

2012年度

修士論文

論題

東日本大震災の被災地区における

津波避難安全性評価に関する研究

指導教員

伊津野 和行 教授

立命館大学大学院 理工学研究科

博士課程前期課程

創造理工学 専攻

学生証番号

6167110012-2

氏 名

近藤 智

要旨

災害時の避難を円滑にすることは、死者の数を減らすために重要である。避難路や避難施設を整備するハードウェア対策にも、防災教育や避難誘導を工夫するソフトウェア対策にも、避難数値シミュレーションが欠かせない。

ここでは、東日本大震災の津波により被災した地域を対象として、津波避難シミュレーションを実施した。避難開始時間の違いや、避難箇所の設定パターンの違いなど、津波からの避難率について種々の検討を行った。

その結果、避難開始時間の早い人が増加することによって、町なかの混雑が長引く現象が減り、避難開始が遅れる人の命をも間接的に救うことになることがわかった。また、時間的猶予がない津波からの避難に関しては、津波避難ビルの配置によって避難率を 10%以上向上させることができることなどが判明した。

<目次>

第1章 序論

1.1 概説	1
1.2 本研究の背景	1
1.3 既往の研究	1
1.4 目的	2

第2章 対象とする被災地域

2.1 概説	3
2.2 宮城県本吉郡南三陸町	3
2.3 対象とする地域	5
2.4 東日本大震災	7
2.5 被災地区の視察	9

第3章 津波避難シミュレーションモデル

3.1 概説	14
3.2 マルチエージェントモデル	14
3.3 モデル化	14
3.3.1 対象地域の設定	14
3.3.2 住民エージェント	29
3.3.3 避難方法	33
3.3.4 津波浸水の表現	33

第4章 避難シミュレーションの結果と考察

4.1 概説	35
4.2 分析計画	35
4.2.1 移動手段の設定	35
4.2.2 避難開始時刻の設定	36
4.2.3 避難方針の設定	36
4.2.4 新規津波施設配置の設定	37
4.2.5 シミュレーションパターンのまとめ	38

4.3	避難者移動手段の違いによる避難への影響	39
4.3.1	シミュレーション内容	39
4.3.2	シミュレーション実行結果	39
4.3.3	考察	40
4.4	避難開始時間の考慮による避難への影響	41
4.4.1	シミュレーション内容	41
4.4.2	シミュレーション実行結果	42
4.4.3	考察	43
4.5	避難方針の違いによる避難への影響	44
4.5.1	シミュレーション内容	44
4.5.2	シミュレーション実行結果	45
4.5.3	考察	45
4.6	津波避難施設配置による避難への影響	46
4.6.1	シミュレーション内容	46
4.6.2	シミュレーション実行結果	46
4.6.3	考察	47
4.7	よりよい避難のあり方	49

第5章 結論

5.1	概説	50
5.2	まとめ	50
5.3	今後の課題	51

参考文献

謝辞

第1章 序論

1.1 概説

本章では、本研究に至った背景、及び本研究の目的について述べる。

1.2 本研究の背景

我が国は、歴史的に大地震が繰り返し起きている。2011年の東北地方太平洋沖地震による津波で多大な人的被害を被った。そして、東海・東南海地震をはじめ、遠くない将来にも大地震は必ず来ると言われている。

地震によって大津波が来襲すれば、沿岸地域に居合わせた人々は危険な条件下におかれ、時間的猶予のない避難を強いられるため、迅速かつ安全な避難が人的被害を直接的に少なくするための有効な対策であると言える。したがって、避難計画を考える上では、このような状況下での避難行動をできるだけ正確に把握し、その安全性を評価する必要がある。ただ、災害時を想定した避難実験は実験に危険が伴うなどの問題点があるため、近年シミュレーションによる研究がなされている。

また、津波来襲時の避難は、避難者各々が異なる行動特性を持っているため、非常に複雑である。そこで、住民が避難する際の移動手段や、住民の防災意識の違いなど、避難に関わるパラメータを分析することで、よりよい避難のあり方を検討する必要がある。

1.3 既往の研究

ここでは、本研究に関係する従来研究について簡単にまとめる。

・片田ら¹⁾は災害情報の伝達状況や避難状況、そして津波による人的被害の状況を表現するシミュレータを開発し、当該地域の住民に公開することによって、その効果や住民の反応を把握した。その結果、さらに調査を進めるべき課題があるものの、地域全体としての防災意識の向上に役立てることができるという結果を得た。

・齊藤ら²⁾はマルチエージェントシステムを用いた津波からのネットワーク型避難シミュレーションを設計し、一例として北海道奥尻島青苗地区に適用した。シミュレーション結果は、実際のアンケート調査と良い相関関係を示し、妥当性を証明した。また、非常にシンプルなルールを設定しただけで、津波からの避難行動を再現できたことから、マルチエージェントシステムを用いたシミュレーション手法の、避難問題へのアプローチに対する有用性を示した。

・大畑ら³⁾はマルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーションを開発し、釧路市中心市街地における津波避難施設配置の評価を行った。その結果、海岸平野

部の高台避難の確保が難しい市街地で、ビル等の避難施設の果たす重要性を示した。

・源ら⁴⁾はペトリオットを用いた精度の高い津波避難シミュレーション手法を開発し、それを用いて対象地区の問題点を抽出するとともに、対策効果の検討を行うため、シミュレーションより得られる避難完了率曲線に基づいた地区の避難安全指標を考案し、その有用性を検討した。

以上より、津波を想定した避難シミュレーションの開発は数多く行われてきたが、東日本大震災のような想定を遥かに超える大津波に対しても、十分に安全な避難を考えられてきたとは言えない。

震災時には、浸水域内にある指定避難場所でさえも、浸水深の高い津波に飲みこまれてしまい、多くの人的被害を出してしまった。また、避難に関する多くの研究では徒歩避難を原則とする考え方が基本とされてきたが、東日本大震災における避難の際、住民の約半数は自動車を利用して避難したとされている。

このような状況の中で、津波来襲時の避難行動を改めて分析することで、津波に対して有効な避難対策を検討し、より安全な避難計画策定に繋げる必要がある。

1.4 目的

本研究では、津波避難シミュレーションモデルを作成し、それによって津波に対する地域の脆弱性を定量的に把握する。そして、避難施設を整備するハードウェア対策や、防災教育や避難方針を工夫するソフトウェア対策を施した場合の有用性を評価し、地域全体の防災力を高めることを目的とする。

その上で、本研究では東日本大震災の被災地区として、宮城県本吉郡南三陸町の志津川地区中心地を対象とし、津波避難シミュレーションモデルを適用する。その結果に基づき、避難開始時刻の違いや、避難箇所の設定パターンの違いなど、津波からの避難完了率について種々の検討を行う。

第2章 対象とする地域と災害

2.1 概説

本章では、宮城県本吉郡南三陸町と東日本大震災について述べる。

2.2 宮城県本吉郡南三陸町

南三陸町は宮城県の北東部にある本吉郡の南部に位置し、志津川湾、伊里前湾に面する町であり(図 2.1)、歌津、志津川、入谷、戸倉の4つの地区に区分されている。平成21年現在、町内の面積は163.74km²、人口は17,815人⁵⁾である。町内の海岸のほとんど全てがリアス式海岸になっており、町のほぼ全体が山地と言える。志津川地区、戸倉地区に比較的大きな平地がある以外は、海岸部の小平地に漁村が立地するという、リアス式海岸の地域では典型的な集落立地となっている。

リアス式海岸の地形的な特性から津波の影響を受けやすく、近代では、表2.1の通り、1896年の明治三陸大津波、1933年の昭和三陸大津波、1960年のチリ地震津波によって被害を受けている。明治・昭和の三陸津波では、志津川での津波は高くなく、近隣の市町村に比べ犠牲は少なかった。それにもかかわらず、町は、津波避難ビルの指定、避難ルート案内設置など、精力的に津波避難に取り組んできた。さらに、ハード的対策として沿岸部には、防波堤や防潮堤、水門などが設置されている。

しかし、日本観測史上最大の地震規模マグニチュード9.0を観測した2011年の東北地方太平洋沖地震によって被災し、特に大津波による被害は甚大となった(表2.1)。南三陸町職員は3階建ての防災庁舎で広報・情報収集に務めていたが、10mを越えるような津波が来襲することを事前に想定することは困難であったと考えられる。



図 2.1 南三陸町の位置 ⁶⁾

表 2.1 南三陸町でも津波被害があった主な地震

	発生年月日	規模	死者・行方不明者数※
貞観地震	869 年 7 月 9 日	M8.3~8.6	死者約 1,000 人
明治三陸地震	1896 年 6 月 15 日	M8.2~8.5	死者・行方不明者 21,949 人
昭和三陸地震	1933 年 3 月 3 日	M8.1	死者・行方不明者 3,642 人
チリ地震	1960 年 5 月 22 日	M9.5	死者・行方不明者 142 人
東北地方太平洋沖地震	2011 年 3 月 11 日	M9.0	死者 15,880 人、行方不明者 2,700 人、 負傷者 6,132 人

※国内全体の死者行方不明者数

2.3 対象とする地域

南三陸町では、歌津、志津川、入谷、戸倉の順番で四つの地区に区分されている(図 2.2)。本研究で行う避難シミュレーションでは、町内で最も人口が多い地区であり、津波被害が甚大であった志津川地区中心地を対象とした。

志津川地区の概要

人口・・・・・・・・・・6,726 人(平成 24 年 8 月末現在)⁶⁾

世帯数・・・・・・・・・・359 世帯(平成 24 年 8 月末現在)⁶⁾

一世帯当たり人員・・・・・・・・3 人(平成 21 年度)⁵⁾

高齢化率(65 歳以上／総数)・・29.3%(5,215/17,815)⁵⁾

志津川地区に限らず、この地域一体で過疎化が深刻化しており、人口は常に減少傾向である。それに連れて、高齢者の割合も増加している。平成 17 年度には一世帯当たりの人員が 4 人であったのに対し、平成 21 年度現在で 3 人に減少してしまった。このことから、この地域は急速に高齢社会へ進んでおり、若年層で多くの高齢層を支えなければならない現状がある。津波などの災害時避難に関しても、移動能力に制約がある高齢者が多いことを配慮した無理のない避難計画が必要となってくると考えられる。

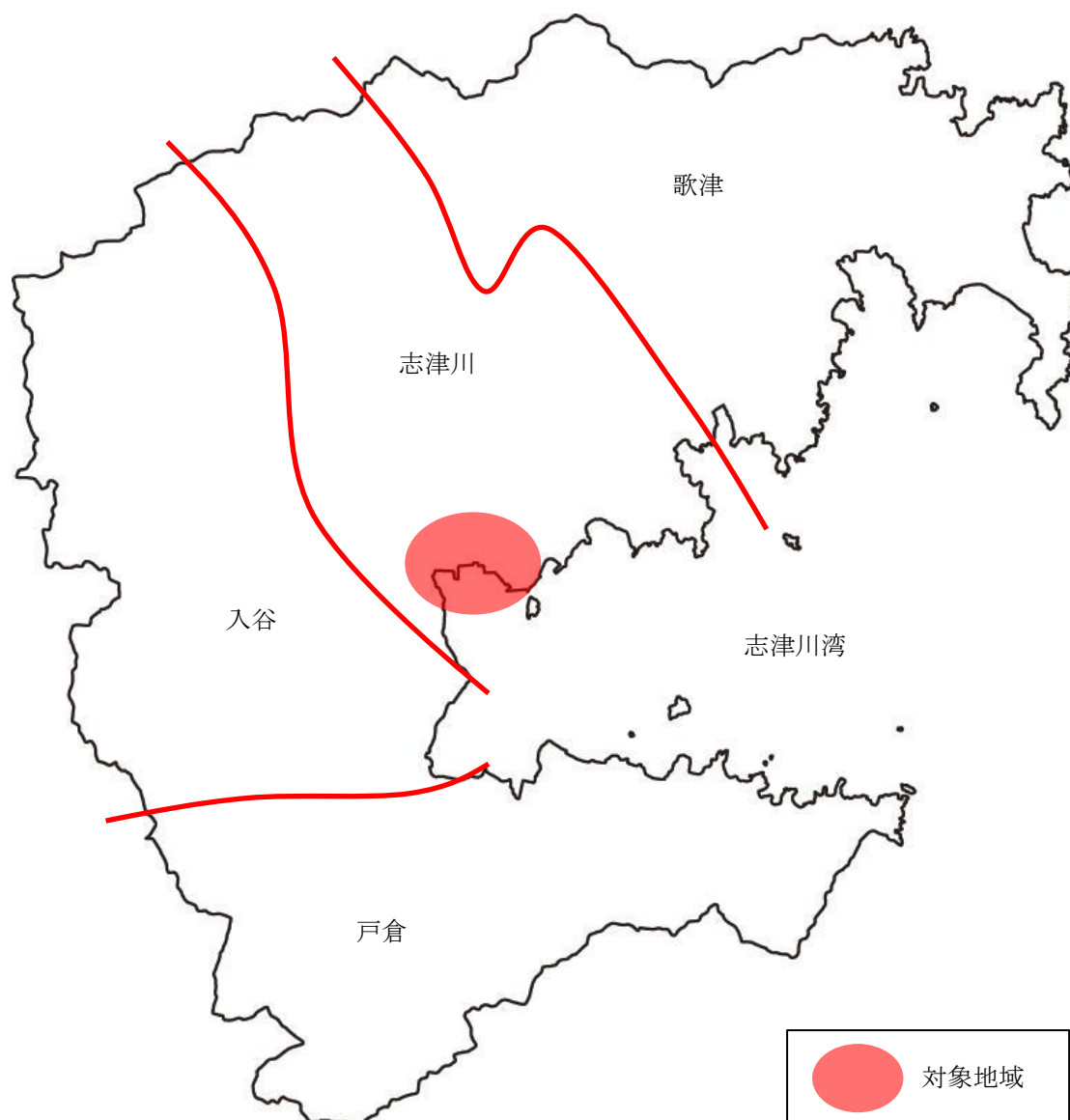


図 2.2 南三陸町の地域区分及び対象地域 7)

2.4 東日本大震災

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、死者数 15,869 人、行方不明者数 2,847 人、全壊家屋約 12 万 9,340 棟と甚大なる被害を生じており、その多くが津波による被害であった。そして、従来の地震被害と大きく異なる点は、図 2.3 に示すとおり、犠牲者の死因の約 9 割が水死、地震そのものではなく津波によって多くの人の命が奪われたことになる。阪神・淡路大震災の犠牲者の 8 割が建物等の倒壊による圧死・窒息死が死因であったことを踏まえると、地震大国である日本であっても津波防災対策は不十分であり、今後注力して取り組まなければならない課題のひとつであると言える。そして、図 2.4 に示すとおり、東日本大震災の犠牲者の約 6 割は高齢者であるという偏りがあり、防波堤等のハード的津波防災対策が機能せず、津波に巻き込まれてしまった住民が多数であったということが考えられる。

また、図 2.5 に示すとおり、震災発生後の被災者への面接調査⁸⁾では、津波を経験した多くの人々から最も有効な津波対策は迅速に避難することであると挙げている。さらに、今後財政の逼迫により、防波堤建設等のハード的防災事業を実施することは困難であり、住民の防災意識を高める取り組みや避難を促す制度等、ソフト防災を利用することで地域全体の防災力を高めることが有効であるとともに現実的な対策であると考えられる。

さらに、避難施設の配置、住民の避難意識、想定外の津波の規模が震災被害の拡大に影響しており、それらを配慮した上で、津波に対する総合的な防災対策を立案することが現状の課題であり、今後検討する必要が急務であると言える。

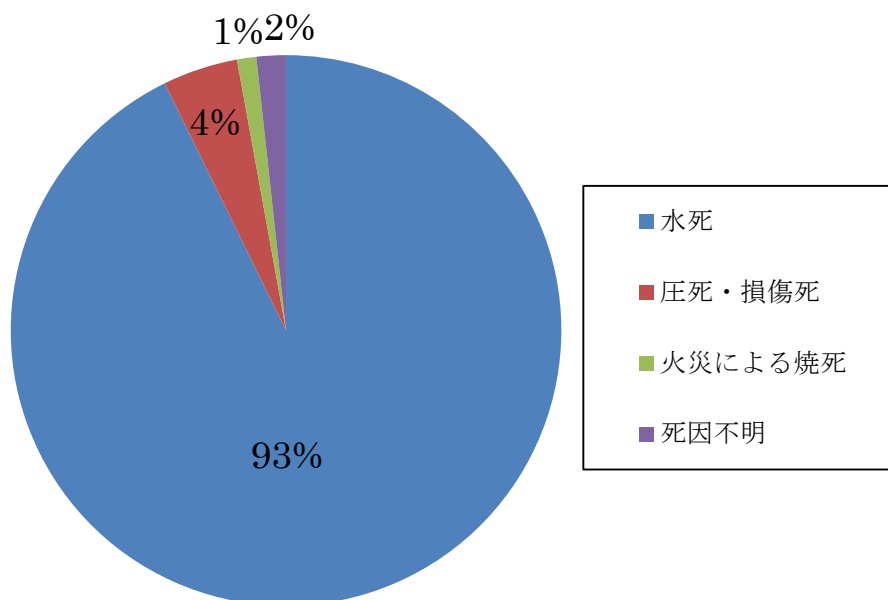


図 2.3 東日本大震災における犠牲者の死因⁸⁾

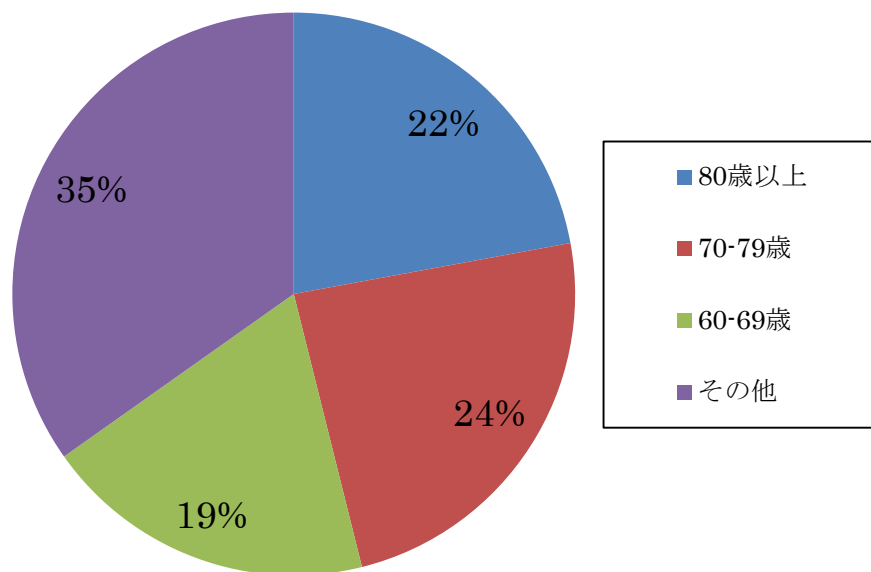
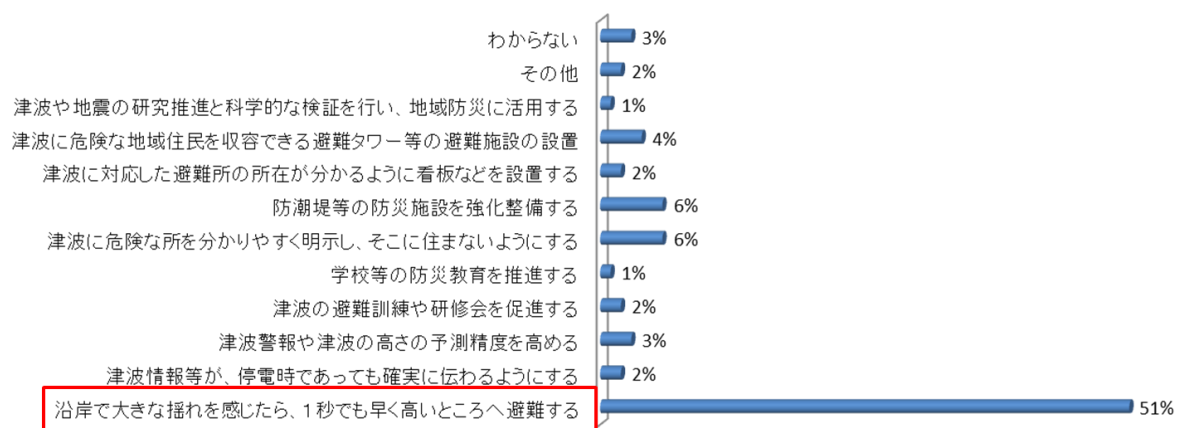


図 2.4 東日本大震災における犠牲者の年齢層 ⁸⁾

津波から地域を守るために必要なことは何ですか？



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

図 2.5 被災者へのアンケート結果 ⁸⁾

2.5 被災地区の視察

東日本大震災の発生から約4ヶ月半後の2011年7月下旬に南三陸町志津川地区に現地視察を行なった。

図2.6は南三陸町志津川地区にある総合体育館のベイサイドアリーナである。場所は志津川地区中心から2km以上あり、避難時の一次避難場所としては適していない。しかし、志津川地区中心がすべて津波に巻き込まれてしまったため、現在はベイサイドアリーナに役場、診療所、図書館、郵便局など自治体としての機能を集約している状況下にある。また、仮設住宅や災害ボランティアセンターもあり、復興の拠点となっている。国・自治体では、津波避難ビルの指定に積極的に取り組んでいるが、このような復興を加速させるような施設を高台に建設することも、自然災害と向き合う上で重要な対策のひとつであると言える。

また、図2.7は海岸線付近の橋梁であり、橋梁の一部が破損していることが確認できる。現地調査の際は、通行止めの状態であった。地震時には落橋や、付近の盛土の液状化が考えられるため、避難計画を考える上で橋梁を利用しないということも視野に入れる必要があると思われる。

図2.8では、防波堤が崩壊していることがわかる。想定の数倍もの津波が来襲したことでこのようなハード的防災対策だけでは限界があり、避難対策のようなソフト防災の重要性も認識されてきた。



図 2.6 ベイサイドアリーナ



図 2.7 海岸線付近の橋梁



図 2.8 海岸線及び防波堤

図 2.9、図 2.10 のように地盤が沈下して道路が機能しなくなるような場所も散見された。避難の際にも大きな問題となる可能性があると考えられる。

また、図 2.11 は志津川地区中心地の被災状況である。建築物はかろうじて鉄骨部分だけ残っている状態で、民家などはすべて津波に流されてしまっていた。図 2.11 中央には 3 階建ての防災庁舎があったが、この高さの建物でも丸ごと津波に飲み込まれてしまっていることがわかる。

図 2.12 は志津川地区の中心にある公立志津川病院である。建物自体は残っているが、4 階の窓ガラスも一部割れていることが確認できる。震災時には、屋上に避難して難を逃れた住民もいた。したがって、東日本大震災と同じスケールの津波を考えた場合、5 階以上の津波避難ビルが必要であると考えられ、南三陸町のような高層の建物を持たない地域にとって、津波避難の際に避難場所が少ないことが懸念される。

図 2.13 は海岸線から 1km 地点の建物である。3 階建てのアパートの上に自動車が乗っていることからわかるように、海岸線から 1km 離れていても最低でも約 10m の浸水深があったと考えられる。また、海岸から離れているため、この付近の住民の津波に対する警戒レベルは低くなってしまふと思われる。したがって、個々人の防災意識の高さが逃げ遅れないための重要な要素になってくると考えられる。



図 2.9 海岸から 100m 地点



図 2.10 海岸から 200m 地点



図 2.11 海岸から 200m 地点



図 2.12 公立志津川病院



図 2.13 海岸から 1km 地点

第3章 津波避難シミュレーションモデル

3.1 概説

本章では、津波来避難安全性の評価をするための津波避難シミュレーションモデルを構築する。

3.2 マルチエージェントモデル

マルチエージェントモデルは、複数の自律的に動作する主体(エージェント)から構成されるモデルであり、エージェント各々が周囲の状況を認識し、自身の持つパラメータに基づいて自律的に行動する。そして、個々のエージェントの内部属性などがエージェント間で相互に関係し合い、モデル全体がひとつの秩序を形成する。それにより、現実世界に近い環境をコンピュータ上で再現することが可能である。

本研究では津波避難シミュレーションモデルの作成に株式会社構造計画研究所の *artisoc*⁹⁾を用い、津波来襲時のよりよい避難のあり方について検討する。

3.3 モデル化

本節では、対象地域の道路ネットワークのモデル化や、避難者となる住民エージェントの行動ルールなど、避難シミュレーションの種々の設定について示す。

3.3.1 対象地域の設定

本研究の対象地域の道路ネットワーク図を図 3.1 に示す。対象とする地域は宮城県本吉郡南三陸町の志津川地区中心地とする。シミュレーション上での道路ネットワークは、国土地理院基盤地図情報の地図¹⁰⁾及び Google Earth¹¹⁾をもとに作成した。津波からの避難のように、屋外において道路を使つての避難シミュレーションの場合、取り扱う領域が広く、各種初期データの設定や演算の負荷が大きくなるため、本研究ではノード・リンクによって道路ネットワークを表現することとする。

したがって、対象地域の交差点をノードエージェントとして設定し、道路の接続状況、接続している道路の経路長や幅員、面積といった情報を変数として持たせる。また、リンクに関しては、シミュレーション上にリンクという実体は存在しないが、ノード同士の接続という意味で、道路のことをリンクと呼ぶ。地震発生後、様々な時間差をもって避難を開始した住民エージェントは、このリンク上を移動し、ノード(交差点)において経路を選択しながら、目標となる避難場所を目指して移動する。

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震において志津川地区では、大津波が河川を遡上

して 1960 年のチリ地震による津波の到達地点を越えて内陸深く進入し、平地が占める志津川地区中心地の大半を津波が飲み込んだため、本モデルでは、津波浸水域外の志津川高校、志津川小学校、県道 221 号線沿いの高台の 3 ヶ所を避難場所として設定した。

また、対象地域には 2 本の河川が通っており、市街地を大きく 3 つに分断している(図 3.2)。河川を横断する避難を想定しないため、図 3.1 で示した道路ネットワークを、河川を基準に 3 つのブロックそれぞれで独立した避難シミュレーションモデルを作成した。地震発生時に橋梁が落橋している場合や、津波が先行的に河川を遡上して市街地に入ってくる場合、盛土が崩壊する危険性もあるため、橋梁を利用する避難を含めないことが、より安全側での避難計画策定に繋がると考えた。

3 つのブロック分けした道路ネットワーク(以下、略称として「東地区」「中地区」「西地区」とする)の交差点番号(ノードの番号)、道路番号(リンクの番号)、道路情報(経路長、幅員、面積)を図 3.3-3.8、表 3.1-3.3 に示す。

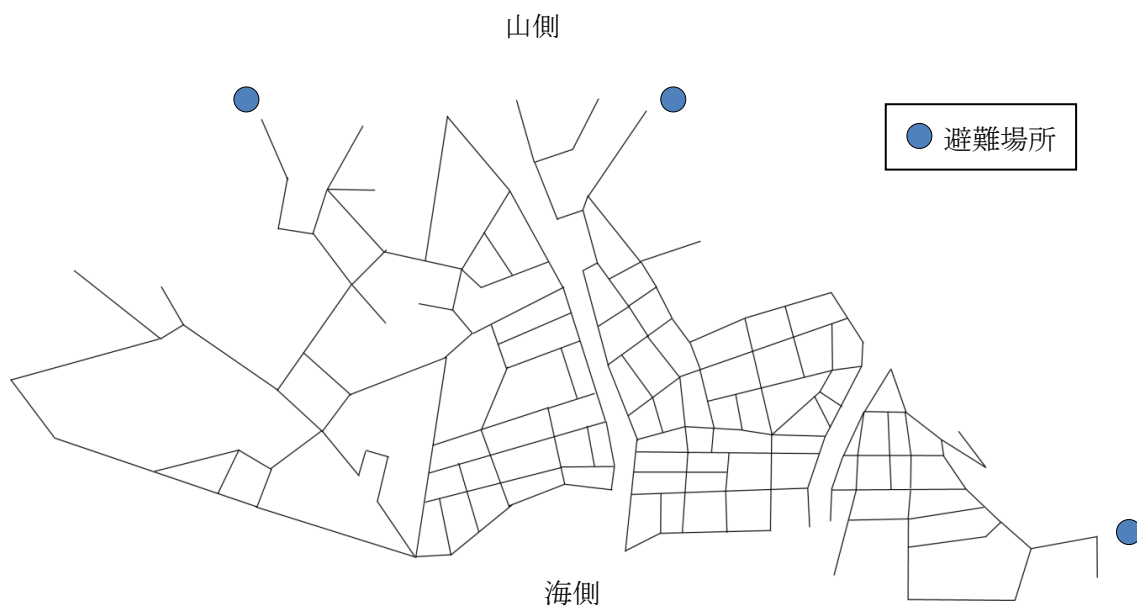


図 3.1 対象地域の道路ネットワーク

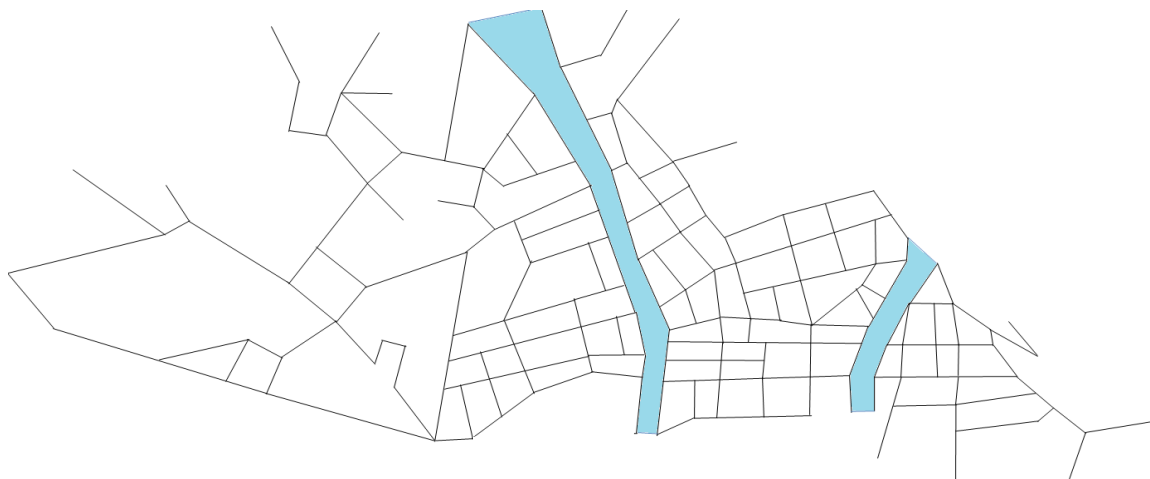


図 3.2 志津川地区に流れる 2 つの河川

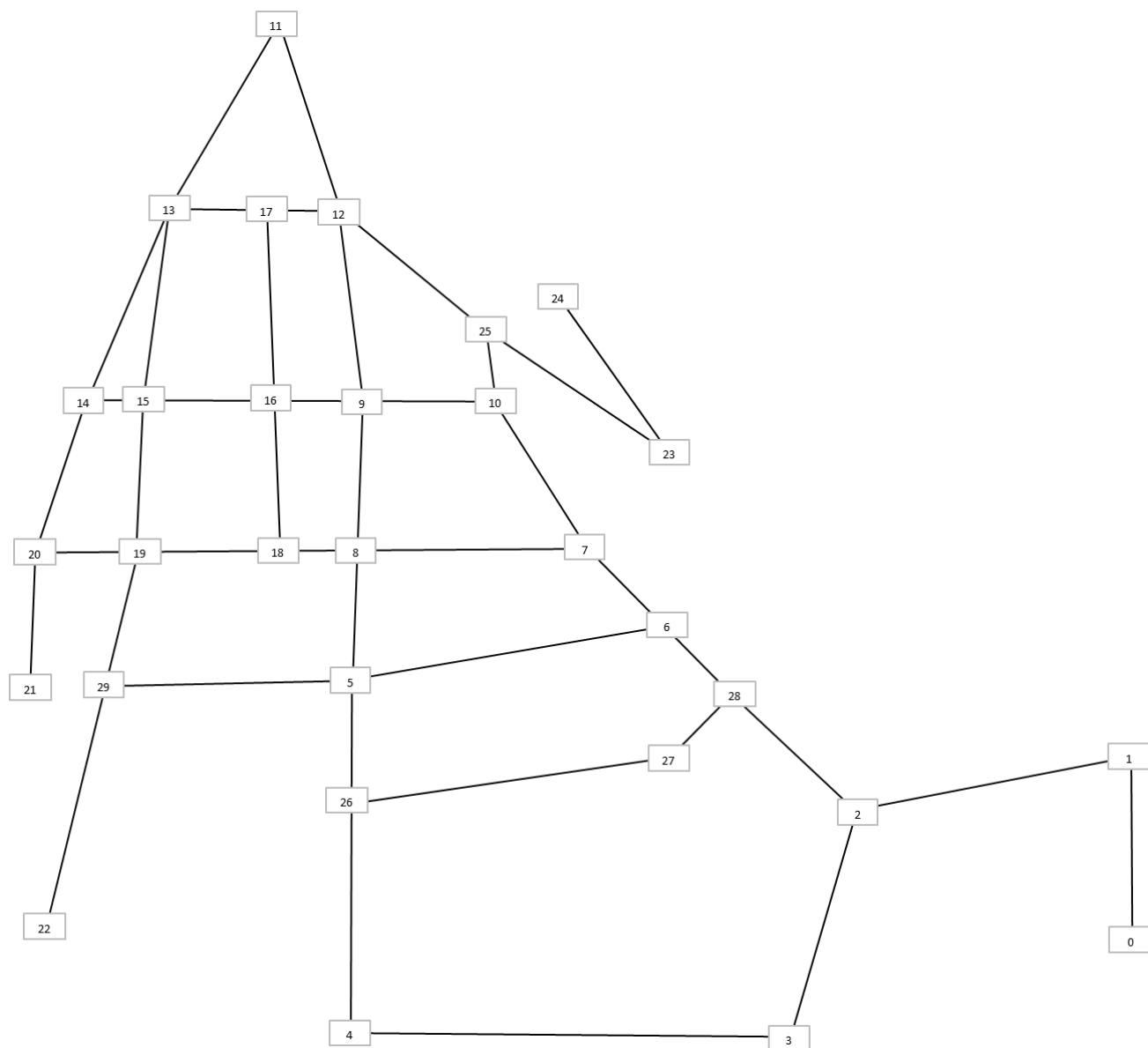


図 3.3 東地区道路ネットワーク交差点番号

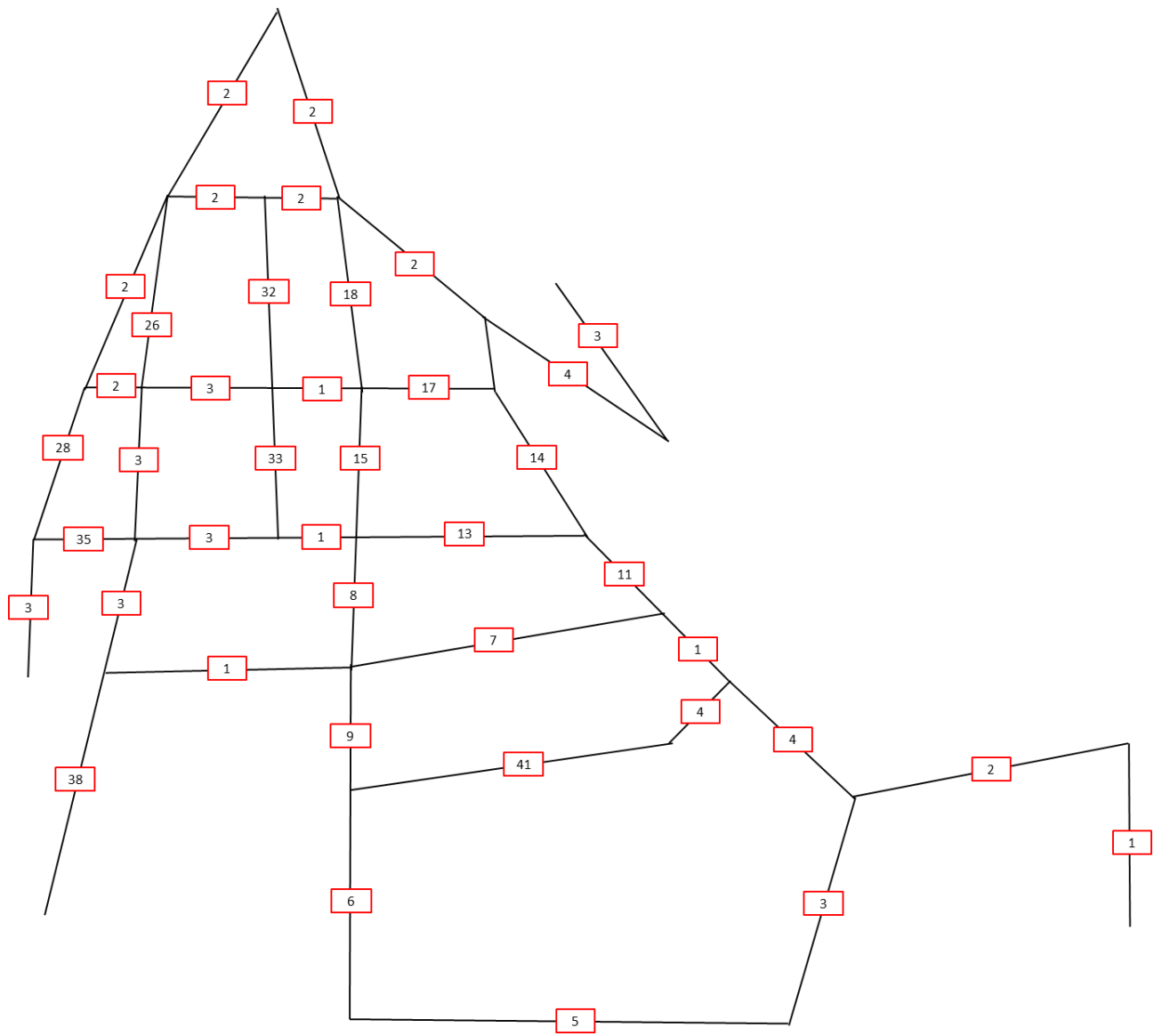


図 3.4 東地区道路番号

表 3.1 東地区道路情報

道路番号	始点ID	終点ID	経路長(m)	幅員(m)	面積(m ²)
1	0	1	65	5	325
2	1	2	95	5	475
3	2	3	90	9	810
4	2	28	60	5	300
5	3	4	165	9	1485
6	4	26	85	5	425
7	5	6	120	4	480
8	5	8	45	6	270
9	5	26	50	8	400
10	5	29	90	7	630
11	6	7	45	6	270
12	6	28	40	6	240
13	7	8	85	8	680
14	7	10	65	4	260
15	8	9	55	7	385
16	8	18	30	8	240
17	9	10	35	4	140
18	9	12	75	5	375
19	9	16	35	4	140
20	10	25	25	4	100
21	11	12	75	5	375
22	11	13	80	4	320
23	12	17	30	4	120
24	12	25	70	6	420
25	13	14	80	4	320
26	13	15	70	4	280
27	13	17	30	4	120
28	14	15	25	5	125
29	14	20	55	4	220
30	15	16	40	5	200
31	15	19	60	4	240
32	16	17	70	4	280
33	16	18	55	4	220
34	18	19	55	8	440
35	19	20	30	8	240
36	19	29	50	7	350
37	20	21	45	3	135
38	22	29	60	7	420
39	23	24	75	4	300
40	23	25	65	4	260
41	26	27	115	3	345
42	27	28	35	3	105

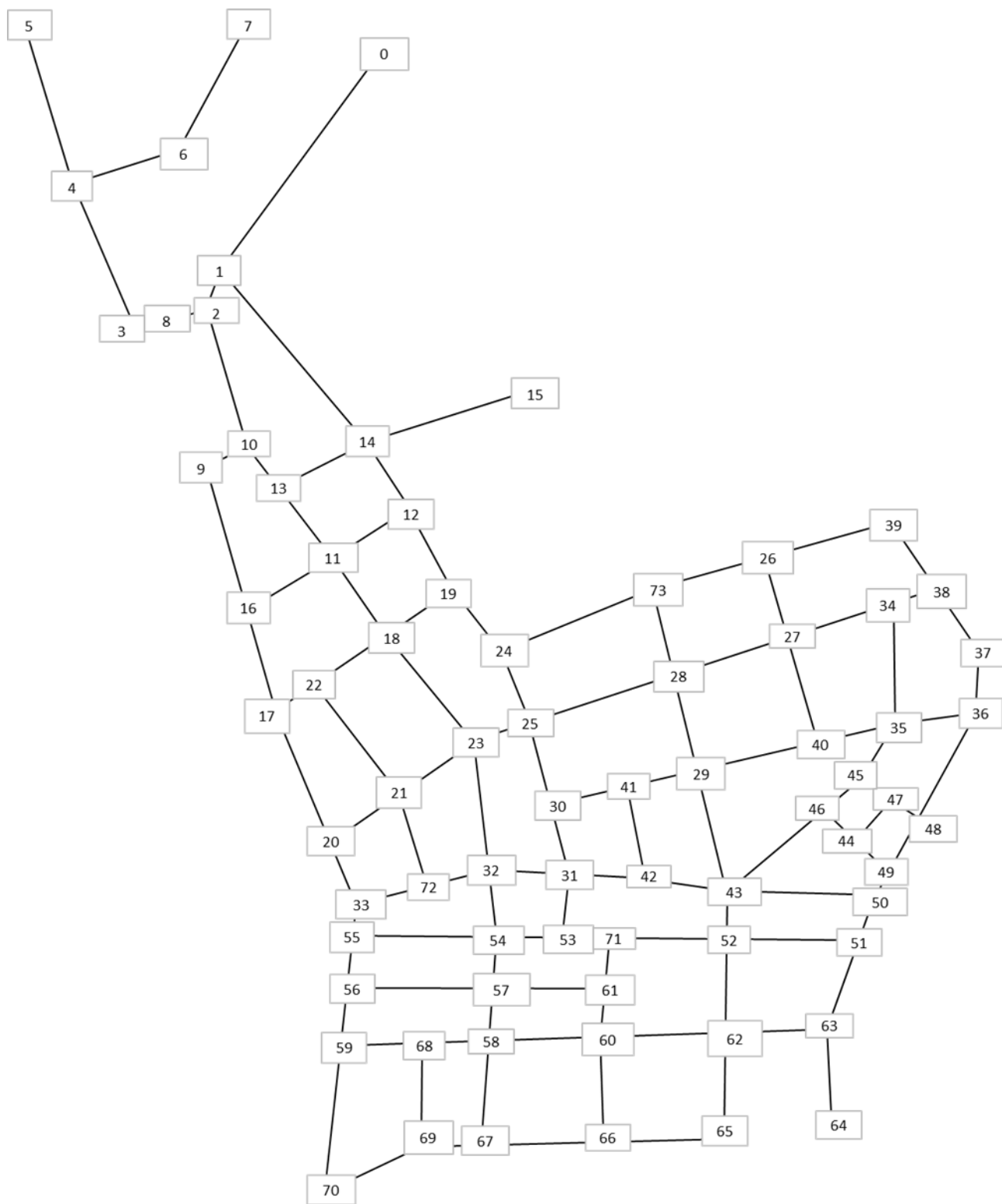


図 3.5 中地区道路ネットワーク交差点番号

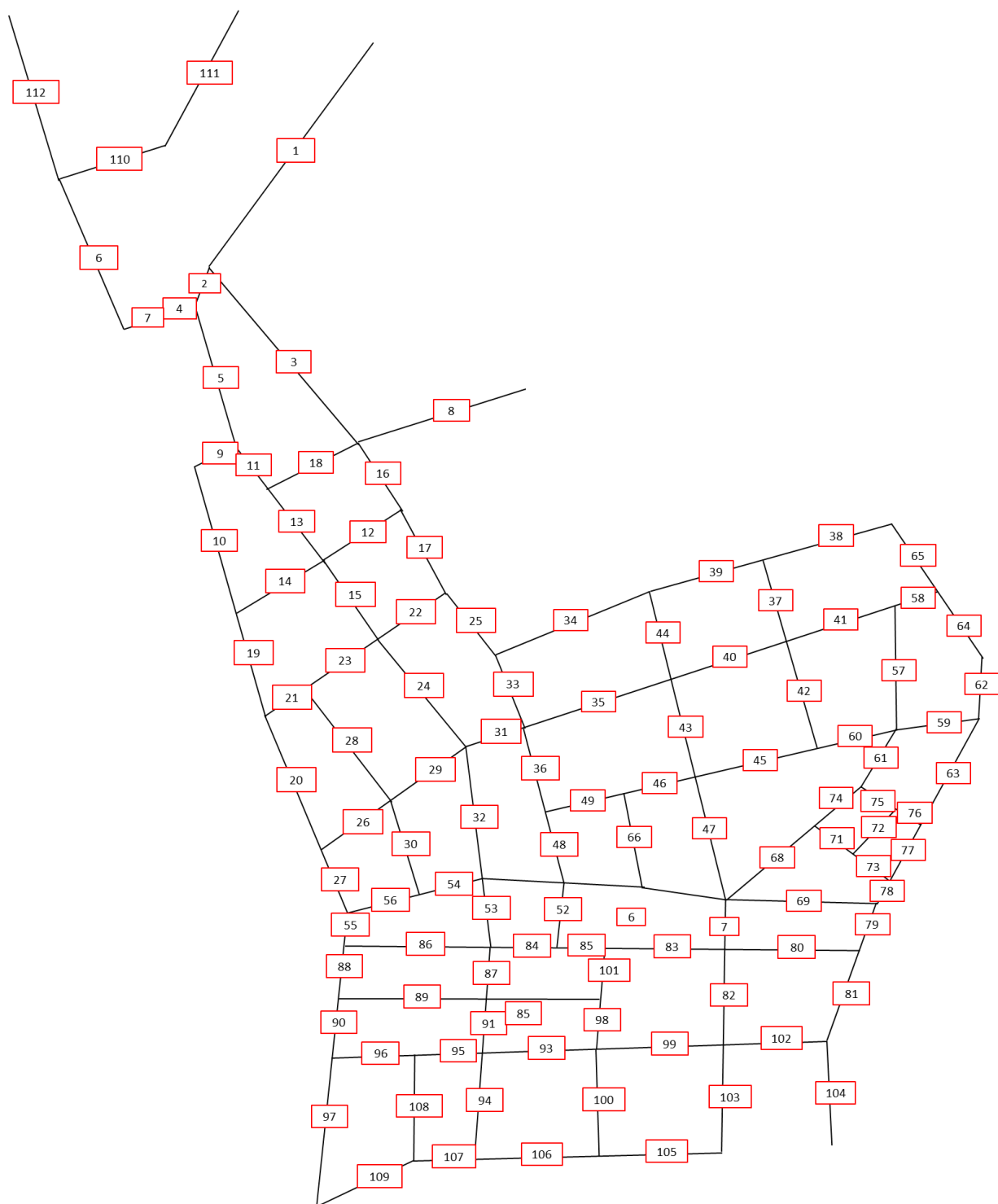


图 3.6 中地区道路番号

表 3.2 中地区道路情報

道路番号	始点ID	終点ID	経路長(m)	幅員(m)	面積(m ²)
1	0	1	359	10	3590
2	1	2	28	10	280
3	1	14	155	4	620
4	2	8	20	6	120
5	2	10	102	7	714
6	3	4	113	8	904
7	3	8	31	6	186
8	14	15	107	4	428
9	9	10	27	8	216
10	9	16	118	6	708
11	10	13	37	8	296
12	11	12	63	6	378
13	11	13	62	8	496
14	11	16	71	4	284
15	11	18	59	8	472
16	12	14	62	7	434
17	12	19	60	7	420
18	13	14	67	4	268
19	16	17	65	6	390
20	17	22	32	6	192
21	17	20	102	6	612
22	18	19	53	5	265
23	18	22	62	6	372
24	18	23	101	8	808
25	19	24	65	5	325
26	20	21	60	12	720
27	20	33	41	6	246
28	21	22	97	4	388
29	21	23	66	12	792
30	21	72	68	4	272
31	23	25	41	8	328
32	23	32	94	8	752
33	24	25	51	5	255
34	24	73	95	5	475
35	25	28	94	8	752
36	25	30	62	4	248
37	26	27	62	4	248
38	26	39	99	5	495
39	26	73	98	5	490
40	27	28	80	8	640
41	27	34	83	8	664
42	27	40	69	4	276
43	28	29	67	4	268
44	28	73	59	4	236
45	29	40	79	6	474
46	29	41	56	6	336
47	29	43	95	4	380
48	30	31	49	4	196
49	30	41	51	6	306
50	31	32	48	12	576

表 3.2 中地区道路情報(続き)

道路番号	始点ID	終点ID	経路長(m)	幅員(m)	面積(m ²)
51	31	42	47	5	235
52	31	53	48	6	288
53	32	54	48	8	384
54	32	72	44	4	176
55	33	55	34	6	204
56	33	72	59	4	236
57	34	35	87	8	696
58	34	38	27	8	216
59	35	36	57	6	342
60	35	40	63	6	378
61	35	45	43	8	344
62	36	37	43	4	172
63	36	48	88	4	352
64	37	38	61	4	244
65	38	39	43	4	172
66	41	42	63	3	189
67	42	43	67	5	335
68	43	46	75	8	600
69	43	50	108	4	432
70	43	52	35	8	280
71	44	46	48	4	192
72	44	47	39	4	156
73	44	49	41	4	164
74	45	46	64	8	512
75	45	47	32	5	160
76	47	48	23	5	115
77	48	49	48	4	192
78	49	50	4	4	16
79	50	51	38	4	152
80	51	52	93	8	744
81	51	63	61	4	244
82	52	62	67	8	536
83	52	71	88	8	704
84	53	54	48	8	384
85	53	71	29	8	232
86	54	55	96	3	288
87	54	57	35	8	280
88	55	56	30	6	180
89	56	57	94	4	376
90	56	59	42	6	252
91	57	58	40	8	320
92	57	61	82	3	246
93	58	60	87	10	870
94	58	67	73	7	511
95	58	68	38	10	380
96	59	68	58	10	580
97	59	70	91	7	637
98	60	61	31	5	155
99	60	62	91	10	910
100	60	66	71	7	497

表 3.2 中地区道路情報(続き)

道路番号	始点ID	終点ID	経路長(m)	幅員(m)	面積(m ²)
101	61	71	44	5	220
102	62	63	75	10	750
103	62	65	75	8	600
104	63	64	71	4	284
105	65	66	90	5	450
106	66	67	91	5	455
107	67	69	45	5	225
108	68	69	74	7	518
109	69	70	61	5	305
110	4	6	88	6	528
111	6	7	140	5	700
112	4	5	119	5	595

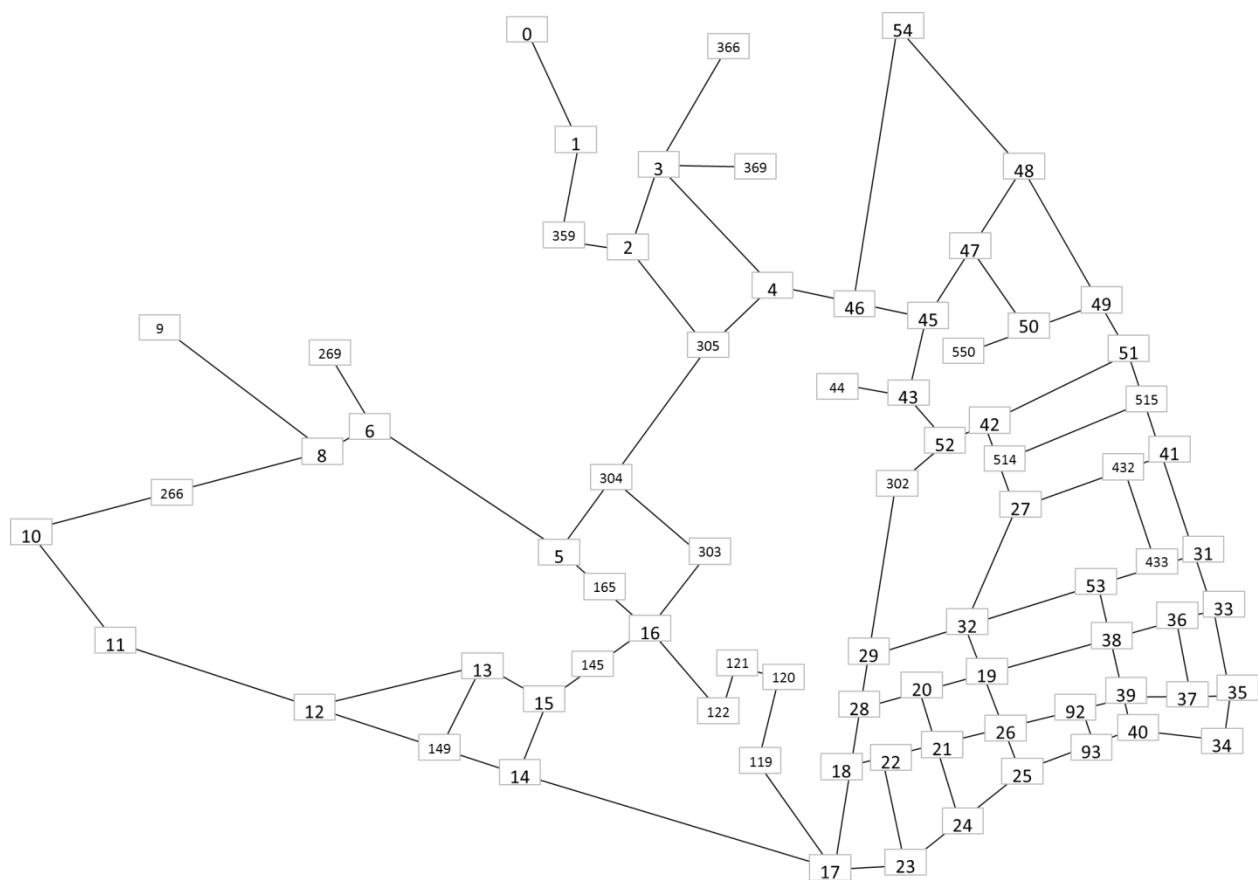


図 3.7 西地区道路ネットワーク交差点番号

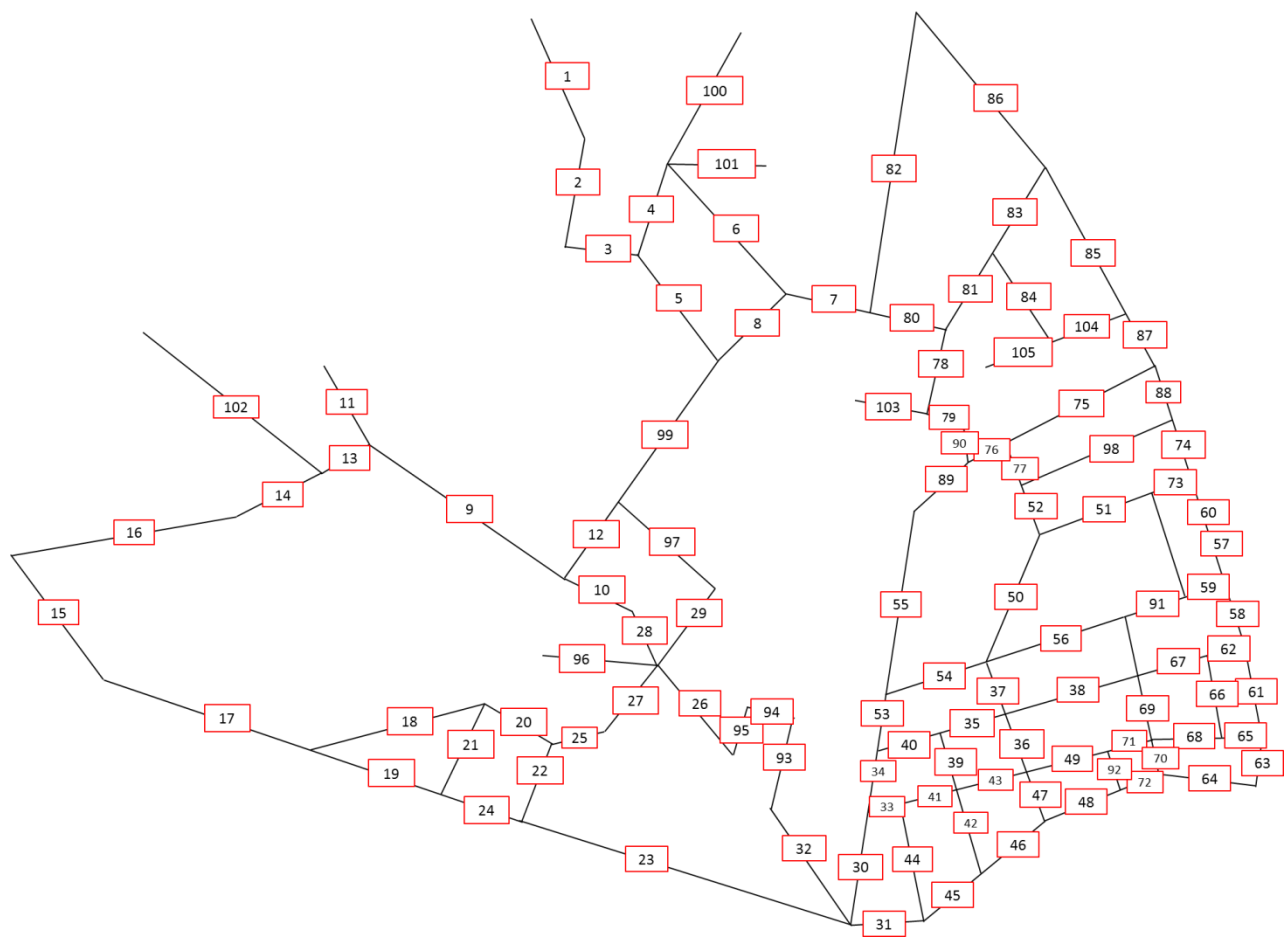


图 3.8 西地区道路番号

表 3.3 西地区道路情報

道路番号	始点ID	終点ID	経路長(m)	幅員(m)	面積(m ²)
1	0	1	80	8	640
2	1	359	106	8	848
3	2	359	73	8	584
4	2	3	92	6	552
5	2	305	118	8	944
6	3	4	170	6	1020
7	4	46	90	8	720
8	4	305	95	8	760
9	5	6	225	4	900
10	5	165	35	5	175
11	8	9	77	4	308
12	5	304	60	8	480
13	6	8	54	4	216
14	8	266	101	4	404
15	10	11	186	5	930
16	10	266	224	4	896
17	11	12	200	5	1000
18	12	13	164	5	820
19	12	149	139	5	695
20	13	15	83	5	415
21	13	149	100	6	600
22	14	15	85	5	425
23	14	17	320	5	1600
24	14	149	53	5	265
25	15	145	35	5	175
26	16	122	124	5	620
27	16	146	18	4	72
28	16	165	64	5	320
29	16	303	102	5	510
30	17	18	95	9	855
31	17	23	88	7	616
32	17	119	84	5	420
33	18	22	32	6	192
34	18	28	55	9	495
35	19	20	65	12	780
36	19	26	54	9	486
37	19	30	44	9	396
38	19	38	132	12	1584
39	20	21	50	5	250
40	20	28	62	23	1426
41	21	22	54	6	324
42	21	24	88	5	440
43	21	26	72	6	432
44	22	23	112	5	560
45	23	24	75	7	525
46	24	25	88	7	616
47	25	26	47	9	423
48	25	93	76	7	532
49	26	92	83	6	498
50	27	30	140	4	560

表 3.3 西地区道路情報(続き)

道路番号	始点ID	終点ID	経路長(m)	幅員(m)	面積(m ²)
51	27	432	125	7	875
52	27	514	42	4	168
53	28	29	63	6	378
54	29	30	104	5	520
55	29	302	178	6	1068
56	30	53	147	6	882
57	31	32	57	7	399
58	31	33	43	7	301
59	31	433	47	5	235
60	32	41	73	7	511
61	33	35	84	7	588
62	33	36	44	5	220
63	34	35	44	7	308
64	34	40	90	8	720
65	35	37	45	5	225
66	36	37	73	3	219
67	36	38	70	12	840
68	37	39	66	5	330
69	38	39	55	7	385
70	39	40	30	7	210
71	39	92	46	5	230
72	40	93	42	8	336
73	41	432	40	7	280
74	41	515	63	8	504
75	42	51	170	6	1020
76	42	52	25	6	150
77	42	514	45	4	180
78	43	45	90	12	1080
79	43	516	30	7	210
80	45	46	73	7	511
81	45	47	76	12	912
82	46	54	280	5	1400
83	47	48	102	12	1224
84	47	50	102	5	510
85	48	49	161	8	1288
86	48	54	200	8	1600
87	49	51	60	63	3780
88	51	515	61	8	488
89	52	302	68	68	4624
90	52	516	42	7	294
91	53	433	55	6	330
92	92	93	34	3	102
93	119	120	83	5	415
94	120	121	28	8	224
95	121	122	40	3	120
96	146	147	97	3	291
97	303	304	140	5	700
98	514	515	168	4	672
99	304	305	194	7	1358
100	3	366	103	5	515

表 3.3 西地区道路情報(続き)

道路番号	始点ID	終点ID	経路長(m)	幅員(m)	面積(m ²)
101	3	369	47	5	235
102	6	269	206	4	824
103	43	44	53	8	424
104	49	50	80	4	320
105	50	550	74	4	296

3.3.2 住民エージェント

本モデルでは、避難者である住民を「住民エージェント」として設定した。図 3.9 で示す通り、住民エージェントは、ノードとリンクにより形成される道路ネットワーク上を目標ノードの選択を繰り返しながら移動する。また、道路ネットワークを越えての移動はできないものとする。地震および津波発生時における住民の位置は、時間帯によっても異なるが、自宅や外出先など様々な場所が考えられるが、南三陸町においては昼間人口より夜間人口の方が多いため、住民が自宅にいる(人口密度が高い)夜間時の避難が最も困難なものと考えられる。

したがって、本モデルでは、より厳しい条件下でのシミュレーションを行うため、住民が自宅にいる状態から避難を開始すると仮定した。そこで、市街地図から住宅の位置と分布を大まかに読み取り、そこから最も近いリンク上に住民エージェントを分布させることで、住民エージェントの初期位置を近似的に表現した。その上で、南三陸町統計書平成 22 年度版⁵⁾に示されている一世帯当たりの平均人員 3 人をもとに、ひとつの住宅につき 3 人が地震発生時にそこに存在することとする。

なお、住民エージェントは家族等のグループで構成され、グループ単位で避難するものと仮定している。避難シミュレーションモデル上で設定した対象地域内の住民エージェント数を表 3.4 に、住民エージェントの初期配置を図 3.10 に示す。

対象地域は観光地などではないため、住民エージェントは土地勘があり、避難場所までの経路を知っているという仮定をした。そして、地震発生後、それぞれ避難開始時刻で避難を始めた住民エージェントは、目標の避難場所を決定する。その上で、避難者が経路選択を行う際に、出発地から目的地までの最短経路を求める必要がある。本研究では、2 点間の最短経路、最短距離を求めるダイクストラ法¹²⁾を用いた。また、最短経路で避難する際に津波に遭遇した場合や、渋滞で前方に進むことが出来ない場合は、迂回して避難場所を目指す。住民エージェントの行動フローを図 3.11 に示す。

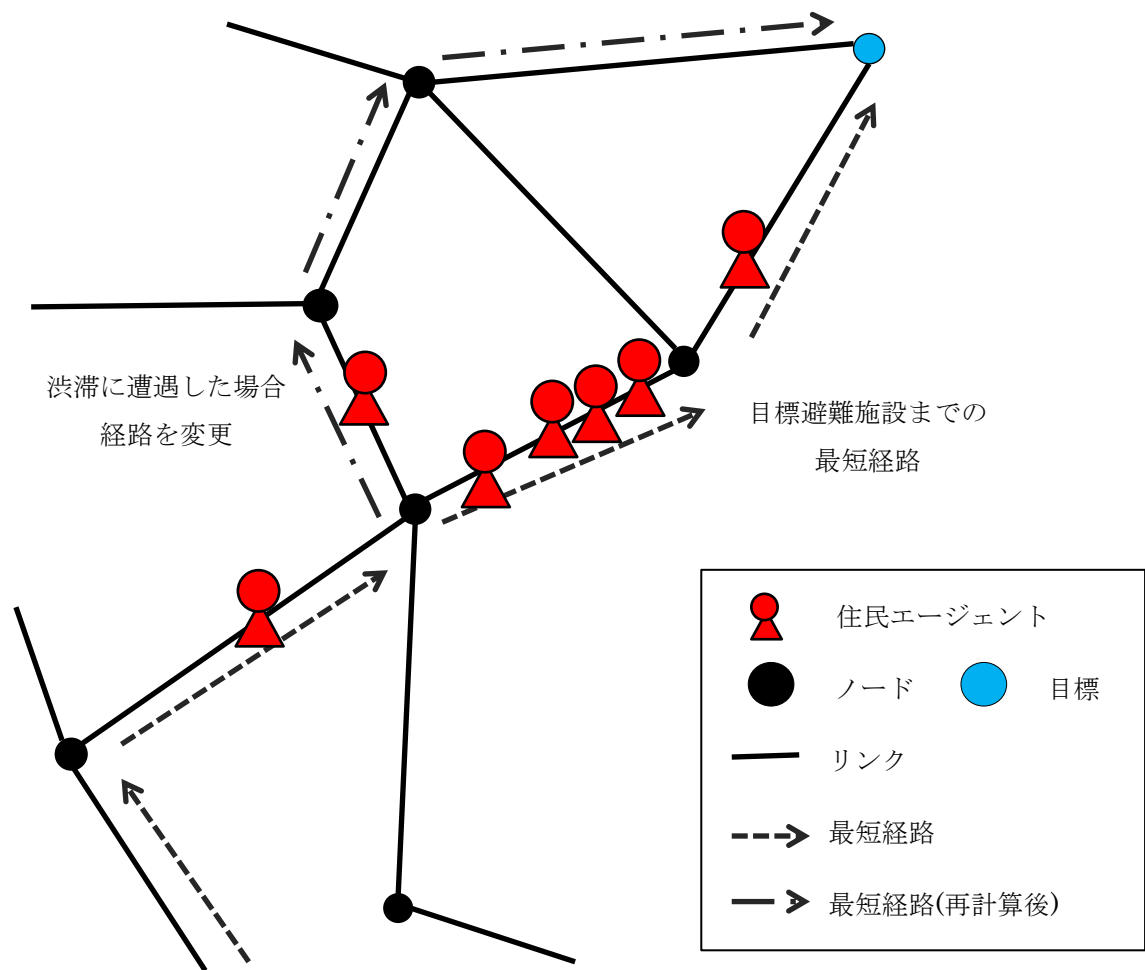


図 3.9 住民エージェントの基本行動ルール

表 3.4 対象地域内の人数

	東地区	中地区	西地区	全体
住民エージェント数(人)	582	1920	1860	4362



図 3.10 住民エージェントの初期配置

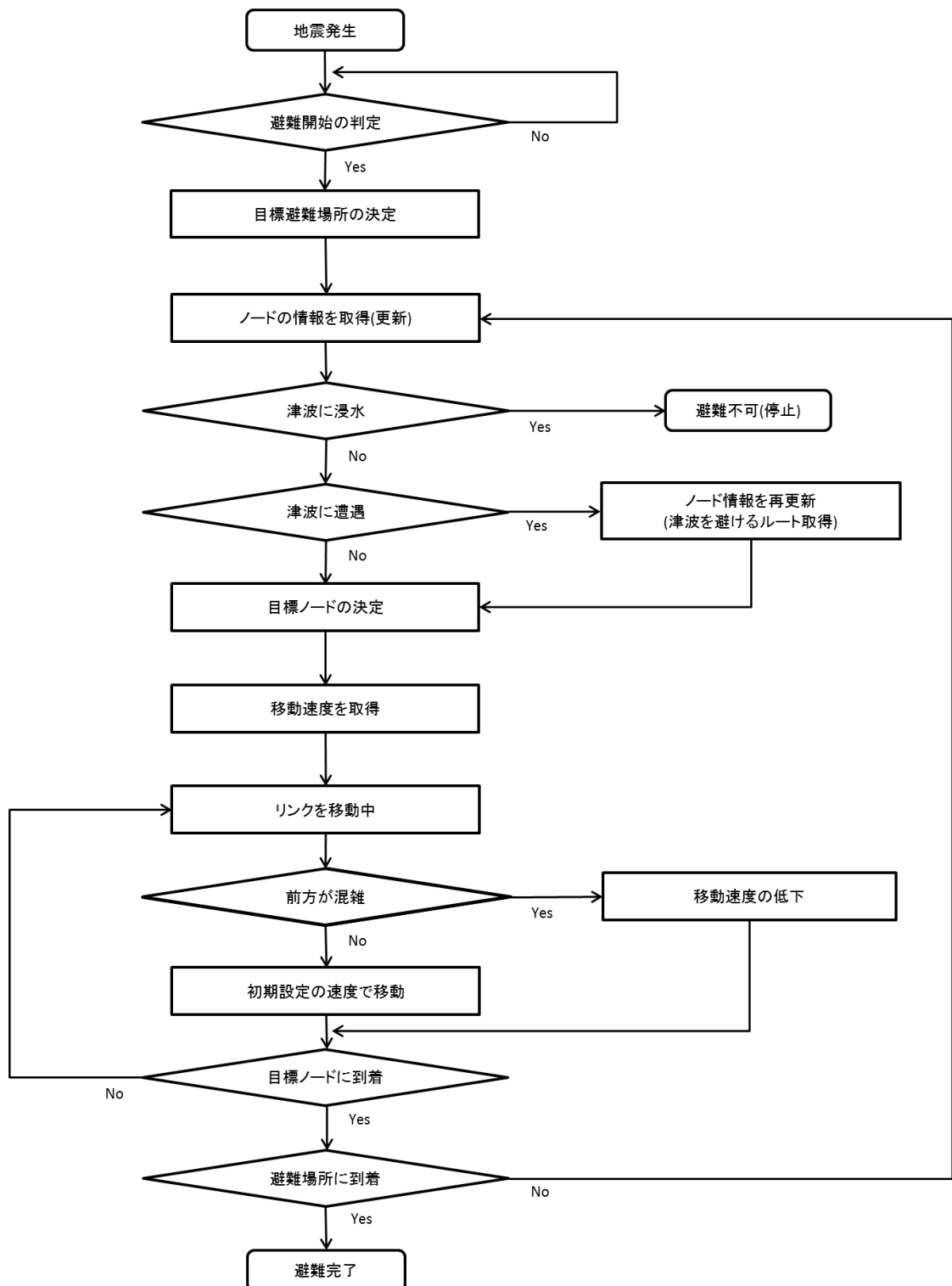


図 3.11 住民エージェントの行動フロー

3.3.3 避難方法

住民の移動に関して本モデルでは、住徒歩避難と自動車避難の2つの移動手段を考える。徒歩避難の移動速度に関しては、階避難安全検証法に関する算定方法¹³⁾をもとに1.3(m/s)とした。さらに、個人差を発生させるために、それぞれの移動速度の値には±0.3(m/s)が含まれている。また、混雑による移動速度への影響も考慮し、首都直下地震避難対策等専門調査会報告¹⁴⁾の混雑度別の混雑状況を参考にして、表3.5に示した通り、それぞれ5段階の速度低減を設定した。

自動車避難の移動速度に関しては、津波避難調査小委員会報告¹⁵⁾を参考に4.0(m/s)とした。徒歩避難と同様に自動車避難についても±1.0(m/s)の乱数を発生させて個人差を表現した。また、自動車避難の際には、前方に自動車が滞留した場合、追い抜きはできないこととするため、滞留が発生した場合は前方の自動車と同じ移動速度となる。さらに、自動車一台の長さを5mと仮定し、避難者が交差点に到着した際、次に向かう道路内に自動車が溢れている場合(例えば、50mの経路長の道路内に10台の自動車が流入している状況)は、経路を再計算し、迂回しつつ避難場所を目指す。

表 3.5 徒歩避難における速度低減

	混雑度(人/㎡)					
	～1.5	1.5～2.75	2.75～4	4～5.25	5.25～6	6～
歩行速度(m/s)	1.0～1.6	0.75	0.5	0.25	0.1	0

3.3.4 津波浸水の表現

本モデルでは、東北地方太平洋沖地震で発生した津波をもとに津波浸水をシミュレーション上で表現した。津波到達時間については、宮城県地震被害想定¹⁶⁾の宮城県沖地震(単独型)で予想されていた時間が52～54分、仙台市津波浸水シミュレーション H23 年¹⁷⁾で約66分、東日本大震災時の宮城県沿岸地域で河川を遡上するような津波が観測された時間が約45分であった。本モデルでは、最短の到達時間である地震発生から45分後に津波が対象地域の海岸線に到達し、その後、対象地域を内陸方向に津波が遡上するという想定とした。

また、本モデルの津波浸水範囲は、東日本大震災における南三陸町の津波浸水域¹⁸⁾(図3.12)の通りとし、津波遡上速度に関しては、8.0(m/s)¹⁹⁾とした。さらに、図3.13は津波が海岸線に到達してから50m区切りで津波が浸水することを表した図である。シミュレーション上では、地震発生から45分後、海岸線から5m毎に津波が浸水して、交差点が通行不可になる。例えば、海岸線から200m地点では、地震発生から45分25秒で津波浸水、海岸線から1kmでは地震発生から46分05秒後に津波浸水することとなる。

住民エージェントは、避難している途中で津波に遭遇した場合、津波を避けるように迂回して避難場所を目指す動きをする。ここで、「津波との遭遇」とは、住民エージェントがノード(交差点)に到達した際に、次に目指すノードが津波に浸水して通行不可の状況であることを指す。このとき、住民エージェントは避難場所までの経路を再計算し、通行不可のノードとは別のノードを目指して移動し始める。もし通行不可のノード以外に移動できるノードがない場合、もしくはリンク(道路)を移動中に津波浸水範囲内に入った場合は、その場で停止する。住民エージェントが停止した場合、津波に巻き込まれ避難場所に到達できなかったとみなし、避難完了できなかったこととする。

なお、新規避難施設である津波避難ビルについては、10mの浸水深に耐え得る5階建てを想定し、住民エージェントは津波避難ビル到着後、5階まで昇って避難完了とする。津波避難ビル到着から高層階である5階まで昇る時間は、より安全側の結果を求めるため、高齢者の階段昇降速度 $0.21(\text{m/s})^{20)}$ をもとに、60秒と算出した。したがって、シミュレーション上では、住民エージェントは津波避難ビル到着してから60秒後に避難が完了したと見なされることとなる。

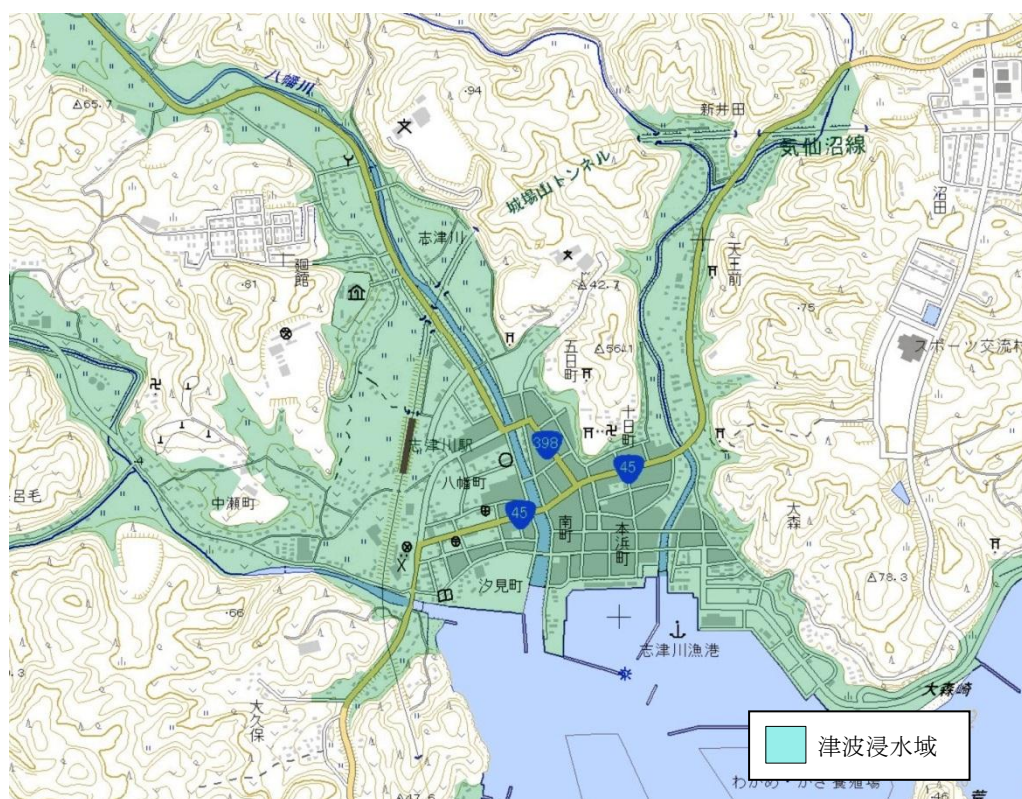


図 3.12 志津川地区の津波浸水範囲¹⁸⁾

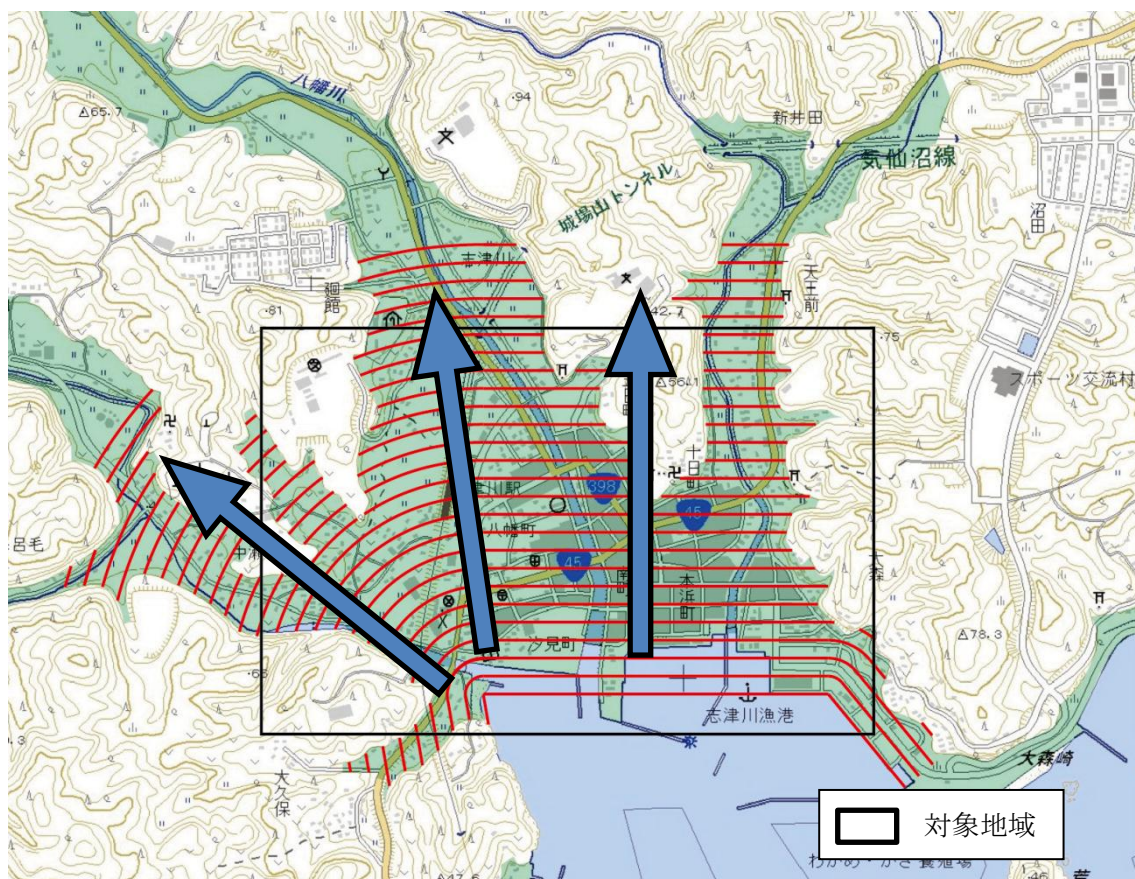


図 3.13 津波が浸水する範囲とその方向 18)に加筆

第4章 避難シミュレーションの結果と考察

4.1 概説

本章では、対象地域において避難シミュレーションモデルを適用する。そして、その結果に基づき、避難開始時間の違いや避難箇所の設定パターンの違いなど、津波からの避難安全性について検討する。

4.2 分析計画

本研究の目的である津波からの避難安全性の評価をするために、対象地域においていくつかのパターンでシミュレーションを行う。

ここで、避難者の移動手段(徒歩もしくは自動車)、避難開始時刻、避難方針、津波到達時間、新規津波避難施設配置の設定パターンを変え、避難完了率などを比較分析する。

4.2.1 移動手段の設定

移動手段の違いによる比較分析では、地震発生後に住民が避難行動に移る際に、徒歩避難と自動車を利用した避難の結果を比べ、分析する。徒歩避難及び自動車避難での移動については前章 3.3.3 に示したものに順ずる。表 4.1 に示した通り、避難方法については、徒歩・自動車ともに利点と欠点がある。そこで、移動手段を限定した上で、比較分析を行うことで、地域全体の避難にどのような影響を及ぼすのか把握することを目的とする。

表 4.1 避難方法とその利点・欠点

	利点	欠点
徒歩避難	<ul style="list-style-type: none">・道路状況に影響されにくい(渋滞、交通事故、落橋など)・高所への移動が容易	<ul style="list-style-type: none">・長距離避難が困難・要援護者等の避難が困難・夜間、悪天候時の移動が困難
自動車避難	<ul style="list-style-type: none">・長距離移動ができる・要援護者を含め、家族が同時に移動できる・夜間、悪天候時の移動が容易	<ul style="list-style-type: none">・道路状況に影響されやすい(渋滞、交通事故、落橋など)・高所への移動が制限される・信号が機能しておらず交通が混乱・徒歩避難者が危険に晒される

4.2.2 避難開始時刻の設定

避難開始時刻の違いによる比較分析では、住民が避難を開始する時間によって、人的被害にどれほどの差が生じるかを把握することを目的とする。ここでは、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の結果⁸⁾をもとにした東日本大震災の避難事例の推定値と、後藤ら²¹⁾の研究をもとにした防災モデル地区における避難事例の推定値、住民が地震発生直後に避難を開始する場合の計 3 パターン(表 4.2)を比較し、住民の防災意識を強化することがよりよい避難の一助となるかを検討する。

なお、地域防災訓練のモデル地区とは、震災前から津波を想定した地域防災訓練をコミュニティ単位で積極的に実施してきた地区のことであり、この地区の住民の防災教育水準は比較的高いものだと考えられる。上述の「防災モデル地区における避難事例の推定値」は、この地区における避難行動アンケートをもとに算出した。

また、東日本大震災の避難事例の推定値及び防災モデル地区における避難事例の推定値に関しては、津波に巻き込まれずに生き残った被災者の方に行った面接調査のデータである。

表 4.2 住民の避難開始時刻の分布

	0分	0～10分	10～20分	20～30分	30～40分	40分以上
東日本大震災における避難事例の推定値	0%	57%	16%	6%	5%	16%
防災モデル地区における避難事例の推定値	0%	72%	18%			10%
地震発生と同時に一斉避難	※100%	0%	0%	0%	0%	0%

※地震発生直後(0分)にすべての住民が避難開始

4.2.3 避難方針の設定

過去の避難事例²²⁾では、自動車での避難を行う場合、渋滞が発生し、避難に大幅な遅れをきたしてしまうというものもあった。そこで、渋滞の発生と、それが避難にどのような影響が生じるかを把握するため、異なる避難方針を住民エージェントに与える。住民は最短距離で避難場所を目指すパターンと、第一の優先行動として道路ネットワーク内の主要な道路に出ることを目指し、その後は主要道のみを通過して避難場所を目指すパターンを、それぞれシミュレートして比較分析を行う。なお、主要道の選定条件は以下の 4 点とし、該当する主要道を図 4.1 に示す。

・主要道の選定条件

- ①幅員 10m 以上
- ②片道 1 車線以上
- ③歩道を有する
- ④橋梁もしくは避難場所に接続

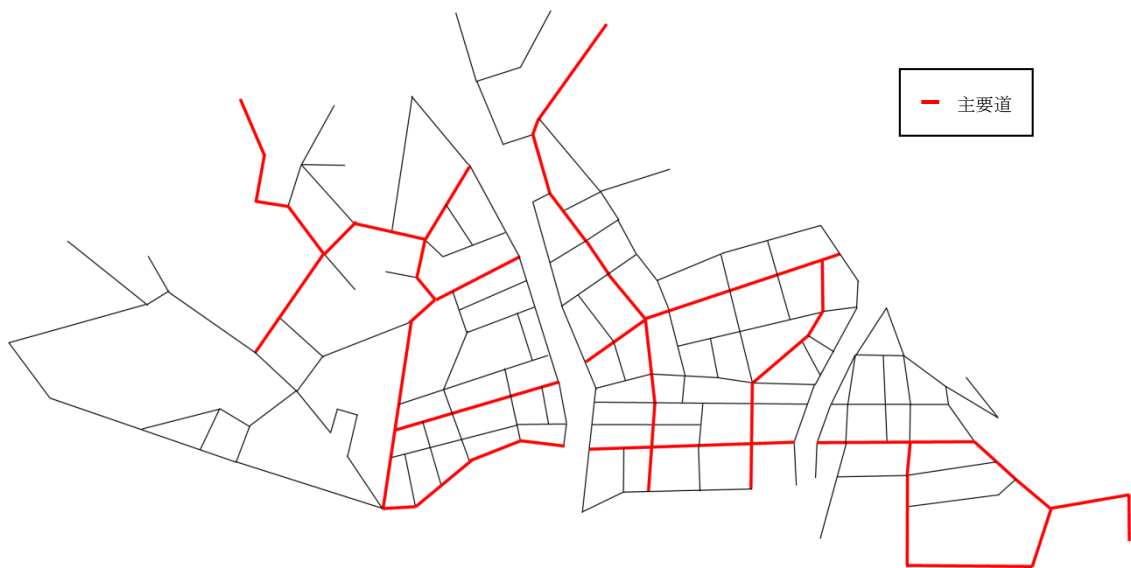


図 4.1 対象地域の道路ネットワーク及び主要道

4.2.4 新規津波施設配置の設定

新規津波避難施設配置の比較分析では、現状の南三陸町志津川地区内の避難場所に住民全員が避難するケースと、新規の津波避難施設(津波避難ビル)を設置したケースを比較し、現状の避難場所だけで安全な避難は可能か、津波避難ビルを新設した場合にどの程度の効果が見込まれるのかを検討する。より現実的な提案を目指すため、施設整備条件として以下の4点を考慮し、図 4.2 に示すように、対象地域内に2つの避難施設建設候補地(中地区1ヶ所、西地区1ヶ所)を挙げて、それぞれの有効性を評価することとした。

・津波避難施設の整備条件

- ①海岸及び河川の近辺でないこと
- ②現状の避難場所と離れていること
- ③東日本大震災以前には公的な土地利用(公民館、図書館、町民病院等)がなされていたこと
- ④東日本大震災の津波浸水域内(海岸近辺に住む住民に長距離避難を強いない)

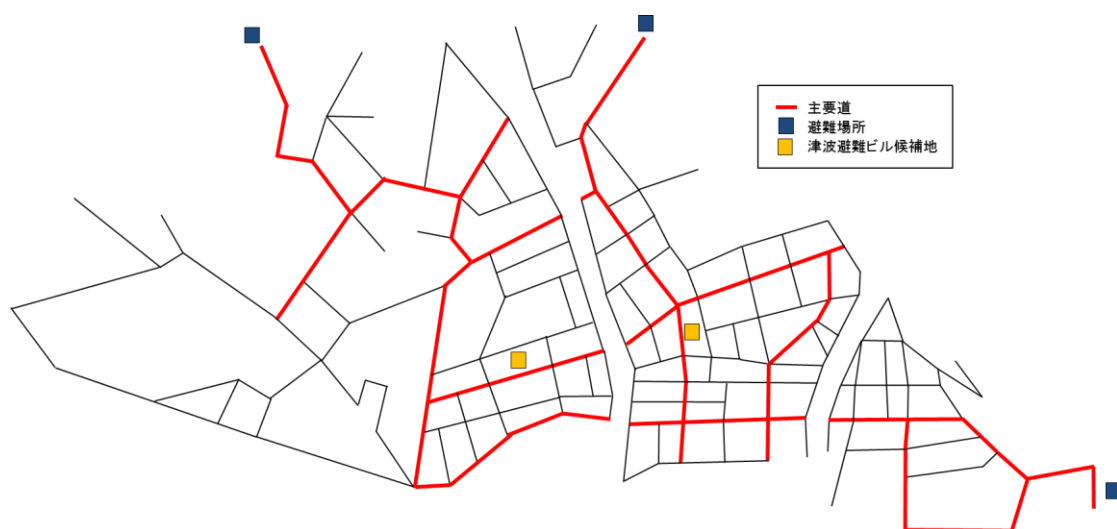


図 4.2 道路ネットワークと津波避難ビルの候補地

4.2.5 シミュレーションパターンのまとめ

本章 4.2.2～4.2.4 を踏まえて、表 4.3 に本章で行うシミュレーションのパターン番号と、そこに取り入れる要素をまとめる。なお、シミュレーションの実行結果は、シミュレーションを 3 回試行した平均の値を取る。

表 4.3 分析するシミュレーションパターン一覧

パターン番号	移動手段		避難開始時刻			避難方針		新規津波避難施設			
	徒歩	自動車	東日本大震災 避難事例 の推定値	防災モデル地区 避難事例 の推定値	地震発生と 同時に 一斉避難	最短経路	主要道優先	なし	あり 1ヶ所 (中地区)	あり 1ヶ所 (西地区)	あり 2ヶ所
1	○		○			○		○			
2		○	○			○		○			
3	○		○			○		○			
4	○			○		○		○			
5	○				○	○		○			
6		○	○			○		○			
7		○	○				○	○			
8	○		○			○		○			
9	○		○			○			○		
10	○		○			○				○	
11	○		○			○					○

4.3 避難者移動手段の違いによる避難への影響

避難者の移動手段を変更してシミュレーションを行うことで、移動手段の違いによる避難への影響について分析を行う。

4.3.1 シミュレーション内容

本節で行ったシミュレーション内容を表 4.4 に示す。

表 4.4 シミュレーション内容(移動手段比較)

パターン番号	移動手段		避難開始時刻			避難方針		新規津波避難施設			
	徒歩	自動車	東日本大震災 避難事例 の推定値	防災モデル地区 避難事例 の推定値	地震発生と 同時に 一斉避難	最短経路	主要道優先	なし	あり 1ヶ所 (中地区)	あり 1ヶ所 (西地区)	あり 2ヶ所
1	○		○			○		○			
2		○	○			○		○			

4.3.2 シミュレーション実行結果

パターン 1、パターン 2 でのシミュレーション実行結果を表 4.5 に、それぞれのパターンの避難完了率の比較を図 4.3、住民が避難に要する時間の分布を図 4.4 に示す。

表 4.5 シミュレーション実行結果

	避難できた人数	避難できなかった人数	最終的な避難率
パターン1	3429人	933人	78%
パターン2	3792人	570人	87%

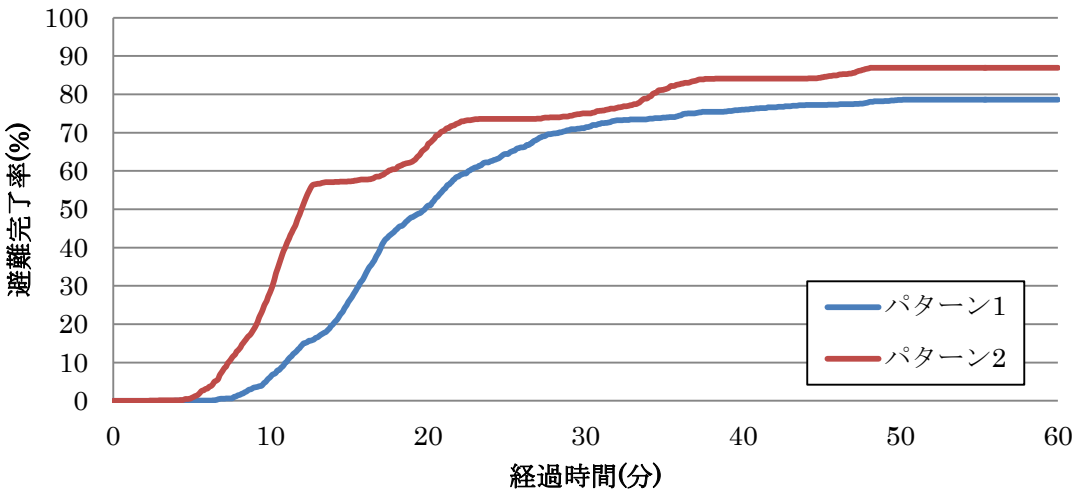


図 4.3 避難完了率の推移

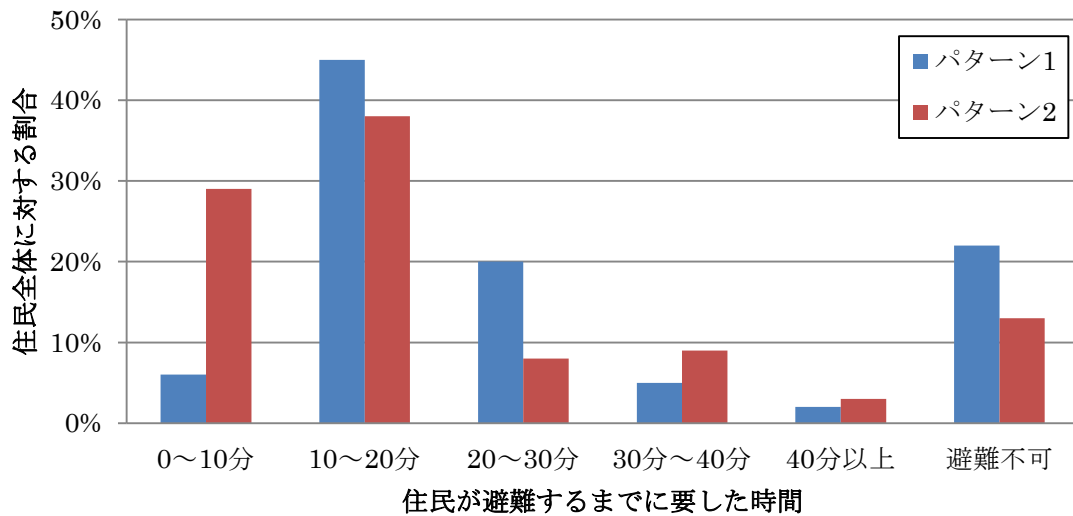


図 4.4 住民が避難に要する時間の分布

4.3.3 考察

表 4.5 で示されているシミュレーションの結果では、徒歩避難と自動車避難の最終的な避難率に約 9%の差が生じた。過去の避難事例²²⁾でも自動車避難の渋滞が問題視されていた中で、自動車避難が徒歩避難よりもある程度の優位性を示した理由として、対象地域の地域性があると考えられる。南三陸町の人口密度は全国及び宮城県の平均密度より低く、また可住地に対する人口密度も低い²³⁾。隣接している仙台市と比べるとおよそ 1/11 の密度²³⁾を示している。したがって、道路が混雑して自動車が迂回するような避難を強いられることが少なかった(各地区 1~3 ヶ所で、小規模な渋滞)と考えられる。また、シミュレーションの構成上、パターン 1、パターン 2 ともに、自動車はほぼ一方通行で避難場所を目指すことになっているが、現実社会では、住民は様々なルートを使って目的地に向かうため、対向車も発生して交通混乱が生じることもあり得る。さらに、災害時は停電等によって信号が機能せず、交差点での交通整理がうまくいかない可能性もある。このような渋滞が発生すると考えられる要因を本モデルでは表現できていないため、留意が必要である。

図 4.3 の避難完了率の推移を比較すると、地震発生 10~20 分後の時間帯に 20%以上の開きがあった。早期に避難行動に移った住民は自動車の移動速度の速さと交通量の少なさが重なる時間帯だったことが、このような結果になった要因であると考えられる。

また、図 4.4 に示す通り、住民が避難に要した時間を 10 分区分切りで比較すると、パターン 2 の自動車で避難をする場合、地震発生後 0~10 分の時間帯で住民の 30%程度が避難を完了している。その一方で、地震発生後 10~20 分の時間帯では、自動車での避難に比べ、徒歩で避難をした住民が避難場所により多く避難している。この時間帯では、交通混雑に巻き込まれにくい徒歩で避難した住民が確実に避難場所に到達しているが、自動車を利用

した避難者は、前方にいる他の自動車に連なるように移動している。このことが、地震発生後 0～10 分の時間帯よりも自動車避難の効率が低下した原因であると思われる。

本モデルのような渋滞、速度低減、ルート変更等のシンプルな条件下でのシミュレーション結果においては自動車を利用した避難自体に問題はなかった。したがって、自動車避難に関して、複雑な交通メカニズムを組み込んだ精度の高いシミュレーションによって評価を行う必要があると思われるが、南三陸町のように人口密度が比較的低い地域においては、自力での移動が困難な要救助者(高齢者や病人など)に対して、自動車避難は限定的に有効なものであると言えると思われる。自動車避難という要救助者を同時に複数人避難させることができる避難方法をうまく活用するためにも、国・自治体での避難時のルール作りを徹底することが重要であると考えられる。

4.4 避難開始時刻の考慮による避難への影響

避難開始時刻の違いによる避難への影響の比較分析を行う。津波による人的被害をここでは、東日本大震災の避難事例の推定値と、防災モデル地区における避難事例の推定値、住民が地震発生直後に避難を開始する場合の 3 パターンで比較検討を行う。

4.4.1 シミュレーション内容

本節で行ったシミュレーション内容を表 4.6 に示す。

表 4.6 シミュレーション内容(避難開始時刻比較)

パターン番号	移動手段		避難開始時刻			避難方針		新規津波避難施設			
	徒歩	自動車	東日本大震災 避難事例 の推定値	防災モデル地区 避難事例 の推定値	地震発生と 同時に 一斉避難	最短経路	主要道優先	なし	あり 1ヶ所 (中地区)	あり 1ヶ所 (西地区)	あり 2ヶ所
3	○		○			○		○			
4	○			○		○		○			
5	○				○	○		○			

4.4.2 シミュレーション実行結果

パターン 3、パターン 4 及びパターン 5 のシミュレーション実行結果を表 4.7 に、それぞれのパターンの避難完了率の比較を図 4.5、住民が避難に要する時間の分布を図 4.6 に示す。

表 4.7 シミュレーション実行結果

	避難できた人数	避難できなかった人数	最終的な避難率
パターン3	3429人	933人	78%
パターン4	3957人	405人	91%
パターン5	4362人	0人	100%

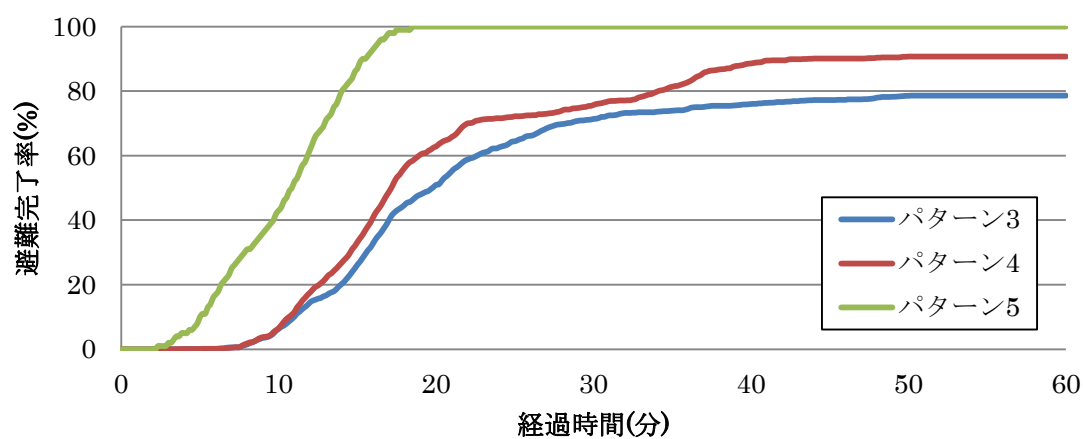


図 4.5 避難完了率の推移

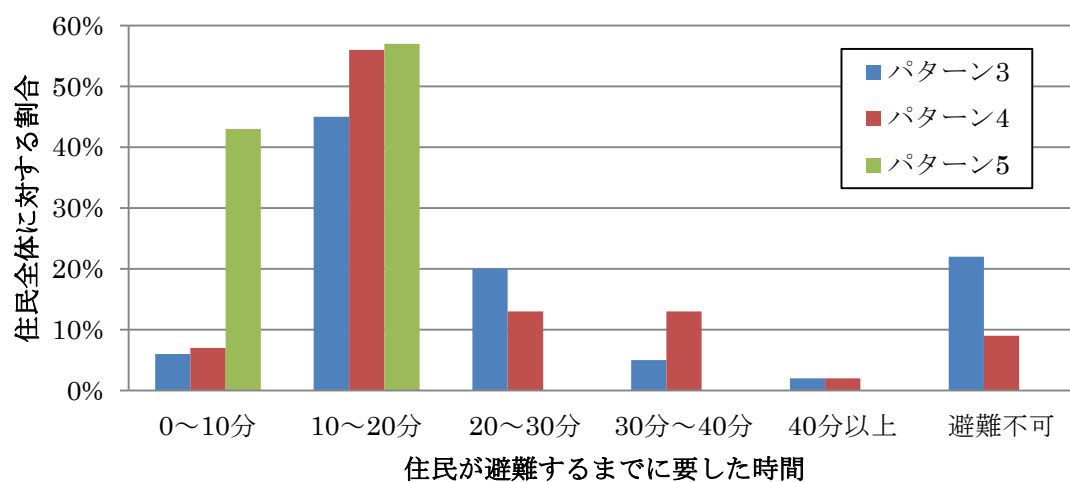


図 4.6 住民が避難に要する時間の分布

4.4.3 考察

表 4.7 のシミュレーション結果の通り、パターン 3 の防災モデル地区における避難事例の推定値を適用した場合(防災意識・避難意識が高い住民が多い場合)、9 割以上の住民が無事に避難することができている。また、パターン 5 の地震直後に住民が一斉に避難行動に移る場合、避難率は 100%に達している。

また、図 4.5 の避難完了率を比較すると、パターン 5 では、地震発生から 20 分以内に全ての住民が避難できている。想定津波到達時刻である地震発生から 45 分後までには、約 25 分の猶予がある。したがって、現状の南三陸町志津川地区において、自治体が提供する避難場所の配置について一定の妥当性はあると言える。

図 4.6 に示す通り、パターン 4 では、避難を終えるまで 30~40 分を要する避難者が住民全体の約 13%おり、津波に巻き込まれる間に避難場所に駆け込んでいることがわかる。したがって、パターン 3 はもちろんのこと、パターン 4 についても津波到達時間の変動によって人的被害が増えてしまう可能性があると考えられる。

また、経路を変更するほど群衆密度が高くなることはなかったが、図 4.7 の通り、中地区の住宅密集地(図 4.7)では混雑により移動速度が低減する住民の存在がシミュレーション上で確認できた。したがって、パターン 4 のように防災教育を強化して避難開始時刻の早い人を増加させることによって、町なかの混雑が長引く現象が減り、避難開始が遅れる人の命をも間接的に救うことになると考えられる。

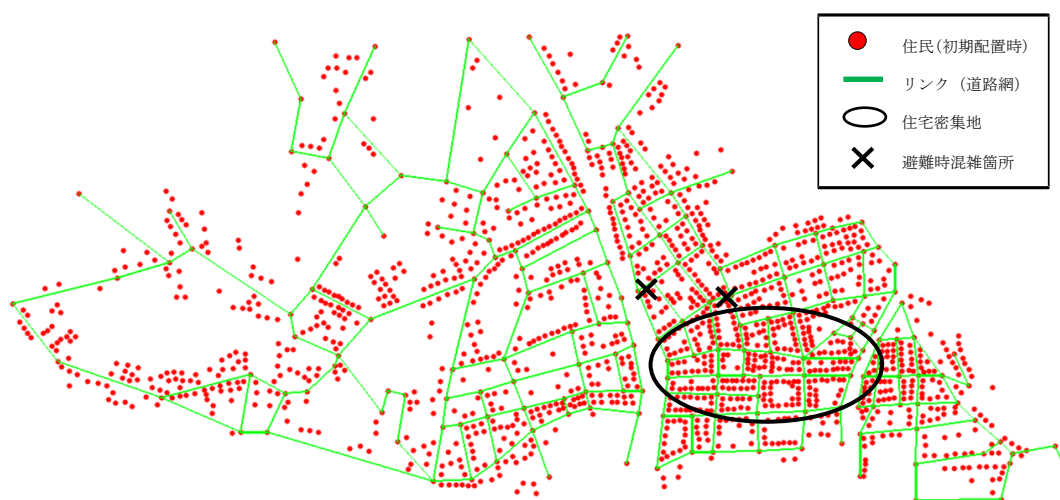


図 4.7 中地区の住宅密集地と避難時の混雑発生箇所

4.5 避難方針の違いによる避難への影響

自動車避難の際の渋滞の発生と、それが避難にどのような影響が生じるかを把握するため、異なる避難方針を住民エージェントに与える。住民は最短距離で避難場所を目指すパターンと、第一の優先行動として道路ネットワーク内の主要な道路に出ることを目指し、その後は主要道のみを通過して避難場所を目指すパターンを、それぞれシミュレートして比較分析を行う。

4.5.1 シミュレーション内容

本節で行ったシミュレーション内容を表 4.8 に示す。

表 4.8 シミュレーション実行結果

パターン番号	移動手段		避難開始時刻			避難方針		新規津波避難施設			
	徒歩	自動車	東日本大震災 避難事例 の推定値	防災モデル地区 避難事例 の推定値	地震発生と 同時に 一斉避難	最短経路	主要道優先	なし	あり 1ヶ所 (中地区)	あり 1ヶ所 (西地区)	あり 2ヶ所
6		○	○			○		○			
7		○	○				○	○			

4.5.2 シミュレーション実行結果

パターン 6 及びパターン 7 のシミュレーション実行結果を表 4.9 に、それぞれのパターンの避難完了率の比較を図 4.8、住民が避難に要する時間の分布を図 4.9 に示す。

表 4.9 シミュレーション実行結果

	避難できた人数	避難できなかった人数	最終的な避難率
パターン6	3792人	570人	87%
パターン7	3636人	726人	83%

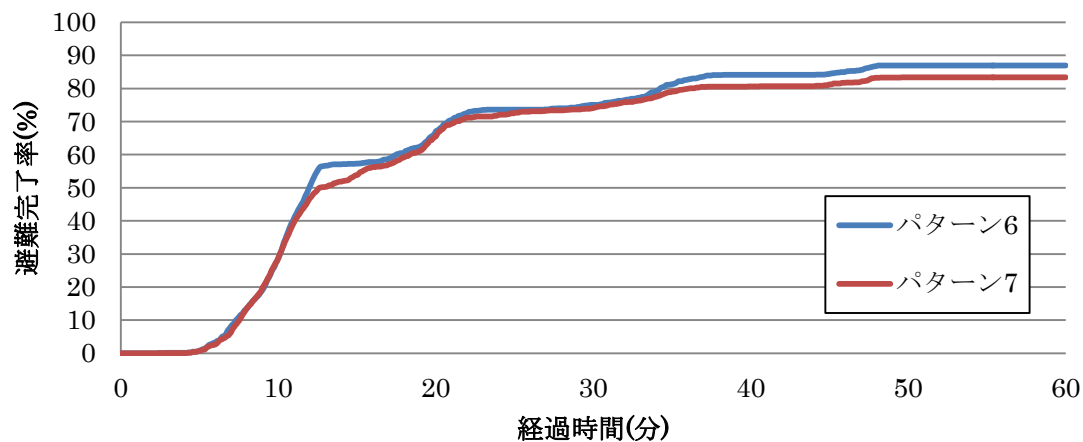


図 4.8 避難完了率の推移

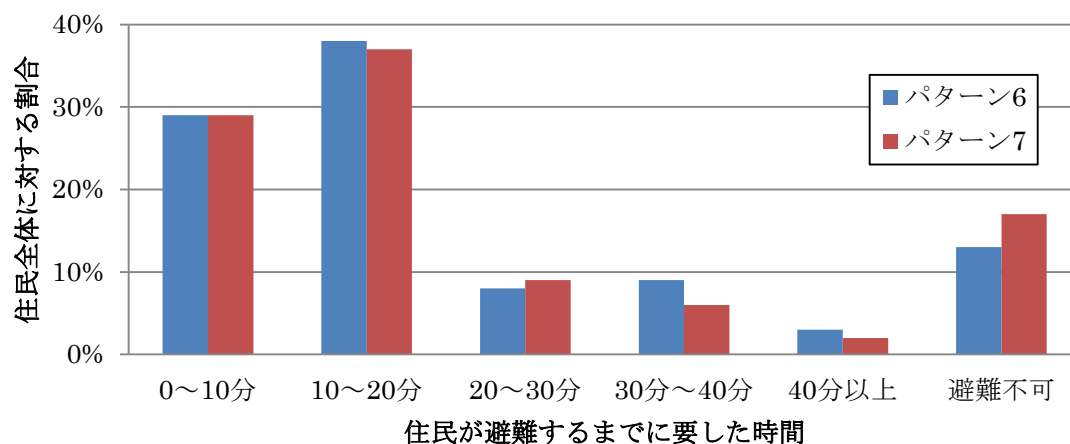


図 4.9 住民が避難に要する時間の分布

4.5.3 考察

表 4.9 に示した通り、最終的な避難率は約 4% の差が生じたが、図 4.7 のように避難完了率の曲線に大きな違いは見られなかった。また、図 4.8 に示した通り、住民が避難に要する時間の分布の傾向も似かよったものとなった。パターン 7 の避難率がわずかに低い理由としては、パターン 6 に比べて、パターン 7 では主要道を目指す行動をとるため、避難場所までの距離が延びたこと、主要道に交通量が集中したことで、全体として避難がわずかに遅れたと考えられる。

自動車が最短経路で避難場所へ向かう場合と、主要な道路に流入してから避難場所へ向

かう場合を比較しても、避難率に大きな違いはなかったが、実際の避難時には自動車を使って最短経路で幅員の狭い道路を通る場合、徒歩での避難者に危険が及ぶ可能性がある。一方で、本モデルで選定した主要道は歩道を有しており、徒歩避難者は避難時に一定の安全が確保されている。したがって、志津川地区においては、主要道を通ることが地域全体の安全な避難に繋がると考えられるため、自動車の避難方針としては主要道流入を優先することが妥当であると思われる。

4.6 津波避難施設配置による避難への影響

新規津波避難施設配置の比較分析では、現状の南三陸町志津川地区内の避難場所に住民全員が避難するケースと、新規の津波避難施設(津波避難ビル)を設置したケースを比較検討行う。

4.6.1 シミュレーション内容

本節で行ったシミュレーション内容を表 4.10 に示す。

表 4.10 シミュレーション実行結果

パターン番号	移動手段		避難開始時刻			避難方針		新規津波避難施設			
	徒歩	自動車	東日本大震災 避難事例 の推定値	防災モデル地区 避難事例 の推定値	地震発生と 同時に 一斉避難	最短経路	主要道優先	なし	あり 1ヶ所 (中地区)	あり 1ヶ所 (西地区)	あり 2ヶ所
8	○		○			○		○			
9	○		○			○			○		
10	○		○			○				○	
11	○		○			○					○

4.6.2 シミュレーション実行結果

パターン 8～11 のシミュレーション実行結果を表 4.11 に、それぞれのパターンの避難完了率の比較を図 4.10、住民が避難に要する時間の分布を図 4.11 に示す。

表 4.11 シミュレーション実行結果

	避難できた人数	避難できなかった人数	最終的な避難率
パターン8	3429人	933人	78%
パターン9	3714人	648人	85%
パターン10	3752人	610人	86%
パターン11	3927人	435人	90%

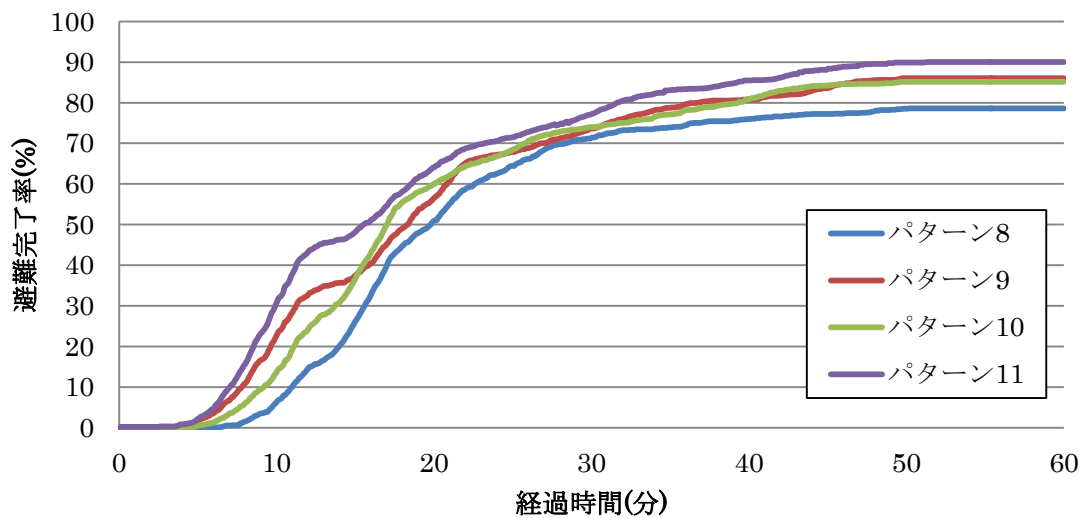


図 4.10 避難完了率の推移

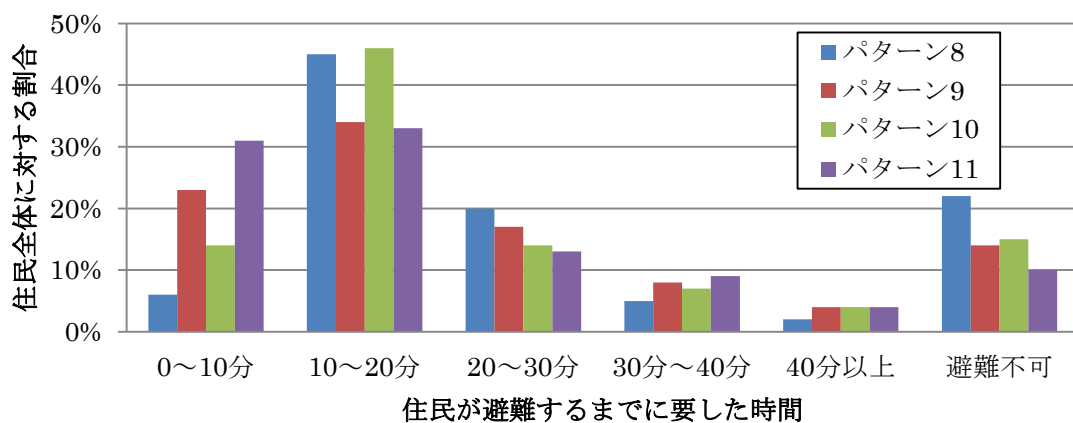


図 4.11 住民が避難に要する時間の分布

4.6.3 考察

表 4.11 より、パターン 8 の現状の南三陸町志津川地区の避難場所へ向かう避難に対して、パターン 10 の新規避難施設を 2 ヶ所設置した場合の避難では、最終的に約 12% の避難率の向上に繋がった。また、中地区もしくは西地区の 1 ヶ所のみの設置でも 7～8% の避難率の向上が見られ、津波遡上前に避難場所に到着する住民が 300 人程度増加した。しかし、避難施設を 2 ヶ所設置したとしても、少なくとも 10% の住民は津波に巻き込まれてしまうという結果となった。避難率を 100% に近づけるためには、津波避難ビルなどのハード的対策だけでは限界があり、避難行動を開始する時間を早める防災意識の強化が重要となってくる

ると言える。

また、図 4.9 のように、パターン 9、パターン 10 及びパターン 11 は、現状のパターン 8 の避難よりも、常に高い避難完了率を保っていることがわかる。したがって、例えば新規避難施設を 2 ヶ所設置した場合、想定津波到達時刻よりも先行して津波が来襲したとしても、少なくとも避難率 5%は上昇する効果が得られると考えられ、200 人以上を救えるということとなる。

図 4.10 より、パターン 9 及びパターン 11 の避難では、地震発生後 0～10 分の時間帯で 20%以上の住民が避難を完了している。これは、中地区の新規避難施設の設置場所周辺が住宅密集地であることが大きく影響していると考えられる。一方で、パターン 8 及びパターン 10 の避難では、地震発生後 10～20 分の時間帯で約 45%の住民が避難を完了している。このことから、最終的な避難率はパターン 9 もパターン 10 も大きな違いは見られないが、早期避難完了者を増やすという点では、パターン 9 の西地区に新規避難施設を配置する方が効果的であると考えられる。

また、図 4.11 は、パターン 11 の 2 ヶ所に津波避難ビルを設置した場合のシミュレーションで、津波に巻き込まれて避難できなかった住民の初期配置を示している。各住民の避難開始時刻にも関わってくるが、大局的にみると初期設定の避難場所及び津波避難ビルに近い住民は避難できていることが見て取れる。さらに、中地区に設置した津波避難ビルの東側から南側にかけての住宅密集地(図 4.7)で多くの住民が避難できていないことがわかる。改善策としては、私有地という難しい条件になるかもしれないが、中地区の津波避難ビル候補地を南東側にずらすこと、もしくはこのエリアに津波避難ビルをもう 1 ヶ所設けることなどで、最終的な避難率が向上すると考えられる。また、実際の避難では、避難施設が近いことで、避難速度がどうしても遅くなってしまう高齢者や、自力での移動が難しい災害時要援助者を助けることにも繋がると考えられる。

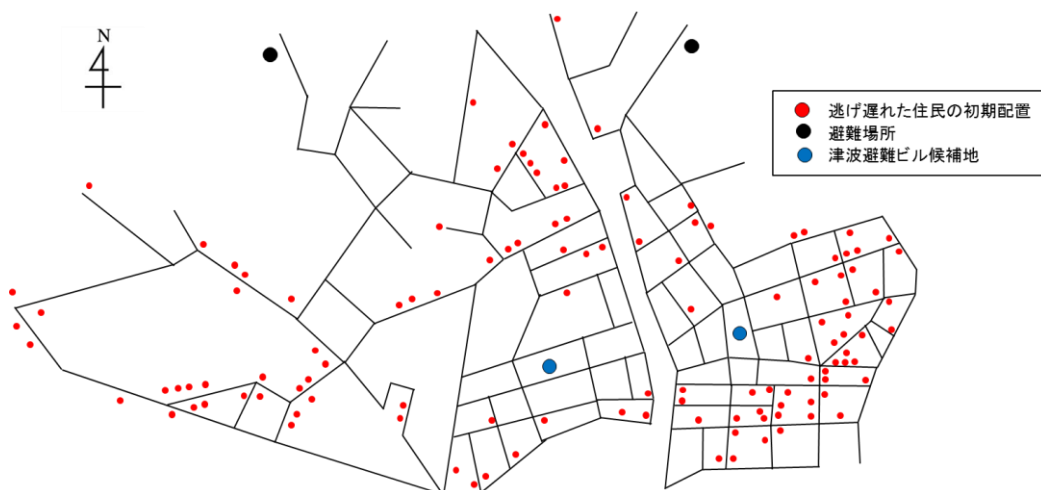


図 4.11 逃げ遅れた住民の初期配置

4.7 よりよい避難のあり方

津波という時間的猶予のない避難を住民は強いられる中で、多くの住民の命を救うためには避難時間の短縮が必須である。そして、避難時間の短縮には大きく分けて 3 つの要素が関わっており、①避難速度の向上 ②避難行動に移る時間(準備時間)の短縮 ③避難場所までの距離を短縮(避難場所を増設) が挙げられる。

上述①にあたる本章 4.3 及び 4.5 では、自動車避難の是非、そして自動車の避難方針について分析した。自動車での避難について、対象地域では徒歩避難よりも避難率が向上した。しかし、自動車に関しては、可住地に対する人口密度に依存すると考えられるため、自動車がどの地域でも有効な避難方法であるとは断言できない。

また、上述②にあたる本章 4.4 では、避難開始時刻と避難率の関係について分析し、防災意識の違いで避難率が 13%もの差が生じた。このことは、ソフト的防災対策の有効性を示しており、国・自治体が積極的に防災教育を強化することで、津波による人的被害を減少させることができると考えられる。

上述③にあたる本章 4.6 では、新規避難施設配置について提案し、避難率が 12%向上した。対象地域のような沿岸部が住宅密集地で、東日本大震災時の津波浸水域内に機能した避難施設がない場合、施設の新設は急務であると考えられる。

自動車避難の是非についてはまだまだ検討の余地があると思われるが、防災意識の高い住民が多ければ 91%の避難率となること、そして 2 ヶ所の施設整備を施せば 90%の避難率となることから、このソフト・ハード両面を組み合わせることで、避難率 100%により近づくと考えられる。

また、本研究での 1 つの地域のみを対象としたが、比較的人口密度の高い沿岸の都市である石巻市など、異なる特色を有する場所を対象地域として比較・分析することで、より確度の高い「よりよい避難のあり方」を検討できると考えられる。

また、今後も避難についての検討を続けることともに、最終的には地域における住民の避難ルールづくりにまで落とし込むことが多くの命を救うために重要であると考えられる。

第 5 章 結論

5.1 概説

本章では、本研究のまとめ、今後の課題について述べる。

5.2 まとめ

- 1) 対象地域のような可住地に対する人口密度が低い地域に関しては、自動車を利用することで避難率が向上した。ただし、交差点での交通メカニズム等を津波避難シミュレーションモデルに組み込んでいないため、留意が必要であると考えられる。
- 2) 避難開始時刻（防災意識の高さ）の違いで、避難率に大きな差が生まれることがわかった。これより、国・自治体が積極的に防災教育を強化することが、間接的に時間的猶予のない津波避難に有効であると考えられる。
- 3) 避難方針として、自動車を利用して最短経路で避難場所へ向かう場合と、主要な道路に流入してから避難場所へ向かう場合を比較しても、避難率に大きな違いはなかったことがわかった。しかし、実際の避難時に最短経路で幅員の狭い道路を通る場合、徒歩での避難者に危険が及ぶ可能性がある。したがって、対象地域に関しては主要道を通ることが地域全体の安全な避難に繋がると考えられる。
- 4) 新規避難施設を 2 ヶ所に配置することで最終的な避難率が 12%向上することがわかった。また、1 ヶ所しか配置できない場合は、より早期避難完了者が多くなる西地区の避難施設候補地に津波避難ビルを新設した方が効果的であることがわかった。
- 5) 本研究の避難シミュレーションでは、地震発生と同時に避難を開始するという現実社会と必ずしも近くないパターン 5 を除く、10 通りのパターンでのシミュレーションを通して、防災意識の強化、施設整備などを行うことで 90%以上の避難率の達成が可能となることがわかった。

5.3 今後の課題

- 1) 本研究では、南三陸町志津川地区を対象地域として津波避難シミュレーションを行ったが、比較的人口密度の高い沿岸の都市である石巻市など、異なる特色を有する場所と比較して安全な避難を一般化する必要がある。
- 2) 本研究では、徒歩避難と自動車避難をはっきりと分けたシミュレーションを行い、比較・分析を行ったが、徒歩で避難する住民と自動車を利用して避難する住民が混在するような避難モデルを構築し、より現実的な避難をシミュレートする必要がある。
- 3) 本研究の避難モデルでは、非常にシンプルな行動ルールを与えて、津波避難を表現したが、実際の災害時避難では、家族の安否確認のために一旦自宅に戻るや、海を見に行く人、道に迷う人など複雑な行動をとる。したがって、そのような行動を発生させ、相互に関係し合うモデルを構築する必要がある。
- 4) 本研究でのシミュレーションでは地震発生と同時に避難を開始するパターン 5 を除く、10 通りのパターンでのシミュレーションのいずれも避難率 100%に達しなかった。したがって、対象地域内で避難率 100%を達成する避難を考える必要がある。特に、防災意識が著しく低い住民や要援助者に対する方策を提案して、シミュレーションに適用することで、安全な避難の確立に繋がると考えられる。

参考文献

- 1) 片田敏孝,桑沢敬行,金井昌信,細井教平：津波災害シナリオ・シミュレータを用いた尾鷲市民への防災教育の実施とその評価,社会技術研究論文集,Vol2,199-208,2004 年.
- 2) 齋藤崇,鏡味洋史：[マルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーション-奥尻島青苗地区を例として-](#),日本建築学会計画系論文集,第 597 号,pp. 229-234,2005 年.
- 3) 大畑大志郎,高井伸雄,鏡味洋史：釧路市中心市街地における津波避難施設配置の評価ーマルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーション その2,日本建築学会計画系論文集,第 612 号,pp. 87-91,2007 年.
- 4) 源貴志,成行義文,藤原康寛,三神厚：津波避難シミュレーションシステムの開発と地区の避難安全性評価への適用,第 30 回土木学会地震工学研究発表会論文集,2009 年.
- 5) 南三陸町：南三陸町統計書平成 22 年度版,2011 年.
- 6) 南三陸町：南三陸町の概要,2012 年.
<http://www.town.minamisanriku.miyagi.jp/>
- 7) 宮城県本吉郡南三陸町白地図,2012 年.
<http://hakuchizu.net/map/tohoku/04miyagi/minamisanrikuchou.html>
- 8) 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 7 回会合：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）単純集計結果,2011 年.
- 9) 株式会社構造計画研究所：artisoc academic2.6,2011 年.
- 10) 国土地理院基盤地図情報閲覧サービス,2012 年.
<http://fgd.gsi.go.jp/view/>
- 11) Google Earth,2012 年.
<http://www.google.co.jp/earth/index.html>

- 12) 株式会社構造計画研究所：MAS コミュニティ 河川氾濫モデルの作り方,2007 年.
<http://mas.kke.co.jp/modules/mydownloads/singlefile.php?cid=1&lid=63>
- 13) 建設省：第 1441 号 第 2(居室避難計算) 階避難安全検証法,2000 年.
- 14) 中央防災会議：首都直下地震対策等専門調査報告,2009 年.
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutohinan/index.html>
- 15) 土木学会地震工学委員会津波避難調査小委員会：津波避難調査小委員会報告,2012 年.
- 16) 宮城県：宮城県第四次地震被害想定調査中間報告(津波),2011 年.
- 17) 仙台市：平成 17 年度仙台市津波河川遡上シミュレーション,2005 年.
- 18) 国土技術センター：東北地方太平洋沖地震を踏まえた河口堰・水門等技術検討委員会報告,2011 年.
<http://www.jice.or.jp/sonota/t1/201106150.html>
- 19) 東北地方太平洋沖地震による津波浸水マップ,2011 年
<http://iwama.in.coocan.jp/20110311/>
- 20) 仙台市：第 1 回津波避難施設の整備に関する検討委員会報告,pp31,2012 年.
http://www.city.sendai.jp/fuzoku/1203537_2699.html
- 21) Y.Goto, T.Mikami, I.Nakabayashi : Fact-Finding about the Evacuation from the Unexpectedly Large Tsunami of March 11, 2011 in East Japan, 15 WCEE LISBOA, 2012,2012 年.
- 22) NPO 法人環境防災総合政策研究機構：東北地方・太平洋沖地震、津波に関するアンケート調査分析速報,pp.11,2011 年.
<http://www.npo-cemi.com/works/image/2011touhoku/110609tsunamisurvey.pdf>
- 23) 総務省統計局：地域別統計データベース,2013 年.
<http://www.stat.go.jp/data/guide/1.htm>

謝辞

本研究は、立命館大学理工学部 伊津野和行教授のご指導を賜り、東日本大震災の被災地区における津波避難安全性評価に関する研究の成果をまとめたものです。同教授には、多忙な研究活動の中、懇切なるご指導と不断の激励を賜りました。ここに、厚く感謝申し上げます。

また、本大学理工学部構造グループの野阪克義准教授および川崎佑磨助教には懇切丁寧なご指導を頂きました。ここに、厚く感謝申し上げます。

更に、論文作成にあたり、防災システム研究室ポスドク研究員の大岡優氏、防災システム研究室修士2回生の植野友介氏、兼子英明氏、韓鋭氏、久能木慎治氏、小林祐一郎氏、高橋大樹氏、防災システム研究室OBの皆様、防災システム研究室4回生の皆様、防災システム研究室大学院生の皆様のご協力、激励に対し心からお礼申し上げます。