

2015年度 卒業研究

題 名

津波危険度の高い地域における津波避難ビルの有用性

指導教員 伊津野 和行 教
川崎 佑磨 助教

立命館大学 理工学部

都市システム 2160120035-7 番

氏 名 釘本 晃平

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 対象地域

2.1	概説	3
2.2	和歌山県東牟婁郡串本町	3
2.3	対象とする地域	5
2.4	3連動地震	8

第3章 津波避難シミュレーションモデル

3.1	概説	10
3.2	マルチエージェント・シミュレーション(MAS)	10
3.3	モデル化	10
3.3.1	対象地域の設定	11
3.3.2	避難者エージェント	13
3.3.3	避難方法	14
3.3.4	津波に遭遇した場合の表現	14
3.3.5	避難場所と避難ビル	15

第4章 避難シミュレーションの結果と考察

4.1	概説	16
4.2	分析計画	16
4.2.1	避難方針の設定	16
4.2.2	新しい避難ビルの設定	16
4.3	津波避難ビル配置による避難への影響	17

4.3.1 シミュレーション内容	19
4.3.2 シミュレーション結果	19
4.3.3 考察	20
4.4 津波避難ビルの追加	21
4.4.1 シミュレーション結果	22
4.4.2 考察	23
4.5 各避難箇所への避難者数の把握	24
4.5.1 シミュレーション結果	24
4.5.2 考察	26
4.6 津波避難ビル指定位置の提案	27
4.6.1 シミュレーション結果	28
4.6.2 考察	29

第5章 結論

5.1 概説	30
5.2 まとめ	30
5.3 今後の課題	31

参考文献

謝辞

要旨

津波警報が発令された場合、安全かつ円滑に避難を行うことがより多くの人の命を救うことにつながる。津波避難対策として命を守るために逃げる対策(ソフト対策)と避難を助けるための対策(ハード対策)を連携して充実させることが必要である。

ここでは、津波危険度の高い地域を対象として、避難シミュレーションを実施した。そして、ハード対策である津波避難ビルの有用性を評価するために、津波からの避難完了率について種々の検討を行った。

その結果、対象地域とした和歌山県串本町の串本地区において、新しい避難ビルを2箇所指定することで避難完了率が10%向上することがわかった。したがって、時間的猶予のない避難を強いられる場合、津波避難ビルの有用性が見込まれることが判明した。

第1章 序論

1.1 概説

本章では、本研究の背景及び目的について述べる

1.2 本研究の背景

わが国では、大地震が歴史的に繰り返し起きており、東海・東南海・南海地震が同時に起こる3連動地震をはじめとする大地震が近い将来必ず起こると言われている。また、2011年3月11日に起こった東日本大震災では、東北地方太平洋沖地震に伴い発生した巨大な津波により、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部に甚大な被害をもたらした。

このように大規模な津波を伴う地震が発生した場合、沿岸部に位置し、避難行動可能時間が限られるといった津波危険度の高い地域では、できるだけ短時間で安全に避難できる対策が必要である。そして、避難対策を考える上で、このような状況における避難行動をできるだけ正確に把握し、その有用性を評価する必要がある。しかし、一般に災害の状況を想定した大規模な実験を行うことは容易ではない。したがって、近年ではシミュレーションモデルを用いた研究が多くなされている。

1.3 既往の研究

ここでは、本研究に関係する従来の研究について簡単にまとめることにする。

- ・宮森¹⁾は、北海道釧路市を対象とし、想定される最大津波に対して既存の建築物や道路施設を緊急で避難場所として用いることについて現地調査を踏まえて検討した。その結果、建物への一時的な避難や自動車による道路施設への避難を効果的に行えば、人的被害を防止することはおおむね可能と思われる結果を得た。

- ・近藤²⁾は、東日本大震災の被災地域にマルチエージェントモデルを適用し、津波避難シミュレーションを実施した。そして、避難開始時間や避難場所の設定パターンの違いから避難完了率について比較検討を行った。その結果、避難開始時間が早いといった防災意識の違いが避難率に影響することがわかり、ソフト的な防災対策の有用性を示した。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向上させることを示した。

- ・松林ら³⁾は、徒歩と自動車による避難行動について、東日本大震災時の岩手県野田村を対象とした調査結果から、家族や知人を探すために自動車が利用され避難開始時間が遅れていること、そして、自動車利用は問題となるような混雑の原因にはなっていないという結果を得た。
- ・牧野島ら⁴⁾は、歩車混在を考慮した津波避難シミュレーションを開発し、国土交通省が実施した対象地域である宮城県気仙沼市の避難実態調査結果と比較した。その結果、開発したシミュレーションは最短経路では説明できない避難車両交通流を再現し、渋滞箇所は避難実態調査結果とおおむね一致し、シミュレーションの有用性を示した。

以上より東日本大震災時の避難に関する研究や津波を想定した避難シミュレーションによる研究は多くなされている。しかし、東日本大震災を超えるような大規模な津波を伴う地震を想定した避難対策は十分ではない。また、津波危険度の高い地域とされていても想定を超える大地震に対する十分な津波対策があるとは言えない。

このような状況の中で、津波危険度の高い地域において時間的猶予のない避難を強いられる場合にも有効な避難対策を検討し、より安全で有用性のある避難計画に繋げていく必要がある。

1.4 目的

津波警報が発令された場合、徒歩による避難が原則とされている。将来起こりうる地震に伴う津波からの避難行動をシミュレーションにより正確に表現できれば、津波避難に関する対策の提案、評価が可能となると考えられる。

本研究では、津波危険度の高い地域を対象とし、津波避難シミュレーションを実施する。そして、津波避難ビルの有用性を評価し、津波に対して有効な対策を提案することを目的とする。

また、本研究では、津波危険度が高い地域として和歌山県串本町を対象とする。ここで津波危険度の高い地域とは、津波による被害が想定される地域の中でも地震発生から津波到達までの時間的猶予のない津波からの避難が困難な地域である。串本町を対象とし、津波避難シミュレーションモデルを適用する。そして、その結果に基づき避難完了率に関する種々の検討を行う。

第2章 対象とする地域

2.1 概説

本章では和歌山県東牟婁郡串本町について述べる。

2.2 和歌山県東牟婁郡串本町

串本町は、和歌山県の東牟婁郡の南部に位置し、太平洋に面し本州最南端の町である。平成27年9月30日現在、人口は17,388人、世帯数は8,922戸、町内の面積は135.67km²である⁵⁾。また、町の東西に長く延びた海岸線は、この地方の特色である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。土地利用の状況としては、町内西部及び東部は国道42号沿い沿岸部に小規模市街地が分布し、中央部は沿岸部に住宅密集市街地及び商業地区、公共施設が立地し、南部の潮岬・紀伊大島は観光資源を生かした観光施設と戸建住宅地が分布している。

リアス式海岸であるという地域の特色から津波の波高も急激に高くなるため津波の影響を受けやすく、地震発生から津波到達時間が早いので大きな被害を受ける可能性が高いと考えられる。そうした状況の中で串本町のこれまでの津波対策への取り組みとして、防災意識の普及や津波避難訓練の実施等のソフト対策と津波関係施設や避難路確保・整備、津波避難ビルの指定等のハード対策が行われてきた。

串本町における過去の地震を表2.1に示す。昭和南海地震による津波では、沿岸部において大きな被害が生じた。旧串本町域においては、死者9名、負傷者16名、家屋損壊128棟、家屋流失41棟、浸水家屋832棟という記録が残っている⁵⁾。

これまで串本町をはじめとする紀南地域においては、歴史的にも海溝型地震による津波の被害を繰り返し受けてきたことから、将来起きるであろう3連動地震や南海トラフ地震を想定した地震・津波対策をこれからも継続していく必要がある。



図 2.1 串本町の位置 ¹⁾

表 2.1 串本町における地震被害 ⁵⁾

発生年月日	震央地名又は地震名	M	被害※		
			津波高	震度	死者・行方不明者数
1707年10月28日	宝永地震	8.4	5～6m		死者688人
1854年12月23日	安政東海地震	8.4	2～2.5m		死者72人以上
1854年12月24日	安政南海地震	8.4	4.5～7m	5～6	死者699人
1944年12月7日	昭和東南海地震	8.0	2m	4	死者44人・不明5人
1946年12月21日	昭和南海地震	8.1	2.5～5.5m	5	死者195人・不明74人
2004年9月5日	紀伊半島沖	6.9	0.34m	4	
2004年9月7日	東海道沖	7.4	0.86m	4	

(※被害は和歌山県全体)

2.3 対象地域

串本町の津波防災地域づくり推進計画では、串本町は西部・東部・中部・南部の4つの地域に区分されている。本研究では、最も人口が多い西部の串本地区(図 2.2)を対象とし、避難シミュレーションモデルを作成する。

串本地区の概要

人口・・・・・・・・・・3461 人（平成 22 年度国勢調査）⁶⁾

世帯数・・・・・・・・・・1713 世帯（平成 22 年度国勢調査）⁶⁾

高齢化率（65 歳以上/総人口）・・・・40.8%（串本町における平成 26 年 9 月現在）⁵⁾

串本地区だけではなく串本町においては、市街地・集落の多くが沿岸部に立地しており、津波危険度が高いと言える。また、人口減少および高齢化が進んでいる現状から、津波などの災害時における避難においても若年者で多くの高齢者を支援しなければならないことが考えられる。そして、今後人口減少・高齢化に伴う空き家や老朽家屋等の増加も見込まれることから、これまでの津波対策を継続的に取り組むとともに、時間的制約があるなかで安全に避難するための避難計画が必要になると考えられる。

また、串本地区では津波避難場所（高台など）が区域の西側に集中しているが、東側の方に津波浸水想定域が広がっているため避難行動時間が限られている場合は津波避難場所までの避難が非常に困難だと考えられる。したがって、逃げ遅れにより指定された場所まで逃げるができない人たちが一時的に避難するための津波避難ビルや津波避難タワーの役割が重要になると考えられる。実際に串本地区には図 2.3 のような津波避難タワーが設置されている。この避難タワーは平成 18 年 4 月竣工、避難ステージの高さ：5.6m, 面積：35m²である。



図 2.2 串本地区の位置 ¹²⁾

和歌山県東牟婁郡串本町串本地区



図 2.3 串本町串本地区の津波避難タワー（平成 18 年 4 月設置）⁷⁾

2.4 3連動地震

3連動地震とは、東海・東南海・南海地震が同時に又は短時間に連続して起こる地震である。「東南海・南海地震に関する専門調査会」によると、1707年の宝永地震は3地震が連動して発生し、1854年の安政東南海地震、安政南海地震では2つの地震が連続して発生したと言われている。平成15年9月17日中央防災会議の「東海・南海地震に関する専門調査会」が公表した3連動地震が発生した場合の被害想定によると、発生時刻等の条件により被害状況は変わるが、死者数は約19,000人～25,000人、建物全壊棟数は49万3千～54万9千棟と想定されている。

平成27年3月に公表された「串本町津波防災地域づくり推進計画」⁵⁾によると、和歌山県は平成25年本県の津波浸水想定について東海・東南海・南海3連動地震と南海トラフ巨大地震の2種類の浸水想定を公表した。串本町における津波浸水想定の詳細は表2.2に示す。3連動地震の津波浸水想定は100年周期で発生する頻度の高い地震による津波を対象としており、すぐに対策が必要であると考えられる。また、南海トラフ巨大地震の津波浸水想定では発生頻度はかなり低い、もし発生した場合に被害が甚大となる津波を対象としている。

表 2.2 和歌山県による串本町における津波浸水想定の詳細⁵⁾

津波浸水想定状況	3連動地震	南海トラフ巨大地震
最大津波高	10m	15m
津波到達時間	5分	3分
津波浸水面積	750ha	1170ha
津波避難困難地域面積	26.4ha	185ha

本研究では、3 連動地震を想定した和歌山県串本町串本地区における津波からの避難シミュレーションモデルを作成する。その際、平成 26 年 10 月に策定された「和歌山県の津波避難困難地域と津波対策について」¹⁰⁾を参考にする。ここで津波避難困難地域とは、居住地かつ避難ビル等への緊急避難を考慮しても津波から逃げ切れない地域である。東海・東南海・南海 3 連動地震における津波避難困難地域は和歌山県内の 4 町 22 地域で、津波避難困難人口は約 4000 人とされる¹⁰⁾。串本町串本地区における津波避難困難地域の状況の概要を表 2.3 に示す。串本地区は串本町の中心市街地で住宅や商業施設が密集している。しかし、津波避難困難地域外にある津波避難場所（高台など）まで距離がある。また、串本地区には避難可能ビルが 3 箇所、避難タワーが 1 基あるが十分ではない。

表 2.3 串本地区の津波避難困難地域の状況概要¹⁰⁾

津波到達時間	7～13分
避難行動時間	2～8分
避難困難人口	843人

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、津波避難ビルの有用性の評価をするための津波避難シミュレーションを構築する。

3.2 マルチエージェント・シミュレーション

マルチエージェント・シミュレーション⁸⁾とは、ある与えられた環境の中でエージェントと呼ばれる主体が相互に関係しあって、全体として社会における秩序を作り出すことをコンピュータの中で実行させようとするものである。

つまり、複数の自律的に行動する主体（エージェント）が相互作用する環境と主体の行動に関するルール（必要な情報、判断すべき問題、行動のパターンなど）を設定することにより、それら主体が相互作用することで現れる社会的状態を分析することができるシミュレーション手法のひとつである。

本研究では津波避難シミュレーションモデルの作成にマルチエージェント・シミュレーションソフトである株式会社構造計画研究所の「artisoc3.5」を使用する。

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、避難者となる歩行者エージェントの行動のルールなど津波避難シミュレーションモデルの設定について示す。

3.3.1 対象地域の設定

本研究では、和歌山県串本町の串本地区を対象とした。串本地区の道路ネットワークを図 3.1 に示す。避難シミュレーション上での道路ネットワークは、QGIS を使って、OpenStreetMap の地図情報⁹⁾から取得した対象地域の道路情報を参考に作成した。ここで、QGIS とは、フリーでオープンソースの地理情報システムのことである。

本研究のシミュレーションモデルは、対象地域の交差点をポイントとして設定し、ポイントとポイントのつながりを格納するためのリンクを定義することで道路ネットワークをポイントとリンクによって表現する。



図 3.1 対象地域の道路ネットワーク

3.3.2 避難者エージェント

本モデルでは、避難者エージェントである「Person」を MAP 上に定義した。本研究の避難シミュレーションは徒歩による避難を基本とする。図 3.2 に示すように歩行者エージェントは、ポイントとリンクによって形成された道路ネットワーク上を目標地点まで移動する。このとき、歩行者エージェントは道路ネットワークを超えての移動はできないものとする。

また、避難を開始した避難者エージェントは、時間的猶予のない避難を強いられるため、決められた出発地点から目標地点まで最短経路を探索しながら移動する必要がある。本研究では、ダイクストラ法を用いてポイント間の最短経路を探索し目標地点まで移動するモデルを作成した。ここで、ダイクストラ法とはポイント間の最短経路を求めるためのアルゴリズムである。そして、時間経過とともに津波により通れなくなった道路を設定し、避難者エージェントがその通れなくなった道路に差し掛かった場合に別のルートを再探索し迂回して避難場所である目標地点を目指す。

実際の災害時避難において、避難者は混乱し冷静な判断ができなくなるため最短経路で避難場所まで避難することは困難だと考えられる。しかし、本研究では、避難行動時間が限られる厳しい条件下の避難を考慮するため、避難者は最短経路で目標地点まで移動することとする。

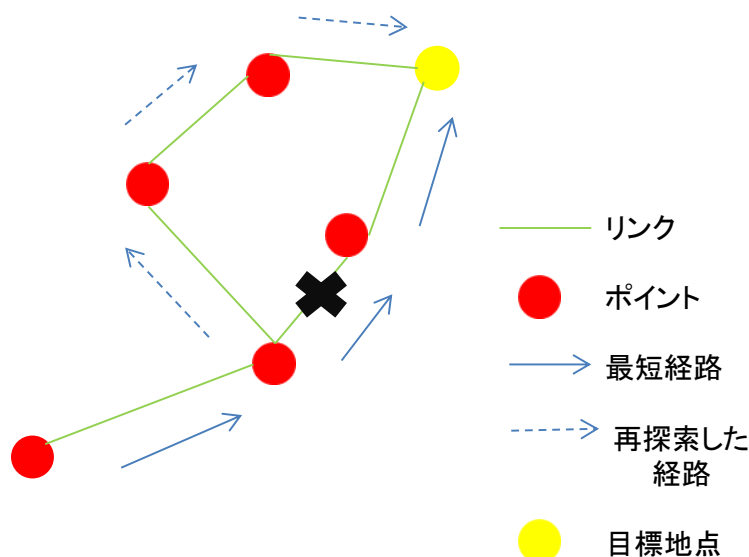


図 3.2 避難者エージェントの基本行動ルール

3.3.3 避難方法

徒歩避難の移動速度に関しては、階避難安全検証方法の算定方法¹³⁾をもとに 1.3(m/s)とする。また、本シミュレーションモデルでは、徒歩避難における混雑度による移動速度の低減は考慮していないため留意が必要である。

3.3.4 津波に遭遇した場合の表現

本モデルでは、平成25年和歌山県より公表された3連動地震の津波シミュレーションをもとに津波浸水を表現する。このシミュレーションでは、地震発生から約7分後には津波が対象地域の海岸線に到達する。本モデルでは、津波浸水による避難への影響を避難シミュレーション上で表現するために、ある時間経過とともに対象地域の海沿いで津波によって通れなくなった道路を発生させる。

避難者エージェントは、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目標地点である津波避難ビル・タワーを目指し移動する。つまり、避難者エージェントがあるポイント（交差点）に到達した際に、次に目指すポイントまでの道路が津波によって通れなくなった場合、別のルートを再探索し迂回して目標地点を目指す。また、もしも避難者エージェントがリンク（道路）を移動中にその道路が通れなくなった場合は、その場で立ち止まる。避難者エージェントが停止した場合は、津波浸水により目標地点まで到達できなかったものとする。また避難者エージェントの動きがわかりやすいように、本研究のシミュレーションモデル上では、避難者エージェントが立ち止まると避難者エージェントを表す色が緑色に変化し、迂回すると黄色に変化する。

3.3.5 避難場所と津波避難ビル

本研究では、津波避難場所(高台など)を津波の危険から命の安全を確保するために、地震発生直後から津波が終息するまでの間の一時的に避難する場所とし、避難タワー・ビルを逃げ遅れにより津波避難場所まで避難できない人や近くに津波避難場所がない人が一時的に避難する場所とする。

本シミュレーションモデルでは、時間的猶予のない避難を表現しているので目標地点を避難タワー・ビルとする。また、新しく避難ビルを指定する際は、Google Earth¹⁴⁾を参考に候補地を挙げた。しかし、ビルの耐震性や収容人数等は考慮できていないので留意が必要である。

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、対象地域である串本地区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、避難場所の設定パターンの避難完了率の違いについて検討する。

4.2 分析計画

本研究の目的である津波危険度の高い地域における津波避難ビルの有用性を評価するために対象地域においていくつかのパターンで避難シミュレーションを行う。

4.2.1 避難方針の設定

本モデルは、津波危険度の高い地域を対象としているため、地震発生後すぐに避難行動を開始することとする。また、移動手段は徒歩による避難とする。そして、避難者は最短経路で目標地点である津波避難ビル・タワーを目指すものとする。

4.2.2 新しい津波避難ビルの設定

新しく避難ビルを指定した場合、どの程度効果が見込まれるのかを検討する。現時点で串本地区には津波避難ビルとして3か所（串本警察署・紀乃国屋ビル・成和ビル）が指定されている。新しく避難ビルを指定した場合と比較し、この現状の避難ビルだけで安全な避難が可能であるのか、新しく避難ビルを指定することによってどの程度避難完了率が向上するのかを検討する。

4.3 津波避難ビル配置による避難への影響

現時点での対象地域における津波避難タワー・ビルへ避難するパターンと新しく避難ビルを指定した場合のパターンのシミュレーションを実施し比較することにより避難への影響を検討する。

- ・パターン①：現状の津波避難タワー・ビル（串本地区避難タワー、串本警察署、紀乃国屋ビル、成和ビル）を目標地点とする。

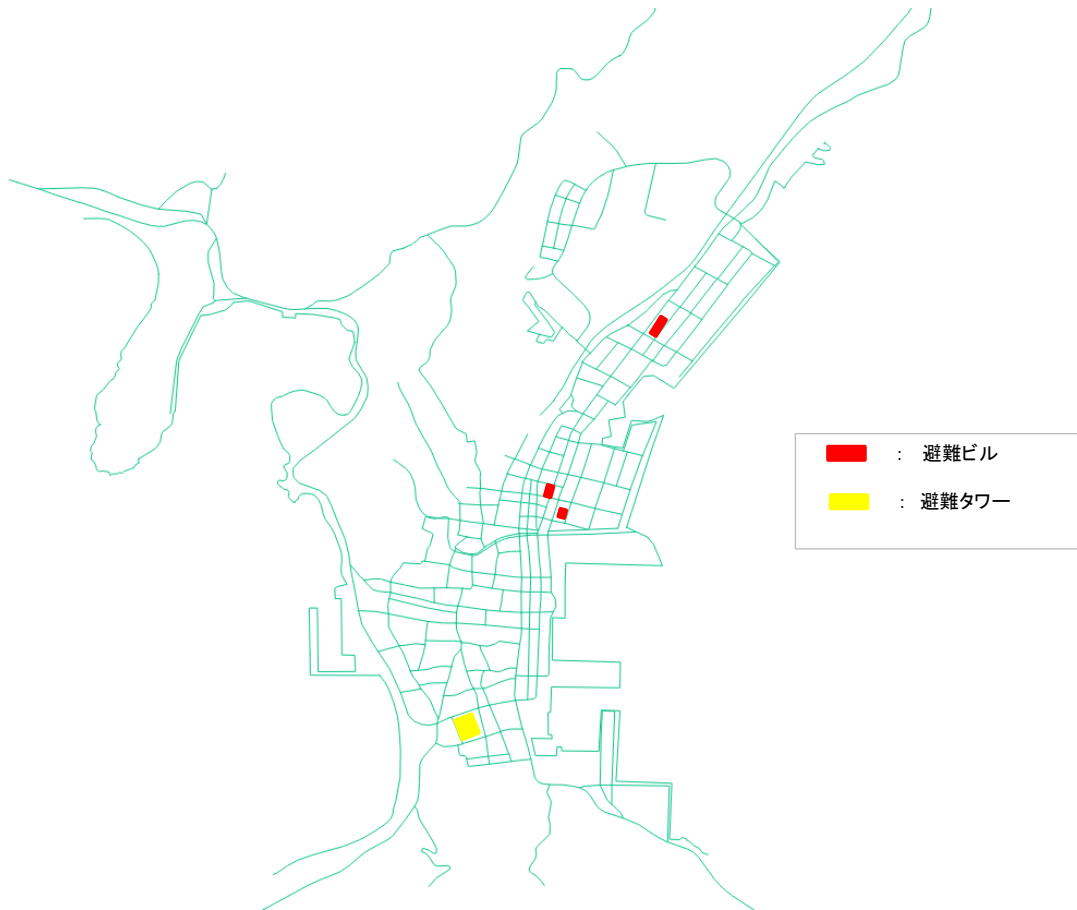


図 4.1 パターン①の目標地点

- ・パターン②：パターン①に 1 箇所新しく避難ビル追加し目標地点に設定する。串本地区の主要道である国道 42 号線沿いのビル（JA 紀南串本：高さ約 12m）を避難ビルの候補地として指定した。

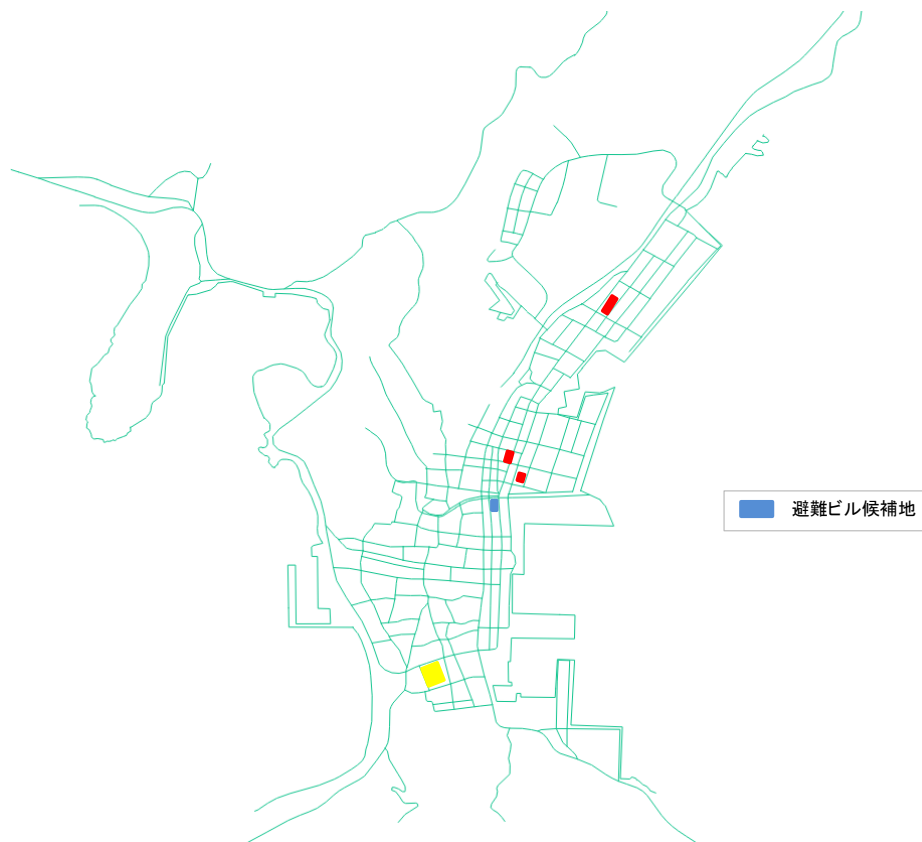


図 4.2 パターン②の目標地点

4.3.1 シミュレーション内容

避難者エージェントの移動速度 1.3(m/s)、避難者数 1000(人)に設定した。また避難者エージェントは 20 のポイントから 50 人を 10 ステップ(=秒)ごとに 1 人ずつ生成する。パターン①では現時点での避難タワー・ビルへ避難した場合、パターン②では 1 箇所新しく避難ビルを指定した場合のシミュレーションを実施し避難率を比較検討する。また、津波の浸水を表現するためにシミュレーション開始後 420 ステップ (7 分後) に対象地域の海沿いに津波により通れなくなった道路を発生させる。

本研究のシミュレーション条件は、避難者エージェントの移動速度と避難者数についてはすべて上記と同じとする。そして、それぞれの避難箇所の設定パターンについて避難シミュレーションを実施する。

4.3.2 シミュレーション結果

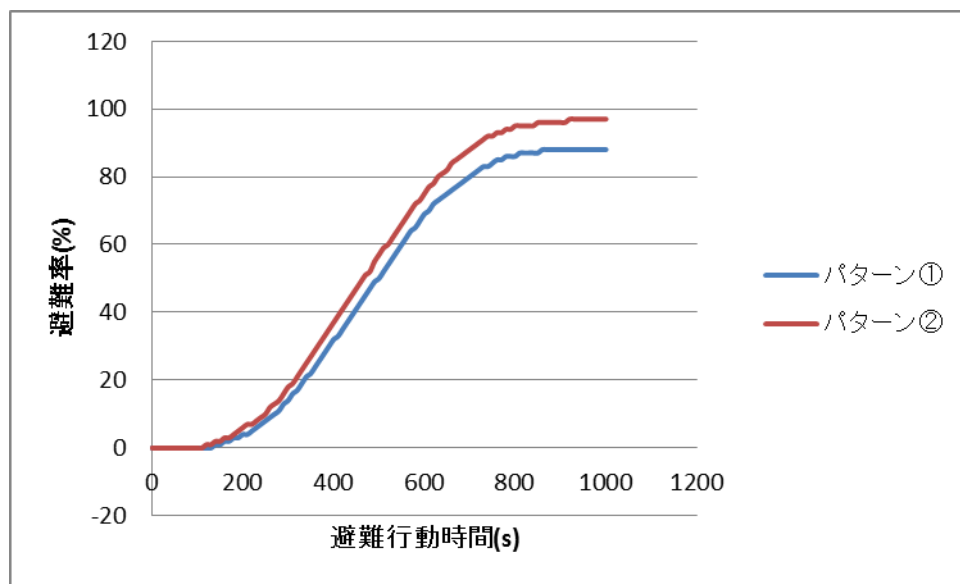


図 4.3 シミュレーション結果(パターン①と②の比較)

4.3.3 考察

- 3 連動地震における串本地区の津波到達時間 7 分までの避難完了率を比較するとパターン①：35%、パターン②：41%となり、避難完了率が 6%向上した。したがって、目標地点となる避難ビルを 1 箇所増やしても避難完了率の向上はあまり見込まれないと考えられる。今後、避難ビルの数を増やして効果が表れるか検討する必要がある。
- 最終的な避難完了率（時間）を比較すると、パターン①：88%（約 17 分）、パターン②：97%（約 15 分）となった。パターン①では、途中で津波に遭遇した避難者エージェント多く発生したため、避難完了率が 100%に満たなかった。パターン②では、避難開始約 15 分後に避難が完了するシミュレーション結果となった。したがって、パターン①とパターン②ともに地震発生後から津波到達時間 7 分までの避難は難しいことがわかった。
- シミュレーション上で目標地点の 1 つとして設定した津波避難タワーは、図 2.3 に示した避難タワーである。この避難タワーはステージの面積が 35m² しかなく、収容人数は約 80 人程度だと考えられる。収容人数を条件に加えて検討する必要がある。
- シミュレーション上では、避難開始後約 8 分ですべての避難者エージェントが対象地域の道路ネットワークに出現する。パターン②において、すべてのエージェントが避難を完了させるまで約 15 分かかったことから、避難者エージェント近くに約 7 分で到達できる避難場所が必要であると考えられる。また、それは地震発生後すぐにすべての避難者が避難行動を開始した場合であり、津波到達時間までの避難は非常に困難だと考えられる。しかし、本シミュレーションモデルでは、エージェントの初期配置をあるポイント（交差点）でまとめているので留意が必要である。つまり、対象地域のような津波危険度の高い地域において時間的猶予のない避難を強いられる場合、すぐ到達できる場所に避難場所（避難タワー・ビル）をできる限り多く配置することが必要である。しかし、そのような避難施設を整備・設置するには、予算や用地の確保及び地元の住民協議が必要であり簡単ではないと考えられる。
- 今回のシミュレーションはシミュレーション開始後ステップ数 420（=7 分）で対象地域の海沿いの道路が通れなくなるように設定したが、これでは津波の浸水表現が曖昧なので改善する必要がある。例えば、海岸線から 5m 毎に津波が浸水し、交差点が通行不可となるようにするルールを避難シミュレーションに組み込む等の方法²⁾が考えられる。

4.4 津波避難ビルの追加

新しく指定する津波避難ビルを 2 箇所を設定し、パターン③として避難シミュレーションを実施する。

- ・パターン③：パターン②の目標地点にもう 1 箇所(NTT 西日本串本別館)を避難ビルの候補地として追加する。

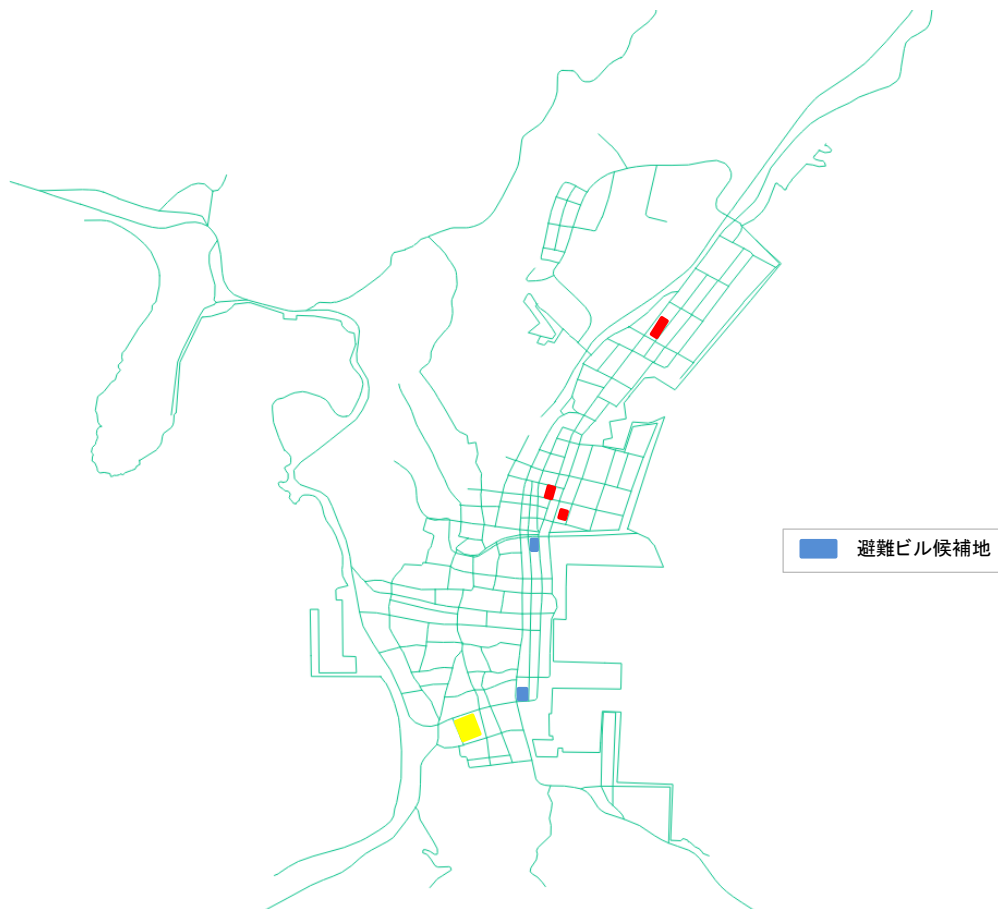


図 4.4 パターン③の目標地点

4.4.1 シミュレーション結果

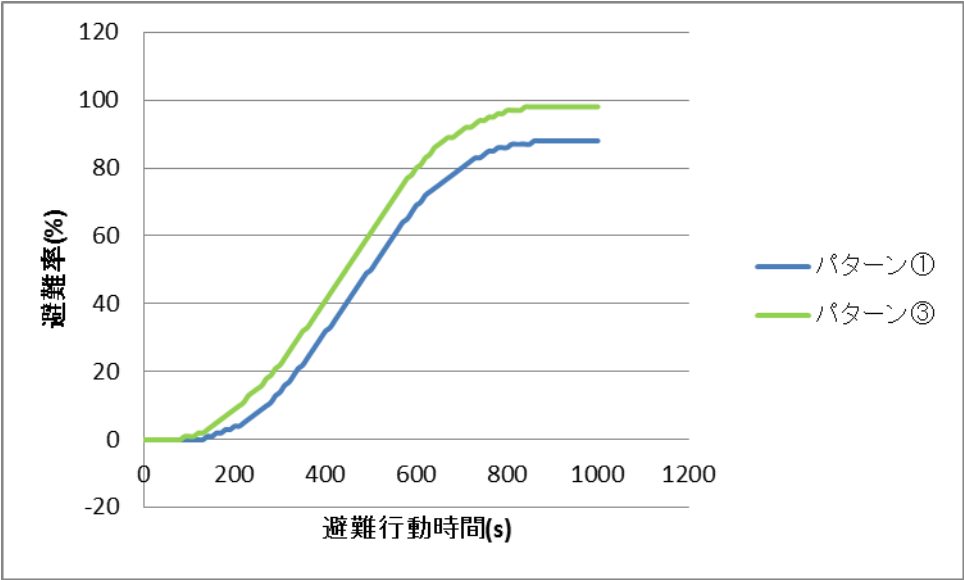


図 4.5 シミュレーション結果(パターン①と③の比較)

表 4.1 シミュレーション結果まとめ①

パターン	新しい避難ビル指定			避難完了率%(7分)	避難完了時間
	なし	1箇所	2箇所		
①	○			35%	17分(88%)
②		○		41%	15分(97%)
③			○	45%	15分(98%)

4.4.2 考察

- ・津波到達時間 7 分までの避難完了率を比較すると、パターン①：35%、パターン③：45%となり、避難率が 10% 向上した。したがって、対象地域である串本地区においては現時点の避難タワー・ビルへの避難パターンに新しく 2 箇所避難ビルを指定すると避難ビルの効果が見込まれると考えられる。
- ・パターン③では、避難開始後約 15 分後に避難が完了するシミュレーション結果となった。避難ビルの数を増やしても最終的な避難完了する時間はパターン②と変わらないことから、津波危険度の高い地域において津波避難ビルは短時間の避難行動で効果が表れると考えられる。また、避難が遅れる人は、避難開始が遅いかつ近くに避難箇所がないという人であることがわかった。
- ・対象地域では、津波避難ビルの絶対数が少ないという課題がある。しかし、シミュレーション結果より、避難ビルの数を増やすことで、時間的猶予のない避難においてより多くの命を救うことにつながると考えられる。新しく避難ビルを指定するには、ビルの所有者や居住者の協力も必要である。したがって、こうした避難ビルの有用性を示すことが、避難ビルは津波に対して有効な対策であるという理解につながると考えられる。

4.5 各避難箇所への避難者数

パターン①とパターン③において各避難箇所への避難者数を把握し、避難箇所の収容人数の面からも検討を行う。

4.5.1 シミュレーション結果

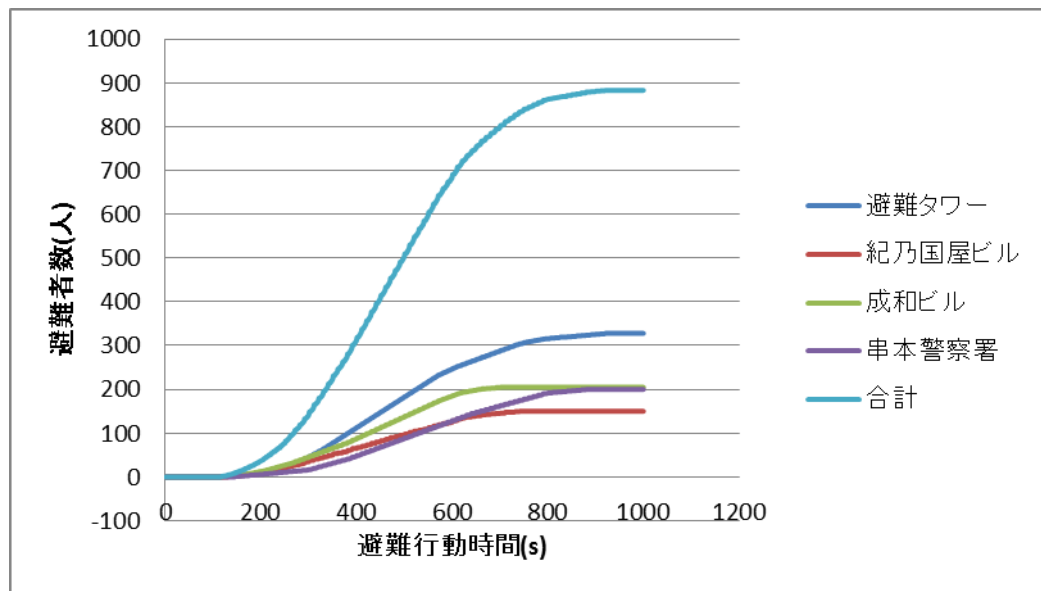


図 4.6 避難箇所別の避難者数(パターン①)

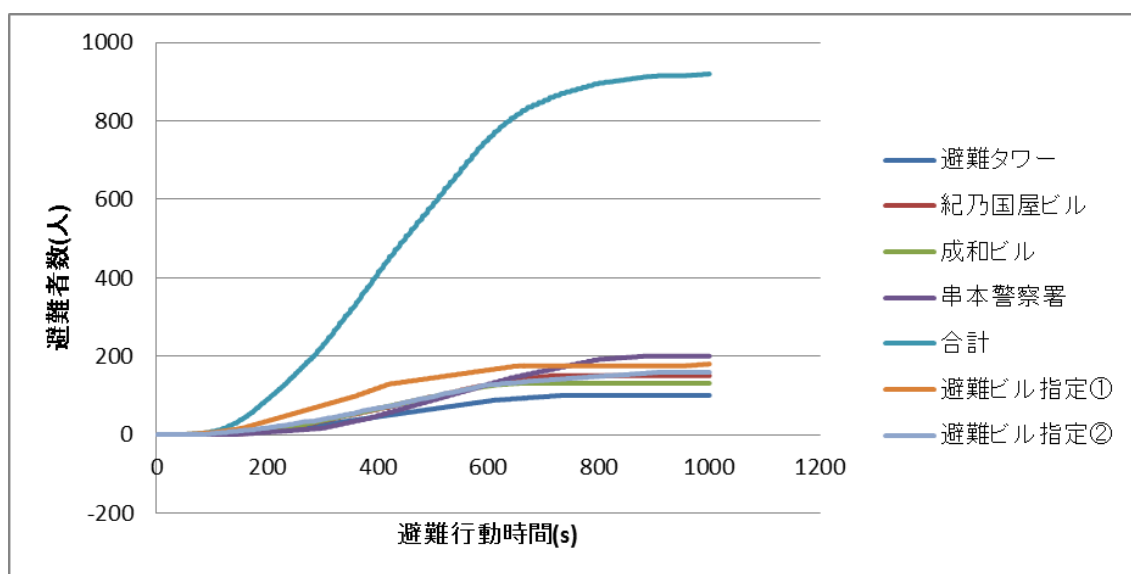


図 4.7 避難箇所別の避難者数(パターン③)

表 4.2 避難箇所別の避難者数まとめ

避難箇所	避難者数(人)パターン①		避難者数(人)パターン③	
	7分後	完了(約17分)	7分後	完了(約15分)
避難タワー	127	328	49	100
紀乃国屋ビル	71	150	69	150
成和ビル	97	205	72	131
串本警察署	57	200	57	200
避難ビル指定①	×	×	128	181
避難ビル指定②	×	×	72	159
合計	352(人)	883(人)	447(人)	920(人)

4.5.2 考察

・現時点の避難パターン①をみると、特に避難タワーへの避難が集中していることが分かった。この避難タワーはステージ面積が 35m^2 であり、収容人数は 70～80 人程度だと考えられる。しかし、シミュレーション開始後 7 分の避難者数は 127 人となり、この時点ですでに収容人数を超過しているため、本シミュレーションモデルでは、現時点の避難タワー・ビルは十分ではないと考えられる。

・新しく避難ビルを 2 箇所指定することで、各避難箇所への避難者数は分散し、1 箇所への集中を改善することができると考えられる。しかし、パターン③では各避難箇所が約 100～200 人程度の収容人数を確保しておく必要がある。例えば避難ビルの屋上に避難する場合を考えると、屋上面積が約 $50\sim 100\text{m}^2$ の規模がなければならないと考えられる。

・各避難箇所に時間経過とともに何人避難できたかを検討することで収容人数の面からも避難ビルの有用性評価を行うことを考えたが、実際に現時点で指定されている避難ビルの収容人数の詳細が不明であったため十分な検討ができなかった。避難ビルを指定する際は、避難者数が収容人数を大きく超える場合も考えられるので、避難ビルの収容人数を把握しておくことが必要であると考えられる。

・今後、新しく避難ビルを指定する場合は、耐震性やビルの高さに加えて十分な収容人数を確保できるという条件も満たす必要がある。しかし、地域によってはそのような条件を満たすビルの絶対数が少ないということも考えられる。したがって、避難ビルを新しく指定するだけでなく、収容人数を容易に把握できるという面からは予算はかかるが避難タワーのような避難施設を効果的な位置に整備することも必要だと考えられる。

4.6 避難ビル指定位置の提案

対象地域において Google Map¹²⁾をもとに、主要道である国道 42 号線に隣接するもしくは近くにあるビルを新しい避難ビル(ホテル・福祉施設・民間ビル・民間駐車場など)として指定する候補地として 3 つ挙げ、それぞれ現時点の避難タワー・ビルへの避難パターンの目標地点に加える。それらをパターン⑤～⑦とし避難完了率を比較する。津波避難ビルの数を増やせば避難完了率は向上すると考えられるが、現実には難しい。避難ビルの指定場所によって避難完了率に差があるのか検討する。ここでは、候補地としたビルの高さを Google Map¹²⁾より推測し指定した。

- ・パターン⑤：JA 紀南串本 (高さ：約 12m)
- ・パターン⑥：NTT 西日本串本別館 (高さ：約 20m 以上,外階段有り)
- ・パターン⑦：ホテルサンマリン (高さ：約 16m)

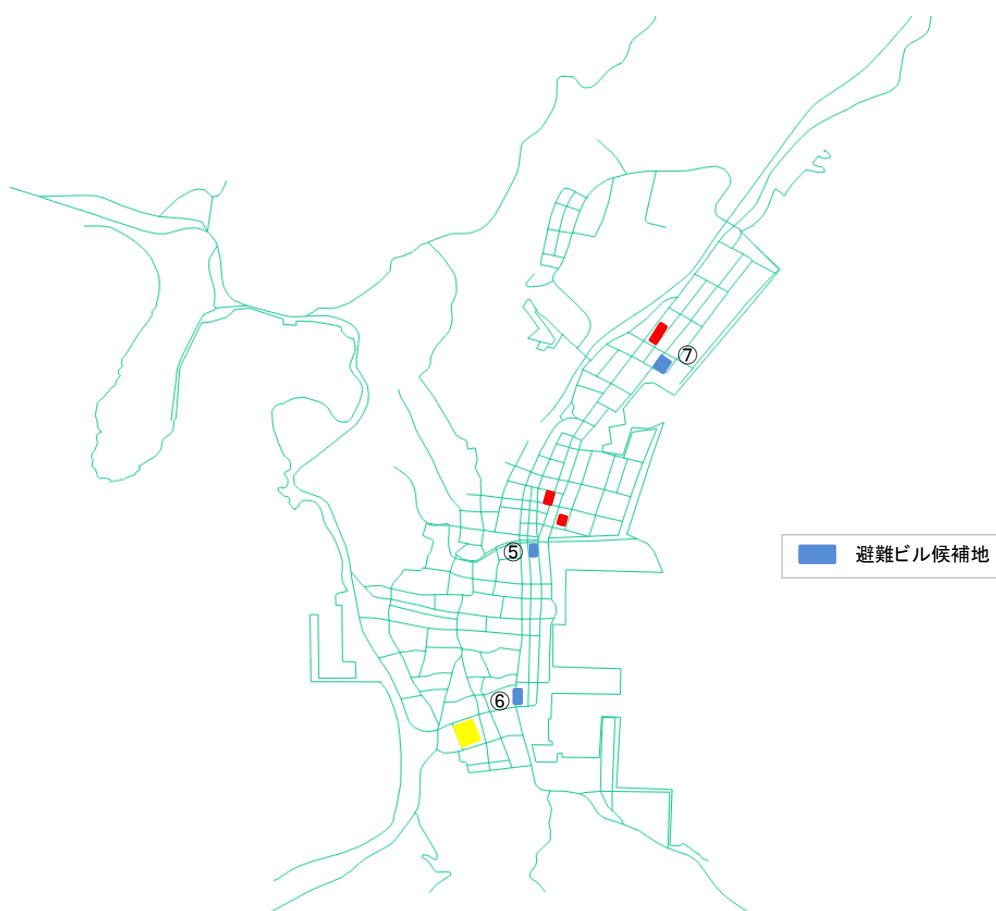
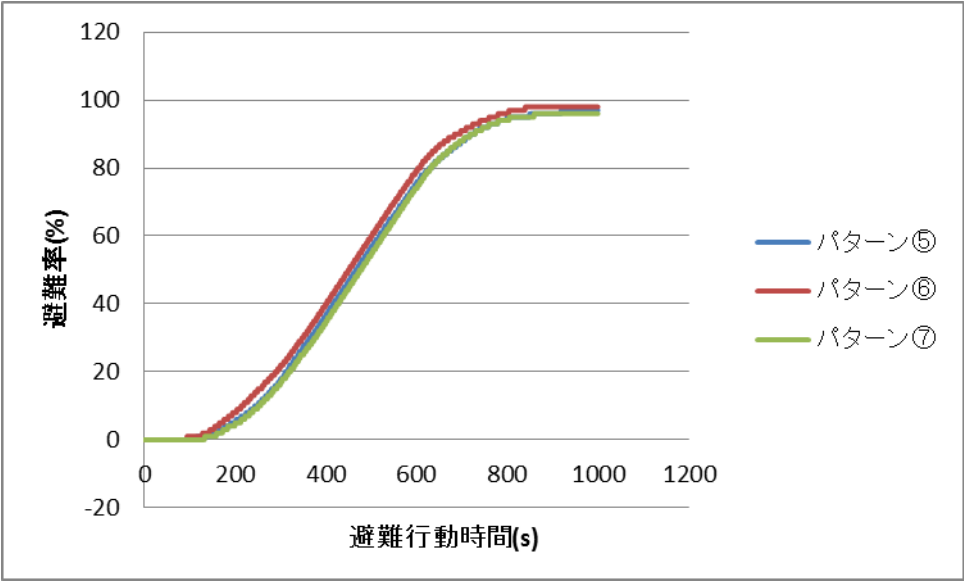


図 4.9 避難ビル候補地(パターン⑤～⑦)

4.6.1 シミュレーション結果



4.10 シミュレーション結果(パターン⑤～⑦の比較)

表 4.3 シミュレーション結果まとめ②

パターン	避難箇所				避難完了率(7分)
	現時点	JA紀南串本	NTT串本別館	ホテルサンマリン	
⑤	○	○			41%
⑥	○		○		44%
⑦	○			○	38%

4.6.2 考察

- ・津波到達時間 7 分までの避難完了率を比較すると、パターン⑤：41%、パターン⑥：44%、パターン⑦：38%となったため、3 つの候補地の中ではパターン⑥の NTT 串本別館を新しく避難ビルとして指定した場合が最も効果的だということがわかった。
- ・本シミュレーションモデルにおいて、3 つの候補地の避難完了率を比較してもそれほど差がないことから、指定場所の違いによる避難完了率への影響は見込まれないと考えられる。しかし、対象地域において避難ビルとなりうるビルが少ないことやそれぞれ避難ビルの収容人数を考慮していない点から一概に言えないと考えられる。

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

- ・津波危険度の高い地域の津波避難困難地域において避難タワー・ビル等の避難施設設置を必要とする箇所を把握し整備することが必要である。しかし、予算や用地の確保などの課題は多くあるため容易ではない。
- ・新しい避難ビルを2箇所指定することで避難完了率が10%向上することがわかった。対象地域において、1箇所しか指定できない場合は、避難ビルの候補地として挙げたなかでは、NTT 西日本串本別館を避難ビルと指定することが避難完了率の向上につながり効果的だと考えられる。
- ・対象地域のような津波危険度が高く時間的猶予のない避難を強いられる場合、津波避難ビルを指定することは、課題はあるが避難を助ける有効な津波対策の1つであると考えられる。しかし、それだけでは十分な避難完了率を得ることはできず、そのほかのハード対策やソフト対策を組み合わせなければならないことがわかった。

5.3 今後の課題

- 本研究のシミュレーションモデルでは、徒歩避難のみを考えているが、現実社会では車による避難者も考えられるので、実際の避難を考慮できているとは言えない。より現実的な避難をシミュレーションにより表現するためには、両方が混在したモデルを構築することが必要である。
- 本研究では、避難者エージェントに与えた基本行動のルールは非常に簡単なルールであるため、実際の災害時における複雑な避難者の行動を表現できていない。特に救援のために避難方向とは逆に向かって行き津波に巻き込まれるケースが考えられる。そういったケースを考慮したシミュレーションモデルを構築する必要がある。
- 本研究では、各避難箇所の収容人数を十分に考慮したシミュレーションモデルの構築には至らなかった。今後は、各避難箇所の収容人数を把握し、収容人数を超えた場合は避難者エージェントが別の避難箇所を目指すといったシミュレーションモデルを構築する必要がある。
- 本研究では、徒歩避難の移動速度等を変えることで、高齢者などの避難行動要支援者を考慮したモデルを作成するまでには至らなかった。したがって、対象地域のように高齢化が進む地域の避難のあり方を考える必要がある。

参考文献

- 1) 宮森保紀,内海晃太,清水俊明,山崎新太郎,大塚久哲: 釧路市における既存構造物への津波避難に関する基礎的検討,土木学会論文集 A1,Vol.69,No.4,919-931,2013.
- 2) 近藤智: 東日本大震災の被災地区における津波避難安全評価に関する研究,立命館大学理工学部創造理工学専攻修士論文,2012.
- 3) 松林由里子,中畑摩耶: 東日本大震災における岩手県野田村での徒歩と自動車による避難行動について,土木学会論文集 B2,Vol.71,No.2,1627-1632,2015.
- 4) 牧野島文泰,今村文彦,安倍祥: 歩車混在を考慮した津波避難シミュレーションの開発-2011 年東日本大震災での気仙沼市での検証-,土木学会論文集 B2,Vol.71,No.2,1645-1650,2015.
- 5)本州最南端の町 串本町: 串本町津波防災地域づくり推進計画,平成 25 年 3 月策定.(2015 年 11 月 2 日閲覧)
<http://www.town.kushimoto.wakayama.jp/>
- 6)人口統計ラボ: 和歌山県東牟婁郡串本町串本,2010 年.(2016 年 2 月 1 日閲覧)
<http://toukei-labo.com/2010/danjo.php?tdfk=30&city=30428>
- 7)フジワラ産業株式会社: 津波避難タワー(タスカルタワー).(2016 年 2 月 1 日閲覧)
<http://www.fj-i.co.jp/tunami2/tawa1.htm>
- 8)山影進,服部正太: コンピュータのなかの人工社会-マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系-,p2-p23,構造計画研究所,2002.
- 9) OpenStreetMap Japan,2015.(2015 年 11 月 29 日閲覧)
<https://openstreetmap.jp/>

10)和歌山県防災企画課：和歌山県の津波避難困難地域と津波対策について.(2015 年 12 月 14 日閲覧)

<http://www.pref.wakayama.lg.jp/chiji/tunami/gaiyou.html>

11) 和歌山県市町村マップ：和歌山県 HP,関連リンク集.(2016 年 2 月 1 日閲覧)

<http://www.pref.wakayama.lg.jp/index.html>

12)Google Map,2016.(2015 年 12 月 15 日閲覧)

<https://maps.google.co.jp/>

13) 建設省：第 1441 号 第 2(居住避難計算) 階避難安全検証法,2000 年.(2016 年 2 月 1 日閲覧)

14)Google Earth,2016.(2016 年 2 月 1 日閲覧)

<https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>

謝辞

本研究は、立命館大学理工学部防災システム研究室の伊津野和行教授、川崎佑磨助教のご指導を賜り、津波危険度の高い地域における津波避難ビルの有用性評価に関する研究の成果をまとめたものです。お二方には、多忙な研究活動の中、懇切なるご指導を賜りました。ここに、厚く感謝申し上げます。

また、防災システム研究室修士1回生福田健太氏には常に懇切丁寧なご指導、助言いただきました。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大学院生の皆様、防災システム研究室4回生の皆様のご協力、激励に対し心からお礼申し上げます。