の平均避難完了時間は 60 分以上を要しており、バラつきに差はあるものの、避難完了時間はそれほど極端に異なっていない。また、Case10 の計算実行回数ごとの被災世帯を示した図 6-20 を見ると、浸水有とした Case10 では、避難時の移動手段が自動車および徒歩である世帯の両方で被災世帯が発生しており、シミュレーションでは約 2 回に一度の割合で被災世帯が発生している。

さらに図 6-20 において、被災世帯の内訳を見ると、避難時の移動手段が自動車である世帯の方が被災している割合が高いことが確認できる。このような結果となった原因として、移動手段が自動車で、避難勧告後しばらく様子を見る世帯の平均避難開始時間が 55 分と遅いこと、また移動手段が徒歩で、避難勧告後しばらく様子を見る世帯の平均避難開始時間が 38.08 分と遅く、自動車に比べて徒歩は移動速度が遅いこと、さらに明德地区は地理的特性上、他地域と比較して居住地と千代川との距離が非常に近く、千代川の氾濫が人的被害の発生に直結することが挙げられる。

表 6-19 Case9 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	中央人権福祉センター	明德地区公民館	明德小学校	イオン鳥取店
最大避難完了時間	4928step 82'8"	4838step 80'38"	4809step 80'9"	4624step 77'4"
最小避難完了時間	2928step 48'48"	3300step 55'0"	1784step 29'44"	2519step 41'59"
平均避難完了時間	3876step 64'36"	3849step 64'9"	2820step 47'0"	3617step 60'17"
標準偏差	400step 6'40"	339step 5'39"	609step 10'9"	478step 7'58"
	ワールドカップ パーキング	大丸パーキング	代行パーキング	JA トスク本店
最大避難完了時間	4472step 74'32"	4524step 75'24"	5002step 83'22"	5101step 85'1"
最小避難完了時間	1700step 28'20"	2824step 47'4"	3596step 59'56"	3488step 58'8"
平均避難完了時間	2788step 46'28"	3458step 57'38"	4246step 70'46"	4178step 69'38"
標準偏差	521step 8'41"	404step 6'44"	290step 4'50"	338step 5'38"

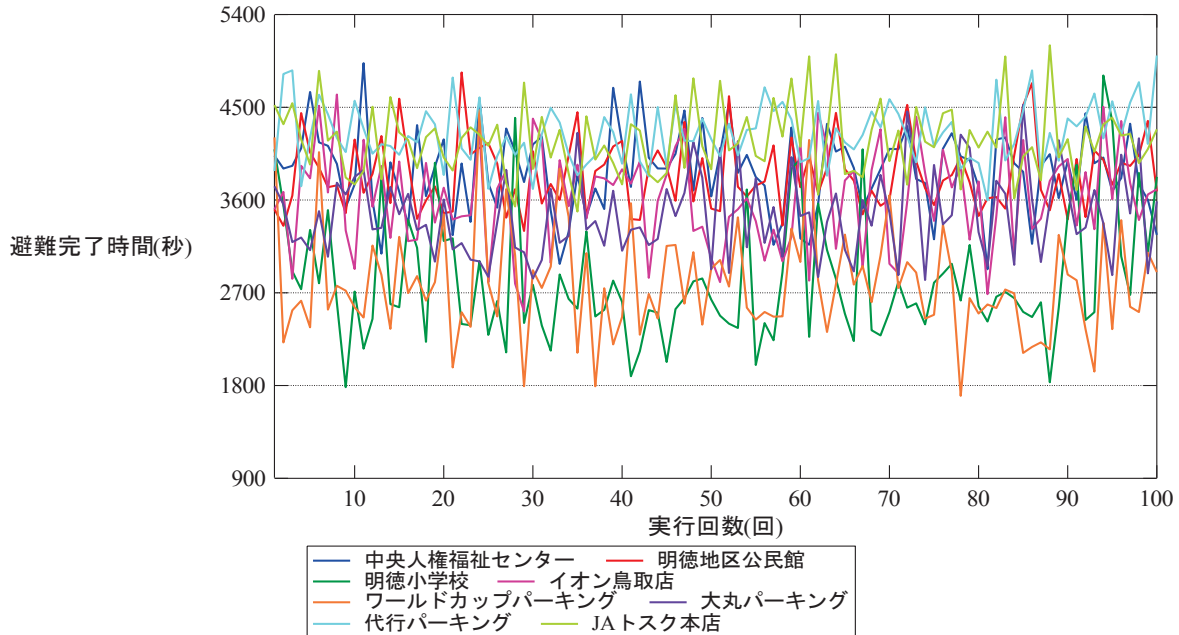


図 6-18 Case9 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

表 6-20 Case10 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	中央人権福祉センター	明德地区公民館	明德小学校	イオン鳥取店
最大避難完了時間	4056step 67'36"	4198step 69'58"	4174step 80'9"	4994step 83'14"
最小避難完了時間	2707step 45'7"	3257step 54'17"	1393step 23'13"	2630step 43'50"
平均避難完了時間	3530step 58'50"	3768step 62'48"	2552step 42'32"	3607step 60'7"
標準偏差	273step 4'33"	246step 4'6"	482step 8'2"	494step 8'14"
	ワールドカップ パーキング	大丸パーキング	代行パーキング	JA トスク本店
最大避難完了時間	4839step 80'36"	4938step 82'18"	4866step 81'6"	5006step 83'26"
最小避難完了時間	1737step 28'57"	2685step 44'45"	3456step 57'36"	3495step 58'15"
平均避難完了時間	2767step 46'7"	3591step 59'51"	4053step 67'33"	4067step 67'47"
標準偏差	492step 8'12"	415step 6'55"	326step 5'26"	319step 5'19"

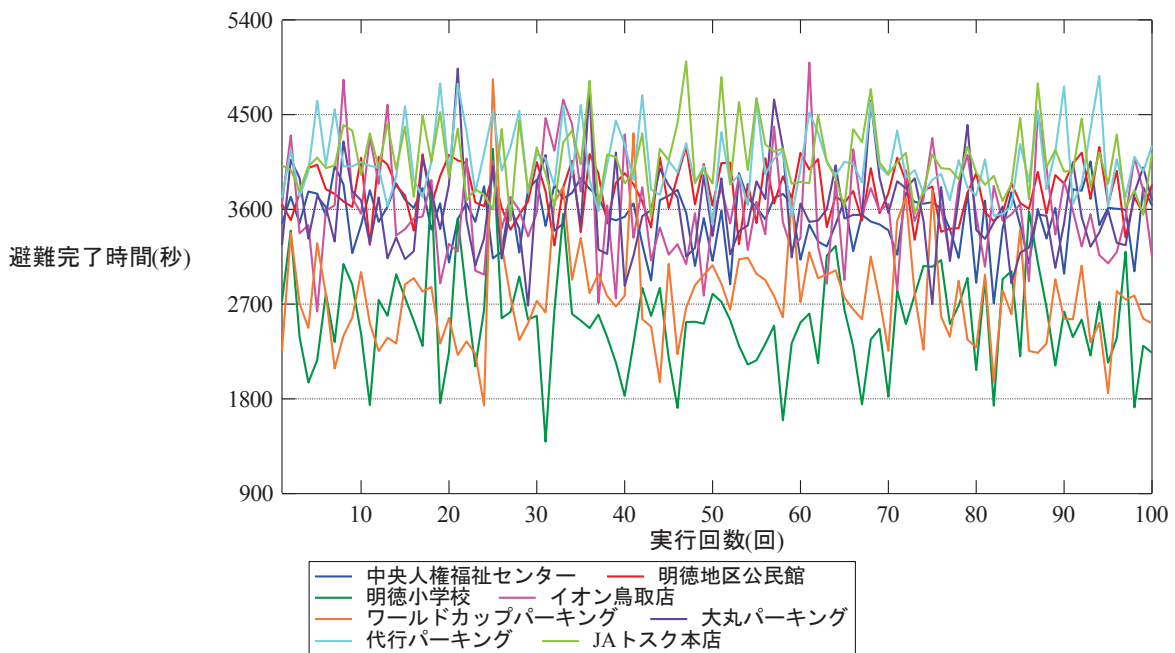


図 6-19 Case10 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

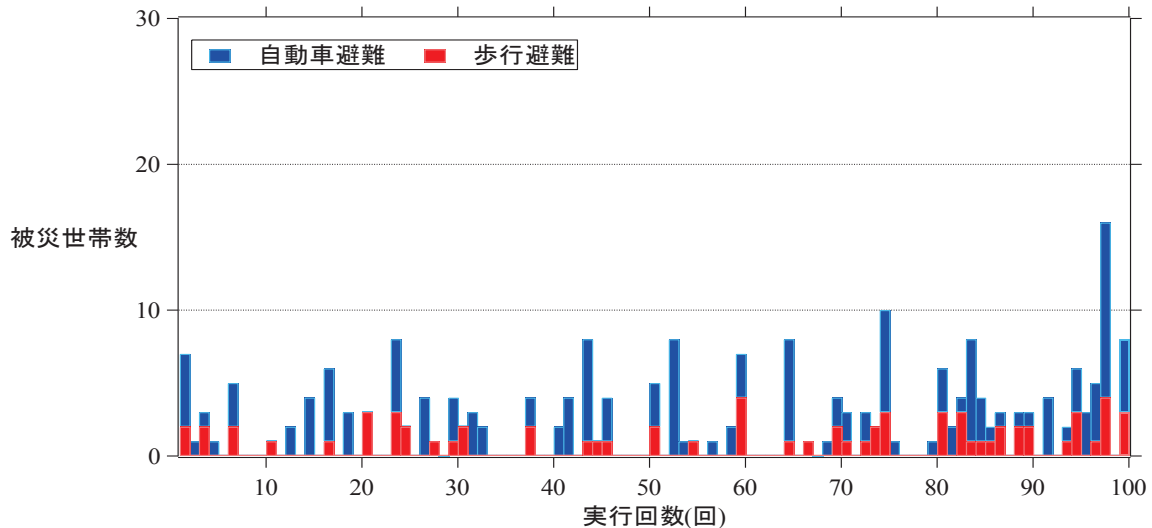


図 6-20 Case10 実行回数ごとの被災世帯数

次に、Case11 のシミュレーションの結果を表 6-22 と図 6-21、Case12 のシミュレーション結果を表 6-23 と図 6-22 に示す。避難所ごとに所要時間を見ると、両ケースともに明德小学校とワールドカップパーキングの最小避難完了時間がかなり短くなっているが、この結果は本モデルにおいて住民エージェントの初期配置を各地区内で実行回数ごとにランダムに配置されるよう設定しているため、明德小学校とワールドカップパーキングの 2 避難所に避難する住民エージェントが極端に少なかったことに起因すると考えられる。

また、防災ワークショップ開催後の状態の Case11 と Case12 の 2 ケースの状態を見ると、開催前の状態の Case9 と Case10 の 2 ケースの状態と比較して、最大避難完了時間、最小避難完了時間、平均避難完了時間とも 15 分から 20 分程度短縮されているのが確認できる。また標準偏差の数値も低下し、バラツキが少なくなった。このような結果となった理由は、表 6-17 と表 6-18 を見るとわかるように、防災ワークショップの開催により平均避難時間が早くなったことが最大の理由と挙げられる。さらに、表 6-17 と表 6-18 を見ると防災ワークショップ開催により、しばらく様子を見る世帯の割合が増加しており、これは住民の洪水時における自律的な意思決定力が向上した結果であると捉えることができよう。なお、Case12 は浸水有にも関わらず被災世帯は確認されなかった。

表 6-21 Case11 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	中央人権福祉センター	明德地区公民館	明德小学校	イオン鳥取店	自宅待機
最大避難完了時間	2431step 40'31"	3051step 50'51"	2152step 35'52"	2611step 43'31"	2756step 45'56"
最小避難完了時間	1811step 30'11"	2234step 37'14"	1012step 16'52"	1841step 30'41"	2187step 36'27"
平均避難完了時間	2076step 34'36"	2492step 41'32"	1631step 27'11"	2119step 35'19"	2394step 39'54"
標準偏差	120step 2'0"	150step 2'30"	202step 3'22"	144step 2'24"	107step 1'47"
	ワールドカップパーキング	大丸パーキング	代行パーキング	JA トスク本店	
最大避難完了時間	2240step 37'20"	2576step 42'56"	2873step 47'53"	3065step 51'5"	
最小避難完了時間	763step 12'43"	1743step 29'3"	2262step 37'42"	2320step 38'40"	
平均避難完了時間	1769step 29'29"	2134step 35'34"	2517step 41'57"	2614step 43'34"	
標準偏差	257step 4'17"	172step 2'52"	128step 2'8"	141step 2'21"	

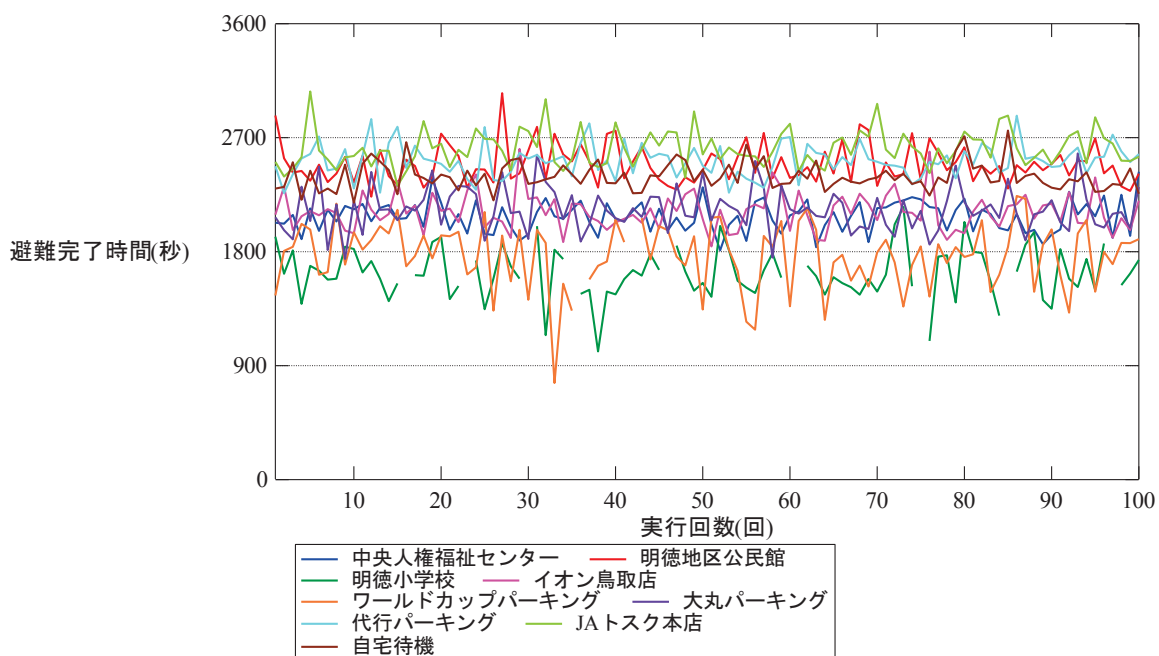


図 6-21 Case11 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

表 6-22 Case12 各避難所の避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

	中央人権 福祉センター	明德地区公民館	明德小学校	イオン鳥取 店	自宅待機
最大避難 完了時間	2514step 41'54"	3156step 52'36"	2075step 34'35"	2410step 40'10"	2656step 44'16"
最小避難 完了時間	1814step 30'14"	2223step 37'3"	768step 12'48"	1748step 29'8"	2204step 36'44"
平均避難 完了時間	2112step 35'12"	2504step 41'44"	1661step 27'41"	2090step 34'50"	2396step 39'56"
標準偏差	141step 2'21"	159step 2'39"	229step 3'49"	120step 2'10"	92step 1'32"
	ワールドカップ パーキング	大丸パーキング	代行パーキ ング	JA トスク 本店	
最大避難 完了時間	2344step 39'4"	2608step 43'28"	2985step 49'45"	3068step 51'8"	
最小避難 完了時間	1011step 16'51"	1724step 28'44"	2291step 38'11"	2365step 39'25"	
平均避難 完了時間	1777step 29'37"	2121step 35'21"	2533step 42'13"	2615step 43'35"	
標準偏差	230step 3'50"	188step 3'8"	132step 2'12"	146step 2'26"	

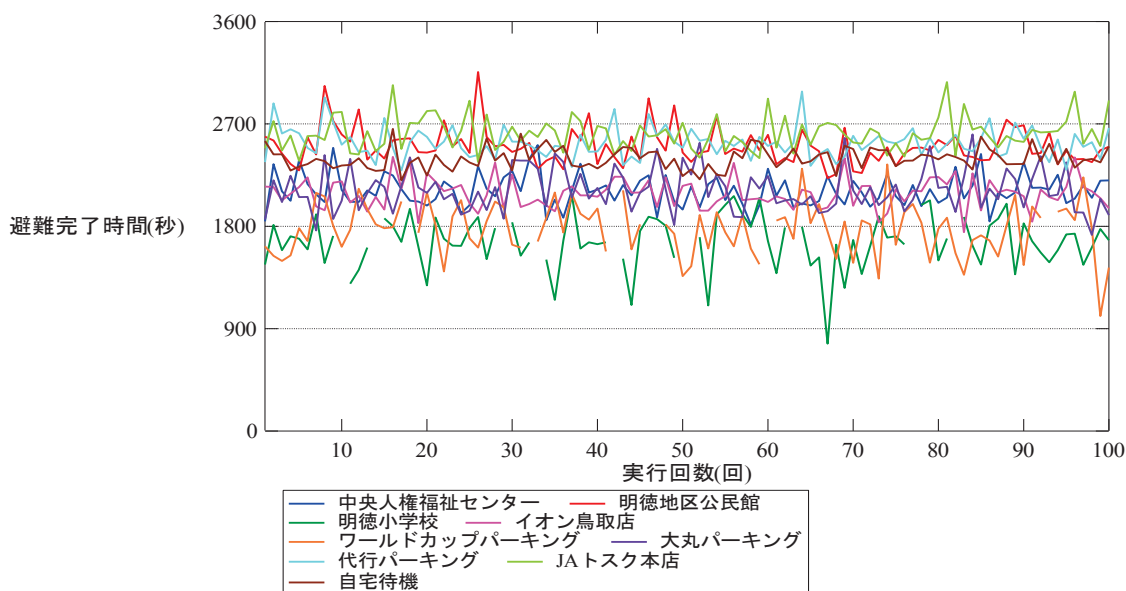


図 6-22 Case12 実行回数ごとの避難勧告発令後から避難場所到着までの避難完了時間

6.7 自動車避難の割合を変化させたモデルの検証

6.2.2と同様、本項でも災害時要援護者に対する自動車避難を考慮して、地区における自動車避難の台数制限を明らかにするため、自動車避難の割合を変化させて避難完了時間に及ぼす影響を検討する。なお、Case33からCase42における避難開始時間に関する値(平均・標準偏差)は、要援護者への対応方法の説明を含めた防災ワークショップ開催後の状態である、アンケート調査2の結果のもの(表-34を参照)を用いるが、アンケート調査2の結果では自動車避難の割合が0%のため、自動車避難の避難開始時間に関する値は歩行避難のものを便宜的に用いている。

ここでは、高齢化が進むこの地域における自動車避難の台数制限を明らかにするため、自動車避難の割合を0%~100%まで10%間隔で変化させて避難完了時間に及ぼす影響を検討した。計算では、各自動車避難割合毎に、歩行および自動車避難者の避難開始ノード位置について、200種類ランダムに変化させている。すなわち、各自動車避難割合毎に200種類の異なった避難パターンを計算していることになる。

図6-23、6-24は、避難所まで避難する世帯の内、自動車避難の割合変化による避難完了時間の推移と、自動車避難途中で洪水浸水で被災した累計世帯数も併せて示したものである。なお、最大、最小および平均の避難完了時間は、それぞれ各自動車避難割合毎の200種類の計算結果の最大、最小の時間と平均値である。

大正地区北部分の図6-23を見ると、平均避難完了時間は自動車避難の割合の増加につれて微減しているのが確認でき、割合が100%の時に急激に減少している。すなわち、歩行避難者がゼロになったことで自動車による速やかな避難が完了したことを表しているのではないかと推察される。しかし、自動車避難割合毎に200種類の計算より得られた累積総被災世帯数に注目すると、自動車避難割合の増加に伴って被災発生が増加傾向にある。この原因としてシミュレーションより、図6-24に楕円で示す2箇所(A、B)で自動車の混雑の発生が確認された。A区域とB区域の道路幅はそれぞれ3.5m、3.78mと自動車の行き違いが困難な区域であると共に、指定避難所の世紀小学校、古海児童館への重要な避難経路となっている道路でもある。したがって、A区域とB区域を避難経路として用いている世帯については、避難時の移動手段を歩行避難に限定する必要があると指摘できる。

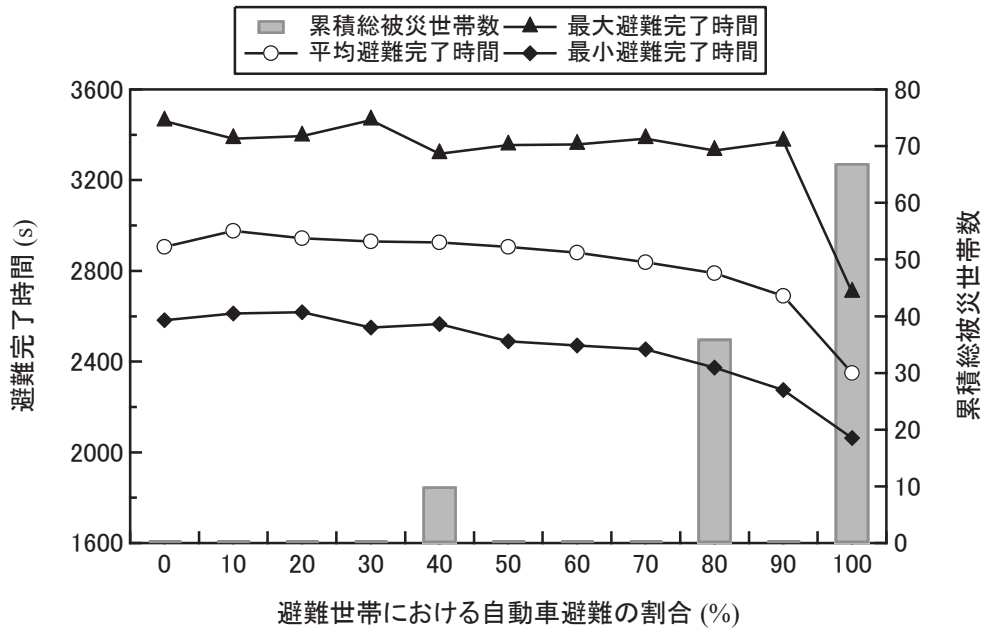


図 6-23 自動車避難の割合変化による避難完了時間と累積総被災世帯数の推移 (大正地区北部分)

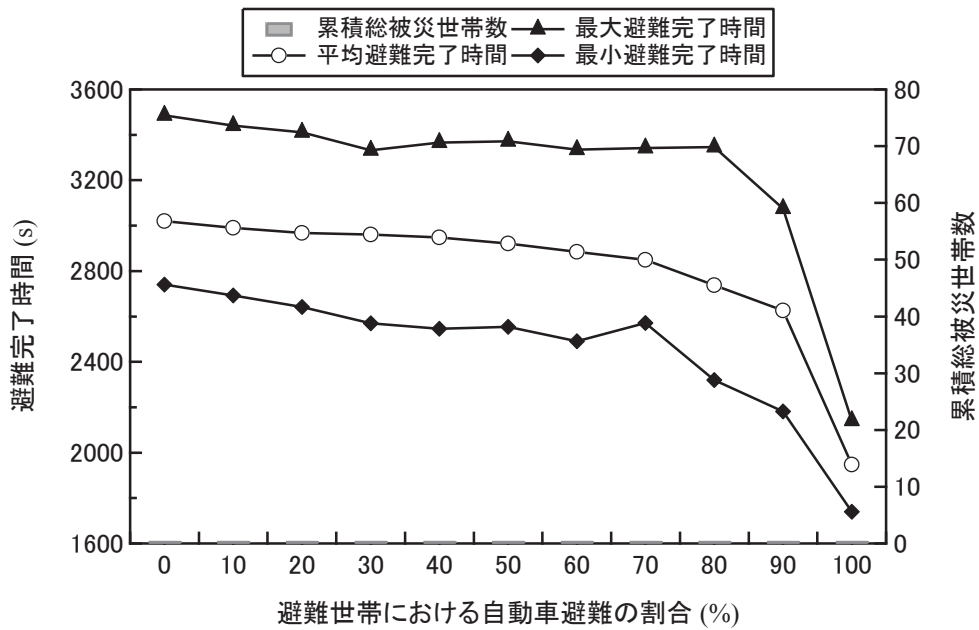


図 6-24 自動車避難の割合変化による避難完了時間と累積総被災世帯数の推移 (大正地区南部分)



図 6-24 大正地区北部分において自動車の混雑が発生した箇所

図 6-24 の大正地区南部分の結果を見ると、先の北部分と同様に平均避難完了時間は自動車避難の割合の増加につれて微減し、割合が 90%から急激に減少している。一方、自動車避難による累積総避難世帯数は、北部分と異なって自動車避難の割合が増加しても発生していない。このような結果となった理由としては、大正地区北部分と南部分は面積はさほど変わらないものの、シミュレーションで対象とした世帯数が大きく異なり、北部分は 1492 世帯であるのに対し、南部分は 172 世帯と北部分の約 11.5%の世帯数に過ぎない。このことから、南部分では渋滞が発生しなかったためである。

以上のことより、大正地区南部分では全世帯が自動車避難を行っても差し支えないと言えよう。また、大正地区北部分の避難形態については、避難所として世紀小学校と古海児童館を利用する可能性の高い地域では自動車避難の割合を全避難世帯の 30%以内に設定することにより速やかな避難ができよう。なお、図 6-23 において自動車避難割合 50%以上で被災世帯数が発生していないケースは、計算パターン数に関係するものと推測する。

6.8 結語

本章では、大正地区を対象に実施した防災ワークショップの効果を検証し、大正地区と明德地区における避難行動シミュレーションの結果を分析した。その結果は大正地区北部分に対して人口密度が高く避難所も集中しているため、更に自動車避難の割合の増加にともなって住民は速やかに避難できる可能性があるが、車両密度の増加による渋滞で避難移動中に被災する可能性もあるため、大正地区北部分においては、原則歩行避難が望ましいと言える。

自動車避難の割合の増加にともなって住民は速やかに避難できる可能性があるため、菖蒲、服部、野寺の大正地区南部分 3 町内会に限っては、自動車避難を行っても差し支えないであろう。明德地区は避難所が住宅から近くにあり、かつ避難所の数も多いことから、徒歩による避難でも十分に迅速な避難が行えると思われる。したがって、避難時は原則徒歩による避難が望ましく、自動車による避難は要援護者への対応等の場合に限るべきであろうと分かった。

<参考文献>

- 1) 平成 23 年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査(住民)分析結果(追加分)、東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会、第 9 回会合資料 2, 2011.

第7章 結論

7.1 本研究のまとめ

現在、ハード防災整備の方はめざましく発展してきたが、災害発生場所や時間、地理位置の明確な特定予測が十分でないため、防災施設や設備などの適切な整備に当たっては平面的に広域にわたって整備する必要がある。また、整備に長期を要することになる。そのためにも被害を最小限に抑えるべく事前の適切な避難計画が必要である。このような意味からソフト対策は、例えば、水害が発生した際に、最低限、住民の人命を守るセーフティネットとしての重要な役割を果たしている。

しかしながら、ソフト対策の効果を測定するには、いまだ困難を生じる。なぜなら、ソフト対策の効果は、災害に対する人間の反応や行動に大きく影響を受け、それらは多分に不確実性を含むからである。同じ状況の災害においてさえ、各個人の行動は、居住地域、世代、生活様式、その他の習慣によって異なる。そのため、適切なソフト対策を検討する場合、こうした住民の特性を考えつつ、より実態に即した水害時の避難行動をシミュレートすることは施策の効果測定には欠かせないと言えよう。また、自然災害による被害の最小化には、地域住民主体の防災・減災行動が重要である。例えば、子供のいる家庭では家族内で災害時の約束事を決めておくこと、さらに祭りなどといった防災・減災が主なテーマではない地域内の活動に積極的に参加して、地域コミュニティを強化することなどが極めて重要と言える。

本研究では、ソフト面からの地域防災力の向上化を目的に、屋内避難と屋外避難における一連の避難行動過程での課題の発見とその解決策としての避難行動のあり方について、アンケート調査および避難行動シミュレーションより考察した。特に建物外の避難については、災害時における住民の自律的な意思決定の醸成および実現を目的に、洪水避難行動シミュレーションや地域防災・減災マップ、地盤高の地図の提示を行う防災ワークショップをはさんで、二度の住民の防災意識に関するアンケート調査を実施し、住民の自律的な意思決定に有効な支援ツールについて分散構造分析を用いて明らかにした。また、洪水避難行動シミュレーションを用いることによる有用性に着目し、防災ワークショップの開催による洪水災害時の防災・減災行動の効果について、現実に近い避難行動を再現し検証した。さらに、従来の歩行者避難行動シミュレーションに自動車避難行動シミュレーションを追加することで、災害時の要援護者に対するアプローチを考慮した避難行動シミュレーションの構築した。以下に、各章で得られた主要な結論を示す。

第1章では、研究の背景を述べ、背景を踏まえた研究の目的を述べた。

第2章では、避難行動シミュレーションの有用性から避難モデルの分類など分析して、また本研究を用いた従来の避難行動シミュレーションモデルの概要を紹介した。

第3章では、マルチエージェントモデルを用いて鳥取大学湖山キャンパスにおける講義室から建物出口までの避難行動シミュレーションに基づいて、避難経路上の構造的脆弱性に関する評価よりスポット的な設備改善提案とその効果を検討した。また、階段における混雑解消の観点より、安全な避難行動のあり方として上層階からの避難者に避難経路を譲るモデルを提案して避難所要時間の短縮効果を考察し、最終的に最適な避難経路および避難行動モデルについて検討を行った。

その結果、上層階からの避難者に避難経路を譲ることにより階段での混雑の緩和が可能となることを明らかにした。また、キャンパスの各施設の外に出た後の一次避難場所までの歩行者流動を再現再現することで、大学のキャンパス全体における災害リスクマネジメントを行うことができると考える。

第4章鳥取市大正地区を対象とした防災ワークショップを挟んで二度のアンケート調査の基礎分析を行った。大正地区はほとんど大正まちづくり協議会が中心となって、地区独自で地域防災マップを作成しており、二度のアンケート調査の結果では大正地区防災マップの利用率が非常に高いことが明らかとなった。また、「自主的に避難する」と回答した住民がアンケート調査1では約65%であったのに対し、アンケート調査2では約48%となり、住民がハザードマップ等の資料の利用方法を正しく理解し、自律的な意思決定をなす支援を防災ワークショップそのものが果たしているという、極めて興味深い結果が得られた。

第5章では、「避難所の新設」、「災害情報の伝達方法の整備」、「防災訓練の実施」、「地盤高の地図の作成」といった、住民の自律的な意思決定に有効な影響を与えるツールの検証を共分散構造分析により行った。その結果、住民の自律的な意思決定に最も有効な影響を与えるツールは大正地区防災マップであり、次いで地盤高の地図であることが明らかとなった。大正地区地域防災マップは、鳥取市の洪水ハザードマップを大正地区用の内容に修正しており、地域住民にとって利活用しやすく、非常に愛着のあるツールであることが二度のアンケートを通して実証された。

第6章では、新たな洪水避難行動シミュレーションモデルの開発に必要となる、歩行避難と自動車避難のそれぞれの避難行動モデルについて記述した。まず高齢社会に対して車での避難するの必要性について分析し、また、本研究では従来の歩行避難に自動車避難の行動モデルを追加構築したが、車間距離や幅の狭い道路の歩行者存在時における徐行、一方通行規制の有効といった、非常に再現度の高い避難行動モデルの構築を行った。さらに、防災ワークショップの開催による洪水災害時の防災・減災行動の効果の検証、および災害時要援護者に対する自動車避難を考慮した、地区における自動車避難の台数制限の検討について、本研究で新たに開発した洪水避難シミュレータにより行った。まず、防災ワークショップの開催による洪水災害時の防災・減災行動の効果の検証について述べると、大正地区北部分、明德地区の2地区において、防災ワークショップ開催前の状態では被災世帯が発生していたが、防災ワークショップ開催後には両地区とも被災世帯がゼロとなり、防災ワークショップ開催の効果を実量的に示すことができた。次いで、災害時要援護者に対する自動車避難を考慮した、地区における自動車避難の台数制限の検討については、大正地区北部分と明德地区は原則徒歩による避難が望ましく、大正地区南部分は自動車による避難でも差し支えないという結果が得られ、地域の地理的特性による避難時の移手段の多様性を示す、大変貴重な結果を得ることができた。

7.2 今後の課題

本研究では、屋内避難研究は地震や火災などの災害をシミュレーションの中に組み込まず、人の避難行動のみに着目して避難行動シミュレーションを構築した。実際の災害現場は、避難者の

みではなく、避難者の避難行動に影響を及ぼす設備物品がたくさんあると思われる。すなわち、地震や火災発生した場合は、地震により本棚や机などの転倒により、避難経路の封鎖などの影響を考慮しないといけない。特に火災の場合は、煙の蔓延状況を考慮する必要がある。このように様々の状況を想定して、もっと詳しく本番の災害時の避難行動を再現できる避難行動シミュレーションモデルを構築していきたいと思っている。

屋外避難の研究について、アンケート調査と洪水避難行動シミュレーションの2つに分けて記す。アンケート調査については、Amos という共分散構造分析を行うツールを用いる都合上、アンケート内容およびアンケート調査に至る過程を大幅に見直す必要がある。例として挙げると、アンケートを作成する以前に研究目的となるパス図を一番初めに作成しておかねばならない。そして、アンケート内容は「はい」と「いいえ」や、カテゴリに関する回答方法ではなく、得点による評価や5件法を用いた水準別に回答できる内容でなければならないであろう。

洪水避難行動シミュレーションについては、本研究は自動車避難モデルを追加構築したが、自動車は徒歩と異なり交通状況によって大きく行動規則が変化するため、外来グループによる自動車の配置をシミュレータ内で実現する必要があると考えられる。外来グループを考慮した洪水避難シミュレータが完成すれば、交通渋滞をさらに如実に表現することが可能となり、より現実世界に近い避難行動を再現できるであろう。

謝 辞

最後になりましたが、本研究の遂行ならびに本修士論文の作成にあたり多くの方々に御指導御鞭撻を賜りました鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻の栢見吉晴教授をはじめ、太田隆夫准教授、金洙列助教には、御多忙中にもかかわらず終始貴重な御助言を賜り心から深く御礼申し上げます。特に、本研究の担当教官であられる栢見吉晴教授には、多くの的確な御助言を賜るとともに終始暖かく御指導を賜りました。また、有益な議論を通して研究に対する考え方や姿勢を学ぶことができました。重ねて厚く御礼申し上げます。さらに、本論文の作成にあたって、同大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻の羅真一先生には多くの貴重な御意見を頂戴しました。深く感謝致します。

また本研究の遂行にあたり、同大学大学院工学研究科防災計画研究室の博士前期課程の皆様、4回生の諸氏には、適切かつ有益な御意見を頂き厚く感謝致します。

最後に研究の間、常に暖かく見守って頂いた家族に感謝致します。特に、常に著者の体のことを気遣い、支えになってくれた妻李亜利、最後いつも元気を与えてくれた3歳の長女紫軒ちゃん、1歳の次女依軒ちゃんに心から感謝致します。

付 録

付録 1

屋内における避難シミュレーション対策前後の実行結果が表 1-1～表 1-12 のように示す。一時避難場所と避難完了地点のシミュレーションの実行結果が表 1-13～表 1-16 のように示す。なお、表中の青文字は最小値、赤文字は最大値とする。

表 1-1 共通教育 E 棟のシミュレーション実行結果（対策前）

実行回数	時間 (s)	実行回数	時間 (s)	実行回数	時間 (s)	実行回数	時間 (s)	実行回数	時間 (s)
1	345	41	339	81	338	121	341	161	344
2	343	42	337	82	338	122	341	162	338
3	341	43	342	83	343	123	340	163	342
4	342	44	337	84	346	124	338	164	343
5	336	45	339	85	341	125	341	165	340
6	333	46	342	86	338	126	342	166	343
7	346	47	345	87	339	127	336	167	341
8	339	48	338	88	338	128	344	168	337
9	344	49	343	89	336	129	339	169	342
10	343	50	343	90	336	130	339	170	347
11	341	51	342	91	339	131	336	171	343
12	341	52	340	92	342	132	339	172	348
13	343	53	341	93	340	133	340	173	338
14	338	54	339	94	339	134	337	174	335
15	344	55	344	95	336	135	340	175	340
16	339	56	344	96	333	136	337	176	338
17	336	57	336	97	336	137	337	177	338
18	337	58	338	98	337	138	337	178	342
19	340	59	343	99	339	139	344	179	340
20	340	60	340	100	344	140	347	180	335
21	337	61	339	101	344	141	341	181	343
22	344	62	344	102	344	142	337	182	341
23	342	63	344	103	343	143	343	183	334
24	333	64	345	104	344	144	346	184	335
25	336	65	342	105	341	145	343	185	339
26	341	66	344	106	345	146	339	186	343
27	343	67	348	107	340	147	337	187	333

28	339	68	343	108	343	148	342	188	335
29	338	69	341	109	334	149	339	189	345
30	340	70	345	110	343	150	337	190	336
31	342	71	343	111	344	151	347	191	346
32	340	72	341	112	339	152	340	192	341
33	334	73	340	113	343	153	342	193	342
34	341	74	333	114	339	154	342	194	337
35	341	75	338	115	341	155	343	195	337
36	338	76	342	116	344	156	339	196	337
37	333	77	341	117	340	157	338	197	335
38	339	78	339	118	343	158	342	198	344
39	346	79	340	119	342	159	344	199	342
40	340	80	342	120	346	160	344	200	341

表 1-2 共通教育 E 棟のシミュレーション実行結果（対策後）

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	301	41	306	81	304	121	304	161	304
2	301	42	305	82	305	122	304	162	306
3	303	43	306	83	308	123	302	163	307
4	306	44	305	84	304	124	305	164	306
5	302	45	309	85	303	125	305	165	300
6	307	46	302	86	303	126	306	166	304
7	299	47	309	87	301	127	308	167	306
8	301	48	306	88	302	128	306	168	304
9	301	49	302	89	305	129	313	169	299
10	306	50	304	90	303	130	304	170	308
11	303	51	300	91	310	131	303	171	303
12	304	52	301	92	302	132	303	172	306
13	300	53	306	93	306	133	304	173	302
14	306	54	302	94	302	134	303	174	305
15	304	55	304	95	304	135	306	175	301
16	304	56	303	96	303	136	306	176	307
17	297	57	303	97	304	137	304	177	298
18	306	58	306	98	301	138	298	178	303
19	303	59	308	99	307	139	305	179	306
20	305	60	304	100	301	140	303	180	303

21	303	61	310	101	301	141	305	181	302
22	309	62	312	102	305	142	304	182	301
23	304	63	300	103	303	143	309	183	309
24	301	64	301	104	302	144	302	184	303
25	306	65	303	105	308	145	303	185	308
26	304	66	303	106	306	146	305	186	305
27	302	67	301	107	305	147	306	187	303
28	306	68	303	108	301	148	303	188	305
29	304	69	303	109	304	149	303	189	307
30	304	70	301	110	306	150	307	190	304
31	304	71	304	111	312	151	303	191	305
32	308	72	306	112	303	152	307	192	308
33	301	73	307	113	308	153	300	193	304
34	304	74	304	114	303	154	307	194	305
35	304	75	301	115	303	155	302	195	302
36	305	76	304	116	303	156	311	196	307
37	309	77	301	117	308	157	302	197	303
38	303	78	305	118	307	158	308	198	302
39	309	79	308	119	304	159	302	199	308
40	301	80	308	120	303	160	302	200	308

表 1-3 大学院棟のシミュレーション実行結果（対策前）

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	372	21	376	41	370	61	373	81	370
2	377	22	377	42	377	62	377	82	374
3	372	23	376	43	374	63	371	83	374
4	374	24	373	44	375	64	374	84	375
5	375	25	376	45	372	65	373	85	370
6	373	26	370	46	372	66	375	86	374
7	376	27	375	47	381	67	371	87	377
8	374	28	369	48	379	68	372	88	373
9	378	29	375	49	380	69	374	89	377
10	375	30	374	50	369	70	368	90	371
11	375	31	374	51	369	71	367	91	375
12	374	32	382	52	370	72	382	92	371
13	369	33	369	53	378	73	376	93	374

14	374	34	375	54	373	74	374	94	374
15	382	35	378	55	371	75	371	95	373
16	369	36	370	56	374	76	375	96	374
17	369	37	373	57	373	77	380	97	374
18	373	38	376	58	380	78	372	98	368
19	375	39	378	59	378	79	368	99	379
20	372	40	374	60	373	80	375	100	372

表 1-4 大学院棟のシミュレーション実行結果（対策後）

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	296	21	293	41	294	61	288	81	293
2	293	22	289	42	292	62	296	82	292
3	289	23	294	43	293	63	289	83	293
4	291	24	287	44	294	64	292	84	296
5	291	25	291	45	293	65	291	85	294
6	295	26	287	46	293	66	291	86	294
7	295	27	291	47	289	67	291	87	295
8	294	28	290	48	294	68	292	88	294
9	290	29	293	49	294	69	290	89	297
10	290	30	294	50	288	70	289	90	290
11	293	31	293	51	296	71	290	91	290
12	292	32	293	52	295	72	293	92	290
13	291	33	291	53	291	73	293	93	291
14	293	34	289	54	293	74	290	94	289
15	292	35	291	55	292	75	292	95	291
16	294	36	293	56	294	76	291	96	288
17	295	37	292	57	293	77	293	97	298
18	297	38	294	58	289	78	289	98	295
19	292	39	290	59	289	79	293	99	291
20	291	40	290	60	296	80	291	100	292

表 1-5 地域学部棟のシミュレーション実行結果（対策前）

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	523	41	523	81	529	121	527	161	530
2	528	42	531	82	532	122	527	162	518
3	529	43	531	83	525	123	534	163	523
4	528	44	532	84	528	124	529	164	534
5	531	45	537	85	524	125	526	165	536
6	532	46	533	86	533	126	526	166	537
7	530	47	519	87	535	127	524	167	531
8	529	48	533	88	525	128	529	168	538
9	534	49	528	89	531	129	527	169	530
10	530	50	533	90	529	130	533	170	529
11	527	51	526	91	534	131	530	171	530
12	524	52	527	92	530	132	535	172	525
13	532	53	540	93	537	133	529	173	530
14	530	54	529	94	528	134	526	174	527
15	536	55	529	95	528	135	525	175	529
16	522	56	524	96	533	136	528	176	526
17	520	57	528	97	534	137	529	177	528
18	533	58	531	98	532	138	526	178	524
19	533	59	532	99	528	139	526	179	532
20	528	60	527	100	524	140	533	180	529
21	532	61	531	101	544	141	536	181	526
22	534	62	519	102	530	142	527	182	518
23	539	63	527	103	531	143	527	183	524
24	520	64	528	104	532	144	532	184	526
25	524	65	526	105	522	145	529	185	533
26	523	66	526	106	529	146	529	186	537
27	534	67	528	107	525	147	523	187	528
28	530	68	532	108	532	148	530	188	525
29	524	69	518	109	525	149	530	189	528
30	527	70	526	110	528	150	527	190	521
31	528	71	528	111	531	151	523	191	526
32	528	72	524	112	531	152	532	192	534
33	529	73	533	113	528	153	528	193	527
34	530	74	530	114	526	154	522	194	530
35	523	75	536	115	534	155	522	195	527

36	536	76	527	116	532	156	521	196	524
37	527	77	528	117	534	157	526	197	523
38	528	78	529	118	525	158	522	198	529
39	531	79	530	119	532	159	528	199	526
40	530	80	522	120	524	160	532	200	533

表 1-6 地域学部棟のシミュレーション実行結果（対策後）

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	423	41	427	81	425	121	425	161	425
2	427	42	423	82	426	122	424	162	425
3	424	43	426	83	421	123	426	163	426
4	424	44	426	84	430	124	425	164	424
5	426	45	427	85	425	125	425	165	425
6	423	46	426	86	424	126	424	166	426
7	426	47	424	87	427	127	428	167	427
8	423	48	422	88	424	128	424	168	423
9	428	49	424	89	423	129	423	169	426
10	426	50	424	90	424	130	425	170	424
11	423	51	426	91	425	131	425	171	426
12	424	52	425	92	425	132	424	172	425
13	428	53	424	93	426	133	424	173	425
14	423	54	425	94	427	134	423	174	423
15	426	55	426	95	424	135	427	175	426
16	423	56	425	96	425	136	425	176	425
17	428	57	424	97	426	137	425	177	427
18	427	58	426	98	422	138	425	178	423
19	426	59	421	99	423	139	424	179	424
20	422	60	425	100	425	140	426	180	425
21	427	61	422	101	422	141	426	181	424
22	424	62	426	102	424	142	427	182	424
23	425	63	425	103	425	143	425	183	427
24	424	64	424	104	424	144	424	184	426
25	428	65	425	105	426	145	426	185	426
26	426	66	425	106	428	146	426	186	427
27	424	67	423	107	425	147	425	187	422
28	424	68	425	108	425	148	427	188	423

29	426	69	425	109	424	149	426	189	423
30	422	70	427	110	424	150	424	190	424
31	427	71	424	111	423	151	425	191	427
32	424	72	423	112	425	152	425	192	426
33	424	73	426	113	424	153	425	193	426
34	424	74	425	114	429	154	425	194	427
35	428	75	424	115	426	155	428	195	426
36	425	76	424	116	423	156	427	196	425
37	426	77	424	117	425	157	425	197	426
38	424	78	426	118	427	158	425	198	427
39	425	79	426	119	423	159	428	199	423
40	424	80	426	120	425	160	426	200	424

表 1-7 農学部棟のシミュレーション実行結果 (対策前)

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	419	41	415	81	411	121	416	161	403
2	417	42	420	82	420	122	419	162	412
3	410	43	412	83	410	123	409	163	422
4	416	44	406	84	417	124	419	164	408
5	410	45	418	85	418	125	417	165	416
6	415	46	422	86	415	126	408	166	418
7	413	47	415	87	426	127	403	167	419
8	406	48	407	88	417	128	417	168	415
9	421	49	417	89	413	129	417	169	418
10	409	50	409	90	414	130	417	170	409
11	421	51	419	91	411	131	414	171	409
12	421	52	413	92	411	132	415	172	413
13	419	53	412	93	406	133	413	173	412
14	420	54	413	94	416	134	411	174	414
15	420	55	416	95	420	135	410	175	422
16	415	56	414	96	422	136	415	176	411
17	410	57	412	97	407	137	415	177	412
18	408	58	412	98	413	138	419	178	412
19	413	59	410	99	413	139	418	179	413
20	413	60	419	100	414	140	419	180	416
21	419	61	422	101	416	141	415	181	415

22	423	62	426	102	414	142	420	182	407
23	416	63	412	103	414	143	413	183	411
24	416	64	418	104	412	144	413	184	412
25	414	65	425	105	413	145	420	185	410
26	415	66	404	106	410	146	418	186	409
27	423	67	416	107	410	147	410	187	416
28	415	68	412	108	409	148	417	188	413
29	408	69	418	109	412	149	412	189	417
30	413	70	422	110	410	150	407	190	406
31	416	71	418	111	421	151	426	191	411
32	415	72	411	112	414	152	416	192	425
33	422	73	417	113	415	153	409	193	420
34	420	74	407	114	416	154	414	194	417
35	417	75	412	115	412	155	410	195	410
36	416	76	420	116	412	156	416	196	411
37	419	77	420	117	419	157	414	197	417
38	417	78	415	118	410	158	418	198	412
39	410	79	420	119	418	159	424	199	417
40	409	80	409	120	414	160	417	200	409

表 1-8 農学部棟のシミュレーション実行結果（対策後）

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	333	41	331	81	334	121	342	161	333
2	338	42	337	82	336	122	334	162	339
3	332	43	333	83	336	123	340	163	339
4	338	44	341	84	331	124	332	164	339
5	339	45	338	85	330	125	329	165	342
6	332	46	337	86	333	126	337	166	334
7	333	47	329	87	334	127	334	167	334
8	333	48	338	88	331	128	329	168	333
9	336	49	335	89	336	129	337	169	342
10	338	50	343	90	345	130	334	170	334
11	336	51	331	91	338	131	343	171	333
12	334	52	337	92	343	132	326	172	338
13	336	53	333	93	339	133	332	173	333

14	338	54	334	94	333	134	338	174	341
15	335	55	336	95	336	135	334	175	337
16	335	56	335	96	332	136	335	176	337
17	335	57	337	97	332	137	335	177	332
18	340	58	337	98	336	138	334	178	329
19	341	59	330	99	341	139	338	179	341
20	335	60	338	100	344	140	332	180	337
21	342	61	334	101	336	141	327	181	334
22	346	62	338	102	336	142	338	182	338
23	335	63	335	103	336	143	334	183	342
24	339	64	339	104	340	144	339	184	338
25	341	65	332	105	336	145	336	185	339
26	333	66	334	106	338	146	331	186	338
27	335	67	341	107	338	147	334	187	342
28	339	68	330	108	338	148	333	188	332
29	337	69	336	109	338	149	335	189	336
30	341	70	333	110	338	150	332	190	337
31	331	71	337	111	341	151	336	191	334
32	332	72	334	112	338	152	340	192	345
33	338	73	337	113	332	153	339	193	343
34	338	74	333	114	337	154	333	194	328
35	341	75	332	115	340	155	343	195	337
36	343	76	337	116	330	156	337	196	332
37	338	77	341	117	338	157	340	197	339
38	337	78	344	118	330	158	348	198	340
39	337	79	331	119	336	159	340	199	337
40	335	80	337	120	335	160	335	200	335

表 1-9 付属図書館棟のシミュレーション実行結果（対策前）

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	300	41	305	81	303	121	308	161	312
2	307	42	304	82	306	122	309	162	305
3	308	43	315	83	297	123	306	163	296
4	305	44	306	84	301	124	313	164	301
5	303	45	306	85	309	125	308	165	305
6	306	46	305	86	308	126	302	166	309

7	301	47	305	87	317	127	300	167	305
8	300	48	305	88	310	128	306	168	308
9	307	49	306	89	305	129	306	169	301
10	312	50	306	90	301	130	303	170	299
11	309	51	306	91	311	131	301	171	302
12	306	52	303	92	297	132	309	172	306
13	309	53	304	93	304	133	304	173	308
14	306	54	307	94	301	134	304	174	314
15	306	55	306	95	301	135	303	175	301
16	306	56	305	96	300	136	302	176	300
17	299	57	307	97	304	137	306	177	309
18	309	58	310	98	304	138	310	178	306
19	310	59	305	99	301	139	309	179	306
20	309	60	304	100	302	140	307	180	302
21	305	61	305	101	307	141	306	181	300
22	311	62	306	102	311	142	303	182	303
23	305	63	313	103	304	143	303	183	302
24	307	64	310	104	306	144	309	184	306
25	306	65	314	105	308	145	305	185	299
26	301	66	301	106	309	146	307	186	301
27	295	67	306	107	303	147	299	187	307
28	315	68	312	108	294	148	301	188	301
29	313	69	311	109	306	149	306	189	304
30	305	70	305	110	306	150	304	190	300
31	308	71	309	111	309	151	303	191	310
32	312	72	299	112	304	152	310	192	305
33	304	73	306	113	310	153	302	193	308
34	309	74	303	114	306	154	310	194	308
35	308	75	304	115	299	155	309	195	308
36	302	76	309	116	306	156	303	196	306
37	309	77	305	117	308	157	301	197	301
38	303	78	305	118	303	158	302	198	310
39	301	79	300	119	305	159	303	199	307
40	300	80	303	120	305	160	310	200	306

表 1-10 付属図書館棟のシミュレーション実行結果（対策後）

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	274	41	273	81	276	121	277	161	277
2	275	42	275	82	272	122	273	162	274
3	275	43	272	83	275	123	277	163	276
4	282	44	278	84	276	124	277	164	275
5	278	45	274	85	278	125	277	165	274
6	277	46	278	86	276	126	278	166	276
7	274	47	274	87	274	127	272	167	275
8	273	48	276	88	273	128	278	168	277
9	277	49	281	89	274	129	278	169	277
10	275	50	280	90	273	130	274	170	279
11	273	51	284	91	273	131	277	171	275
12	274	52	273	92	276	132	277	172	277
13	273	53	276	93	280	133	289	173	274
14	278	54	271	94	279	134	275	174	278
15	274	55	276	95	274	135	274	175	278
16	279	56	270	96	274	136	276	176	275
17	276	57	274	97	269	137	277	177	277
18	274	58	275	98	275	138	278	178	275
19	273	59	274	99	278	139	277	179	274
20	278	60	280	100	281	140	280	180	277
21	273	61	274	101	273	141	275	181	275
22	276	62	277	102	277	142	276	182	277
23	279	63	277	103	275	143	273	183	278
24	276	64	274	104	274	144	272	184	276
25	277	65	274	105	276	145	274	185	280
26	275	66	276	106	280	146	276	186	275
27	276	67	278	107	272	147	277	187	275
28	276	68	278	108	279	148	276	188	276
29	276	69	272	109	278	149	278	189	274
30	276	70	276	110	278	150	278	190	280
31	274	71	276	111	277	151	279	191	281
32	277	72	272	112	279	152	274	192	278
33	274	73	274	113	276	153	277	193	276
34	278	74	274	114	273	154	276	194	274

35	275	75	276	115	277	155	275	195	273
36	275	76	271	116	275	156	277	196	282
37	275	77	282	117	273	157	277	197	278
38	273	78	275	118	276	158	274	198	278
39	275	79	274	119	273	159	277	199	280
40	275	80	273	120	276	160	274	200	277

表 1-11 工学部棟のシミュレーション実行結果 (対策前)

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	557	41	534	81	557	121	553	161	553
2	539	42	551	82	552	122	545	162	545
3	560	43	549	83	543	123	537	163	557
4	564	44	551	84	535	124	545	164	539
5	528	45	550	85	537	125	547	165	550
6	544	46	552	86	554	126	540	166	545
7	556	47	550	87	550	127	548	167	555
8	551	48	538	88	552	128	534	168	563
9	527	49	535	89	559	129	548	169	550
10	550	50	546	90	552	130	543	170	557
11	552	51	535	91	550	131	542	171	544
12	550	52	547	92	532	132	536	172	555
13	551	53	537	93	560	133	540	173	549
14	545	54	546	94	557	134	556	174	557
15	553	55	536	95	548	135	548	175	546
16	553	56	553	96	553	136	551	176	543
17	545	57	540	97	551	137	561	177	539
18	539	58	527	98	553	138	557	178	541
19	546	59	536	99	564	139	555	179	543
20	531	60	535	100	545	140	555	180	538
21	541	61	550	101	559	141	558	181	542
22	545	62	548	102	539	142	551	182	538
23	551	63	545	103	541	143	548	183	553
24	533	64	549	104	548	144	536	184	564
25	549	65	544	105	548	145	559	185	556
26	535	66	562	106	545	146	551	186	546
27	542	67	527	107	545	147	555	187	542

28	546	68	540	108	549	148	555	188	556
29	544	69	549	109	550	149	537	189	551
30	520	70	548	110	536	150	548	190	554
31	538	71	563	111	546	151	536	191	542
32	544	72	537	112	548	152	537	192	546
33	551	73	554	113	543	153	530	193	553
34	541	74	548	114	545	154	540	194	544
35	553	75	551	115	555	155	557	195	554
36	544	76	524	116	555	156	559	196	554
37	554	77	556	117	558	157	537	197	561
38	554	78	550	118	556	158	554	198	548
39	561	79	544	119	553	159	545	199	548
40	548	80	555	120	561	160	546	200	524

表 1-12 工学部棟のシミュレーション実行結果 (対策後)

実行回数	時間 (s)	実行回数	時間 (s)	実行回数	時間 (s)	実行回数	時間 (s)	実行回数	時間 (s)
1	466	21	462	41	471	61	465	81	460
2	468	22	469	42	473	62	463	82	475
3	458	23	462	43	463	63	470	83	475
4	471	24	466	44	462	64	465	84	472
5	467	25	468	45	472	65	455	85	461
6	462	26	466	46	468	66	472	86	452
7	470	27	470	47	465	67	461	87	469
8	460	28	473	48	467	68	470	88	465
9	467	29	474	49	464	69	462	89	473
10	456	30	470	50	460	70	461	90	464
11	463	31	468	51	463	71	467	91	462
12	462	32	466	52	454	72	454	92	465
13	472	33	473	53	469	73	464	93	462
14	456	34	456	54	472	74	465	94	465
15	459	35	465	55	469	75	470	95	463
16	467	36	471	56	462	76	468	96	453
17	465	37	463	57	479	77	458	97	464
18	454	38	468	58	464	78	460	98	473
19	471	39	477	59	475	79	469	99	457
20	468	40	474	60	469	80	457	100	466

表 1-13 地域学部棟一時避難場所までのシミュレーション実行結果

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	919	41	912	81	913	121	916	161	918
2	915	42	920	82	910	122	915	162	915
3	915	43	917	83	913	123	918	163	916
4	915	44	913	84	916	124	916	164	914
5	920	45	911	85	917	125	911	165	921
6	916	46	915	86	913	126	917	166	919
7	915	47	908	87	915	127	918	167	914
8	920	48	917	88	921	128	910	168	921
9	913	49	912	89	921	129	913	169	923
10	908	50	916	90	919	130	915	170	915
11	910	51	910	91	913	131	916	171	916
12	915	52	913	92	908	132	913	172	918
13	913	53	915	93	916	133	910	173	910
14	920	54	918	94	920	134	915	174	913
15	913	55	914	95	917	135	914	175	910
16	912	56	920	96	917	136	915	176	911
17	919	57	912	97	914	137	910	177	914
18	919	58	913	98	913	138	917	178	908
19	919	59	923	99	912	139	915	179	913
20	918	60	915	100	917	140	918	180	920
21	914	61	917	101	917	141	912	181	913
22	920	62	914	102	915	142	917	182	923
23	911	63	913	103	913	143	916	183	918
24	916	64	914	104	915	144	922	184	913
25	918	65	913	105	917	145	922	185	916
26	923	66	912	106	910	146	914	186	915
27	917	67	916	107	912	147	913	187	917
28	911	68	917	108	913	148	915	188	916
29	922	69	908	109	912	149	917	189	917
30	916	70	921	110	915	150	910	190	913
31	913	71	915	111	912	151	911	191	914
32	909	72	919	112	916	152	915	192	917
33	910	73	915	113	914	153	914	193	912
34	914	74	911	114	912	154	916	194	911

35	909	75	920	115	911	155	915	195	915
36	915	76	913	116	914	156	912	196	924
37	915	77	913	117	917	157	908	197	921
38	919	78	915	118	919	158	918	198	916
39	913	79	915	119	922	159	915	199	922
40	913	80	914	120	917	160	910	200	917

表 1-14 付属図書館棟一時避難場所までのシミュレーション実行結果

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	431	41	432	81	431	121	429	161	430
2	430	42	440	82	435	122	429	162	429
3	432	43	433	83	425	123	431	163	428
4	429	44	431	84	425	124	429	164	428
5	427	45	429	85	429	125	427	165	433
6	432	46	424	86	427	126	439	166	435
7	427	47	435	87	431	127	425	167	432
8	426	48	439	88	435	128	430	168	432
9	433	49	430	89	432	129	430	169	433
10	425	50	433	90	431	130	432	170	431
11	429	51	430	91	429	131	431	171	427
12	429	52	431	92	436	132	428	172	429
13	428	53	424	93	436	133	429	173	428
14	428	54	431	94	429	134	429	174	434
15	426	55	424	95	427	135	428	175	433
16	433	56	431	96	432	136	426	176	432
17	433	57	433	97	427	137	428	177	430
18	432	58	429	98	434	138	431	178	430
19	433	59	428	99	432	139	430	179	429
20	432	60	434	100	427	140	428	180	439
21	436	61	432	101	430	141	431	181	432
22	429	62	429	102	425	142	429	182	429
23	431	63	427	103	430	143	431	183	434
24	429	64	432	104	432	144	430	184	429
25	433	65	426	105	429	145	431	185	432
26	435	66	433	106	432	146	428	186	433
27	427	67	428	107	430	147	430	187	431

28	424	68	423	108	435	148	425	188	435
29	429	69	432	109	434	149	433	189	431
30	422	70	432	110	431	150	428	190	428
31	431	71	432	111	430	151	432	191	432
32	432	72	429	112	429	152	434	192	432
33	425	73	434	113	429	153	425	193	430
34	428	74	427	114	433	154	432	194	426
35	431	75	430	115	430	155	427	195	429
36	426	76	430	116	434	156	432	196	425
37	429	77	430	117	431	157	429	197	428
38	430	78	425	118	430	158	432	198	428
39	435	79	431	119	428	159	433	199	434
40	437	80	423	120	425	160	426	200	431

表 1-15 工学部棟一時避難場所までのシミュレーション実行結果

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	2210	21	2220	41	2224	61	2223	81	2229
2	2222	22	2224	42	2220	62	2235	82	2213
3	2229	23	2223	43	2235	63	2229	83	2221
4	2219	24	2228	44	2216	64	2222	84	2226
5	2229	25	2217	45	2221	65	2214	85	2230
6	2226	26	2226	46	2221	66	2229	86	2228
7	2234	27	2222	47	2225	67	2224	87	2206
8	2226	28	2218	48	2239	68	2221	88	2239
9	2226	29	2224	49	2220	69	2229	89	2225
10	2224	30	2224	50	2223	70	2231	90	2234
11	2231	31	2227	51	2232	71	2223	91	2226
12	2215	32	2225	52	2218	72	2229	92	2233
13	2216	33	2214	53	2227	73	2223	93	2220
14	2226	34	2234	54	2249	74	2221	94	2228
15	2234	35	2220	55	2229	75	2228	95	2228
16	2221	36	2223	56	2226	76	2222	96	2230
17	2224	37	2224	57	2220	77	2231	97	2215
18	2219	38	2209	58	2221	78	2215	98	2231
19	2216	39	2228	59	2227	79	2225	99	2227
20	2230	40	2226	60	2216	80	2223	100	2207

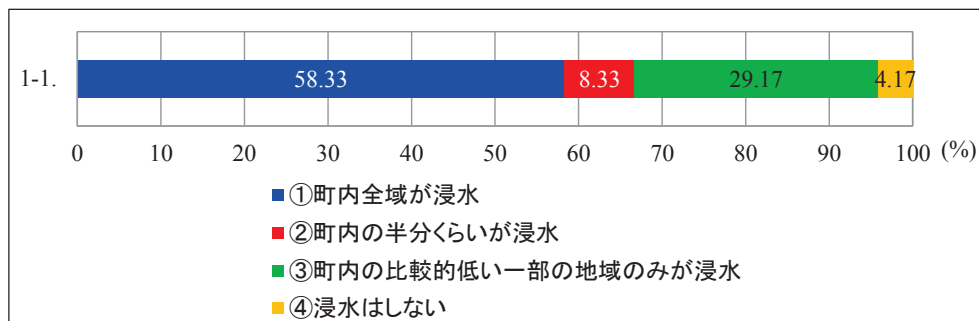
表 1-16 大学院棟一時避難場所までのシミュレーション実行結果

実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)	実行回数	時間(s)
1	1318	21	1320	41	1323	61	1315	81	1320
2	1320	22	1319	42	1323	62	1318	82	1319
3	1320	23	1322	43	1316	63	1318	83	1320
4	1317	24	1317	44	1319	64	1321	84	1318
5	1320	25	1314	45	1324	65	1318	85	1318
6	1325	26	1320	46	1318	66	1322	86	1322
7	1320	27	1317	47	1319	67	1321	87	1322
8	1319	28	1323	48	1319	68	1323	88	1320
9	1319	29	1317	49	1319	69	1317	89	1320
10	1317	30	1320	50	1319	70	1319	90	1322
11	1317	31	1320	51	1321	71	1321	91	1322
12	1316	32	1319	52	1317	72	1321	92	1321
13	1321	33	1318	53	1318	73	1316	93	1319
14	1320	34	1324	54	1320	74	1319	94	1315
15	1321	35	1320	55	1321	75	1319	95	1321
16	1322	36	1320	56	1318	76	1318	96	1320
17	1316	37	1321	57	1319	77	1321	97	1318
18	1322	38	1321	58	1319	78	1321	98	1320
19	1321	39	1317	59	1321	79	1321	99	1323
20	1322	40	1317	60	1320	80	1317	100	1318

付録 2

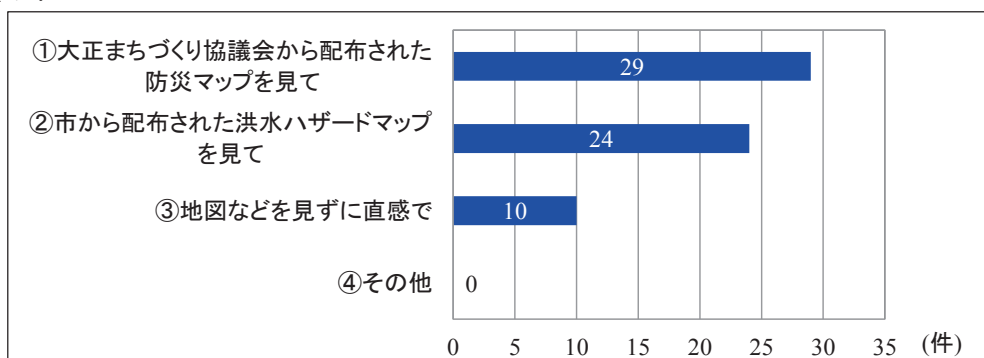
大正地区を対象とした実施したアンケート（1回目）の内容が下記のように示す。

1-1. あなたがお住まいの地域で洪水が発生する場合、どのくらいの範囲が浸水と思われますか？



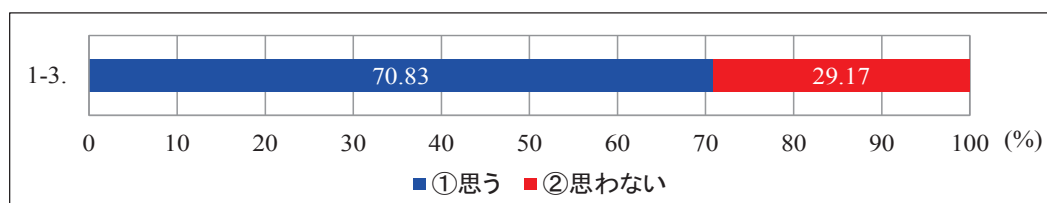
1-1. 住まいの地域の予想浸水範囲(アンケート調査 1)

1-2. 「1-1.」の選択にあたり、利用した資料は何ですか？当てはまるもの全てをお選びください。



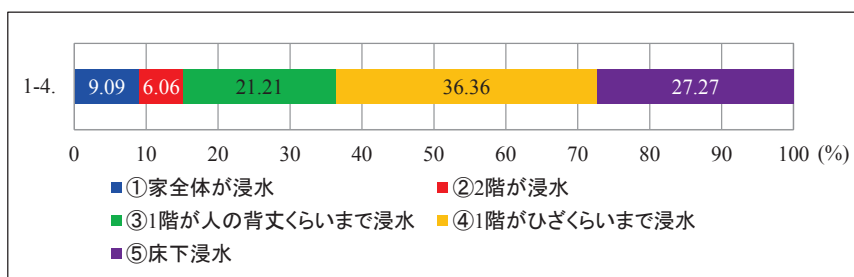
1-2. 浸水範囲の予想時に利用した資料(アンケート調査 1)

1-3. 洪水が起こった場合、あなたのご自宅は浸水すると思われますか？



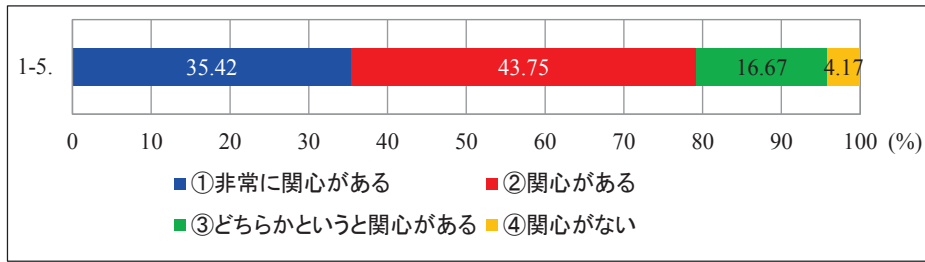
1-3. 洪水発生時、自宅が浸水するかどうか(アンケート調査 1)

1-4. 「1-3.」で①とお答えした方にお聞きします。どのくらい浸水すると思われますか？



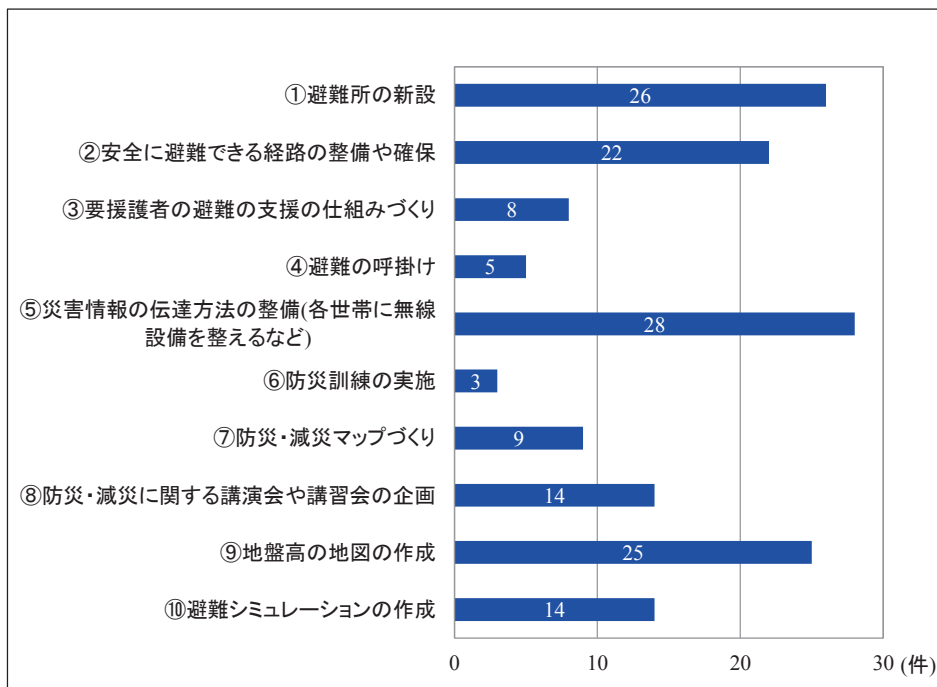
1-4. 洪水発生時に自宅が浸水する場合の浸水程度(アンケート調査 1)

- 1-5. 近年では、2011年3月11日の東日本大震災や観測記録を更新するような大規模な洪水災害やその他自然災害が発生しています。これらを受けて災害時の被害を防いだり、減らしたりする方法(対策)に関心がありますか？

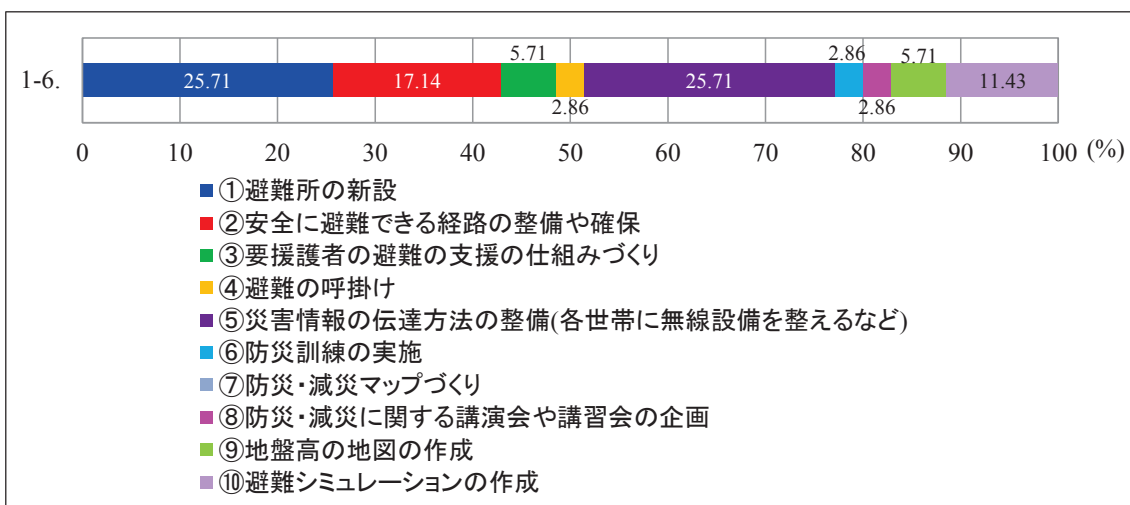


1-5. 防災・減災への関心度(アンケート調査 1)

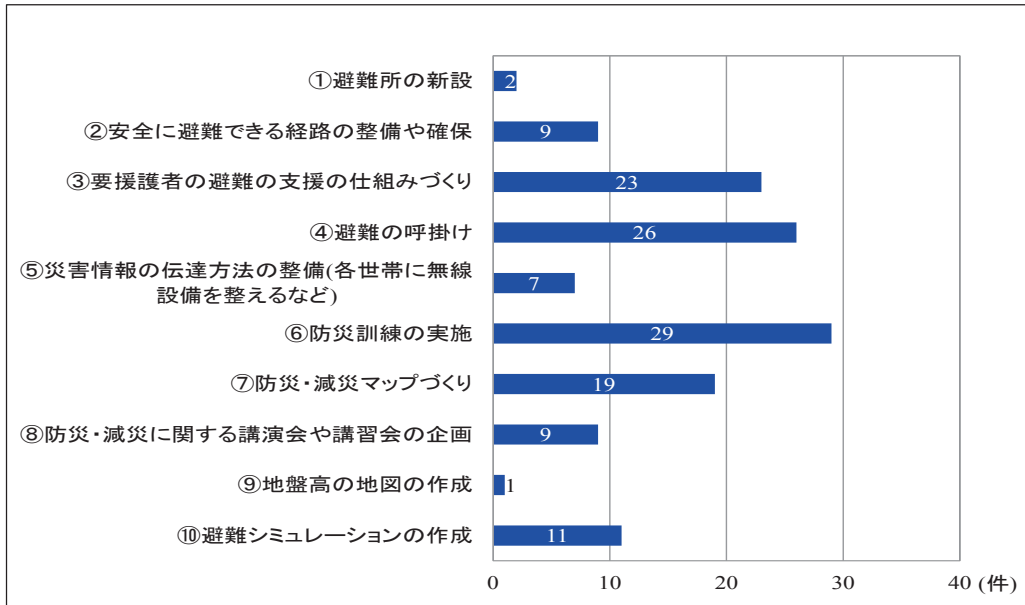
- 1-6. 防災・減災対策のあり方についてお聞きします。以下の①～⑩の項目を「行政に期待すること」と「自治会に期待すること」にそれぞれ分け番号で記入してください。またその中で、特に期待する項目1つを右側に番号で記入してください。



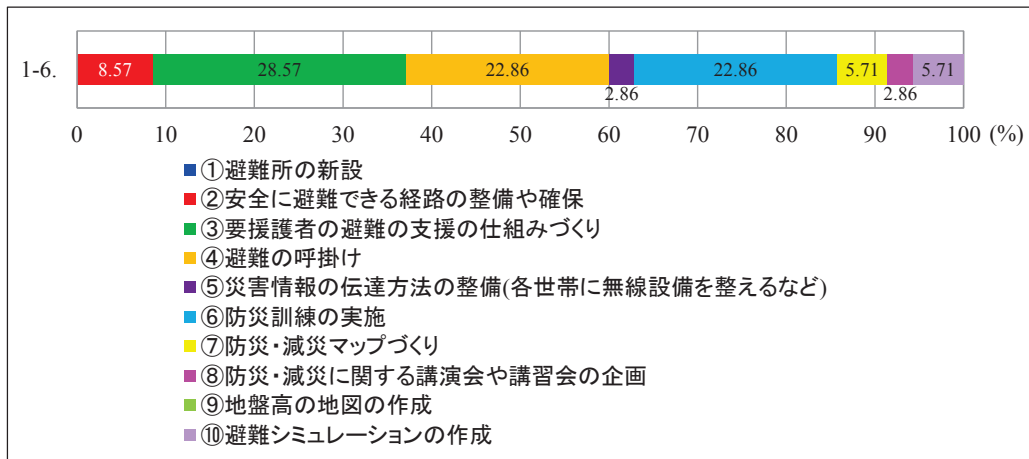
1-6. 防災・減災対策のあり方について行政に期待すること(アンケート調査 1)



1-6. 防災・減災対策のあり方について特に行政に期待すること1つ(アンケート調査 1)

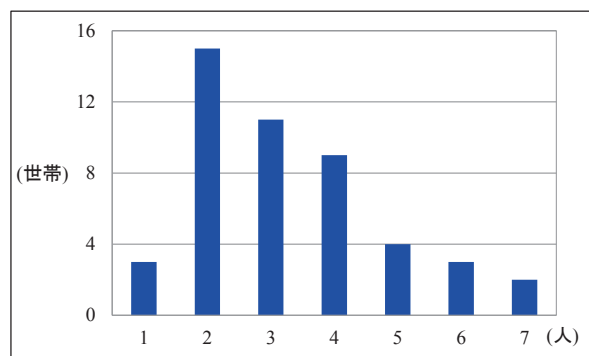


1-6. 防災・減災対策のあり方について自治会に期待すること(アンケート調査 1)



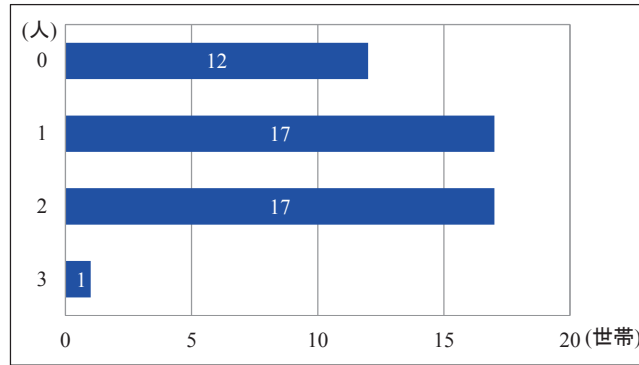
1-6. 防災・減災対策のあり方について特に自治会に期待すること 1つ(アンケート調査 1)

2-1. あなたを含め、同居されているご家族は何人ですか？



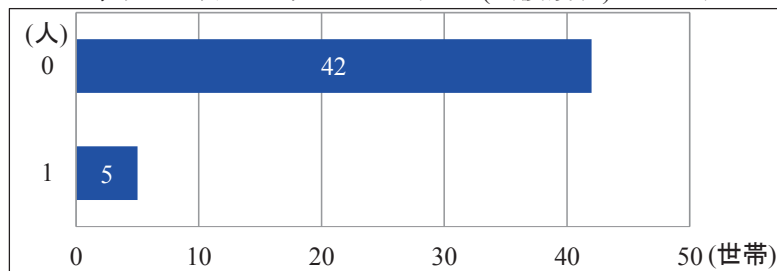
2-1. 1世帯あたりの同居人数(アンケート調査 1)

2-2. 同居されているご家族で 65 歳以上の方は何人ですか？



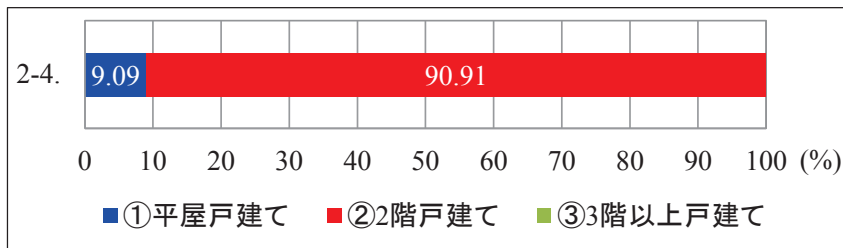
2-2. 1世帯あたりの65歳以上の方の居人数(アンケート調査1)

2-3. 同居されているご家族で避難の手助けが必要な方(要援護者)はいますか？



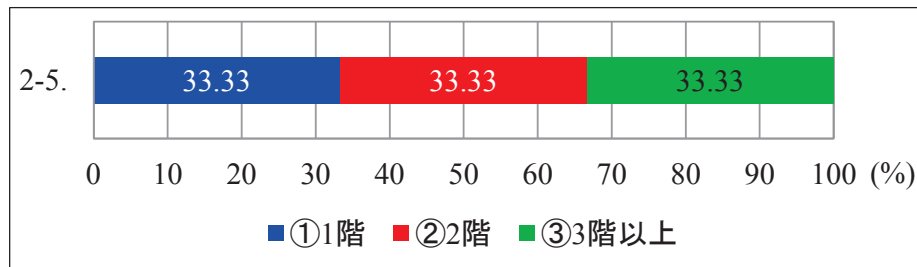
2-3. 1世帯あたりの災害時要援護者の方の居人数(アンケート調査1)

2-4. ※ご自宅が戸建ての方にお聞きます。住居形式は以下のどれに該当しますか？



2-4. 自宅が戸建の場合の階数(アンケート調査1)

2-5. ※ご自宅がマンション・アパートの方にお聞きます。どの階にお住みかを1つお選びください。



2-5. 自宅がマンション・アパートの場合の階数(アンケート調査1)

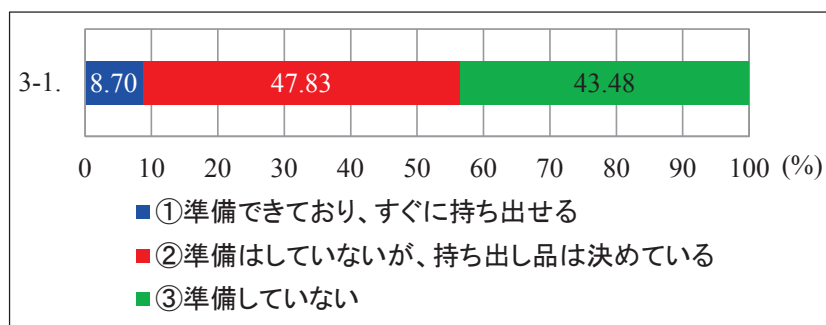
2-6. お住まいの町内会をご記入ください。

町内会別アンケート記入数(アンケート調査 1)

徳吉団地	徳尾	徳尾ニュータウン	緑ヶ丘1区	緑ヶ丘2区	緑ヶ丘3区	緑ヶ丘4区	古海1区	古海2区
2	5	0	0	2	0	0	5	3
古海3区	古海4区	高草団地	古海上	山ヶ鼻	菖蒲	服部	野寺	
2	0	3	3	3	6	5	7	

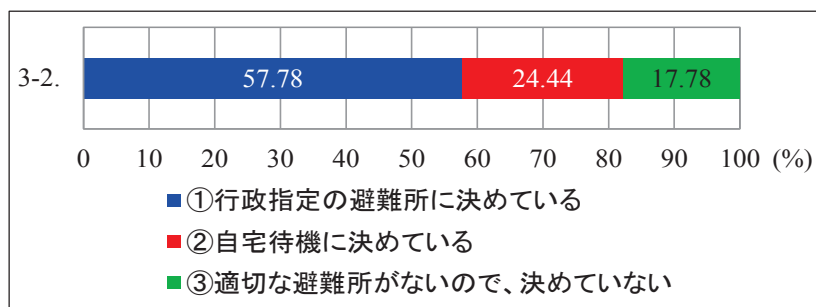
ご自宅

3-1. もしもの事態を考え、非常持ち出し品を準備していますか？



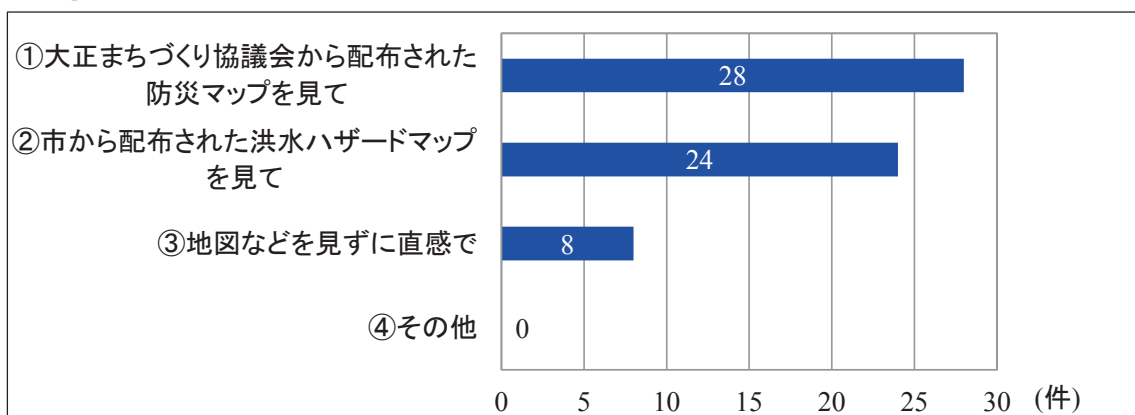
3-1. 非常持ち出し品の準備状況(アンケート調査 1)

3-2. 洪水の際、避難所を決めていますか？



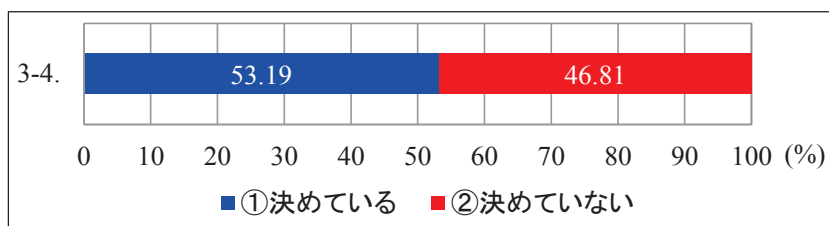
3-2. 洪水時の避難所の決定について(アンケート調査 1)

3-3. 「3-2.」の選択にあたり、利用した資料は何ですか？当てはまるもの全てをお選びください。



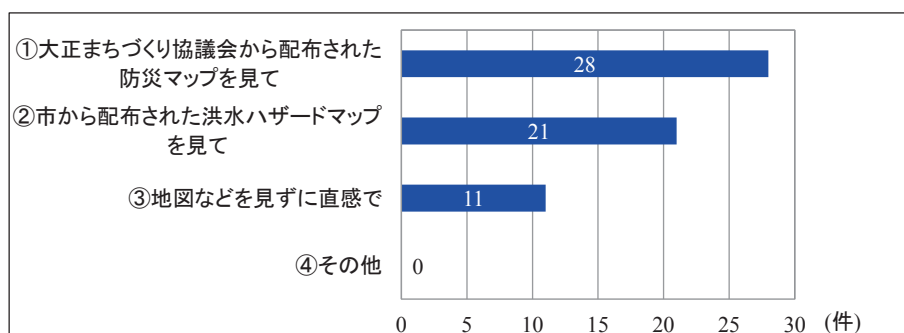
3-3. 避難所決定時に利用した資料(アンケート調査 1)

3-4. 避難経路を決めていますか？



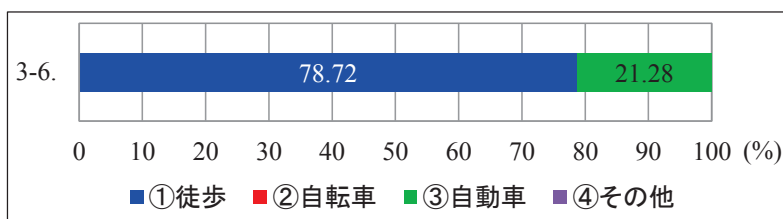
3-4. 避難経路を決定しているかどうか(アンケート調査 1)

3-5. 「3-4.」の選択にあたり、利用した資料は何ですか？当てはまるもの全てをお選び下さい。



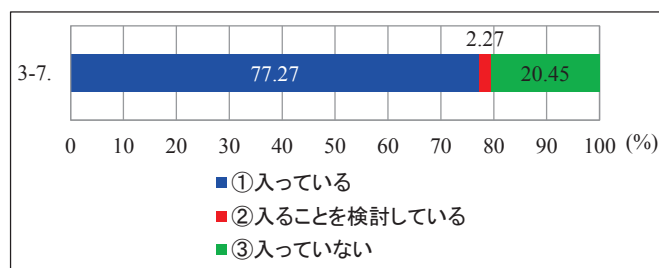
3-5. 避難経路決定時に利用した資料(アンケート調査 1)

3-6. 避難の際、どの移動手段を取りますか？取る可能性が最も高いと思うもの1つをお選びください。



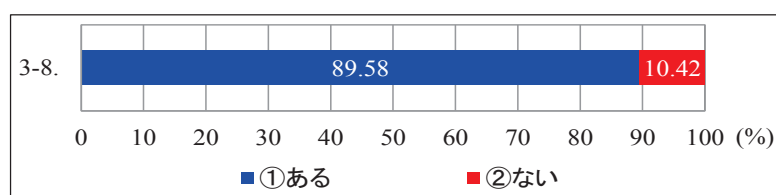
3-6. 避難時の移動手段(アンケート調査 1)

3-7. 町内の自主防災組織に入っていますか？



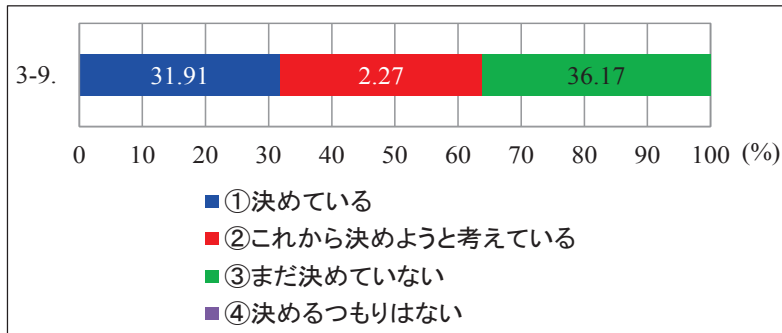
3-7. 自主防災組織への入会状況(アンケート調査 1)

3-8. 町内の防災訓練や、防災・災害に関する講演会に参加したことがありますか？



3-8. 町内行事の参加状況(アンケート調査 1)

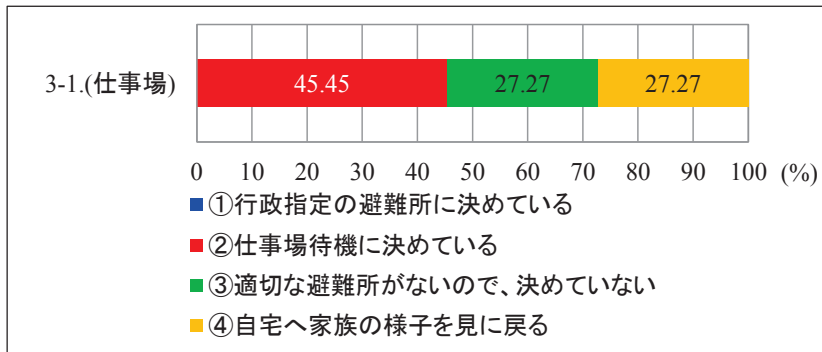
3-9. 自然災害時に備えて、家族内で話し合って避難行動、もしくは約束事を決めていますか？



3-9. 家族内での約束事を決めているかどうか(アンケート調査 1)

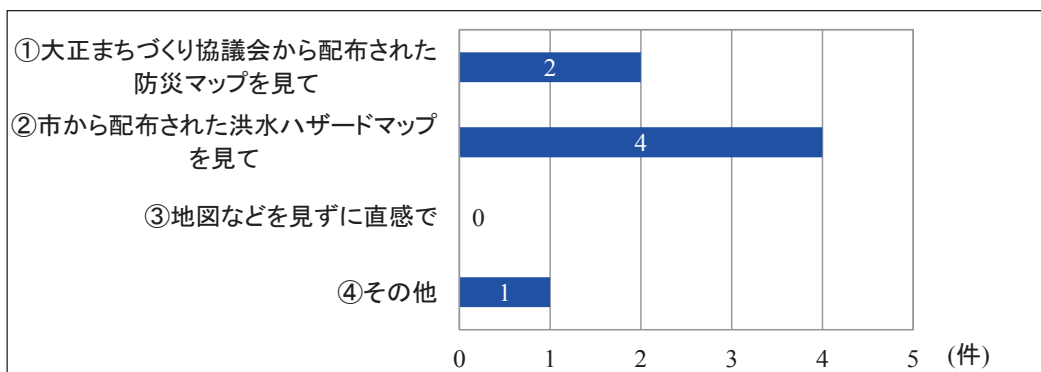
仕事場

3-1. 洪水の際、避難所を決めていますか？



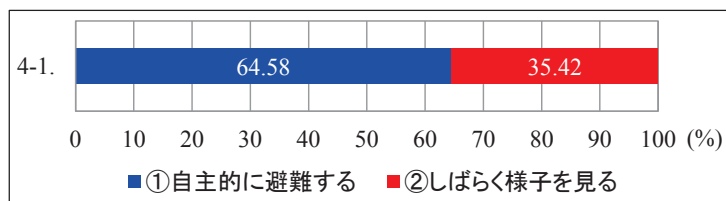
3-1. 洪水時の避難所の決定について(アンケート調査 1)

3-2. 「3-1.」の選択にあたり、利用した資料は何ですか？当てはまるもの全てをお選びください。



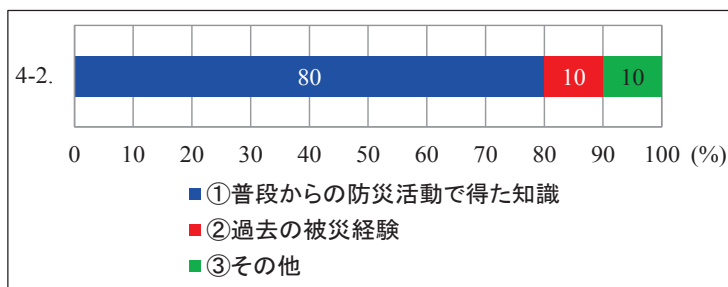
3-2. 避難所決定時に利用した資料(アンケート調査 1)

4-1. 記録的な降雨により避難勧告が発令された時、あなたやご家族はどのような行動を取りますか？



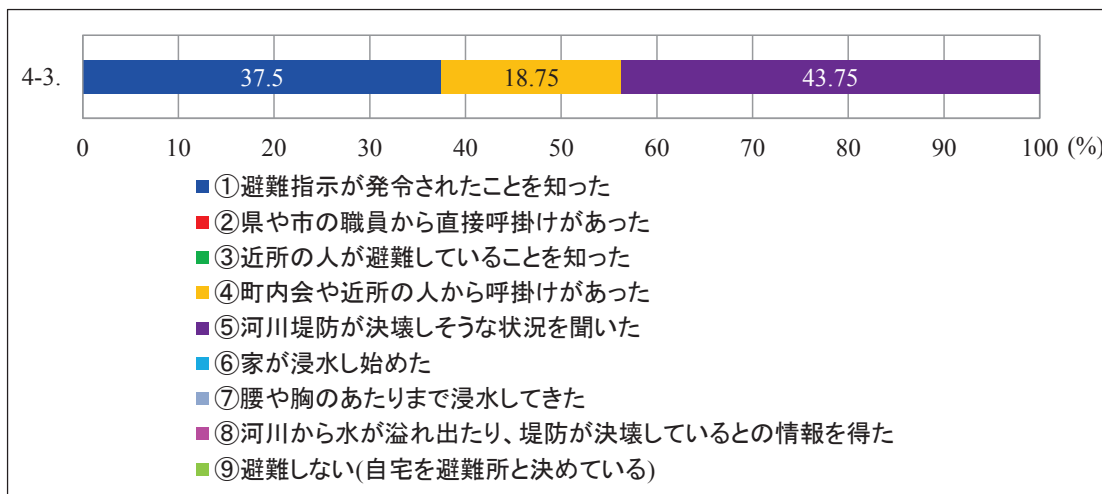
4-1. 記録的な降雨による避難勧告発令時の行動(アンケート調査 1)

4-2. 「4-1.」で①とお答えした方にお聞きします。避難開始の意思決定に最も強く影響を与えると思うもの1つに○をつけてください。



4-2. 避難開始の意思決定に最も強く影響を与えた要因(アンケート調査 1)

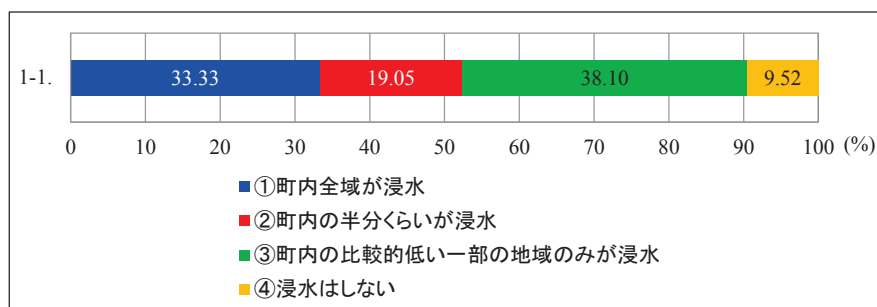
4-3. 「4-1.」で②とお答えした方にお聞きします。どのような条件があれば避難を開始しますか？最も重要だと思うもの1つに○をつけてください。



4-3. 避難開始の意思決定に最も強く影響を与える可能性のある要因(アンケート調査 1)

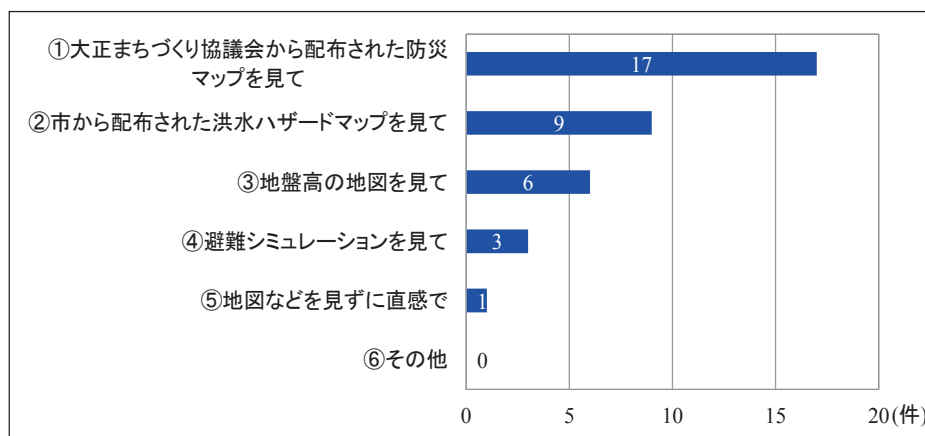
大正地区を対象とした実施したアンケート（2回目）の内容が下記のように示す。

1-1. あなたがお住まいの地域で洪水が発生する場合、どのくらいの範囲が浸水すると思われますか？



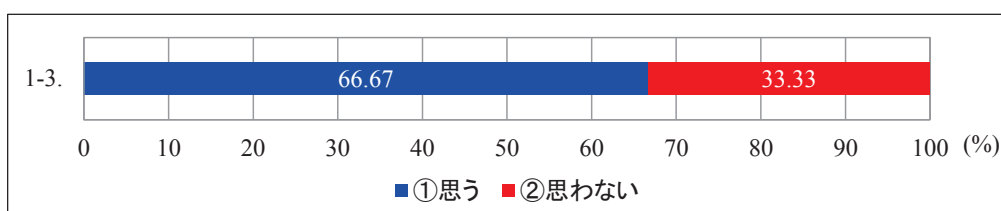
1-1. 住まいの地域の予想浸水範囲(アンケート調査 2)

1-2. 「1-1.」の選択にあたり、利用した資料は何ですか？当てはまるもの全てをお選びください。



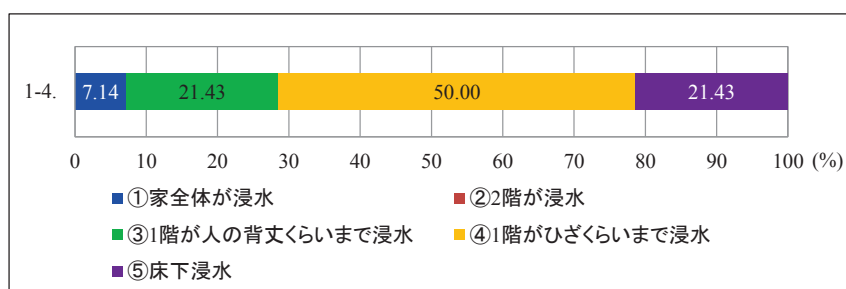
1-2. 浸水範囲の予想時に利用した資料(アンケート調査 2)

1-3. 洪水が起こった場合、あなたのご自宅は浸水すると思われますか？



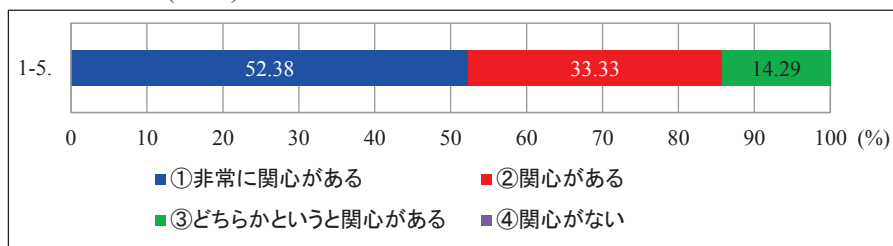
1-3. 洪水発生時、自宅が浸水するかどうか(アンケート調査 2)

1-4. 「1-3.」で①とお答えした方にお聞きします。どのくらい浸水すると思われますか？



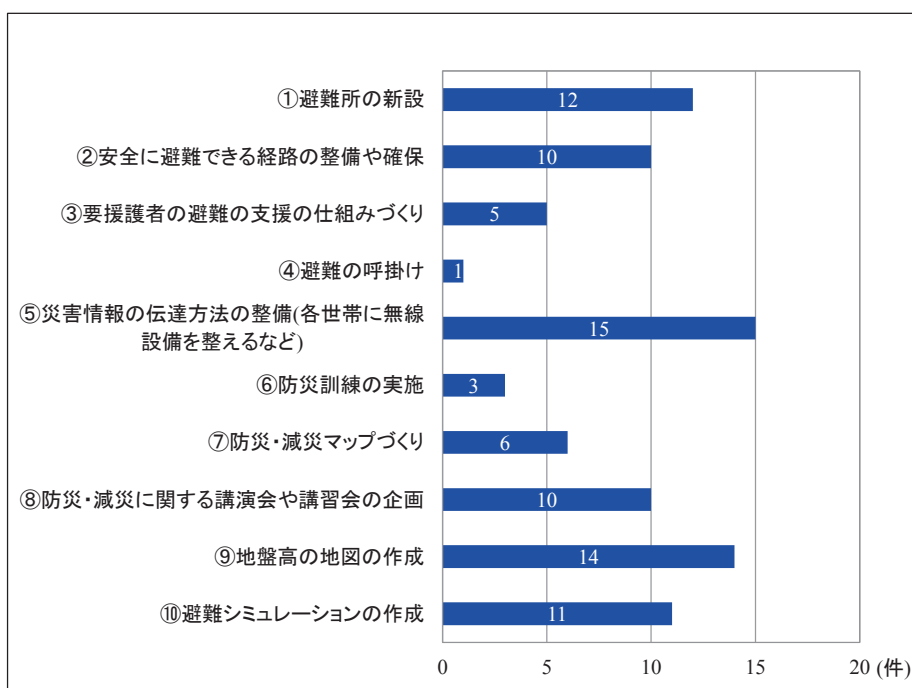
1-4. 洪水発生時に自宅が浸水する場合の浸水程度(アンケート調査 2)

1-5. 近年では、2011年3月11日の東日本大震災や観測記録を更新するような大規模な洪水災害やその他自然災害が発生しています。これらを受けて災害時の被害を防いだり、減らしたりする方法(対策)に関心がありますか？

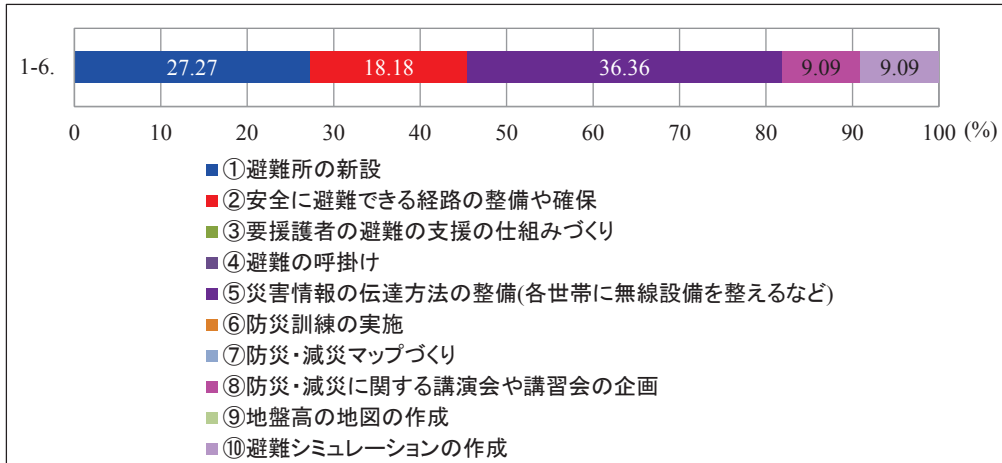


1-5. 防災・減災への関心度(アンケート調査 2)

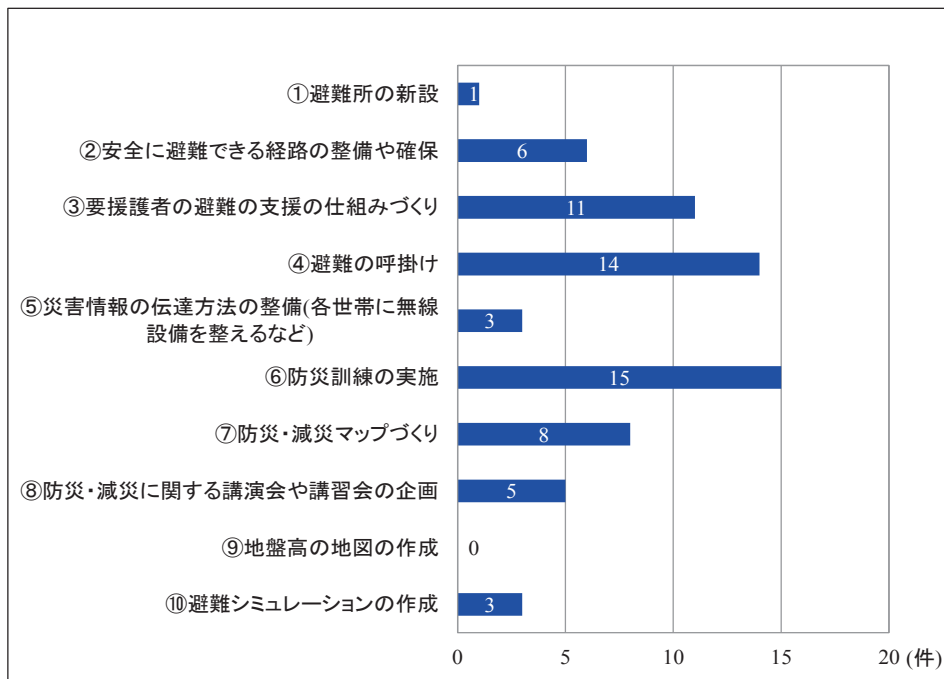
1-6. 防災・減災対策のあり方についてお聞きします。以下の①～⑩の項目を「行政に期待すること」と「自治会に期待すること」にそれぞれ分け番号で記入してください。またその中で、特に期待する項目1つを右側に番号で記入してください。



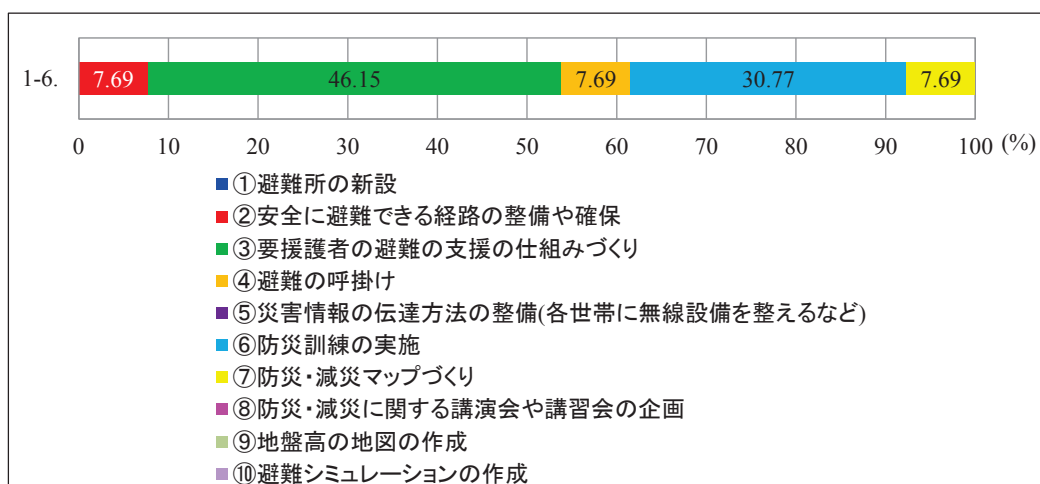
1-6. 防災・減災対策のあり方について行政に期待すること(アンケート調査 2)



1-6. 防災・減災対策のあり方について特に行政に期待すること1つ(アンケート調査2)

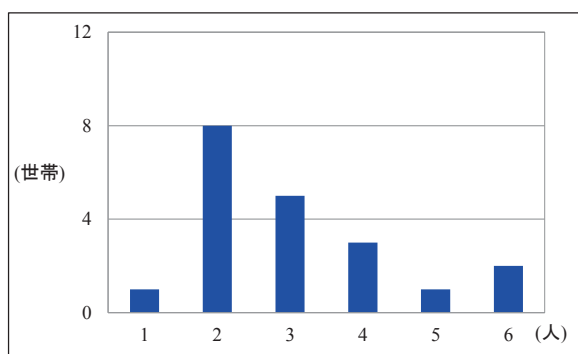


1-6. 防災・減災対策のあり方について自治会に期待すること(アンケート調査2)



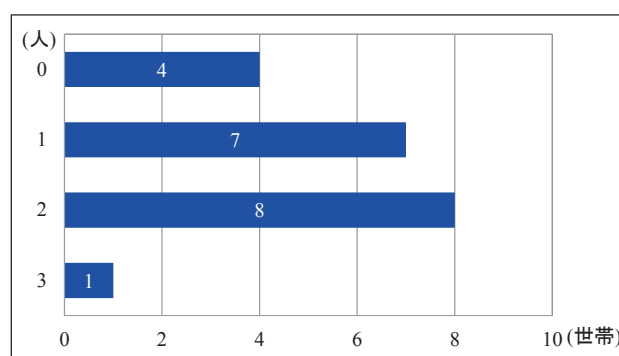
1-6. 防災・減災対策のあり方について特に自治会に期待すること1つ(アンケート調査2)

2-1. あなたを含め、同居されているご家族は何人ですか？



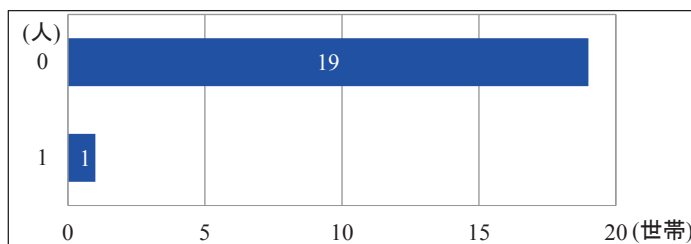
2-1. 1世帯あたりの同居人数(アンケート調査2)

2-2. 同居されているご家族で65歳以上の方は何人ですか？



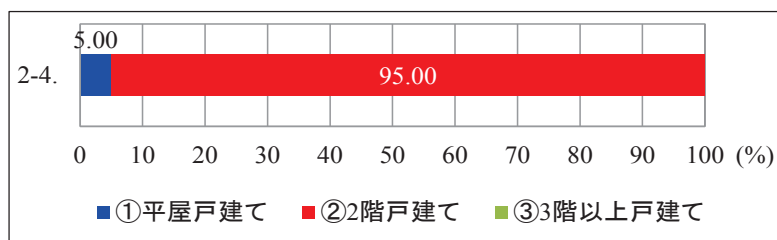
2-2. 1世帯あたりの65歳以上の方の居人数(アンケート調査2)

2-3. 同居されているご家族で避難の手助けが必要な方(要援護者)はいますか？



2-3. 1世帯あたりの災害時要援護者の方の居人数(アンケート調査 2)

2-4. ※ご自宅が戸建ての方にお聞きします。住居形式は以下のどれに該当しますか？



2-4. 自宅が戸建の場合の階数(アンケート調査 2)

2-5. ※ご自宅がマンション・アパートの方にお聞きします。どの階にお住みかを1つお選びください。

アンケート調査 2 では回答なし。

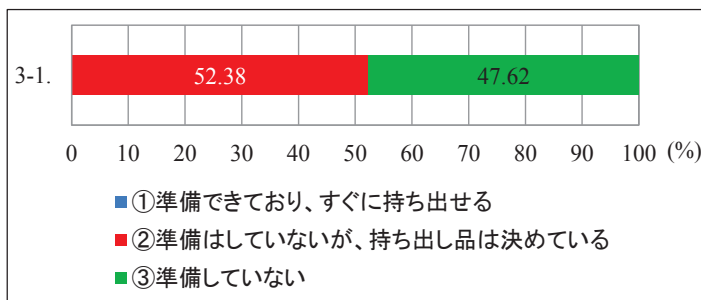
2-6. お住まいの町内会をご記入ください。

町内会別アンケート記入数(アンケート調査 2)

徳吉団地	徳尾	徳尾ニュータウン	緑ヶ丘1区	緑ヶ丘2区	緑ヶ丘3区	緑ヶ丘4区	古海1区	古海2区
0	2	0	0	0	0	0	2	1
古海3区	古海4区	高草団地	古海上	山ヶ鼻	菖蒲	服部	野寺	
1	0	1	2	3	1	3	4	

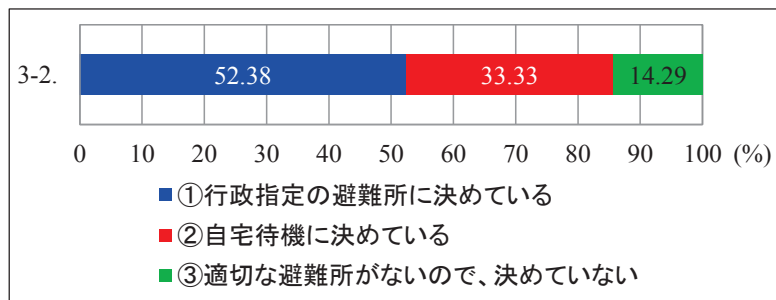
【自宅の場合】

3-1. もしもの事態を考え、非常持ち出し品を準備していますか？



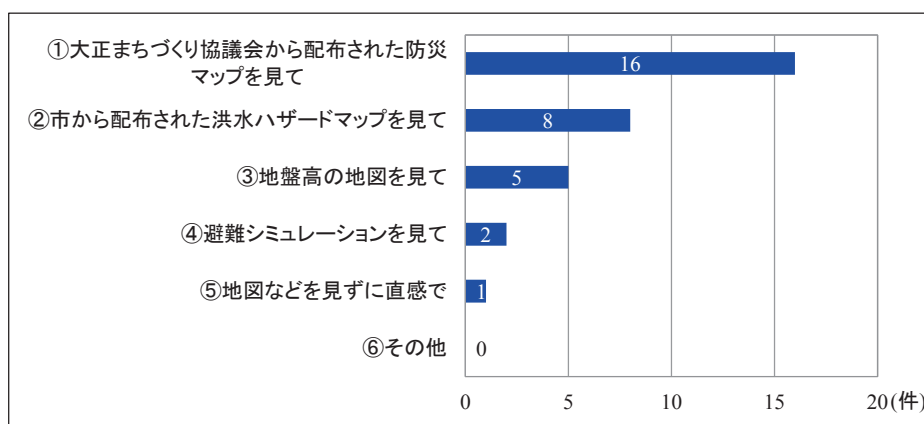
3-1. 非常持ち出し品の準備状況(アンケート調査 2)

3-2. 洪水の際、避難所を決めていますか？



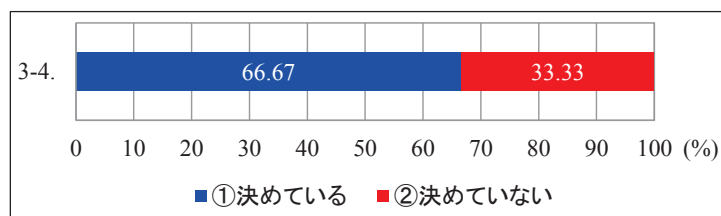
3-2. 洪水時の避難所の決定について(アンケート調査 2)

3-3. 「3-2.」の選択にあたり、利用した資料は何ですか？当てはまるもの全てをお選びください。



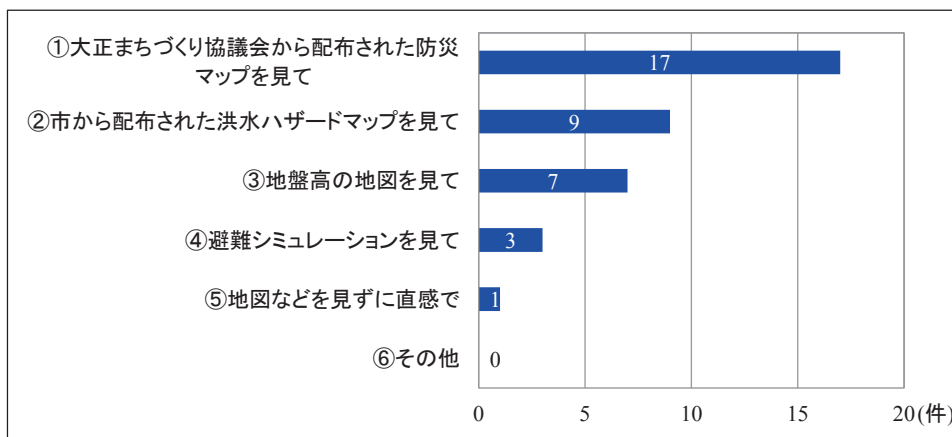
3-3. 避難所決定時に利用した資料(アンケート調査 2)

3-4. 避難経路を決めていますか？



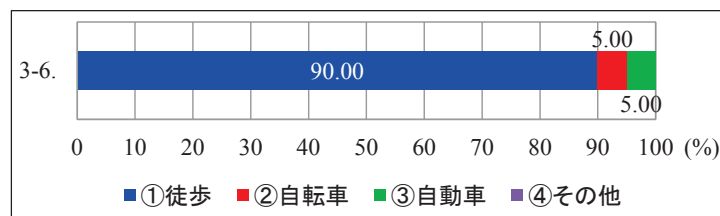
3-4. 避難経路を決定しているかどうか(アンケート調査 2)

3-5. 「3-4.」の選択にあたり、利用した資料は何ですか？当てはまるもの全てをお選び下さい。



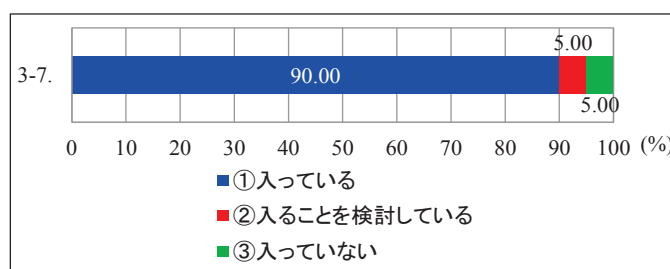
3-5. 避難経路決定時に利用した資料(アンケート調査 2)

3-6. 避難の際、どの移動手段を取りますか？取る可能性が最も高いと思うもの1つをお選びください。



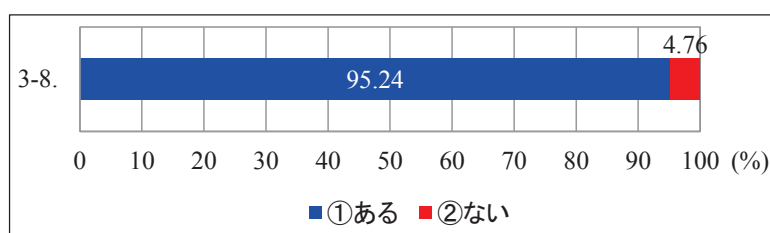
3-6. 避難時の移動手段(アンケート調査 2)

3-7. 町内の自主防災組織に入っていますか？



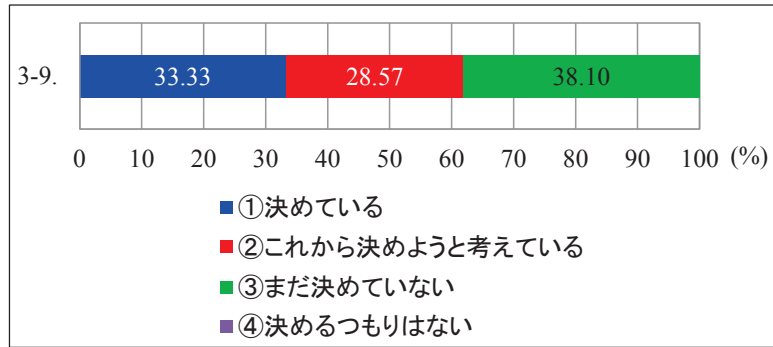
3-7. 自主防災組織への入会状況(アンケート調査 2)

3-8. 町内の防災訓練や、防災・災害に関する講演会に参加したことがありますか？



3-8. 町内行事の参加状況(アンケート調査 2)

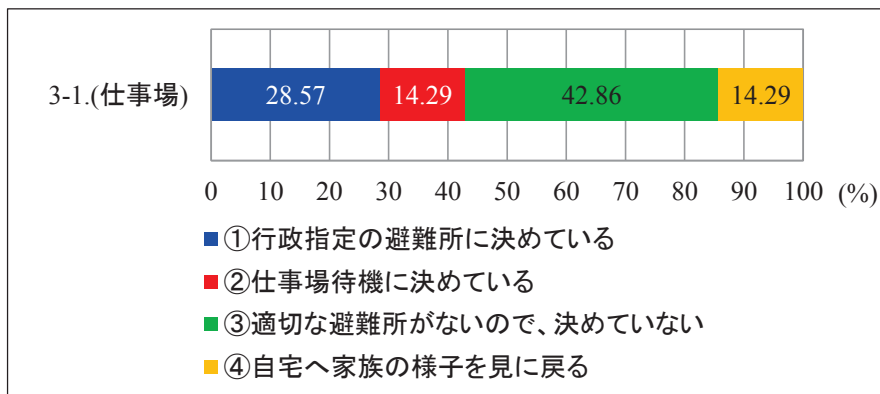
3-9. 自然災害時に備えて、家族内で話し合って避難行動、もしくは約束事を決めていますか？



3-9. 家族内での約束事を決めているかどうか(アンケート調査 2)

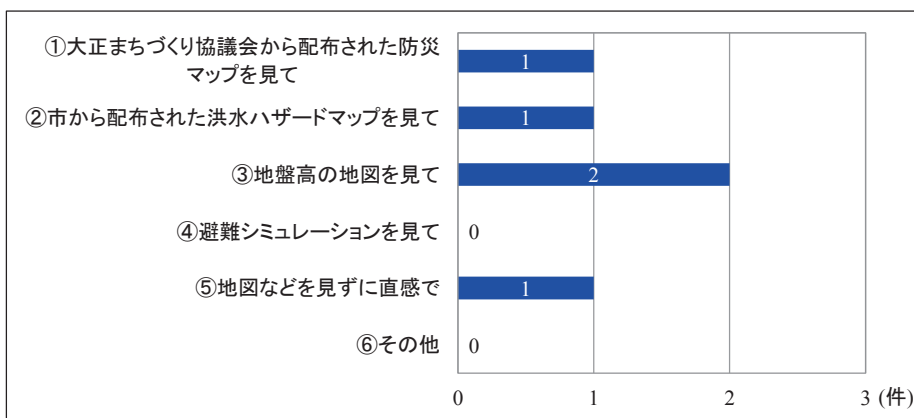
【仕事場の場合】

3-1. 洪水の際、避難所を決めていますか？



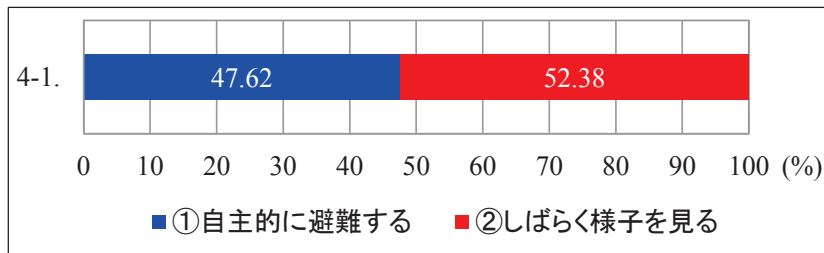
3-1. 洪水時の避難所の決定について(アンケート調査 2)

3-2. 「3-1.」の選択にあたり、利用した資料は何ですか？当てはまるもの全てをお選びください。



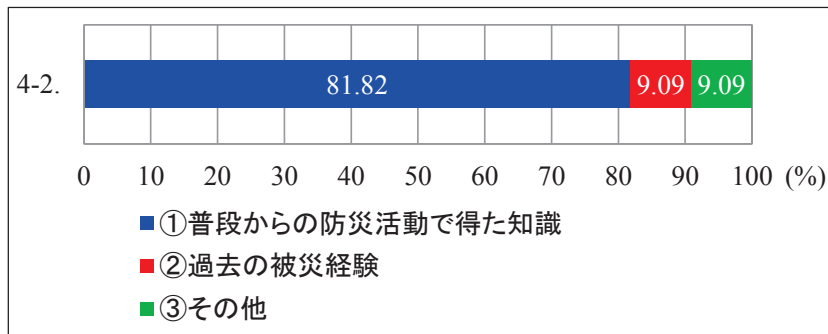
3-2. 避難所決定時に利用した資料(アンケート調査 2)

4-1. 記録的な降雨により避難勧告が発令された時、あなたやご家族はどのような行動を取りますか？



4-1. 記録的降雨による避難勧告発令時の行動(アンケート調査 2)

4-2. 「4-1.」で①とお答えした方にお聞きします。避難開始の意思決定に最も強く影響を与えると思うもの1つに○をつけてください。



4-2. 避難開始の意思決定に最も強く影響を与えた要因(アンケート調査 2)