

修士論文

最適行動に基づく津波避難行動解析を用いた 避難経路に係る諸要因の分析

Analysis of factors related to evacuation route
using tsunami evacuation action analysis
based on optimal behavior

高知工科大学大学院
工学研究科基盤工学専攻

川村 日成

2018年1月

平成 29 年度 修士論文

最適行動に基づく津波避難行動解析を用いた
避難経路に係る諸要因の分析

高知工科大学大学院

工学研究科基盤工学専攻 社会システム工学コース

耐震研究室 1205093

川村 日成

指導教員 甲斐 芳郎

副指導教員 西内 裕晶

論文要旨

津波避難行動には影響を及ぼす様々な要因から構成される様々なシナリオが存在し不確実性が極めて高いものである。その要因のなかでも『経路』と『避難開始時間』の2つの要因を適切に設定することで最適な避難行動の再現が可能であると既往研究で明らかにされているが、とくに経路においては幅員や傾斜など様々な構成要素が存在する。そこで本研究では、最適行動における避難シミュレーションを行い避難完了率を基に、津波避難時に適切な行動を取ることができるための重要な要素について検討を行った。

第1章、第2章では現在の避難計画の考え方や住民への津波避難に対するアンケート調査から、避難経路の要素において「傾斜」と「道路閉塞」を検討することの必要性とともに、本研究の目的および概要を述べている。

第3章では、一般的な避難シミュレーションについて概説した上で、本検討では経路の要素が避難に及ぼす影響に着目していることから、エージェント同士の相互作用を最適行動となるようなパラメータ設定にしていること、またそのシミュレータの詳細や対象地区について述べている。

第4章では避難経路の傾斜に関する分析を行った。まず避難時間最短経路と移動距離最短経路について検討を行い、避難完了率の推移の違いから移動距離最短経路が望まれることを示した。そしてカバーエリアの考え方に傾斜による速度低減の補正係数を考慮することにより、現在の考え方より現実に近いカバーエリアを表現することができることを明らかにした。

第5章では避難経路の道路閉塞に関する分析を行った。分析から、津波の進入方向から避難場所に向かう避難場所直近道路の閉塞状態が、地区の避難完了率に影響を与えること、またその直近道路を閉塞させないことによって、地区全体としても閉塞が全くない場合の避難完了率に近づくことを明らかにした。

第6章では本研究のまとめとして、まず今後カバーエリアの考え方に傾斜による速度低減を考慮すべきであることを示した。また傾斜による経路選択に関する検討や道路閉塞に関する検討から、避難行動において効率的にできるだけ早く垂直距離(標高)を確保することが重要であるということに帰着できる。同時に今後の展望として、全住民が最寄りの避難場所に避難することができるような避難経路に関する改善・工夫が必要となることや、地区単位で耐震改修に取り組むことによって効果的な津波避難対策が可能となることを述べた。

Abstract

Tsunami evacuation behaviors have various scenarios consisting of various factors that influence and the uncertainty is extremely high. Among the factors mentioned above, it is clarified in the past research that it is possible to reproduce the optimum evacuation behavior by appropriately setting two factors, "route" and "evacuation start time". Especially in the route, there are various components such as width and inclination. Therefore, in this study, we conducted an evacuation simulation in optimal behavior and examined important factors for being able to take appropriate action at the time of tsunami evacuation based on the evacuation completion rate.

In Chapter 1 and 2, from the viewpoint of the current evacuation plan and the questionnaire survey on evacuation of the tsunami to the residents, together with the necessity of considering "inclination" and "road blockage" in the elements of the evacuation route, the purpose and outline of this research are described.

In Chapter 3, since the outline of general evacuation simulation is outlined and this study focuses on the influence of the elements of the route on evacuation, it is assumed that the parameter setting that makes the interaction between the agents the optimal behavior, and It describes details of the simulator and target area.

In Chapter 4, we analyzed the inclination of evacuation route. First, we investigated the evacuation time shortest route and the shortest travel distance, and said that the shortest travel route distance is desired from the difference in evacuation completion rate transition. Second, it was clarified that by considering the correction coefficient of the speed reduction by inclination as the idea of the cover area, it is possible to represent the cover area close to reality than the present idea.

In chapter 5 we analyzed the evacuation route's road blockage. From the analysis, the blocked state of the evacuation site closest to the evacuation site from the approaching direction of the tsunami to the evacuation site affects the evacuation completion rate of the district. By not blocking the nearest road, it became clear that the evacuation completion rate in the case that the block as a whole is not blocked at all is approached.

In Chapter 6, as a summary of this research, it is important to consider the reduction in speed due to the inclination to the idea of the coverage area in the future, and it is important to secure the vertical distance as efficiently as possible efficiently in the evacuation behavior. At the same time, as a future prospect, effective tsunami evacuation measures will be necessary by improving and devising evacuation routes that all residents can evacuate to the nearest evacuation site, and by tackling seismic retrofitting at the district level It will be possible.

目次

| | |
|-----------------------------------------|----|
| 論文要旨 | 5 |
| 図目次 | 10 |
| 表目次 | 12 |
| 第 1 章. はじめに | 15 |
| 1.1 はじめに | 15 |
| 1.2 本研究の目的と概要 | 15 |
| 1.3 対象地区 | 15 |
| 第 2 章. 検討を行う避難経路の構成要素抽出 | 21 |
| 2.1 アンケート調査の目的 | 21 |
| 2.2 アンケート概要 | 21 |
| 2.3 アンケート調査結果 | 21 |
| 2.3.1 回答者の基本属性 | 21 |
| 2.3.2 津波避難に対する不安点に関する回答結果 | 22 |
| 2.4 避難経路に関する既往研究 | 23 |
| 2.4.1 避難経路の傾斜に関する既往研究 | 23 |
| 2.4.2 避難経路の閉塞に関する既往研究 | 23 |
| 第 3 章. 最適行動に基づく津波避難行動解析の概要 | 27 |
| 3.1 避難シミュレーションに関する既往研究 | 27 |
| 3.2 津波避難行動解析におけるモデル化・検討方法 | 27 |
| 3.2.1 道路閉塞の判定方法 | 27 |
| 3.2.2 避難シミュレータの概要 | 29 |
| 3.2.3 避難開始時間の取り扱い | 36 |
| 第 4 章. 避難経路の傾斜に関する分析 | 41 |
| 4.1 傾斜を考慮した避難場所選択に関する検討 | 41 |
| 4.1.1 傾斜を考慮した避難場所選択の考え方 | 41 |
| 4.1.2 避難場所選択法の違いによる避難完了率の推移 | 41 |
| 4.2 避難経路の傾斜による避難行動への影響 | 43 |
| 4.3 避難場所のカバーエリアの考え方に対する傾斜考慮検討 | 43 |

| | |
|------------------------------------------|-----------|
| 4.3.1 避難場所のカバーエリアの考え方 | 43 |
| 4.3.2 傾斜による速度低下を加味した避難行動と現在のカバーエリアとの比較 | 44 |
| 4.3.3 補正係数を考慮したカバーエリア | 44 |
| 第5章. 避難経路の閉塞に関する分析 | 51 |
| 5.1 対象地区の道路閉塞の危険性の判定結果 | 51 |
| 5.2 道路閉塞の有無による避難完了率の推移 | 52 |
| 5.3 避難完了率に影響を与える閉塞道路の抽出 | 55 |
| 第6章. まとめ | 61 |
| 付録 A. 個人の避難行動に関する分析-避難開始時間を指標として- | 65 |
| A.1 はじめに | 65 |
| A.2 避難開始時間に関する既往研究 | 65 |
| A.3 想定避難開始時間 | 65 |
| A.4 推定避難開始時間 | 66 |
| A.4.1 東日本大震災時アンケート結果の重回帰分析 | 66 |
| A.4.2 対象地区におけるアンケート調査 | 68 |
| A.5 想定避難開始時間と推定避難開始時間の関係 | 70 |
| A.6 避難開始しなければいけない時間と想定・推定避難開始時間の関係 | 70 |
| 付録 B. | 77 |
| 参考文献 | 87 |
| 謝辞 | 91 |

図目次

| | | |
|--------|----------------------------------|----|
| 図 1.1 | 対象地区の津波避難場所と避難経路..... | 16 |
| 図 1.2 | 避難場所への階段(1)..... | 16 |
| 図 1.3 | 避難場所への階段(2)..... | 16 |
| 図 2.1 | アンケートを配布した住宅..... | 21 |
| 図 2.2 | 回答者の性別..... | 22 |
| 図 2.3 | 回答者の年齢..... | 22 |
| 図 2.4 | 津波避難に対する不安点のアンケート結果..... | 23 |
| 図 3.1 | 閉塞の考え方..... | 28 |
| 図 3.2 | 対象地区の最大浸水深..... | 30 |
| 図 3.3 | 対象地区の津波到達時間..... | 31 |
| 図 3.4 | 避難シミュレータのフロー図..... | 32 |
| 図 3.5 | ハイキング関数..... | 33 |
| 図 3.6 | 浸水深と死者率の関係..... | 34 |
| 図 3.7 | 実験の道路状況イメージ(漁村における津波対策基本方針)..... | 35 |
| 図 3.8 | 経路選択に関する計算フロー..... | 35 |
| 図 3.9 | インプット経路データの考え方..... | 35 |
| 図 3.10 | 避難開始時間をバラつかせた場合の避難完了率の考え方..... | 36 |
| 図 5.1 | 道路幅員..... | 51 |
| 図 5.2 | 道路閉塞予測箇所..... | 51 |
| 図 5.3 | 経路の Input データ..... | 51 |
| 図 5.4 | 道路閉塞有無による避難完了率(地区全体)..... | 52 |
| 図 5.5 | 地区 1 と地区 2 の詳細..... | 52 |
| 図 5.6 | 道路閉塞有無による避難完了率(地区 1)..... | 53 |
| 図 5.7 | 道路閉塞有無による避難完了率(地区 2)..... | 54 |
| 図 5.8 | 選択した避難場所(道路閉塞なし)..... | 54 |
| 図 5.9 | 選択した避難場所(道路閉塞あり)..... | 54 |
| 図 5.10 | 避難開始時間 1800s での生死(道路閉塞あり)..... | 54 |
| 図 5.11 | 避難開始時間 1800s での生死(道路閉塞あり)..... | 54 |
| 図 5.12 | 海側からの避難場所直近道路..... | 55 |
| 図 5.13 | Input 経路データ..... | 55 |
| 図 5.14 | 閉塞を改善した場合のシミュレーション結果(地区 1)..... | 56 |
| 図 5.15 | 閉塞を改善した場合のシミュレーション結果(地区全体)..... | 56 |
| 図 A.1 | 各設問の相関係数 R..... | 67 |
| 図 A.2 | 想定避難開始時間と推定避難開始時間..... | 70 |
| 図 A.3 | 避難開始しなければいけない時間と想定避難開始時間..... | 71 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 図 A.4 避難開始しなければいけない時間と推定避難開始時間 | 71 |
|--------------------------------------|----|

表目次

| | |
|--------------------------------------------|----|
| 表 3.1 高知市老朽住宅除却事業における老朽度の測定基準 | 28 |
| 表 3.2 解析条件の詳細 | 32 |
| 表 3.3 実験におけるケースごとの速度と低減率(漁村における津波対策基本方針) . | 34 |
| 表 4.1 各避難場所の詳細 | 45 |
| 表 A.1 東日本大震災時アンケート調査の質問内容 | 66 |

第1章

はじめに

第1章.はじめに

1.1はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では津波による被害が甚大であり、人的被害も亡くなった方の約92%が津波による溺死であった。今後発生すると予測されている南海トラフ地震も巨大津波を伴うものであり、東北地方太平洋沖地震同様津波の被害は大きいとされている。東北地方太平洋沖地震の被害結果を受け、中央防災会議により「南海トラフ巨大地震対策について最終報告」が2013年5月に公表された。この報告による『「命を守る」ことを基本として、住民避難を中心に、住民一人ひとりが迅速かつ主体的に避難行動が取れるような取組を強化し、支援していく必要がある』の考えのもと、ソフト対策の一つとして各地地域の津波避難計画の策定・見直しがすすめられている。

このような災害に対する対策検討においては一般的に災害の規模や発生する時間など災害シナリオの設定を行い、その災害に対する避難行動の再現・評価を行うが、避難行動には影響を及ぼす要因のシナリオが無数存在するため不確実性が極めて高いものであると言われている。このシナリオにおいて、桑原による検証¹⁾では『避難開始時間』と『経路』を最適に設定することで、最適な避難行動の再現が行えるという結果が得られている。とくに経路においては幅員や傾斜など様々な構成要素が存在し、現在の避難計画ではこれら経路の要素を十分に考慮できているとは言えないのが現状である。

1.2 本研究の目的と概要

以上より本研究では避難経路の構成要素が津波避難に与える影響を検討し、避難計画への各要素の考慮必要性や避難路整備・耐震改修等の面からみた地区単位での津波避難対策の在り方を提案する。

概要としては、まず対象地区によるアンケート結果から“経路の傾斜”と“道路閉塞”を検討する構成要素として決定した。傾斜に関しては津波避難計画に用いられている避難場所カバーエリアへの傾斜考慮の必要性と傾斜を考慮した避難場所選択に関する検討、道路閉塞に関しては閉塞の有無により避難完了率が大きく変化する重要道路を抽出することの重要性を検討する。

1.3 対象地区

対象地区は高知県高知市の御豊瀬とする。南海トラフ地震での予想震度は6強であり、浦戸湾に面しているため予想津波被害も浸水深5~10m、浸水予想時間20~30分と被害が大きいと言われている。人口約330人で、その半数が60歳以上の高齢地区であり傾斜の影響が大きいと思われることと、木造家屋が多く狭小道路が多いため家屋倒壊による道路閉塞の可能性が高いことから対象地区として決定した。また地区内には高台の避難場所が5箇所あり、津波避難ビルが1箇所存在する(図1.1)。地形としては西側の浦戸湾、東側

の山に挟まれた狭い地区であるのが特徴で、そのため避難場所へ続く経路には図 1.2 や図 1.3 のような急な階段や傾斜が多くみられる。



図 1.1 対象地区の津波避難場所と避難経路



図 1.2 避難場所への階段(1)



図 1.3 避難場所への階段(2)

第 2 章

検討を行う避難経路の構成要素抽出

第2章. 検討を行う避難経路の構成要素抽出

2.1 アンケート調査の目的

無数に考えられる避難経路の構成要素の中から、本研究で検討する要素を抽出するために、対象地区において住民の方々が日頃津波避難に関してどのような不安を感じているのか把握を行った。

2.2 アンケート概要

調査対象地区: 高知県高知市御豊瀬

調査方法: 対象地区内の住宅のうち空家でない住宅に対してポストイング(図 2. 1)

使用したアンケート用紙は付録に記載している

調査期間: 2017年8月15日～2017年8月31日

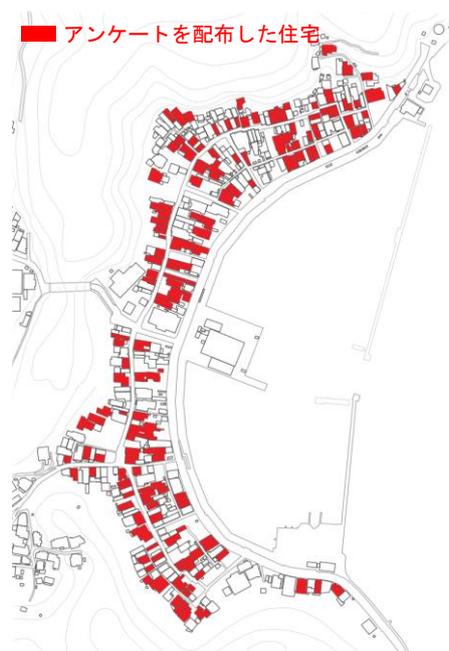


図 2.1 アンケートを配布した住宅

2.3 アンケート調査結果

2.3.1 回答者の基本属性

アンケートを配布した160棟のうち回答を得られたのは68棟であり、回収率は43%であった。回答者は男性41%女性54%(図 2. 2)であり、70代の方が38%で最も多かった(図 2. 3)。

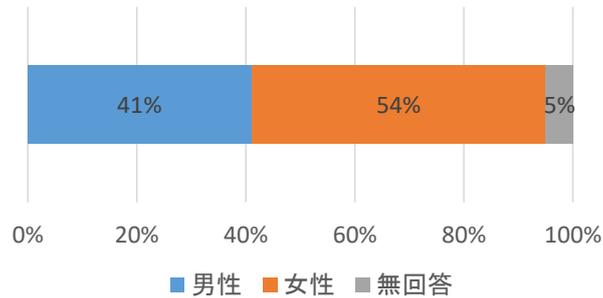


図 2.2 回答者の性別

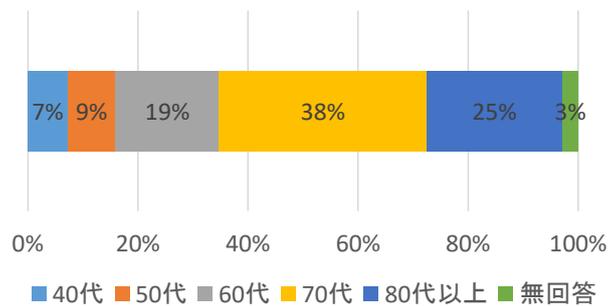


図 2.3 回答者の年齢

2.3.2 津波避難に対する不安点に関する回答結果

津波避難に対する不安点を把握するにあたり、設問は「日頃生活している中で津波避難について疑問に思うこと、不安点などがございましたら、ご自由にお書きください。」とした。

図 2.4 のアンケート調査結果より「傾斜に対する身体的不安」と「道路閉塞の危険性」についての不安がともに 20%で最も多いことがわかる。具体的にはそれぞれ以下のような回答内容であった。

「傾斜に対する身体的不安について」

- ・足腰が悪く室内でも杖をついてやっと生活している。地域の住民もほぼ全員高齢者であり避難場所まで登れる自信がない。
- ・今の避難場所は狭くて階段があり、登りづらい。
- ・家の近くの避難場所は傾斜が急で登れないため、遠くの傾斜がゆるい場所まで行くつもり

「傾斜について」

- ・古い家が多く揺れが大きかった場合、道路の状況がどうなるのか不安がある。
- ・古い家や塀に囲まれているため助かる気がしない。

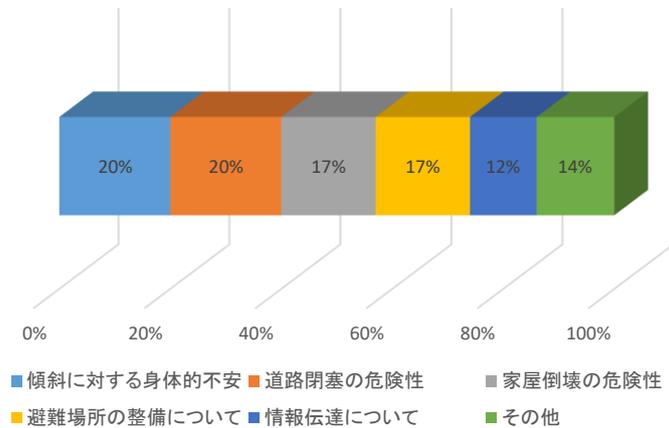


図 2.4 津波避難に対する不安点のアンケート結果

この「傾斜」と「道路閉塞」について、多くの不安点が挙げられているが、津波避難において重要な津波避難計画では明確な考慮をなされていないのが現状であるため、計画への考慮の必要性を検討すべきである。このことから本研究では経路の要素として「傾斜」と「道路閉塞」を検討項目として決定する。

2.4 避難経路に関する既往研究

2.4.1 避難経路の傾斜に関する既往研究

避難経路の傾斜について南ら²⁾は研究対象地区の避難路における水平移動距離や到達標高の測定を行い避難路の評価、避難者に生じる傾斜負荷に応じた避難場所選定の必要性の検討を行っている。しかしここでの検討とは単純に避難路の勾配値の緩急のみの評価であり、勾配が避難行動自体に及ぼす影響までは言及していない。

また佐藤ら³⁾はある施設を対象とし、地形による負荷を勘案した歩行換算距離が施設利用者の経路を的確に説明できるという結果を明らかにしている。しかしこれも換算距離を施設などの配置計画にまで組み込むという段階には至っていない。

このように経路の傾斜を津波避難や施設配置などの計画時に考慮するという検討は少ないのが現状である。

2.4.2 避難経路の閉塞に関する既往研究

避難経路の道路閉塞に関して木村ら⁴⁾は道路閉塞と避難困難者に関する検討を行い、木密地域において道路閉塞が避難困難者の増加に繋がることを明らかにしている。また市川ら⁵⁾は道路閉塞による避難場所到達可能性の低下について要因分析を行っている。

このように道路閉塞に関しては閉塞率が避難完了率に与える影響として検討されているものが多い。しかし避難経路ごとの閉塞有無が避難行動に与える影響は一定ではなく、経路状況などの違いによる避難行動への影響の程度を把握することにより閉塞対策を行うべき経路の順位付けなどにつながると考える。

第 3 章

最適行動に基づく津波避難行動解析の概要

第3章. 最適行動に基づく津波避難行動解析の概要

3.1 避難シミュレーションに関する既往研究

津波避難などの避難シミュレーションにおいて用いられることが多い解析法が「マルチエージェントシステム」(以下 MAS)である。MAS とはある意思決定メカニズムをもった活動主体であるエージェント同士が相互作用を及ぼしながらシステム全体の動きを表現するモデルである。すなわちエージェント自身が周囲の環境を把握しその環境に対応した行動を行い、同時に他のエージェントにも影響を与えるという特性をもっており群衆内での行動や渋滞状況を再現できるものである。

しかしこのようなエージェント同士の相互作用には不確実性の高いものが多く、本研究のように避難経路に焦点をあて検討を行うにあたっては、そのような人間工学的側面の不確実性の影響は小さくしたい。そこで本研究では有川ら⁶⁾によって開発された津波シミュレーションと連成された避難シミュレーションのパラメータを以下のように設定することで、エージェント同士の相互作用の影響を最小限に仮定し、人間工学的な影響に対しては最適行動となるような津波避難行動解析を行う。

3.2 津波避難行動解析におけるモデル化・検討方法

3.2.1 道路閉塞の判定方法

本研究では道路閉塞を以下の手順で判定する。

(1) 倒壊の危険性がある建物の抽出

対象地区でのアンケート調査より各住宅の築年数を把握した上で、木造住宅において地盤調査や耐力壁のバランス計算が義務化されるなどの建築基準改正⁷⁾が行われた2000年以前に建てられた住宅を基準不適合住宅とし倒壊危険性がある建物とする。アンケートの回答を得られなかった住宅については、高知市老朽住宅除却事業⁸⁾の住宅の老朽度の測定基準(表3.1)から耐震性の低下に繋がると考えられる「構造の老朽又は破損の程度」の項目のものが目視で確認できたものを倒壊危険性がある建物とする。

表 3.1 高知市老朽住宅除却事業における老朽度の測定基準

| 評定区分 | 評定項目 | 評定内容 | | | |
|------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------|
| 1 | 構造一般の程度 | (1) 基礎 構造耐力上主要な部分である基礎が玉石であるもの 構造耐力上主要な部分である基礎がないもの | | | |
| | | (2) 外壁 外壁の構造が粗悪なもの | | | |
| 2 | 構造の腐朽又は破壊の程度 | (3) 基礎、土台、又ははり 柱が傾斜しているもの、土台又は柱が腐朽し、又は破壊しているもの等小修理を要するもの 基礎に不同沈下のあるもの、柱の傾斜が著しいもの、はりが腐朽し、又は破壊しているもの、土台又は柱の数箇所に腐朽又は破壊があるもの等大修理を要するもの 基礎、土台、柱又ははりの腐朽、破壊又は変形が著しく崩壊の危険のあるもの | | | |
| | | (4) 外壁 外壁の仕上材料の剥落、腐朽又は破壊により、下地の露出しているもの 外壁の仕上材料の剥落、腐朽又は破壊により、著しく下地の露出しているもの又は壁体を貫通する穴を生じているもの | | | |
| | | | (5) 屋根 屋根ぶき材料の一部に剥落又はずれがあり、雨漏りのあるもの 屋根ぶき材料に著しい剥落があるもの、軒の裏板、たる木等が腐朽したもの又は軒のたれ下がったもの 屋根が著しく変形したもの | | |
| | | 3 | | 防火上又は避難上の構造の程度 | (6) 外壁 延焼のおそれのある外壁があるもの 延焼のおそれのある外壁の壁面数が3以上あるもの |
| | | | | | (7) 屋根 屋根が可燃性材料でふかかれているもの |
| 4 | 排水設備 | (8) 雨水 雨樋がないもの | | | |

(2) 家屋倒壊による道路閉塞箇所の特定

決定した倒壊危険性がある建物の現状に新階ら⁹⁾の「都市内地区施設等の震災時における防災効果のマクロな評価手法」における道路幅員を考慮した閉塞判定法の「閉塞の考え方」(図 3.1)を適用し、家屋倒壊による地区の道路閉塞箇所を決定する。

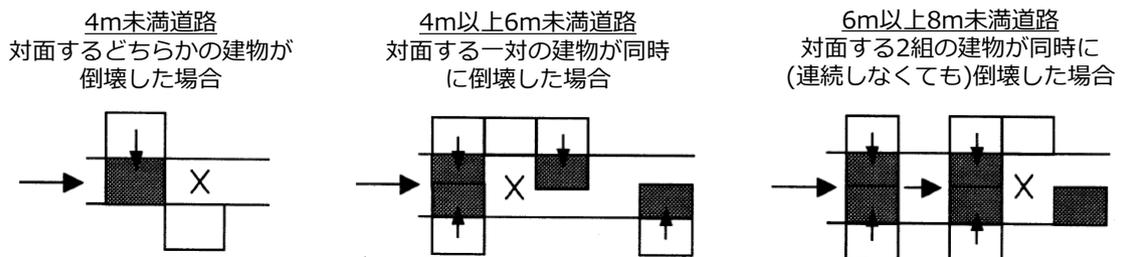


図 3.1 閉塞の考え方

3.2.2 避難シミュレータの概要

(1) オリジナルプログラム

本研究では有川らが開発した津波シミュレーションと連成された避難シミュレーションを使用する。シミュレータの概要と今回の解析条件を以下に示す。

[1] 津波シミュレータの概要

津波の数値計算は、波源から遡上までを効率よく計算する手法として、富田ら¹⁰⁾が開発した準三次元モデル（多層モデル）を用いた静水圧近似の高潮津波数値シミュレータ（以下 STOC-ML とする）を用いる。以下にその概要と計算条件を示す。

① 基礎方程式

多層海洋モデルの基礎方程式を以下に示す。

(a) 運動方程式

(X 方向)

$$\gamma \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\gamma_X uu) + \frac{\partial}{\partial y}(\gamma_Y vu) + \frac{\partial}{\partial z}(\gamma_Z wu) - f_0 v = -\gamma \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(\gamma_X v_H 2 \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}\{\gamma_Y v_H (\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x})\} + \frac{\partial}{\partial z}\{\gamma_Z v_H (\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x})\} \quad [\text{式 3.1}]$$

(Y 方向)

$$\gamma \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\gamma_X uv) + \frac{\partial}{\partial y}(\gamma_Y vv) + \frac{\partial}{\partial z}(\gamma_Z wv) + f_0 u \quad [\text{式 3.2}]$$

(Z 方向)

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g_z \quad [\text{式 3.3}]$$

(b) 連続の式

$$\frac{\partial}{\partial x}(\gamma_X u) + \frac{\partial}{\partial y}(\gamma_Y v) + \frac{\partial}{\partial z}(\gamma_Z w) = 0 \quad [\text{式 3.4}]$$

(c) 自由表面の式

$$\gamma \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\eta} \gamma_X u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\eta} \gamma_Y v dz = 0 \quad [\text{式 3.5}]$$

② 数値解法

(a) 離散化の方針

基礎方程式の離散化の方針を次に示す。

- ・スタガード・メッシュ系を採用している。
- ・メッシュ幅を自由に設定できる可変メッシュサイズ系を採用している。
- ・保存形式で記述された基礎方程式をコントロールボリューム法で離散化している。
- ・空間差分において対流項以外は 2 次精度の中心差分とする。
- ・対流項は 1 次風上差分と 2 次中心差分をパラメータで結んだハイブリッドスキームとする。
- ・時間積分は leapfrog 法の陽解法を用いるものとする。

(b) 時間積分

流速を定義する時間と圧力、水面位置を定義する時間が $\Delta t/2$ ずれている leapfrog 法で

時間積分を進めるものとする。多層モデルの標準的な手法なので詳細は省略する。

(c) 流速 w の計算方法

流速 w は、 x 方向、 y 方向の運動方程式より新しい時刻 u, v を計算した後で、連続方程式より計算する。具体的には、流速 w がゼロの底層から上層へ下の式で計算する。

$$(w)^{n+1} = \{(Y_z w)_{k1}^{n+1} - \Delta Z_k \left(\frac{(Y_x u)^{n+1} - (Y_x u)_{i-1}^{n+1}}{\Delta x} + \frac{(Y_y v)^{n+1} - (Y_y v)_{i-1}^{n+1}}{\Delta y} \right)\} / \gamma z \quad [\text{式 3.6}]$$

(d) 圧力の計算方法

式 2.3 を積分すると、圧力計算式として次の圧力計算式が求まる。

$$p = p_a + \rho g z (\eta - Z) \quad [\text{式 3.7}]$$

具体的には式 3.7 を表面上の圧力 p_a から下層に向かって積分した式 3.8 により計算する。

$$(p)^{n+1} = (p)_{k+1}^{n+1} - \left\{ \frac{\Delta Z_{k+1}}{2} (p)_{k+1}^{n+1} + \frac{\Delta Z}{2} (p)^{n+1} \right\} g \quad [\text{式 3.8}]$$

③ 計算条件

計算領域は、5 つの領域でネスティングを行った。最小の格子サイズは 10.0 m である。津波の波源は、中央防災会議による南海トラフ巨大地震のモデルケース¹¹⁾のうち、対象地域において最も被害が大きくなるケース 4（四国沖に大すべり+超大すべり域）を使用した。またこの時、高知県が示している被害想定に記されている想定対象潮位から、初期の水位を T.P. +1.0 m に設定した。

この計算条件での、研究対象地域の最大浸水深と浸水予測時間を図 3.2 と図 3.3 に示す。

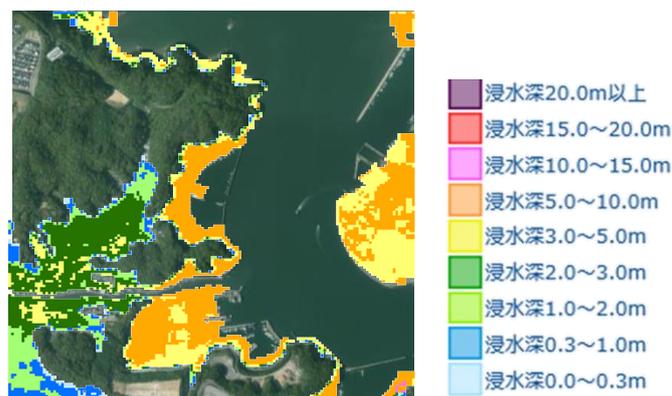


図 3.2 対象地区の最大浸水深

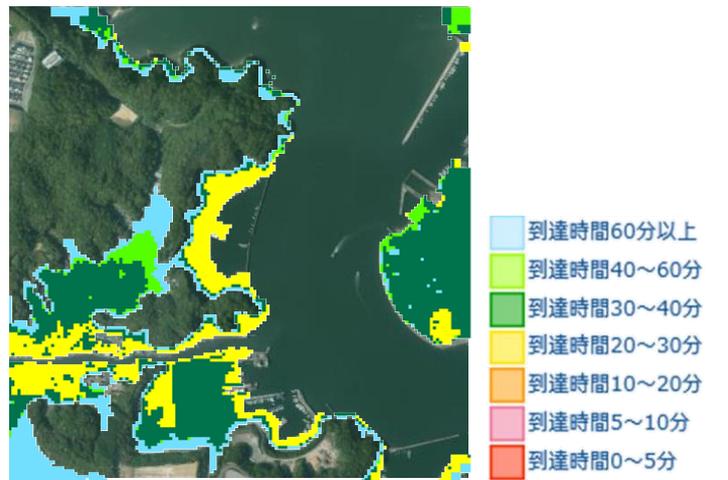


図 3.3 対象地区の津波到達時間

[2]避難シミュレータの概要

避難シミュレータは、ポテンシャルモデルを使用し、避難者は地形や障害物を考慮した避難所までの経路を移動する。また避難速度は、ハイキング関数により経路の勾配を考慮し、浸水深による避難速度の補正を行う。浸水深は、STOC-MLにより計算される値を読み込むことにより設定する。STOC-MLと避難モデルを連成し、津波の挙動と避難行動を同時に計算することで、津波規模と避難条件に応じた避難率の定量的な評価を可能としている。避難シミュレーションのフローを図3.4に、詳細な計算条件を表3.2示す。入出力データは次の通りである。

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>[入力データ]</p> <p>地形に関するもの</p> <ul style="list-style-type: none"> ・避難経路データ ・避難場所位置データ ・津波データ <p>エージェントに関するもの</p> <ul style="list-style-type: none"> ・初期位置 ・初期速度 ・死亡判定水深 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>[出力データ]</p> <p>時刻ごとの各エージェントの</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ステータス(生死移動) ・位置(x, y, z) ・速度(x, y, z) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



図 3.4 避難シミュレータのフロー図

表 3.2 解析条件の詳細

| 項目 | 詳細 |
|-----------|------------|
| 格子間隔 | 2m |
| 計算時間 | 7200s |
| 計算間隔 | 5s |
| 移動速度 | 初期速度0.6m/s |
| agent数 | 330人 |
| agent配置場所 | 経路上にランダム |
| 死亡判定水深 | 1.0m |

①避難経路ポテンシャル

解析用メッシュの各セルについて、式 3.9 に示す通り地形や障害物を考慮した最寄りの避難所までの最短距離を算出し、その逆数に-1 を乗じたものを避難経路ポテンシャルとする。避難所セルのポテンシャルは -10^{10} に、避難所へのルートが存在しないセル（進入禁止セル）のポテンシャルは -10^{-10} にそれぞれ設定する。そしてそのポテンシャルが小さいセル方向にエージェントは移動する。

$$u_{shelter}(i,j)=-1/r(i,j) \quad [式 3.9]$$

$u_{shelter}$: 避難経路ポテンシャル

$r(i,j)$: (i,j)セルから最寄りの避難所までの最短距離

なお本モデルでは、歩行速度への高低差の影響を考慮して、斜面勾配 S に対する歩行速度の変化率により、あるセル a から b までの距離を式 3.10 のように補正する。

$$r'(i,j)=r(i,j) \times \frac{\text{平地での歩行速度}}{\text{高低差のあるときの歩行速度}} = \frac{r(i,j)}{\text{slope_function}(S_{a \rightarrow b})} \quad [式 3.10]$$

ここで式 3.10 中の slope_function には、式 3.11 で表されるハイキング関数を使用する。また図 3.5 にこの関数のプロットを示す。

$$\text{Slope_function}(S)=\exp(-3.5|S+0.05|) \quad [式 3.11]$$

避難所までの高低差を考慮した最短経路

距離: $r' = r/F$

避難経路ポテンシャル: $-1/r'$

(r : 平面距離 F : ハイキング関数)

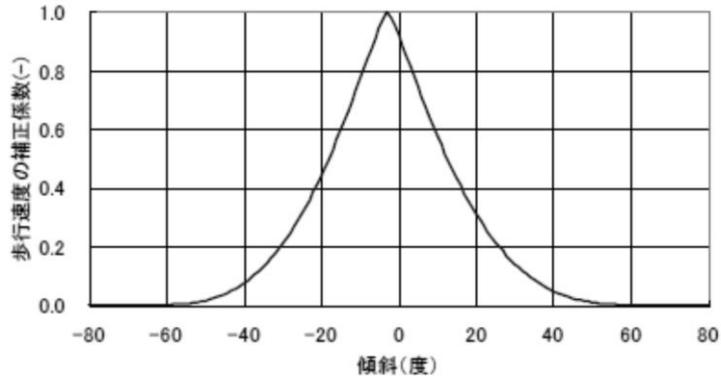


図 3.5 ハイキング関数

②歩行速度の決定

避難者は式 3.12 に示す速度で移動する。

$$V_K = V_{0K} \times \text{Slope_function}(S) \times (1 - d/d_{\text{dead}}) \quad [\text{式 3.12}]$$

右辺第 2 項は、式 3.11 で示したハイキング関数による歩行速度の補正を、第 3 項は水深による歩行速度の補正をそれぞれ示す。なお、式中の浸水深 d は、STOC-ML により計算される値を読み込むことにより設定する。

③ 避難者の死亡判定

前述した歩行速度計算時において、式 3.12 の d_{dead} を超える浸水深を持つセルに含まれる避難者を死亡と判定する。本研究では、中央防災会議南海トラフ人的被害想定より死亡判定水深を 1.0m と設定した。

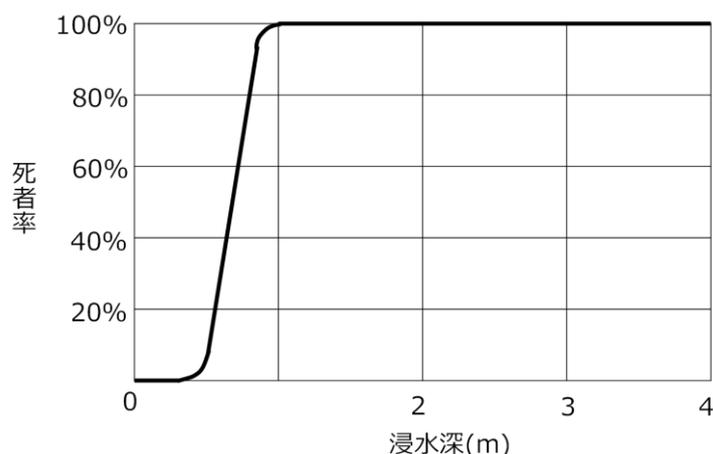


図 3.6 浸水深と死者率の関係

(2) 本研究で追加したプログラム

①避難経路選択について

道路閉塞が発生した場合、日常的に通行できていた経路が行ってみると通れなくなっておりそこから経路を変更するといった行動が考えられ、その行動によるタイムロスや避難完了に大きく影響を及ぼすと考えられる。そこで本研究では経路選択について、移動中に道路閉塞部を認識した際の経路再検索をオリジナルプログラムに以下の方法で追加し再現した。またその計算フローを図 3.8 に示す。

- ・経路選択には道路閉塞が起こっていない場合の避難経路ポテンシャル(virtual_pot_shelter)と道路閉塞が起こっている場合の避難経路ポテンシャル(pot_shelter)を用いる
- ・避難開始時は道路閉塞有無を知らない状態で経路選択を行うため virtual_pot_shelter による経路選択を行う
- ・避難移動中にエージェントが閉塞部に到着した時点で pot_shelter を用いた経路選択に切り替え、避難場所まで避難する
- ・初期位置が閉塞していない地点のエージェントは閉塞部には進入できない
- ・初期位置が閉塞している地点のエージェントはがれき乗り越えによる速度低減率を与えながら閉塞部を抜け出すものとする。がれき乗り越えによる速度低減率について、高知県海洋局「漁村における津波対策基本方針」¹²⁾から家屋が倒壊した場合(ケース3)の65歳以上の0.52と設定した。

表 3.3 実験におけるケースごとの速度と低減率(漁村における津波対策基本方針)

| 対象者 | ケース1 | ケース2 | | ケース3 | |
|--------|---------|---------|------|---------|------|
| | 速度(m/s) | 速度(m/s) | 低減率 | 速度(m/s) | 低減率 |
| 小学生 | 1.548 | 1.241 | 0.80 | 1.167 | 0.75 |
| 15~64歳 | 1.560 | 1.187 | 0.76 | 0.977 | 0.63 |
| 65歳以上 | 1.440 | 1.000 | 0.69 | 0.745 | 0.52 |

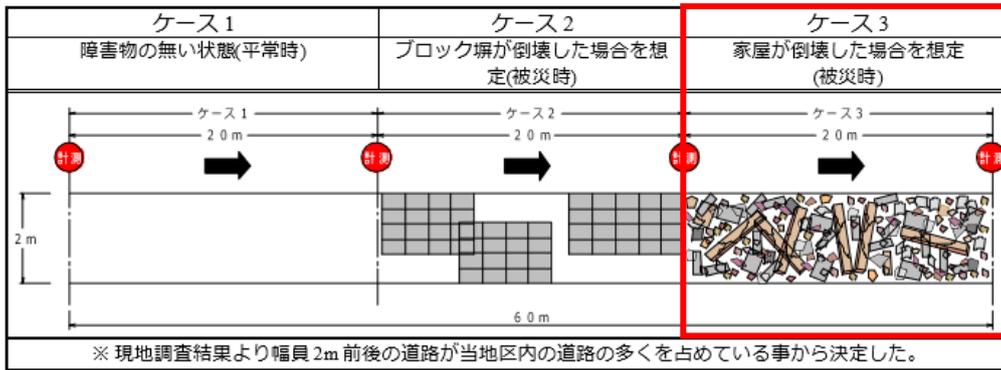


図 3.7 実験の道路状況イメージ(漁村における津波対策基本方針)

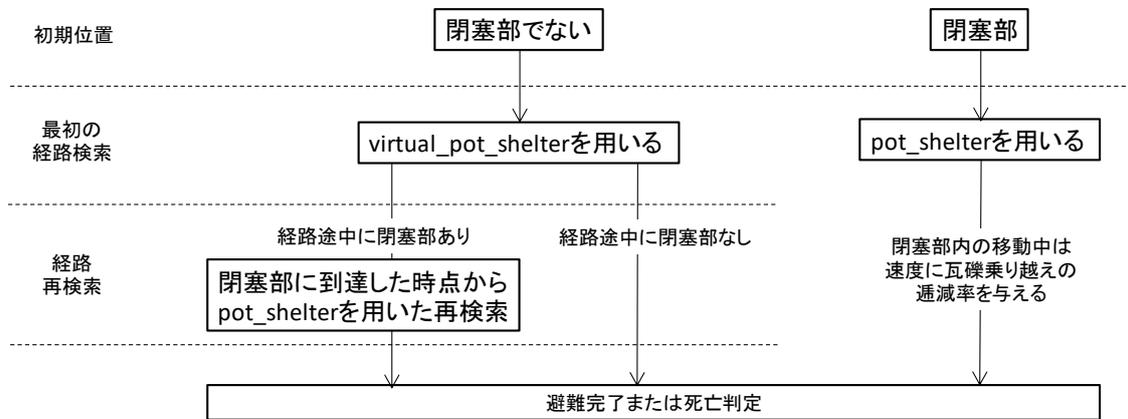


図 3.8 経路選択に関する計算フロー

②経路データについて

実際では倒壊時の瓦礫の流出により 3.2.1 で閉塞判定された箇所だけでなく、その閉塞部に囲まれている箇所も瓦礫による速度低減がおこると考えられる。そこでシミュレーションへの経路のインプットデータでは、道路閉塞部に挟まれている箇所も閉塞部としたデータを用いる。

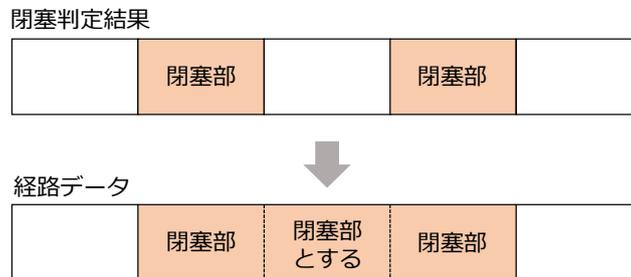


図 3.9 インプット経路データの考え方

3.2.3 避難開始時間の取り扱い

解析における避難開始時間は全エージェント一律の避難開始時間とする。一律避難開始時間における避難完了率 $f(t)$ を算出することで、地区における避難開始時間ごとの人数 $\varphi(t)$ から避難開始時間をバラつかせた場合の避難完了率 P も算出することが可能である。

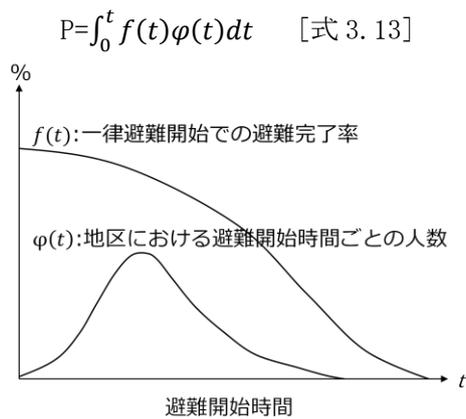


図 3.10 避難開始時間をバラつかせた場合の避難完了率の考え方

第4章

避難経路の傾斜に関する分析

第4章. 避難経路の傾斜に関する分析

4.1 傾斜を考慮した避難場所選択に関する検討

4.1.1 傾斜を考慮した避難場所選択の考え方

地区でのアンケート調査結果において「最寄りの避難場所は傾斜が急で登りきる自信がないため、少し離れた傾斜のゆるい避難場所へ避難したい」といった傾斜を考慮した避難場所選択が見受けられた。そこでまずこの2パターンの経路選択において、避難行動として望ましい経路選択はどちらであるのか検討を行った。

①自宅から直線距離で最も近い避難場所への避難

シミュレーションにおいては、式3.4の補正を行わないことで、エージェントは初期位置から直線距離で最も近い避難場所をゴールと認識する。以下『移動距離最短経路』と呼ぶ。

②自宅から最寄りでも傾斜がゆるい避難場所への避難

シミュレーションにおいては式3.4の補正を行うことで、エージェントは傾斜による速度低下を加味した上で最短時間で避難できる避難場所をゴールと認識する。以下『避難時間最短経路』と呼ぶ。



図 4.1 傾斜を考慮した避難場所選択のイメージ図

4.1.2 避難場所選択法の違いによる避難完了率の推移

上記2パターンの避難経路選択法で行ったシミュレーション結果を図4.2に示す。一律避難開始時間が20分以前では両パターンとも避難完了率が100%であり、2400sを超えると両パターンとも避難完了率が0%となるため1200s~2400sのみを示している。グラフからわかるように移動距離最短経路と避難時間最短経路では、移動距離最短経路の方が一律避難開始時間ごとの避難完了率が高く、1800s時点では約30%も完了率に違いがあることがわかる。ここで差異の大きい避難開始時間1800sにおいて移動距離最短経路および避難時間最短経路で死亡判定の出たエージェントの位置を図4.3と図4.4に示す。この図から避難時間最短経路では平地で死亡判定となっているエージェントが多いことがわかる。避

難時間は短くなるが傾斜のゆるい避難経路の選択となるため移動距離最短経路と比べ標高の低い平地の移動時間が長くなり、それによって平地を移動している間に津波に遭遇し死亡判定となってしまふ。このことから望まれる避難場所選択法は移動距離最短経路であると言える。このため以降の検討においてはこの移動距離最短経路を対象とする。

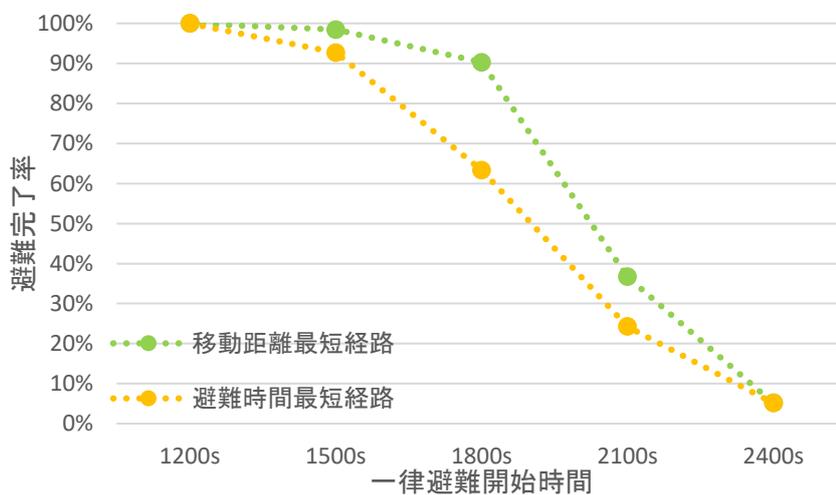


図 4.2 避難経路選択法による避難完了率

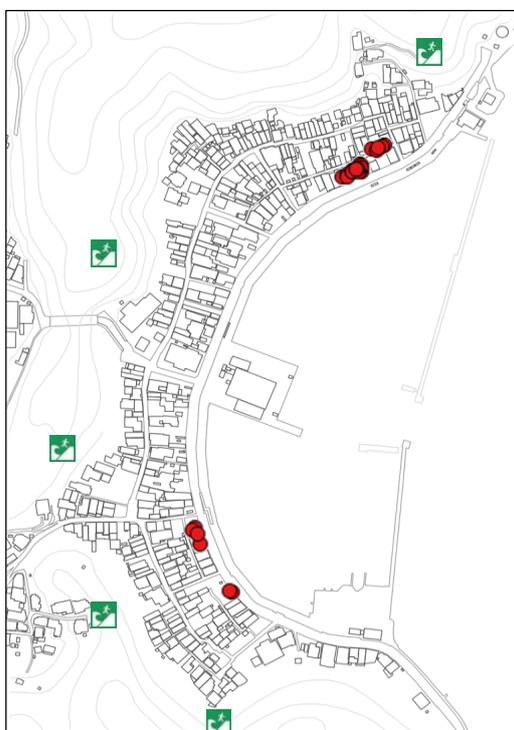


図 4.3 移動距離最短経路での死亡地点

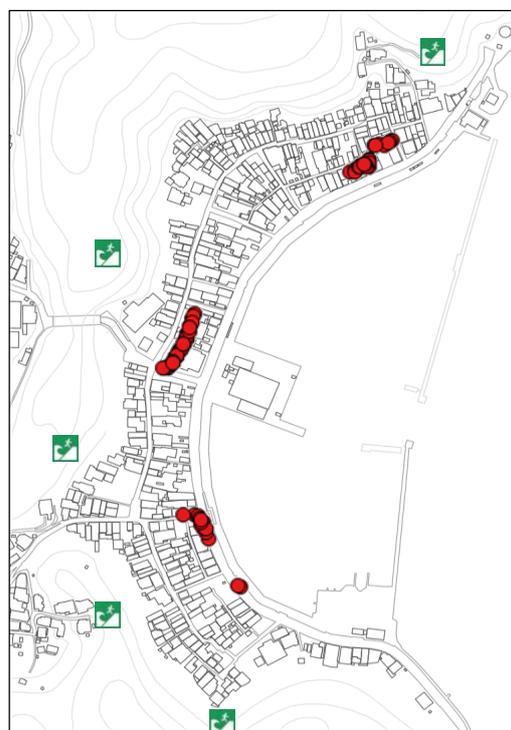


図 4.4 避難時間最短経路での死亡地点

4.2 避難経路の傾斜による避難行動への影響

まず避難経路の傾斜が避難行動にどれほどの影響を及ぼすのか、移動距離最短経路での仮定のもと、移動速度に傾斜による速度を考慮した場合としない場合での避難完了までに要する時間を図 4.5 と図 4.6 に示す。傾斜考慮なしではほとんどのエージェントが避難開始から 5 分以内に避難完了しているが、移動速度に傾斜を考慮することで避難完了に要する時間が大幅に増加していることがわかる。とくに地震発生から 20 分は対象地区に津波が襲来するとされている時間であり、16~20 分避難に要しているエージェントが存在することは地区全体の避難完了率にも影響を及ぼすと考えられる。

これらのことより避難経路の傾斜に関する検討は、避難行動において重要な一つの要因であることが明らかである。

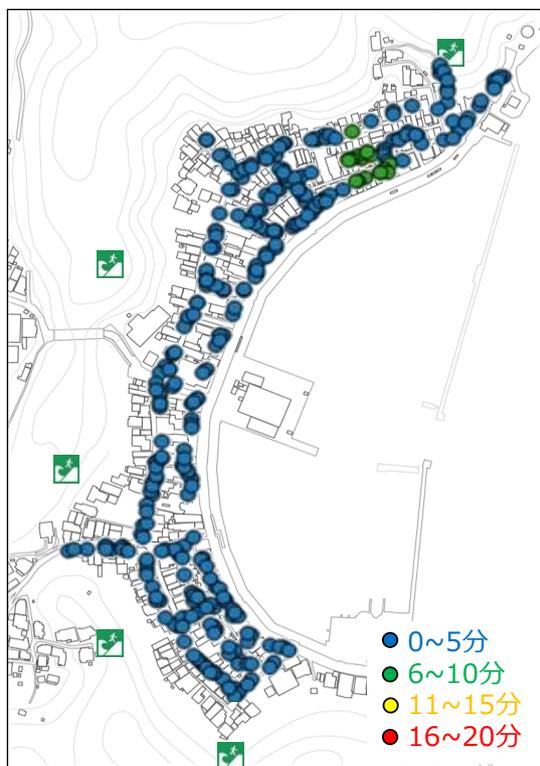


図 4.5 傾斜考慮なしの避難完了に要する時間

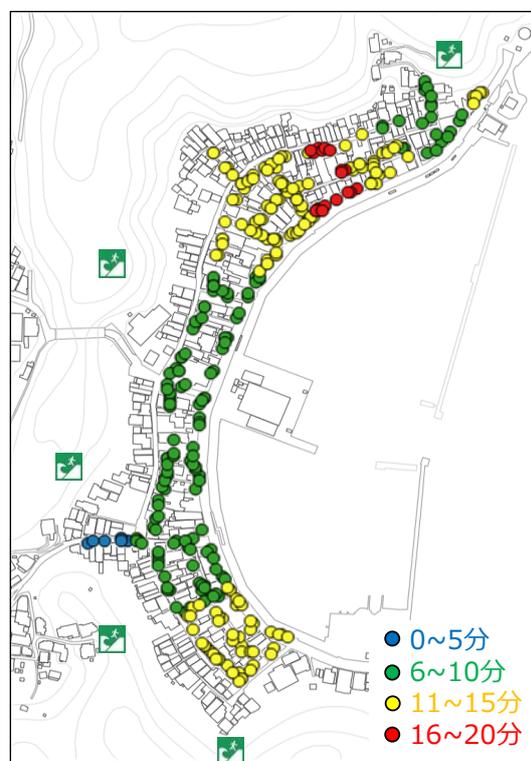


図 4.6 傾斜考慮ありの避難完了に要する時間

4.3 避難場所のカバーエリアの考え方に対する傾斜考慮検討

4.3.1 避難場所のカバーエリアの考え方

現在津波避難ビルの設置は津波避難ビル等に係るガイドライン¹³⁾を基準として行われている。特に設置場所については避難可能範囲と収容可能範囲からカバーエリアが決定され、対象地区がそのカバーエリアで網羅できるように選定される。具体的には避難可能距離 L1 と収容可能距離 L2 を比較し小さい方の範囲を当該津波避難ビル等候補のカバーエリアの半径とし、海側に向かう方向をカバーエリアと考える。この式からもわかるように 4.2 で避難

経路の傾斜は避難行動に大きく影響するのが明らかであるにも関わらず、避難場所のカバーエリアの考え方には傾斜による速度低下の影響は考慮されていないことがわかる。

$$\text{避難可能距離 } L1 \text{ (m)} = \text{津波到達予想時間 (s)} \times \text{歩行速度 (m/s)} \quad [\text{式 4.1}]$$

$$\text{収容可能距離 } L2 \text{ (m)} = \sqrt{\frac{\text{収容人数(人)} / \text{人口密度} \left(\frac{\text{人}}{\text{m}^2} \right)}{3.14}} \times 2 \quad [\text{式 4.2}]$$

4.3.2 傾斜による速度低下を加味した避難行動と現在のカバーエリアとの比較

地区内の津波避難場所を対象としカバーエリアへの傾斜による速度低減の考慮について検討する。ここで自然地形による傾斜を対象とするため津波避難ビルである旧御豊瀬小学校は対象外とし、高台の避難場所は十分な広さをもっていることから収容可能距離については検討しない。また対象地区から正八幡宮への経路は西側から迂回する必要があり、海側に向けたカバーエリアが存在しないため対象外とする。

まず傾斜による速度低下を加味した避難行動のシミュレーション結果と現在の考え方による避難場所のカバーエリアを図 4.7 に示す。プロットはそれぞれ色ごとに避難開始から 0～5 分、6～10 分、11～5 分、16～20 分以内に避難完了したことをしめしており、赤エリアは解析条件である初期速度 0.6m/s における 5 分間での各避難場所からのカバーエリアを示している。

この図からわかるようにカバーエリアの考え方では対象地区内はどこにいても 5 分以内にいずれかの津波避難場所に避難可能であるとされている。しかし移動速度に傾斜を考慮したシミュレーション結果からは 5 分以内に避難完了できるエリアは少なく 20 分程度避難までに時間を要するエリアも存在する。このことから現在のカバーエリアの考え方で算出したカバーエリアでは、傾斜による速度低下を考慮した避難行動は再現できないことがわかる。

4.3.3 補正係数を考慮したカバーエリア

そこで避難可能距離の算定式に傾斜による速度低減の補正係数を考慮した式 4.3 を提案する。

$$\text{避難可能距離 } L1 \text{ (m)} = \text{津波到達予想時間 (s)} \times \text{歩行速度 (m/s)} \\ \times \text{速度低減の補正係数} \quad [\text{式 4.3}]$$

ここで補正係数は式 4.4 の対象地区の平地と各避難場所の標高差および水平距離から求めた避難場所の傾斜を用いハイキング関数から決定した(表 4.1)。今回対象地区では住宅が密集しているエリアが平均して標高 3m ほどだったため、平地を標高 3m として計算し

た。また水平距離は各避難場所から最も近い平地エリアの縁からの距離とした。

$$\text{傾斜(度)} = \text{atan} \frac{\text{平地からの標高差(m)}}{\text{平地からの水平距離(m)}} \quad [\text{式 4.4}]$$

この式 4.3 から決定した 5 分でのカバーエリアを図 4.8 に示す。6～10 分プロットも赤エリア内に入っているが比較的時間がかかるとされていた 11～15 分、16～20 分プロットがカバーエリアから外れていることがわかる。ここで傾斜の算出において式 3.4 では、平地から避難場所までの傾斜を一定と考えているため(図 4.9)、崖のような急激な角度の増加(図 4.10)は考慮できていないことが、6～10 分プロットが 5 分カバーエリア内に入っている理由であると考えられる。

これらより今後傾斜の算出法に関しては形状による補正等が必要ではあるが、カバーエリアの考え方に速度低減の補正係数を考慮することでより現実に近いカバーエリアを表現することができると言える。

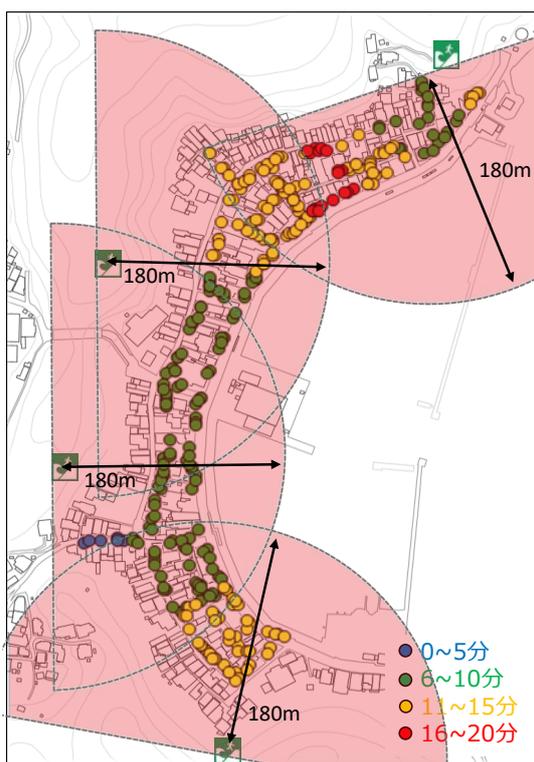


図 4.7 現在の考え方によるカバーエリア

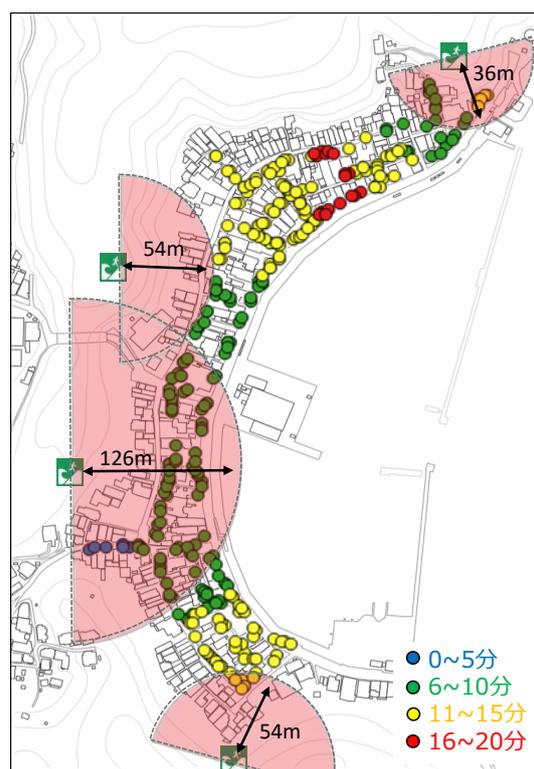


図 4.8 傾斜速度低下を考慮したカバーエリア

表 4.1 各避難場所の詳細

| 避難場所 | 平地からの 高低差(m) | 平地からの 水平距離(m) | 水平角度 (°) | 逓減率 | カバーエリア半径 (m) |
|------|-----------------|------------------|-------------|-----|-----------------|
| 1 | 24.0 | 46.0 | 27.6 | 0.2 | 36 |
| 2 | 27.0 | 70.0 | 21.1 | 0.3 | 54 |
| 3 | 8.5 | 69.0 | 7.0 | 0.7 | 126 |
| 5 | 24.2 | 66.0 | 20.1 | 0.3 | 54 |

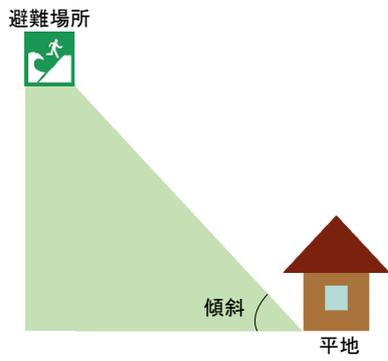


図 4.9 本検討における傾斜の考え方

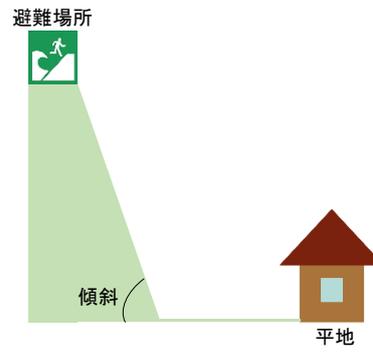


図 4.10 考慮できていない傾斜の形状

第 5 章

避難経路の閉塞に関する分析

第5章. 避難経路の閉塞に関する分析

5.1 対象地区の道路閉塞の危険性の判定結果

3.2.1 に記述した判定法により対象地区の倒壊危険性がある建物の判定を行ったところ、アンケート調査により築年数が把握できた建物 68 棟のうち 54 棟が 2000 年以前に建築された基準不適合住宅であり、現地調査により老朽度の測定基準に該当した建物が 67 棟であった。対象地区の倒壊危険性がある建物は全建物頭数 260 棟中 121 棟であり約 47%を占めている。

Googlemap から測定した対象地区の道路幅員(図 4.1)と倒壊危険建物の判定結果から決定した対象地区の道路閉塞予測箇所を図 4.2 に示す。シミュレーションへの経路データとしては、3.2.2(2)の考え方から図 4.3 を用いる。

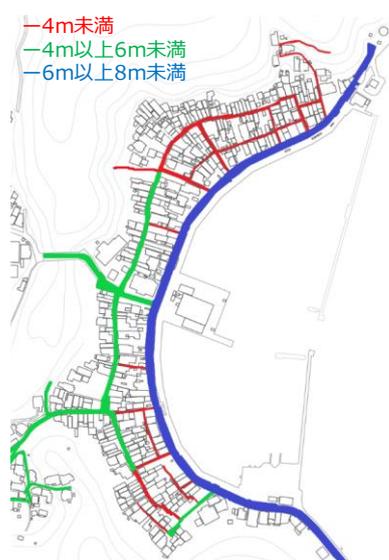


図 5.1 道路幅員



図 5.2 道路閉塞予測箇所

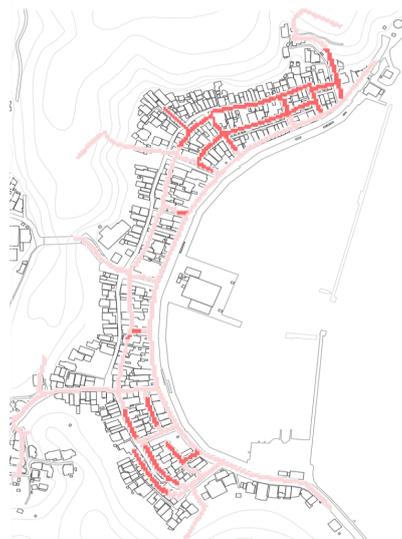


図 5.3 経路の Input データ

5.2 道路閉塞の有無による避難完了率の推移

道路閉塞の有無による避難完了率の違いを図 5.4 に示す。この図から閉塞有無による避難完了率の違いは最大でも約 10% であることがわかる。しかし図 5.2 からわかるように地区全体で見ると道路閉塞が起きる場所は一樣ではなく地区の北側、南側にそれぞれ偏りがあるように見える。そこで図 5.5 のように道路閉塞状況が類似する地区 1 と地区 2 に焦点をあてる。

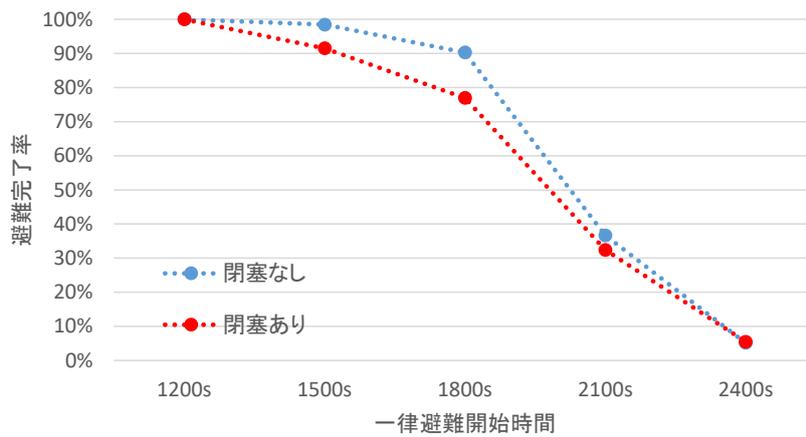
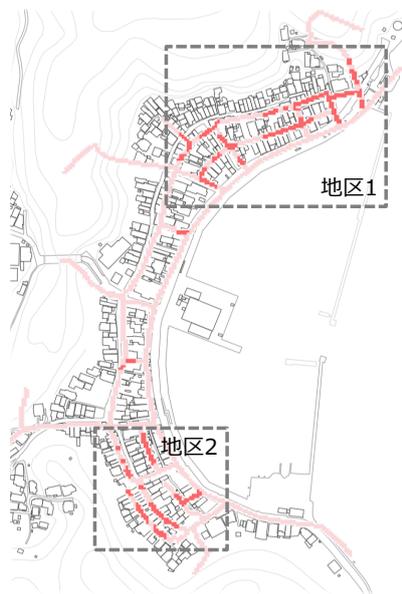


図 5.4 道路閉塞有無による避難完了率(地区全体)



| | 全道路延長に対する 閉塞箇所の割合 | 全棟数に対する 倒壊危険性がある 建物の割合 | 全道路延長に対する 4m未満道路の割合 |
|-----|----------------------|------------------------------|------------------------|
| 地区1 | 62.8% | 51.5% | 67.9% |
| 地区2 | 47.2% | 48.8% | 59.6% |

図 5.5 地区 1 と地区 2 の詳細

地区1と地区2における道路閉塞有無による避難完了率の違いを図5.6と図5.7に示す。図5.5からわかる通り閉塞箇所割合や倒壊危険性建物の割合など道路閉塞に係る状況が類似しているにも関わらず、地区1は閉塞有無により避難完了率に差があるのに対し、地区2では閉塞有無は避難完了率にほぼ影響を与えていないことがわかる。

このような結果となった考察として、各地点のエージェントが避難先として選んだ避難場所を図5.8と図5.9に閉塞有無両パターンについて示す。プロットと避難場所マークは同じ色同士対応しており、例えば緑色のプロット地点が初期位置のエージェントは緑色の避難場所に避難したことを示している。この図からわかるように地区2では閉塞有無によって選択される避難場所はともに避難場所6であるのに対し、地区1では海側の地点のエージェントの避難場所が避難場所1または2から避難場所3に変わっている。その結果エージェントの平地移動時間が増加し、その間に津波に襲われ避難完了率に影響を及ぼしている。また図5.10、図5.11からもわかるように避難場所が変化したエージェントが閉塞により死亡判定となっていることがわかる。

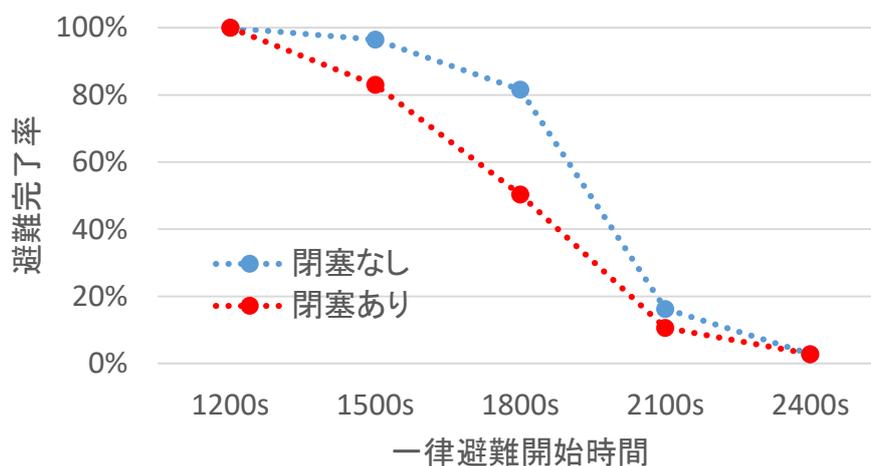


図 5.6 道路閉塞有無による避難完了率(地区1)

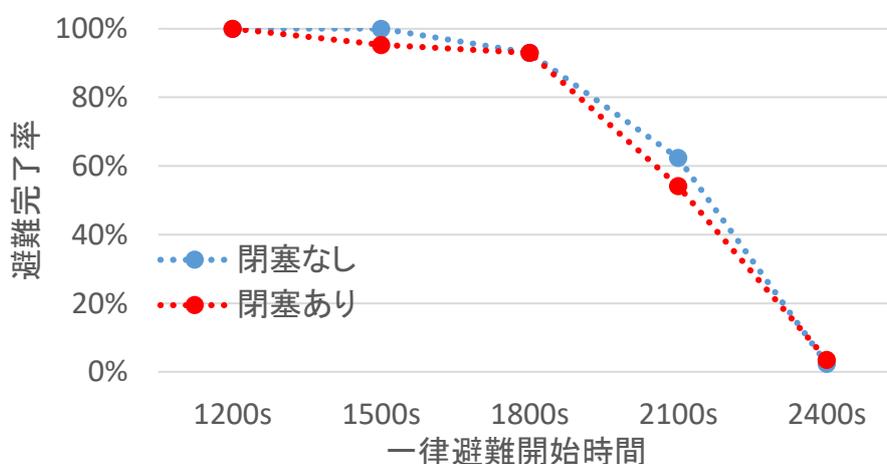


図 5.7 道路閉塞有無による避難完了率(地区2)

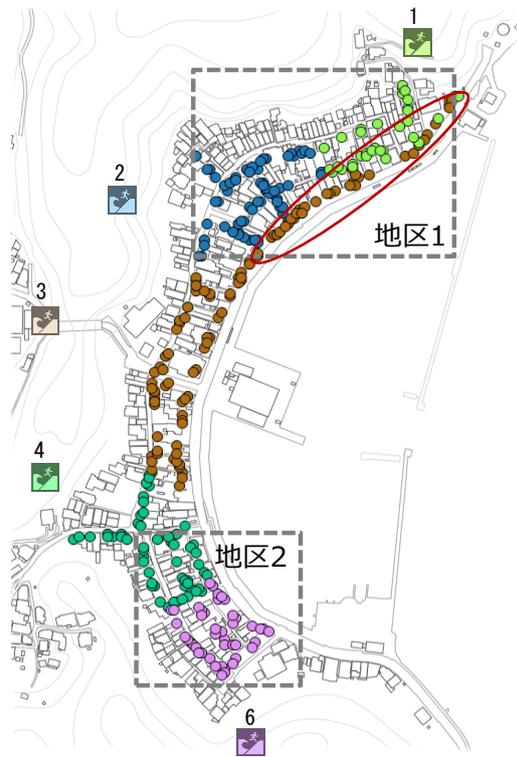
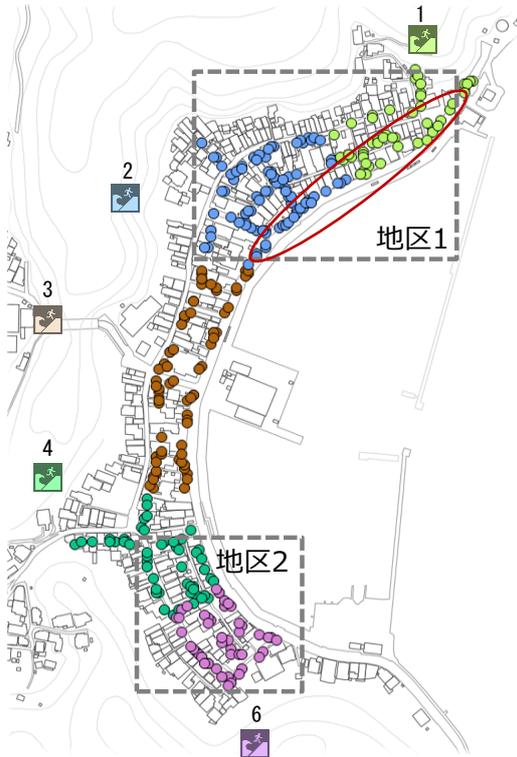


図 5.8 選択した避難場所(道路閉塞なし)

図 5.9 選択した避難場所(道路閉塞あり)

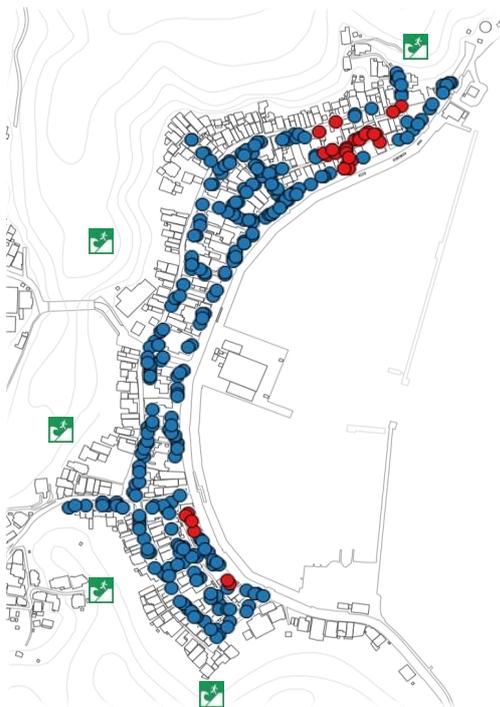


図 5.10 避難開始時間 1800s での生死(道路閉塞あり)

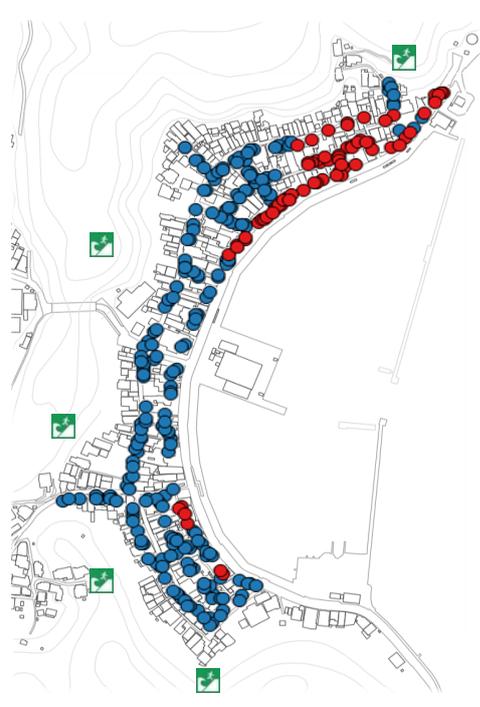


図 5.11 避難開始時間 1800s での生死(道路閉塞あり)

5.3 避難完了率に影響を与える閉塞道路の抽出

地区1について平地移動時間の増加が閉塞有無による避難完了率に影響を及ぼしていることがわかる。平地移動時間を少なくするには、いかに効率よく避難場所につながる経路にたどり着けるのかが重要である。そこで避難場所までの移動距離に関係があると思われる”津波進入方向から避難場所(山側)に向かう避難場所直近”道路に着目をする。これに該当する道路を図5.12に緑楕円で示している。図5.12からそのような避難場所直近道路が地区2では閉塞していないが地区1ではその道路が閉塞してしまっていることがわかる。津波進入方向から避難場所に向かう方向の道路は平地の道路と比べ高低差が大きく、津波避難において津波に襲われるまでの標高を稼ぐことのできる経路である。その道路が閉塞するかしないかが閉塞有無による避難完了率の差に影響を及ぼしていると考えられる。

そこで、地区1について津波進入方向からの避難場所直近道路が閉塞しなかった場合避難完了率がどのように変化するか検討した。経路のInputデータは図5.13である。

シミュレーション結果が図5.14である。地区1において閉塞ありの場合と比べ、津波進入方向からの避難場所直近道路が閉塞しなかった場合、避難完了率は増加している。また閉塞させなかった道路が2本のみであるにも関わらず、地区1全体の避難完了率は閉塞なしのものと同様になっていることがわかる。

また御畳瀬地区全体の避難完了率の変化を図5.15に示す。地区1の2本の避難場所直近道路の閉塞状況を改善することで、地区全体としても避難完了率が閉塞なしのものに類似していることがわかる。

以上の検討から閉塞有無による避難完了率の違いは、津波進入方向からの避難場所直近道路の閉塞状況が大きく関係していることが明らかであり、特定の避難経路の閉塞有無が地区全体の避難完了率に影響を及ぼしていることが証明できる。

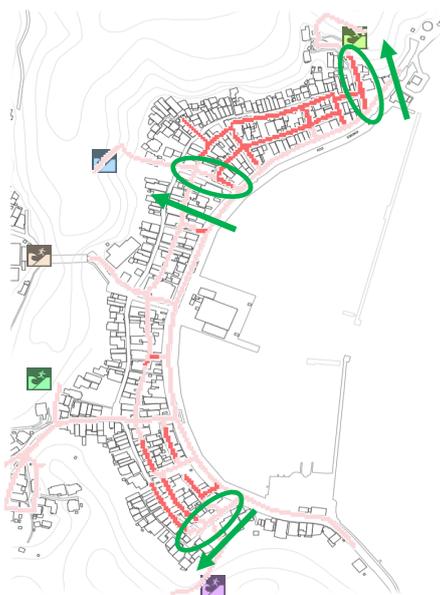


図 5.12 海側からの避難場所直近道路



図 5.13 Input 経路データ

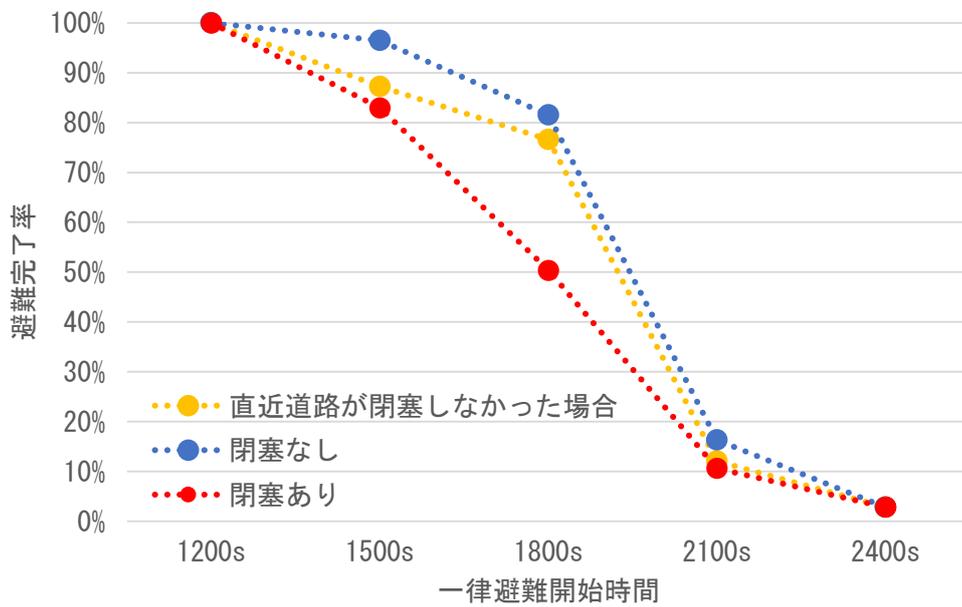


図 5.14 閉塞を改善した場合のシミュレーション結果(地区1)

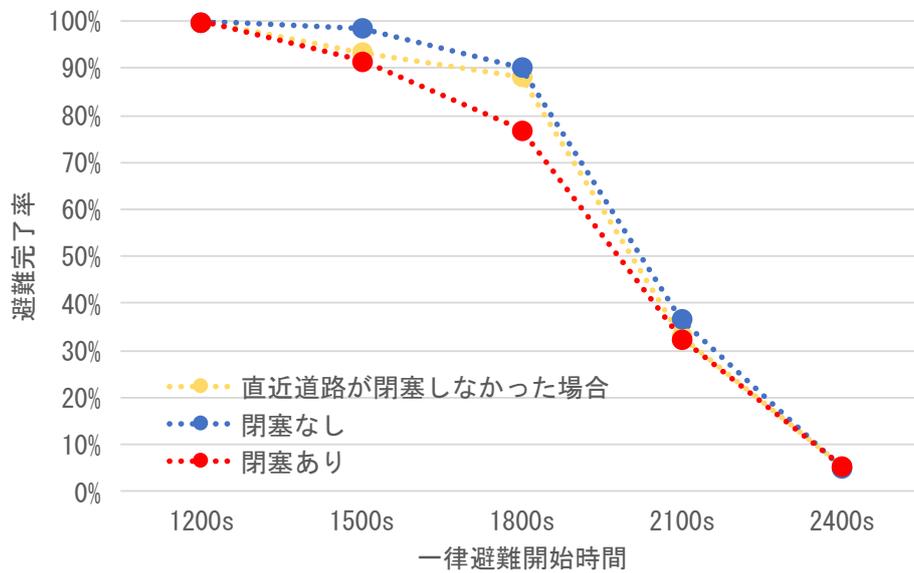


図 5.15 閉塞を改善した場合のシミュレーション結果(地区全体)

第 6 章

まとめ

第6章. まとめ

本研究では避難経路の「傾斜」と「道路閉塞」が及ぼす避難行動への影響を、最適行動における避難シミュレーションにより避難完了率を基準に検討を行った。検討における成果を以下にまとめる。

[避難経路の傾斜について]

- ・移動速度に傾斜による速度低減を与えることで、避難に要する時間が増加し避難完了できないエージェントが現れるため避難行動の再現には傾斜の考慮は必要である。
- ・カバーエリアの考え方に傾斜による速度低減の補正係数を考慮することにより、現在の考え方より現実に近いカバーエリアを表現することができる。
- ・避難時間最短経路では、避難時間は短くなるが傾斜のゆるい避難経路の選択となるため移動距離最短経路と比べ標高の低い平地の移動時間が長くなる。それによって平地を移動している間に津波に遭遇し死亡判定となってしまうため、避難時間最短経路に比べ移動距離最短経路のほうが避難完了率の低下率が小さい。

[避難経路の道路閉塞について]

- ・津波の進入方向から避難場所に向かう避難場所直近道路の閉塞状態が、地区の避難完了率に影響を与える。
- ・その直近道路を閉塞させないことによって、地区全体としても閉塞が全くない場合の避難完了率に近づく。

このような研究成果から、まず今後カバーエリアの考え方に傾斜による速度低減を考慮するべきであり、それにより効果的な避難場所の配置が可能になる。また移動距離最短経路が望まれることと、津波の進入方向から避難場所に向かう避難場所直近道路が避難完了率に影響を与えることから、避難行動において水平距離ではなく『効率的にできるだけ早く垂直距離(標高)を確保するか』が重要であると言える。しかしアンケート調査からもわかるように身体的不安などから傾斜のゆるい避難時間最短経路で避難せざるを得ない住民が多いのが現状である。全住民が最寄りの避難場所に避難することができるように、避難経路上の階段やスロープを傾斜がきつくても高齢者が利用できるような改善・工夫が必要となってくるであろう。

また現在耐震改修の実施判断は各住宅に住む個人に任されているが、避難完了率に影響を及ぼす経路の抽出が可能となったことから、地区単位で耐震改修に取り組むことによってより効果的な津波避難対策が可能となるだろう。

付録 A

個人の避難行動に関する分析 -避難開始時間を指標として-

付録 A. 個人の避難行動に関する分析-避難開始時間を指標として-

A.1 はじめに

ここまで経路についての検討を行ってきたが、これらの検討は避難計画への必要性や地区としての津波避難対策への提案といった行政・自治体レベルに向けた検討である。しかしこのような自治体レベルでの避難対策への介入には、避難施設の設置や整備などまでといった限界もあり、それ以降はひとりひとりの個人としての避難行動が重要となってくる。そこで、ここでは最適な避難行動の再現のためのもう一つのパラメータとして挙げられている『避難開始時間』をもとに個人の避難行動に対する検討を行う。

まずこの避難開始時間について津波避難計画¹⁴⁾では地震発生から5分後に住民全員が避難開始した場合においた計画がなされているが、東日本大震災時に避難までに要した時間は平均して約20分であった。このように避難開始時間は個人の行動や意思に関係するため推定が極めて難しいものであるが、津波避難にとっては避難に使える移動時間に直結する重要な項目である。

そこで今回は、アンケート調査による住民の「想定避難開始時間」と避難前行動などから推定する避難開始にどれくらい時間がかかるのかという「推定避難開始時間」を比較し、想定と推定行動の差異について検討する。またこれまでのシミュレーション結果からその時間までに避難開始しなければ避難完了できない「避難開始しなければいけない時間」が判断できるため、これら3つの時間について比較を行うことで、実際の津波襲来時間に対する想定や推定行動の整合性についても検討を行う。

A.2 避難開始時間に関する既往研究

津波に対する避難開始時間について早川ら¹⁵⁾は数量化理論Ⅰ類を用いて地震の震度、場所、津波経験、時間帯から避難開始時間の推定式を提案している。しかしここで推定できる避難開始時間とは地区平均のものであり個人ごとのひとりひとりの避難開始時間ではない。

また熊谷ら¹⁶⁾は避難開始のきっかけを「自発的避難・非自発的避難・津波切迫避難」にモデル化しそれぞれについて避難開始比率の推定式を提案している。これは個人ごとに推定できるものではあるが、ここで扱っている避難のきっかけは実際災害が起きないと判断できないものであり、事前の推定という目的では使用できない。

このように“個人ごと”に“事前に”避難開始時間を推定する方法は未だ確立されていないのが現状である。

A.3 想定避難開始時間

まず住民が想定している避難開始時間を把握するため、対象地区でアンケート調査を行った。設問は「地震発生から津波避難を始める（避難のために家を出る）までに何分かかかるか、ご自身の予想時間をお答えください。」とし、分数を回答してもらった。アンケート調査の概要を下記に示す。また配布したアンケート用紙は付録Bに記載している。

[アンケート概要]手法:ポスティング

期間:2017. 8. 15~2017. 8. 31

回収率:42. 5%(配布数 160 通)

A.4 推定避難開始時間

A.4.1 東日本大震災時アンケート結果の重回帰分析

後藤ら¹⁷⁾によって行われたアンケート調査により、東日本大震災時に避難開始までに要した時間とともに個人属性や被災状況、津波に対する認識などの個人ごとのデータが得られている(表 A. 1)。そこで今回この東日本大震災時のアンケート結果を重回帰分析することにより、推定避難開始時間の算定式を提案する。今回行った重回帰分析の手順を以下に示す。

①選択肢の程度により避難開始時間に影響が出ないと思われる設問は除外する。

除外した設問：1, 5, 8, 9, 12, 15, 17, 19, 20, 21, 23, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34

②残した各々の設問について設問 12 の避難開始時間と重回帰分析を行い、相関係数が比較的大きい設問 2, 7, 10, 11 を用いて設問 12 の避難開始時間と重回帰分析を行う。(図 A. 1)

| 問 | 質問内容 | 回答方法 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 1 | 地震発生時、あなたはどちらにいましたか？ | 9 択、単 |
| 2 | あなたは地震が起きた時に津波が来ると思いましたか？ | 4 択、単 |
| 3 | 気象庁は、地震の揺れを観測しておよそ3分後に大津波警報を発表しました。あなたは、この大津波警報を聞きましたか？ | 3 択、単 |
| 4 | 市の無線放送(防災無線)は聞こえましたか？ | 4 択、単 |
| 5 | あなたは、3月11日の大津波の警報を最初どのようにして知りましたか？(防災無線、ラジオ、周囲の人など) | 15 択、単 |
| 6 | その情報からどのようなことを知りましたか？ | 4 択、複 |
| 7 | あなたは避難(敷地を離れて別の場所に移動する、あるいは鉄筋コンクリート建物の3階以上に移動する)しましたか？ | 8 択、単 |
| 8 | 問7. で 避難しなかった方のみお答え下さい。何故避難しなかったのですか？ | 11 択、単 |
| 9 | 自宅または勤務先の2階に上がった方にお伺いします。2階まで津波は来ましたか？建物と共に流されましたか？ | 3 択、複 |
| 10 | この質問は避難した方、しなかった方に共通です。地震が起きてから避難開始まで、(避難しなかった方は津波が来るまで)あなたは何をしましたか？ | 13 択、単 |
| 11 | 避難した方のみお答え下さい。あなたにとって避難を始めたのもっとも大きなきっかけは何でしたか？ | 10 択、単 |
| 12 | あなたは、地震が起きてから何分後くらいに避難を始めましたか？ | 6 択、単 |
| 13 | あなたはどなたかと一緒に避難しましたか？ | 6 択、複 |
| 14 | 避難中に周りでまだ避難していない人に声をかけましたか？ | 3 択、単 |
| 15 | まずどこに避難しましたか？ | 8 択、単 |
| 16 | あなたは主としてどのような方法で避難しましたか？ | 5 択、単 |
| 17 | 車で避難の場合、次のようなことはありましたか？(渋滞に遭ったか、車ごと流されたか、等) | 7 択、複 |
| 18 | 避難の際声かけや誘導がありましたか？ | 6 択、複 |
| 19 | 最初に避難した場所(津波が来たときに居た場所)は安全でしたか？ | 4 択、単 |
| 20 | 避難を始めてから最初の避難先に着くまで(または津波に巻き込まれるまで)の経路とおよその所要時間を以下の例を参考に次ページに分かる範囲でお書きください。 | |
| 21 | 一度避難した安全な場所から大きな津波が来る前に戻ろうとしたかお伺いします。 | 3 択、単 |
| 22 | 昭和35年チリ津波を経験していますか？ | 3 択、単 |
| 23 | 昨年2月のチリ地震津波の時は、あなたは避難しましたか？ | 3 択、単 |
| 24 | あなたは、3月11日以前に津波ハザードマップ(市が配布する津波の予想浸水域や避難場所などを示したA4で50ページくらいの冊子、右下写真参照)を見たことがありましたか？ | 3 択、単 |
| 25 | あなたは家族で津波について話し合ったことはありますか？ | 4 択、単 |
| 26 | あなたは、地域の防災訓練に参加したことがありますか？ | 4 択、単 |
| 27 | 地域の防災訓練は今回の津波避難に役に立ったと思いますか？ | 4 択、単 |
| 28 | この度の地震や津波で、あなたのご自宅やご家族はどのような被害を受けましたか？ (1) 自宅 (2) ご自身 | 4 択、単 3 択、単 |
| 29 | 年齢 | 8 択、単 |
| 30 | 性別 | 2 択、単 |
| 31 | あなたの主たる職業 | 12 択、単 |
| 32 | (3月11日当時)お住まいの住所 | |
| 33 | 上記の地域に何年お住まいですか(およその数字で結構です) | |
| 34 | 可能であればお名前 | |

表 A. 1 東日本大震災時アンケート調査の質問内容

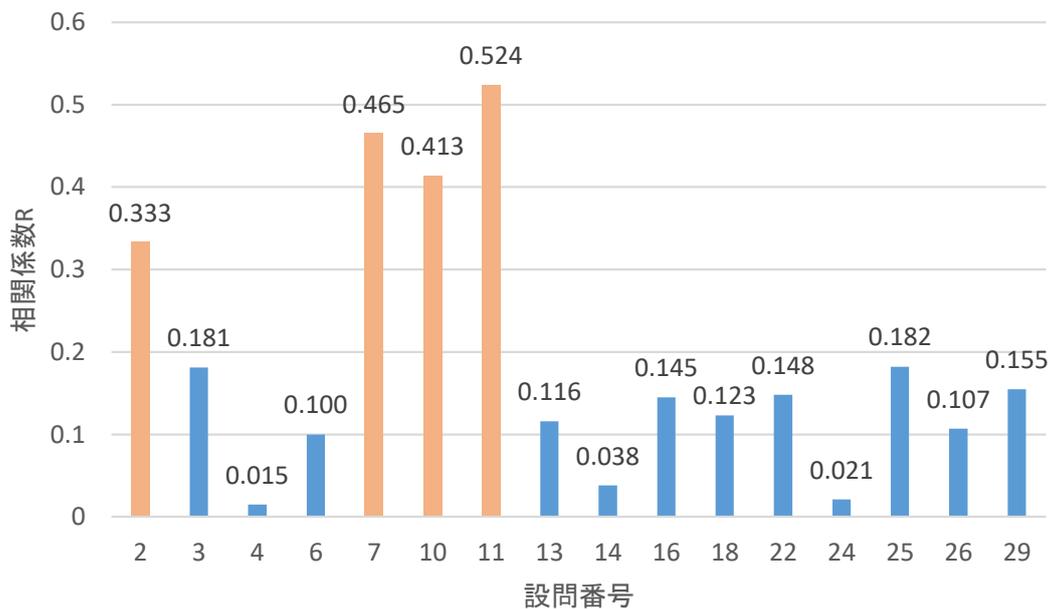


図 A. 1 各設問の相関係数 R

これらから式 A. 1 を推定避難開始時間の予測式として決定した。

$$\text{避難開始時間 } Y(\text{分}) = 42.3 + \sum_{n=1}^9 (a_n \cdot X) \quad (\text{式 A. 1})$$

X: はい=1 いいえ=0

| 回帰統計 | |
|--------|----------|
| 重相関 R | 0.661988 |
| 重決定 R2 | 0.438228 |
| 補正 R2 | 0.42684 |

| n | 設問 | | an | p |
|---|--------------------|----------------------|-------|-----|
| 1 | 地震が起きたときの津波予想 (単一) | 大きな津波がくると思った | -6.1 | *** |
| 2 | | あれほど大きな津波が来るとは思わなかった | -5.5 | *** |
| | | 来ないと思った | - | - |
| 3 | 避難開始のタイミング (単一) | 揺れが収まる前 | -22.5 | *** |
| 4 | | 揺れが収まってすぐ | -16.5 | *** |
| 5 | | 安全確認が終わって | -10.7 | *** |
| | | その他 | - | - |
| 6 | 避難開始する前に行ったこと | 何もせず | -4.8 | *** |
| 7 | | 地震で散らかった家具等を片付けた | 5.1 | *** |
| 8 | | 家族等に電話・メールをした | 6.0 | *** |
| | | その他 | - | - |
| 9 | 避難のきっかけ | 大きな揺れを感じたから | -5.0 | *** |
| | | その他 | - | - |

***…p<0.01

A.4.2 対象地区におけるアンケート調査

東日本大震災時アンケート調査は被災後のものであるが、対象地区におけるアンケート調査は被災前であるため設問の問い方を変更する必要がある。そこで推定避難開始時間の予測式（式 A. 1）を以下の方法で、設問の意味合いを変えずに対象地区でのアンケート調査に対応させる。

①地震が起きたときの津波予想

（設問） 南海トラフ地震（御豊瀬での予測震度 6 強以上）が発生した場合、御豊瀬に津波が到達すると思いますか。「思う」と回答された方は予想浸水高をお書きください。（当てはまるものに☑）

- 御豊瀬に津波はくると思う → (____)m の津波が来ると思う
 津波はこないと思う

（予測式への対応）

- ・ 回答された予想津波高が高知県により発表されている対象地区での予想津波高である 10m 以上 → 「大きな津波がくると思った」に対応
- ・ 回答された予想津波高が高知県により発表されている対象地区での予想津波高である 10m 未満 → 「あれほど大きな津波がくると思わなかった」に対応
- ・ 津波はこないと思うに回答 → 「来ないと思った」に対応

②避難開始のタイミング

（設問） 地震発生後、あなたが津波避難する（に移る）タイミングを教えてください。

（最もあてはまるもの 1 つに☑）

- 揺れが収まる前
 揺れが収まってからすぐに
 周辺の安全確認が終わったら
 津波が迫って危険な状況になったら
 避難しない

（予測式への対応）

- ・ 「揺れが収まる前」を回答 → 「揺れが収まる前」に対応
- ・ 「揺れが収まってからすぐに」を回答 → 「揺れが収まってすぐ」に対応
- ・ 「周辺の安全確認が終わったら」を回答 → 「安全確認が終わって」に対応
- ・ 上記以外を回答 → 「その他」に対応

③避難開始前に行ったこと

(設問) 地震発生から津波避難を始める前に行うであろう行動を教えてください(当てはまるもの全てに☑)。

- 何もせずすぐに避難を始める
- 自宅で家族の帰りを待ってから避難する
- 海の様子を見に行ってから避難する
- 避難のための荷物(着替えや食料など)を準備する(避難袋を準備している場合は除く)
- 地震で散らかった家具などを片付けてから避難する
- 家族や知人に連絡(電話やメール)をし終わってから避難する
- 要介護者の避難の準備をする
- その他(_____)

(予測式への対応)

- ・「何もせずすぐに避難を始める」を回答→「何もせず」に対応
- ・複数回答として「地震で散らかった家具などを片付けてから避難する」を回答→「地震で散らかった家具等を片付けた」に対応
- ・複数回答として「家族や知人に連絡(電話やメール)をし終わってから避難する」を回答→「家族等に電話・メールをした」に対応
- ・上記以外を回答→「その他」に対応

④避難のきっかけ

(設問) あなたが津波避難を始めようと思う理由(きっかけ)になるであろうものはどれですか。

- ①大きな揺れを感じる
- ②大きな津波が来るとの警報や避難指示を聞く
- ③家族が避難しようと言う
- ④近所の人や町内会・自主防災組織の人から避難を促される
- ⑤引き潮を見る、あるいはそう聞く
- ⑥津波が来るのが見える、あるいはそう聞く
- ⑦その他(_____)

(予測式への対応)

- ・「大きな揺れを感じる」を回答→「大きな揺れを感じたから」に対応
- ・上記以外を回答→「その他」に対応

A.5 想定避難開始時間と推定避難開始時間の関係

以上を踏まえ、対象地区住民の想定避難開始時間と推定避難開始時間の関係を図 A. 2 に示す。このグラフから推定避難開始時間 > 想定避難開始時間となる住民が多いことがわかる。これは実際地震が発生した際に自分が思っていたより避難開始時間が遅れることを示しており、避難場所までの移動時間の減少や避難効率の低下につながると考えられる。

このような傾向が見られる理由として、避難前に行う行動を複数回答しているにも関わらず、想定避難開始時間が極端に早い回答などが見受けられることから、避難開始時間に対する行動予測が甘い傾向があると言える。

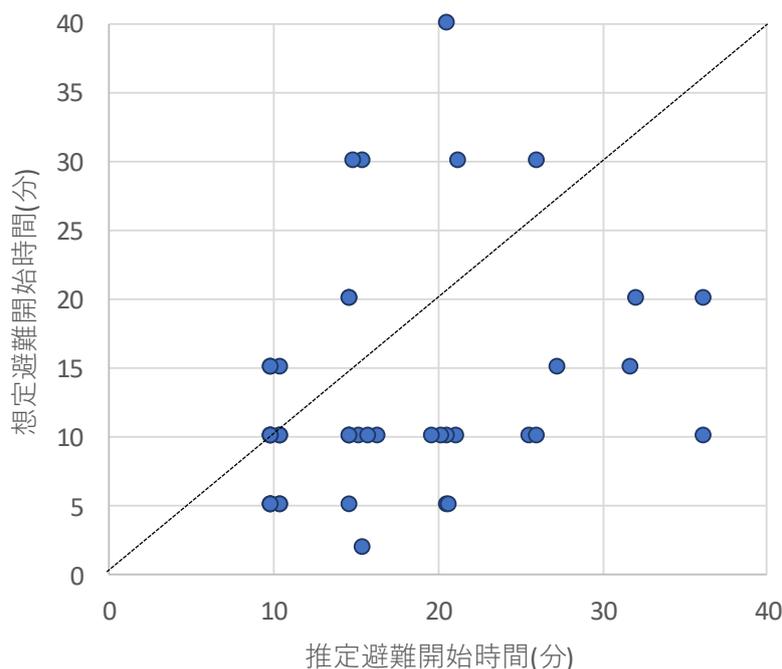


図 A. 2 想定避難開始時間と推定避難開始時間

A.6 避難開始しなければいけない時間と想定・推定避難開始時間の関係

またシミュレーション結果から判断した、その時間までに避難開始しなければ避難完了できない「避難開始しなければいけない時間」と想定・推定避難開始時間の関係を図 A. 3, A. 4 に示す。

まず図 A. 3 より、避難開始しなければいけない時間が比較的遅くても大丈夫な人は想定避難開始時間も遅く、避難開始しなければいけない時間が比較的はやければいけない人は想定避難開始時間もはやい傾向が見られる。しかし一方図 A. 4 より、推定避難開始時間との比較では図 A. 3 で見られた傾向は見られないことがわかる。

このことより避難開始しなければいけない時間に対して想定では『自分の状況に応じた心構えはできている』ものの実際の避難(推定避難開始時間)では必要とされる時間までに避難開始できる人が減少し避難完了できない人が増加する。

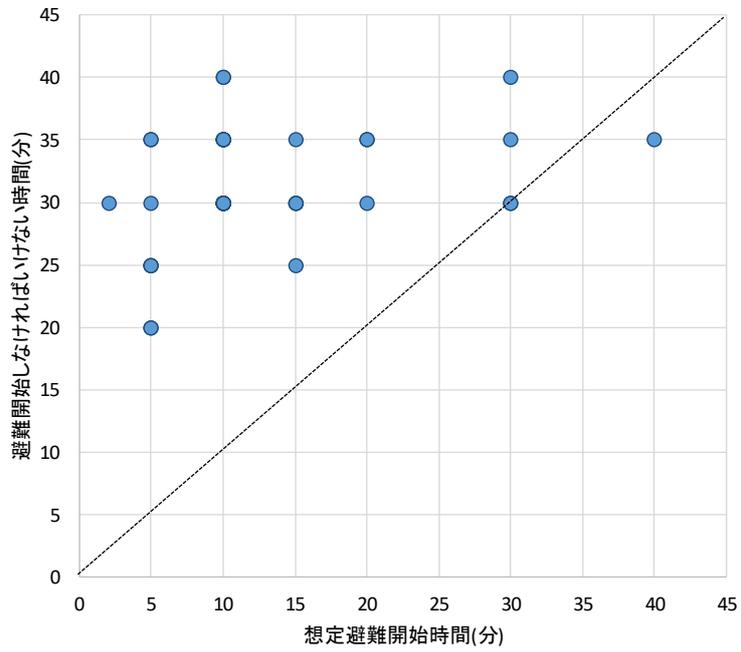


図 A.3 避難開始しなければいけない時間と想定避難開始時間

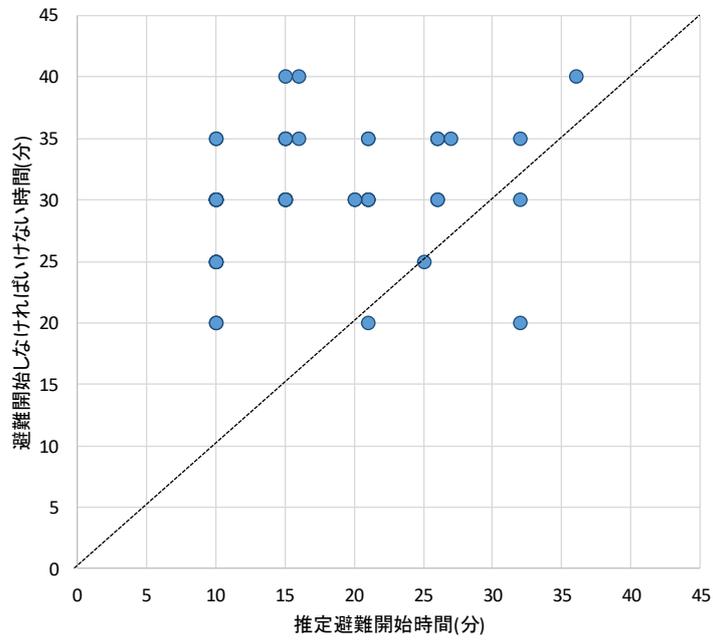


図 A.4 避難開始しなければいけない時間と推定避難開始時間

A.7 まとめ

個人の避難行動に関する分析-避難開始時間を指標として-のまとめを以下に示す。

避難開始時間に関する分析では、これまで提案されていなかった推定避難開始時間予測式を作成した。対象地区でのアンケート調査から推定避難開始時間>想定避難開始時間の傾向があり、実際地震が発生した際に自分が思っていたより避難開始時間が遅れる可能性が高いことを明らかにした。また避難開始しなければいけない時間と想定・推定避難開始時間の関係から、『自分の状況に応じた心構えはできている』ものの実際の避難(推定避難開始時間)では必要とされる時間までに避難開始できる人が減少し避難完了できない人が増加することがわかった。

これらより心構えだけでなく実際の行動においても避難完了できる時間までに避難開始できるようにするために、正確な津波予想を認知してもらうことや、避難前行動をできるだけ減らすために日頃から津波避難に対する準備をしておくことといった防災教育が望まれる。

付録 B

対象地区に配布したアンケート用紙

防災に関するアンケート

＜ご回答に際してのお願い＞

- ① アンケートへのご回答はなるべくご家庭での在宅時間が長い方が行ってください。
- ② 質問文に従い、それぞれの項目について、チェック (☑) をつけてください。また下線部 (____) には数字や言葉をご記入ください。
- ③ お答えいただく内容は可能な限り正確にご記入ください。
- ④ 回答目安時間は5～10分程度です。

記入日：西暦(____)年(____)月(____)日

■ご不明な点があった場合の連絡先

高知工科大学 耐震研究室
調査担当：川村 日成 (大学院生)
電話(携帯)：
メール：

1. 個人属性について

1.1. あなたの性別を教えてください。(当てはまるもの1つに☑)

男性 女性

1.2. あなたの年齢を教えてください。(当てはまるもの1つに☑)

0～19歳 20代 30代 40代
50代 60代 70代 80代以上

1.3. あなたの職業を教えてください。

1.4. 現在のお住まいの世帯人数(普段、同居している人数)を教えてください。

_____人 ※ご自身も含めた人数です。

2. 住宅について

2.1. ご自身の御畳瀬での居住年数を教えてください。

_____年

2.2. お住まいの築年数・階数を教えてください。

築_____年、_____階建て

3. 防災意識について

3.1. これまでに御畳瀬での防災訓練・避難訓練に参加したことがありますか。

(最もあてはまるもの1つに☑)

毎回参加している
ときどき参加している
あまり参加していない
一度も参加したことがない

3.2. 南海トラフ地震(御畳瀬での予測震度6強以上)が発生した場合、御畳瀬に津波が到達すると思いますか。「思う」と回答された方は予想津波到達時間と予想浸水高をお書きください。(当てはまるものに☑)

御畳瀬に津波はくると思う→地震発生後(____)分後に(____)mの津波が来ると思う
津波はこないと思う

- 3.3. これまで御豊瀬のハザードマップ(防災マップ)を見たことがありますか。
(最もあてはまるもの1つに☑)
- 見たことがあります、自宅の安全性や避難場所を考えたことがある
 - 見たことはあるが、参考にしたことはない
 - 見たことはない
- 3.4. 地震・津波から避難する際の行動について、ご家族で話し合ったことはありますか。
(最もあてはまるもの1つに☑)
- 話し合って避難先や連絡方法などを決めている
 - 話し合ったことはあるが、どうするかまでは決めていない
 - 話したことがない
 - 一人暮らしである
- 3.5. 地震・津波から避難する際に持ち出す避難袋(非常用持ち出し袋)を準備していますか。
(最もあてはまるもの1つに☑)
- 準備しており枕元や玄関先など常に取り出しやすい場所に置いている。
 - 持っているが押し入れの奥など取り出しにくい場所にある。
 - 準備していない。
- 3.6. 携帯電話やスマートフォン、パソコンなどはお持ちですか。また日ごろからそれらをどのようにお使いですか。(最もあてはまるもの1つに☑)
- 携帯電話・スマートフォン・パソコンのいずれかを持っており、通話や検索機能など、比較的日ごろからよく使用している
 - 携帯電話・スマートフォン・パソコンのいずれかを持っており、通話など連絡手段でのみ使用している
 - 携帯電話・スマートフォン・パソコンのいずれかを持っているが、あまり使用していない
 - 携帯電話・スマートフォン・パソコンのいずれも持っていない

4. 津波避難について

※以降の設問については、自宅にいるときに南海トラフ地震(御畳瀬での予測震度 6 強以上)が発生したと仮定してお答えください

4.1. 地震発生後、あなたが津波避難する(に移る)タイミングを教えてください。

(最もあてはまるもの1つに☑)

- 揺れが収まる前
- 揺れが収まってからすぐに
- 周辺の安全確認が終わったら
- 津波が迫って危険な状況になったら
- 避難しない

4.2. あなたが津波避難を始めようと思う理由(きっかけ)になるであろうものはどれですか。最も当てはまるものから順に3つ番号をお書きください。

1, () 2, () 3, ()

- ①大きな揺れを感じる
- ②大きな津波が来るとの警報や避難指示を聞く
- ③家族が避難しようと言う
- ④近所の人や避難を始める
- ⑤近所の人や町内会・自主防災組織の人から避難を促される
- ⑥引き潮を見る、あるいはそう聞く
- ⑦津波が来るのが見える、あるいはそう聞く
- ⑧その他 ()

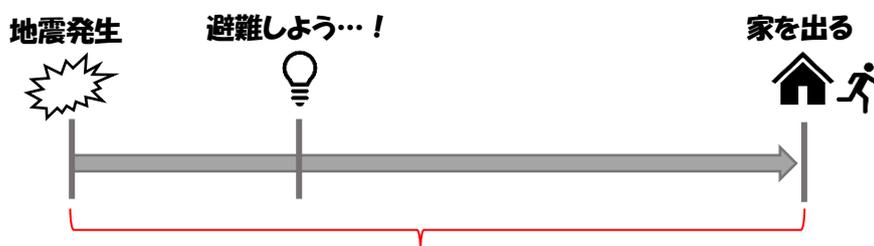
4.3. 全問4-3で「大きな津波が来るとの警報や避難指示を聞く」を選ばれた方のみお答えください。(それ以外を選ばれた方はお答えいただく必要はありません)

津波注意報・津波警報について、以下のどの段階で避難を考えますか。

(最もあてはまるもの1つに☑)

- 津波注意報が出た段階で避難を始める
- 津波注意報が出たら様子を見てから避難するかどうかを考える
- 津波注意報では避難せず、津波警報が出た段階で避難を始める
- 津波注意報では避難せず、津波警報が出たら様子を見てから避難するかどうかを考える

- 4.4. 地震発生から津波避難を始める（避難のために家を出る）までに何分かかるか、ご自身の予想時間をお答えください。また地震発生から津波避難を始める前に行うであろう行動を教えてください（当てはまるもの全てに☑）。



約（　　）分かかりそう

- 何もせずすぐに避難を始める
- 自宅で家族の帰りを待ってから避難する
- 海の様子を見に行ってから避難する
- 避難のための荷物(着替えや食料など)を準備する（避難袋を準備している場合は除く）
- 地震で散らかった家具などを片付けてから避難する
- 家族や知人に連絡(電話やメール)をし終わってから避難する
- 要介護者の避難の準備をする
- その他（_____）

- 4.5. あなたが津波避難をする際の手段を教えてください。（最も当てはまるもの1つに☑）

- 徒歩
- 自転車
- 原付・バイク
- 自動車
- 車いす
- 手押し車
- その他（_____）

- 4.6. 津波避難の際、だれと一緒に避難をしますか。（当てはまるもの全てに☑）

- 自分一人で
- 家族と
- 近所の人と
- 避難誘導をしてくれる人と
- その他（_____）

4.7. 在宅時に南海トラフ地震が発生した際、逃げるべき津波避難場所を知っていますか。また避難場所までの経路を避難訓練等を通して確認できていますか。

(最もあてはまるもの1つに☑)

避難場所を知らない

避難場所は知っているが、避難経路を知らない

避難場所を知っており、避難経路を地図上で確認したことがある

4.8. 避難場所を知っており、避難経路を実際に通って確認したことがある次に示す避難場所のうち、正確な所在地を把握できている避難場所はどれですか。(当てはまるもの全てに☑)

江川山

林田邸裏山

天満宮裏山

正八幡宮

西法寺裏山

旧御畳瀬小学校

4.9. これまで津波の経験はありますか。(最もあてはまるもの1つに☑)

御畳瀬で津波の経験がある

ほかの地域で津波の経験がある

一度もない

4. 10. あなたが現在想定している避難場所と自宅からの避難経路を次ページの記入例を参考にして以下の地図に書き込んでください。

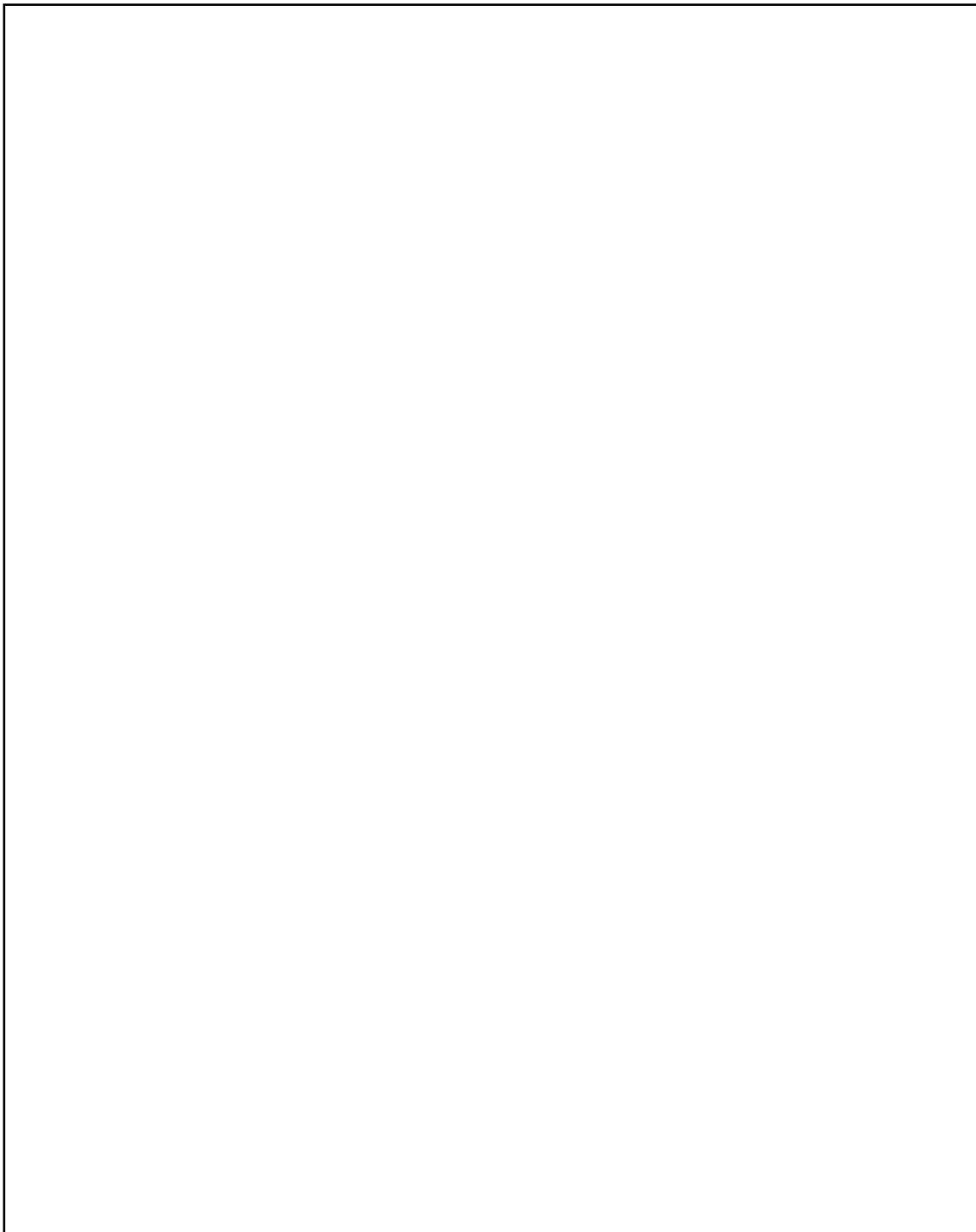


記入例

※実際に通るであろう道に沿ってお書きください



●その他、日頃生活している中で津波避難について疑問に思うこと、不安点などがございましたら、ご自由にお書きください。

A large empty rectangular box with a black border, intended for the respondent to write their answers to the survey questions.

アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました

参考文献

- 1) 桑原雅夫(2017)「規範的避難行動によるベンチマーク解析」, <<http://www.cee.ehime-u.ac.jp/~keikaku/labo-hp/activity/bocchan/02/>> (参照 2017-9)
- 2) 南正昭・中嶋雄介・安藤昭・赤谷隆一(2005)「避難経路の高低差が津波避難者に与える負荷に関する基礎的研究」, 『日本都市計画学会都市計画論文集』 No40-3
- 3) 佐藤栄治・吉川徹・山田あすか(2006)「地形による負荷と年齢による身体能力の変化を勘案した歩行換算距離の検討-地形条件と高齢化を勘案した地域施設配置モデルその1-」, 『日本建築学会計画系論文集』 第 610 号,133-139
- 4) 木村京一郎・秋山哲男・大口敬・小根山裕之(2005)「密集市街地における道路閉塞と避難困難者に関する研究」, 『総合都市研究』 第 85 号
- 5) 市川総子・阪田知彦・吉川徹(2004)「建物倒壊および道路閉塞のモデル化による避難経路の危険度を考慮した避難地への到達可能性に関する研究」, 『GIS-理論と応用』 vol12,No.1,p.47-56
- 6) 有川太郎・大家隆行(2015)「数値波動水槽と連成した避難シミュレータによる避難行動特性についての検討」, 『土木学会論文集 B2(海岸工学)』, Vol.71.No2,I-319-I324
- 7) 日本建築防災協会(2012)『2012 年改訂版木造住宅の耐震診断と補強方法』
- 8) 高知市(2016)「高知市老朽住宅除却事業について」, <<http://www.city.kochi.kochi.jp/uploaded/attachment/48177.pdf>> (参照 2016-12)
- 9) 新階寛恭・家田仁・長瀬龍彦・篠恭彦・近藤慶太(2001)「都市内地区施設等の震災時における防災効果のマクロな評価手法-避難行動に着目した地区内道路の防災性評価手法について-」, 『土木計画学研究・論文集』 vol.18 no.4
- 10) 富田孝史・柿沼太郎(2005)「海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波数値シミュレータ STOC の開発と津波解析への適用」, 『港湾空港技術研究所報告』 vol. 044, No.02-05
- 11) 内閣府,南海トラフの巨大地震モデル検討会, <<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>> (参照 2017-2)
- 12) 高知県海洋局(2005)「漁村における津波対策基本方針」 <http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/040501/files/2013061400298/2013061400298_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_life_89561_314461_misc.pdf> (参照 2017-2)
- 13) 内閣府(2005)津波避難ビル等に係るガイドライン, <<http://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/h17/pdf/guideline.pdf>> (参照 2017-2)
- 14) 消防庁(2012)市町村における津波避難計画策定指針 <http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/tsunami_hinan/houkokusho/p02.pdf> (参照 2017-2)
- 15) 早川哲史・今村文彦(2002)「津波発生時における避難行動開始モデルの提案とその適用」, 『自然災害科学』 21-1,51-66

- 16) 熊谷兼太郎・富田孝史(2015)「津波避難開始時間の数理モデル」,『土木学会論文集 D3 (土木計画学)』 vol.71,No.5
- 17) 後藤洋三・池田浩敬・市古太郎・小川雄二郎・北浦勝・佐藤誠一・鈴木光・田中努・仲村成貴・三上卓・村上ひとみ・柳原純夫・山本一敏(2015)「東日本大震災津波避難合同調査団の形成と山田町・石巻市担当チームによる調査結果」,『日本地震工学会論文集第 15 巻』第 5 号

謝辭

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた修士論文指導教員の甲斐芳郎教授、副指導教員の西内裕晶先生に大変感謝致します。また、副査の中央大学工学部都市人間環境学専攻有川太郎教授、および海岸・港湾研究室の皆様には、避難シミュレーション解析について丁寧にご指導を頂きました。重回帰分析を用いた避難開始時間の検討に際しては、高知工科大学建築環境工学研究室博士課程の河田浩太郎氏からご助言を頂きました。そして本研究の趣旨を理解し快く協力して頂いた、御豊瀬地区の調査対象者の皆様に心から感謝します。本当にありがとうございました。

2018年1月 川村日成