

学位論文 博士（工学）

大津波襲来時の平野部における
津波避難施設の選択行動に関する研究

平成27年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

山 田 崇 史

内容の要旨

2011年3月11日の東日本大震災以降、津波避難施設の整備や避難計画の策定が急速に進められている。内閣府（2005）の津波避難施設整備のガイドラインは、「避難者は一番近くの施設に避難し、海方向（津波の襲来方向）には避難しない」という単純なモデルを示している。また多くの避難シミュレーションの研究もこの単純なモデルを用いている。しかし、この仮定は実際の避難行動を正確に反映しているとはいえない。避難者の避難施設選択は、施設の高さや容量、避難者から避難施設までの距離、津波の方向にも影響を受け、避難施設選択の傾向は、年齢や性別、交通手段によって異なると考えられる。本研究は、避難施設の選択行動をより正確に把握できる施設選択モデルを提案する。モデルでは選択行動に影響する要因として、避難施設の階数や収容人数などの規模、避難者の避難方向、避難者の施設までの距離を用いる。

第1章では、日本における津波災害とその対策、津波避難行動に関する調査、既往研究、本研究の目的と意義について述べる。

第2章では、パソコン画面を用いた避難施設選択の問答方式の調査について分析する。調査では、避難施設選択の選好順位データを取得し、津波避難者による避難施設選択の基礎的な知見を得た。次に避難者の避難方向、避難施設までの距離（移動距離）、避難施設の階数、収容人数を考慮した選択行動モデルを作成した。パラメータ推定の結果、「避難方向」、「移動距離」、「階数」、「収容人数」は避難者の避難施設の選択行動に影響する要因であることを確認した。また選択行動モデルを用いて平面上における避難施設の効用値の広がりを示し、年齢や性別による違いを考察した。結果として、内陸側における高齢者の効用値は、若年者より高いことが示された。

第3章では、神奈川県藤沢市の片瀬西浜海水浴場の訪問者を対象として、避難施設選択のインタビュー調査を行い、選択行動モデルを作成した。パラメータ推定の結果、「避難方向」、「移動距離」、「避難経路上の川の有無」、「階数」、「建築面積」は避難者の避難施設の選択行動に影響する要因であることを確認した。そして選択行動モデルを用いて海岸における避難者の避難施設の選択確率を求め、避難者数を推計した。結果として、収容人数を超える推計避難者数の施設があることを示した。

第4章では、東日本大震災の避難行動データを用いて、徒歩による避難者と車による避難者それぞれの選択行動モデルを分析した。沿岸地域に平野部が広がる宮城県仙台市、名取市、岩沼市を対象とした。パラメータ推定の結果、「避難方向」、「移動距離」、「階数」、「建築面積」は避難者の避難施設の選択行動に影響する要因であることを確認した。選択行動モデルから複数の施設が配置している場合の避難圏域図を作成した。そして選択行動モデルによる避難圏域図、最近接避難圏域、陸側最近接避難圏域といった既往研究や避難施設整備のガイドラインで示される圏域図を比較した。その結果、選択行動モデルによる圏域図が他よりも避難者の選択行動を精度高く表現可能であることを示した。

第5章では、本研究の成果を総括し、津波災害に対応したまちづくりを行うための提言及び今後の課題を述べた。

Abstract

Development of tsunami evacuation facilities and formulation of evacuation plans have been advanced rapidly after the Great East Japan Earthquake on March 11, 2011. The guideline for development of tsunami evacuation buildings given by the Cabinet Office in 2005 showed a simple model, which illustrated “People evacuate to the nearest facility and people don’t evacuate to the direction of the sea.”. This simple model have been used in some studies of evacuation simulations. However, the hypothesis doesn't always reflect actual evacuation behavior precisely, because the height of facilities, capacity of facilities, distances from an evacuee to facilities and directions to facilities affect choice of evacuation facility, and tendency for choice of evacuation facility differs according to age, gender and means of transportation. This study proposes facility choice models which enable to explain choice behavior of evacuation facility more precisely. Evacuation direction, distance to evacuation facilities, height of facilities and capacity of facilities are used in this model as the factors which affect choice behavior.

Chapter 1 reviews tsunami disaster and the measures in Japan, some surveys of tsunami evacuation behavior, former researches, purposes and significances of this study.

Chapter 2 analyzes an interview survey of evacuation facility choice by using a PC monitor. Ordinal preference data of facility choices was acquired and basic knowledge of evacuation facility choice by tsunami evacuees was obtained in this survey. A choice behavior model was formulated with “direction to facility”, “distance”, “height” and “capacity”. As a result of estimation, it was confirmed that these explanatory variables affected the choice of evacuation facility. Form of utility value from evacuation facility on a plane was shown by this model, and differences between evacuee ages or genders were analyzed. As a result, the utility value of elder people was higher than young people in inland side.

Chapter 3 gives an interview survey of facility choice for visitors in Fujisawa Katase Nishihama Beach, and presents the choice behavior model. As a result of estimation, it was confirmed that “direction to facility”, “distance”, “presence or absence of river on evacuation route”, “height” and “footprint” affected the choice of evacuation facility. Choice probabilities of evacuation facilities for visitors on the beach were estimated by this choice behavior model, and the number of evacuees of each facility was estimated. The result showed that the number of predictive evacuees exceeded the capacity of some facilities.

Chapter 4 examines choice behavior models for walk evacuees and car evacuees by using the survey data of the Great East Japan Earthquake, by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Analyzed areas are Sendai-city, Natori-city and Iwanuma-city, which have flat areas. As a result of estimation, it was confirmed that “direction to facility”, “distance”, “height” and “footprint” affected the choice of evacuation facility. Evacuation facility spheres were drawn by using the model formulas. The proposed model, the guideline model of the Cabinet Office and the former research model were compared. As a result, it was shown that the evacuation spheres by the proposed model explained choice behavior more precisely.

Chapter 5 summarizes the research results and discusses suggestions for town development for mitigating tsunami disaster, and future tasks.

目次

第1章 序論.....	1
1.1 研究の背景.....	2
1.1.1 日本における津波災害とその対策.....	2
1.1.2 都市計画・建築計画分野の津波避難行動に関する調査・既往研究.....	6
1.2 本論の目的と意義.....	9
1.3 本論の内容と構成.....	11
第2章 被験者実験による津波避難施設の選択行動モデル.....	13
2.1 はじめに.....	14
2.2 津波避難施設の選択行動調査.....	14
2.2.1 調査計画.....	14
2.2.2 調査結果と考察.....	23
2.3 選択行動モデル.....	27
2.3.1 パラメータ推定.....	29
2.3.2 選択行動に影響する要因の比較.....	32
2.3.3 津波避難施設の効用値変化.....	34
2.4 まとめ.....	38
第3章 海水浴場の訪問者による津波避難施設の選択行動モデル.....	39
3.1 はじめに.....	40
3.2 津波避難施設の選択行動調査.....	40
3.2.1 調査対象・調査計画.....	40
3.2.2 調査結果と考察.....	43
3.3 選択行動モデル.....	46
3.3.1 パラメータ推定.....	47
3.3.2 選択行動に影響する要因の比較.....	50
3.3.3 津波避難施設の効用値変化.....	52
3.3.4 津波避難施設の避難者数推定.....	54
3.4 まとめ.....	56
第4章 東日本大震災の避難者による津波避難施設の選択行動モデルと避難圏域.....	57
4.1 はじめに.....	58
4.2 対象地域の津波被害の概要.....	58
4.3 復興支援調査アーカイブによる津波避難行動.....	61
4.4 選択行動モデル.....	67
4.4.1 パラメータ推定.....	68

4.4.2 選択行動に影響する要因の比較.....	70
4.5 避難圏域図の作成と比較.....	73
4.6 まとめ.....	84
第5章 結論.....	85
5.1 はじめに.....	86
5.2 前章までの総括.....	86
5.3 津波防災まちづくりに対する提言.....	89
5.3.1 津波避難者の観点から.....	89
5.3.2 津波避難施設整備の観点から.....	89
5.4 今後の展望.....	90
参考文献.....	91
付録.....	99
付録1：各自治体の津波避難ビル等の指定状況.....	100
付録2：非集計行動モデル.....	102
付録3：第2章調査質問票.....	110
付録4：第3章調査質問票.....	114
付録5：第4章調査質問票.....	117

記号について

本文で用いる記号と用語を以下に定める。

避難者および避難施設に関する記号

i	避難者、または選択肢を選択する個人	c_j	避難施設 j の収容可能人数 (人)
j	避難施設、または選択される対象	h_j	避難施設 j の階数 (階)
θ_{ij}	避難者 i から避難施設 j を結ぶ直線と海岸線の角度	s_j	避難施設 j の建築面積 (m^2)
d_{ij}	避難者 i から避難施設 j を結ぶ直線の距離 (m)	w_j	避難施設 j の標高 (m)
r_{ij}	避難者 i が避難施設 j に向かう道程の川の有無 (有 : 1、無 : 0)		

選択行動モデルに関する記号

V_{ij}	避難者 i が避難施設を選択するときの効用関数	H_j	避難施設の階数による効用
θ_{ij}	避難方向による心理的効用	S_j	避難施設の建築面積による効用
D_{ij}	避難施設までの移動距離による効用	W_j	避難施設の標高による効用
R_{ij}	避難施設に向かう道程の川の有無がもたらす効用	k	説明変数の番号
C_j	避難施設の収容可能人数による効用	β_k	未知パラメータ

その他の記号

t	時間 (s)
v	歩行速度 (m/s)
p	周辺の平均人口密度 (人/ m^2)

避難者または選択肢を選択する個人を下付きの添え字 i で表す。避難施設の番号を下付きの添え字 j で表す。例えば、避難者 i が j 番目の避難施設を選択するとき、避難者 i から避難施設 j を結ぶ直線の距離を d_{ij} で表す。

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

1.1.1 日本における津波災害とその対策

津波は日本の沿岸地域に甚大な被害をもたらすことがある。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴って発生した津波は、青森県・岩手県・宮城県・福島県・茨城県・千葉県で観測され、国土地理院(2011)¹⁾によると「浸水範囲面積は561km²」に及ぶ。内閣府(2011)²⁾の防災白書によると「東日本大震災の死因は92.4%が溺死」であり、震災による犠牲者の多くが津波により亡くなった。

津波は昔から繰り返し起きており、渡辺(1998)³⁾は、「日本およびその周辺で発生した津波は、西暦684年から1996年の約1300年の間で195回」と記録している。今後も日本の沿岸地域は津波による被害が起こり得る状況にあるため、津波による被害を最小限に抑えるため対策を行う必要がある。これまで津波被害が起きた地域では、歴史的に津波記念碑や津波留め石の設置、集落の高台移転などを行い、次に起こり得る津波の事前対策を講じてきた。北原(2014)⁴⁾は、「青森、岩手、宮城各県の三陸沿岸地域は明治三陸津波(1896)以来、何回かの津波被害を受けたため、犠牲者を供養し、今後の教訓に活かそうとした津波記念碑が多く残されている」と津波記念碑について述べている。首藤ら(2007)⁵⁾は、「津波の浸水限界位置を後生の人に直接伝える目的で建てられた」「有明海津波(1792)のものが多数残っている」と津波留め石について述べている。山口(2011)⁶⁾は、明治三陸津波(1896)後に宮城県、岩手県、青森県で集落の高台移転が行われた例を紹介している。

現在では津波対策としてハード面とソフト面の対策が行われており、以下に国や自治体が主導している対策を挙げる。ハード面の対策は、「津波浸水を軽減させる施設」と「人が避難する施設」の整備がある。また上記で例を挙げた集落の高台移転もハード対策である。津波浸水を軽減させる施設は、防潮堤、かさ上げ道路・宅地などある。人が避難する施設は、津波避難ビル(図1-2左)、津波避難タワー(図1-2右)、津波避難シェルター¹⁾、人工地盤の橋²⁾などある。ただし特定の施設に避難者が集中した場合、施設の収容量を超える恐れがあるため、施設整備の際に十分な検討が必要である。また施設の管理者が不在の場合でも避難できる管理体制を整える必要がある。ソフト面の対策は、津波記念碑や津波留め石、避難訓練、津波浸水予測図(図1-3)、津波ハザードマップ、大津波警報、避難勧告、避難指示、防災教育などある。ハード対策とソフト対策は、いずれも津波襲来前に整備をすることが重要である。本論では、津波避難施設整備対策について述べるため、施設整備について言及する。なお津波避難施設の配置計画はハード対策、避難圏域の策定はソフト対策といえる。

¹⁾ 津波浸水域内に設置される、水密構造の避難スペースを有する構造物。地上への設置に加え、半地下、地下、斜面への横穴等の形式がある。出典：高知県津波避難計画策定指針，高知県，2013

²⁾ 奥尻町青苗地区の緊急避難用高台 人工地盤「望海橋」。RC造で延べ面積は4650m²。出典：日経アーキテクチャ 2005年3月7日号，日経BP社，p.86，2005



図 1-1 東日本大震災写真(左7) 右8)



津波避難ビル



津波避難タワー

図 1-2 津波避難施設の例(左9) 右10)

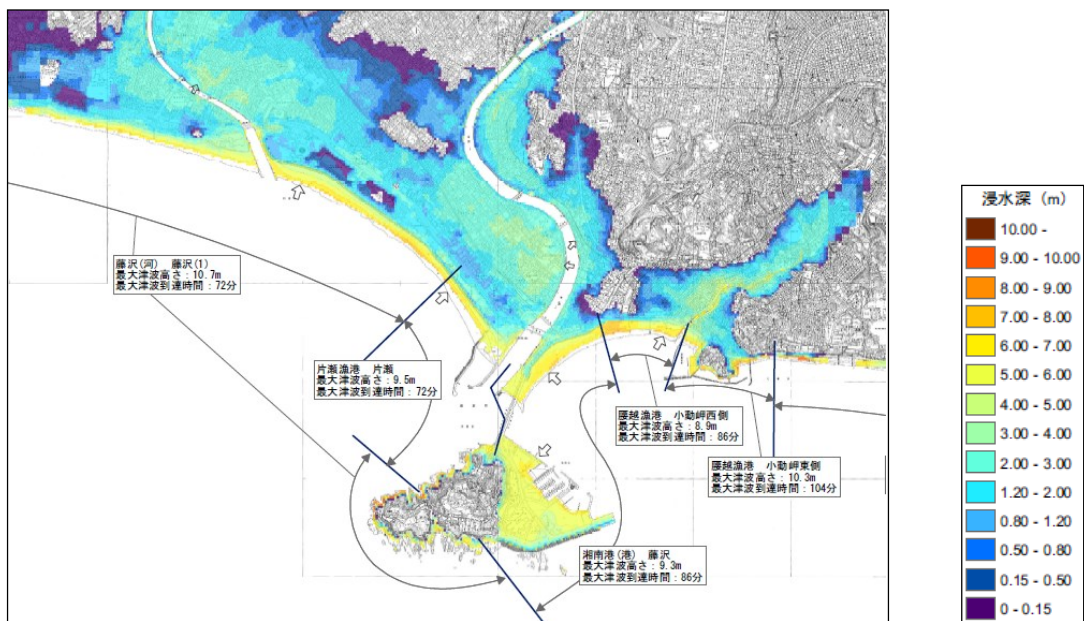


図 1-3 慶長型地震による津波浸水予測図 (神奈川県藤沢市) ¹¹⁾

全国の津波避難施設の指定状況を調査した国土交通省（2011）¹²⁾の調査では、津波避難施設の指定数が「2011年6月30日現在で1876棟、2011年10月31日現在で3986棟」と記載がある。この調査の中で「必要棟数に対して指定数が不足している」と回答した自治体もある。その後、朝日新聞（2013）¹³⁾の調査では、2013年3月時点で「東日本大震災直後（1876棟）の約4倍」と報告がある。そして2015年5月現在、筆者が津波避難施設を各自治体のホームページ等で調査した結果、津波避難施設は計9665棟であり、全国的に津波避難施設は増加傾向にある。図1-4は、津波避難ビルの数の推移である。また津波避難施設の指定状況を付録1に掲載する。

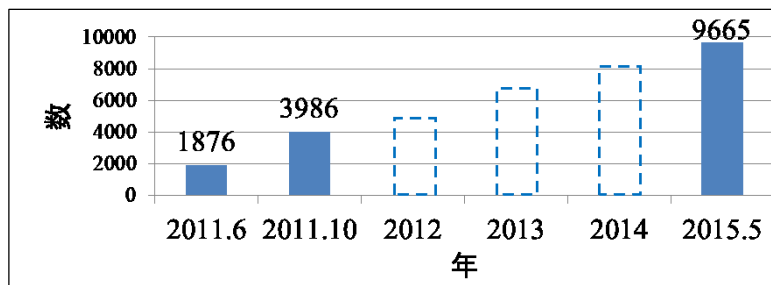


図1-4 津波避難ビルの数¹²⁾と著者による調査から作成

津波避難施設の整備を行うためには、整備が求められる地域において、どのような避難行動を想定し、どのような施設を整備するかが課題である。その方法を示すものとして、内閣府（2005）¹⁴⁾のガイドラインは、「津波避難ビル等候補の選定に伴うカバーエリア」の設定方法を示しており、ここでは避難者は一番近くの津波避難ビル等に避難すること、海方向への避難を想定しないことを条件としている。カバーエリアの算定は、津波避難ビル等の候補となる施設に関して、下記の2つの値を算定する。

(1) 避難可能範囲の算定

次式で表される避難可能距離 d_1 を算定する。

$$d_1 = v_1 \times (t_0 - t_1 - t_2) \quad (1-1)$$

d_1 ：避難可能距離 (m)、 v_1 ：人の歩行速度 (m/s)、 t_0 ：津波予想到達時間 (s)、 t_1 ：地震発生後、避難開始までにかかる時間 (s)、 t_2 ：高台や高層階等まで上がるのにかかる時間 (s)

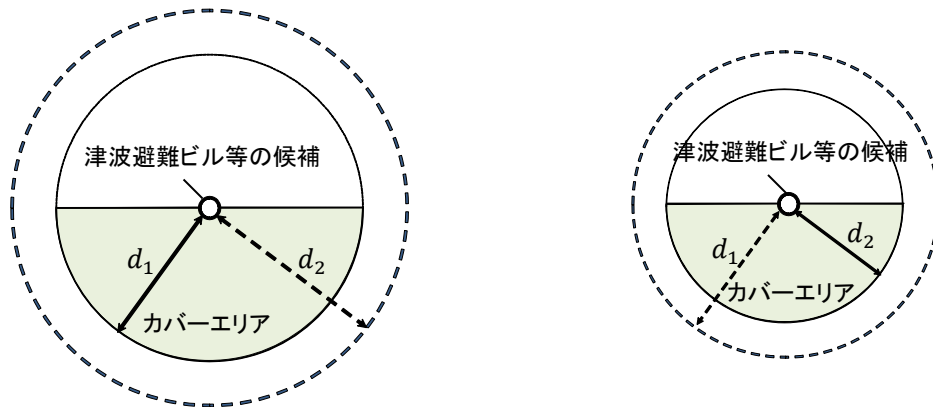
(2) 収容可能な範囲の算定

次式で表される収容可能距離 d_2 を算定する。

$$d_2 = \sqrt{\frac{c/p}{3.14} \times 2^{*1}} \quad (1-2)$$

d_2 : 収容可能距離 (m)、 c : 津波避難ビル等候補の収容可能人数 (人)、 p : 周辺の平均人口密度 (人/m²)、
*1 収容可能範囲の形状によって数値を算出する (半円ならば2)。

「避難可能な範囲」と「収容可能な範囲」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とする。図 1-5 のように算定した 2 つの値を半径とする半円を描き、それぞれが持つ範囲を比較する。そして、より小さい方の範囲を当該避難ビル等候補のカバーエリアとする。カバーエリアを図 1-6 のように地図上で確認し、カバー不足の地区が認められる場合は、津波避難ビル等候補を増やしていく等の対策をとる必要がある。



(左 : $d_1 < d_2$ の場合 右 : $d_1 > d_2$ の場合)

図 1-5 津波避難ビル等のカバーエリア 14)から作成

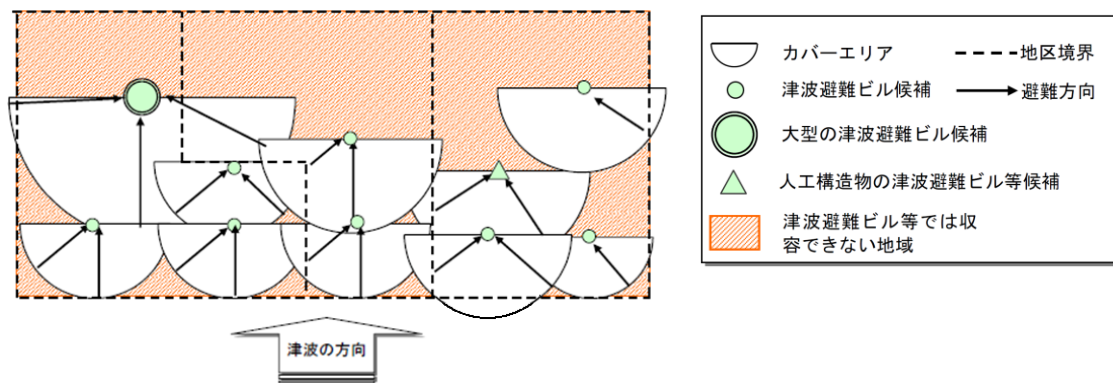


図 1-6 津波避難ビル等の選定イメージ 14)

国が東日本大震災後に津波対策として行った法整備は、次に挙げるものがある。津波防災地域づくりに関する法律（2011）¹⁵⁾は、「市町村長は、…津波の発生時における円滑かつ迅速な避難の確保を図るため、…指定避難施設として指定することができる。」としている。この法律では、津波避難のための施設の構造的要件や管理方法、指定する際の手続きを定めている。そして、この法律の運用を支援するための指針として、国土交通省（2013）¹⁶⁾の津波防災まちづくりの計画策定に係る指針がある。この指針では、津波避難シミュレーションの実施方法やまちづくりにおける津波対策の検討方法などを示している。また災害対策基本法に基づいて作成する防災基本計画（2014）¹⁷⁾では、津波災害対策編が設けられ、「地方公共団体は、…できるだけ短時間で避難が可能となるよう緊急避難場所（津波避難ビル等を含む）、避難路・避難階段等の避難関連施設を都市計画と連携して計画的に整備すること等を基本的な目標とするものとする。」としている。この基本計画では、地方公共団体が行う津波避難施設の整備を含めたまちづくりについて記載がある。

1.1.2 都市計画・建築計画分野の津波避難行動に関する調査・既往研究

国は、法整備や指針やガイドライン策定のほか、東日本大震災後に津波避難行動の調査を行っている。国土交通省（2011）¹⁸⁾は、青森県から千葉県までの6県62市町村の津波の浸水被害者を対象に「津波到達までの避難行動の有無」「津波到達までの行動」「津波からの避難開始までに要した時間」「年齢と交通手段の関係」「交通手段毎の避難距離、避難所要時間および避難速度」「津波からの避難にあたっての避難路の問題点」といった津波からの避難実態を調査している。内閣府・気象庁・消防庁（2011）¹⁹⁾は、岩手県、宮城県、福島県の沿岸地域の住民を対象に「津波情報や避難の呼びかけなどの見聞き」「情報の入手先(手段)」「津波警報の避難判断への影響」「予想される津波の高さの避難判断への影響」など避難者の津波避難行動等に関する実態を調査している。内閣府（防災担当）（2012）²⁰⁾は、岩手県・宮城県・福島県内の津波浸水地域を含む27市町の居住者に対して「地震発生直後の津波到達に対する意識」「避難のきっかけ」「避難開始までの時間」「最初に避難しようとした場所」「東日本大震災前後の意識」を調査している。中央防災会議（2012）²¹⁾の報告では、「津波避難ビルが津波避難に効果的に活用できるかどうかにより、死者数に約1.2倍～約1.9倍の差が想定される。（地震動は基本ケース、冬深夜の場合）」と記載がある。

津波避難行動に関する既往研究は、津波避難行動シミュレーションの研究、アンケート調査に基づく津波避難行動の研究、津波避難場所の評価・配置計画に関する研究、避難行動モデルの研究がある。津波避難行動シミュレーションは、避難者の避難経路や目的地といった条件を設定し、避難行動の再現または予測する研究である。今村ら（2001）²²⁾は、北海道奥尻島青苗地区において、1993年の北海道南西沖地震時の住民の避難行動を再現している。この中では、避難者は標高のより高い方向へ向かうものとしている。この追跡研究として、鈴木ら（2004）²³⁾は、現地調査から経路選択の要因を抽出し、経路選択モデルの開発を行っている。そして、アンケート調査から得た避難者の避難行動に関係

するパラメータを用いて避難シミュレーションを行っている。また齋藤ら(2005)²⁴⁾や大畑ら(2007)²⁵⁾によるマルチエージェントシミュレーターを用いた研究がある。齋藤ら(2005)は、奥尻島青苗地区において、1993年の北海道南西沖地震時の避難行動をシミュレーションしている。また大畑ら(2007)は、北海道釧路市中心市街地を例に、津波避難施設への避難行動をシミュレーションし、津波避難施設配置の評価をしている。この中で、「海岸平野部の、高台避難の確保が難しい市街地で、ビル等の津波避難施設の果たす重要性を確認できた」と述べている。

アンケート調査に基づく津波避難行動の研究は、住民や観光客に津波避難に関するアンケート調査を実施して、避難行動の分析が行われている。廣井ら(2005)²⁶⁾は、2003年十勝沖地震における津波避難行動について、北海道太平洋沿岸の8市町で津波の危険があると考えられる地区の住民を対象に調査している。そして、避難行動の実態と避難行動の背景について、迅速な避難のケース、遅れた避難のケース、避難しないケースに分類して分析している。増本ら(2010)²⁷⁾は、和歌山県の白浜町の白良浜、田辺市の扇ヶ浜、三重県志摩市の御座白浜、阿児の松原で津波防災意識に関するアンケート調査を実施し、海水浴場利用者の津波防災意識を検討している。この中では、「管理体制や、県や市など行政による津波防災教育の違いが津波防災意識に影響を与え、…」と述べている。また、津波襲来までに全員が避難できない地域があり、「海水浴場近隣に避難場所を設けるなどの対策が必要である」と述べている。照本(2013)²⁸⁾は、和歌山県白浜町の白良浜周辺地域の観光客を対象に津波避難対策の課題とそのあり方を検討している。そして、「地域住民を対象とした津波避難対策と比較して、調査・研究の蓄積と対応方策の検討は乏しい状況にある」と指摘している。諫川ら(2014)²⁹⁾は、2011年の東北地方太平洋沖地震時に千葉県御宿町沿岸地域の住民が、地域の環境をどのように認知して津波避難行動しているのか分析し、海に近づく、川を渡る、標高が下がるといった危険性の高い避難経路選択を行わないための提案をしている。神原ら(2014)³⁰⁾は、岩手県大槌町のリアス式海岸沿いの集落で、東日本大震災時における高齢者の避難行動を調査、分析している。この中で、70歳以上の高齢者は被災率が高く、地震発生時に自宅におり、人に避難を促されて避難を開始した。または、避難しなかった割合が高い。そして、平地が狭いため、最短の高台ではなく低地部を横切って小学校へ移動する避難行動が見られた。空間的特徴が無視され、予め決められた場所であるという集落の社会的規範が優先されたと述べている。

津波避難場所の評価・配置計画に関する研究は、現在整備されている津波避難施設の配置や収容力などの分析が行われている。竹内ら(2003)³¹⁾は、避難場所の容量に焦点を当て、想定される3パターンの津波について津波浸水シミュレーションを行い、避難行動の違いによる避難状況の差をみるため「方向に関係なく最も近い避難場所に避難する」と「波の浸入方向と反対側にある避難場所に避難する」という2つのケースについて避難行動シミュレーションを行うことにより、高知県須崎市の避難場所整備状況を評価している。Ratna(2012)³²⁾は、インドネシアの沿岸地域において、GISを用いて津波からの避難経路を選択する方法と避難施設の配置と容量を分析している。村尾ら(2014)³³⁾は、

神奈川県藤沢市片瀬・鵜沼地区を対象として、既存の津波避難ビルによる津波避難者収容能力を評価している。

津波避難行動以外の避難行動モデルの研究は、避難先選択モデルや避難経路選択モデル、避難するか否かという避難意思決定モデルなどがある。これまで地震避難や火災避難、原子力災害による避難、津波避難などを対象とする研究がある。桑沢ら（2006）³⁴⁾は、三重県尾鷲市を対象に、2004年の紀伊半島沖、東海道沖を震源とする地震時における調査をもとに、地震発生後に住民が津波避難行動をとるか判断する意思決定モデルを構築している。この中で「津波避難の意思決定には、地震発生以前から住民が持っている何らかの内的要因による影響が大きい」と述べており、「地震」「情報」「意識」「場所」、住民の津波に備えた事前対策状況を「属性」として、これらの要因から津波避難の意思決定モデルを構築している。米岡ら（1991）³⁵⁾は、東京都墨田区東向島の密集住宅地を対象に地震時を想定して、歩行者実験の結果から街路選択モデルを作成している。各交差点での住宅地内の細街路における歩行実験を基に、個人の避難経路の選択要因を調べ、どのような要因をもつ経路が選択されやすいか検討し、街路選択モデルを作成している。避難経路の選択要因は、「道路幅員」「次交差点までの距離」「対目的方向角」「対進行方向角」とし、ロジットモデルを利用して各交差点での選択確率を求めている。塚口ら（2008）³⁶⁾は、東京と大阪の大規模地下街を対象に、歩行者の経路選択行動を追跡調査して、避難計画と商業活性化のための経路選択モデルを作成している。モデル化にあたりロジットモデルを用いており、効用関数の説明変数は、「目的地方向角度」「進入角度」の2変数である。西野ら（2011）³⁷⁾は、京都市住民に対して地震火災時の避難場所をヒアリング調査し、地震火災時の住民の避難先選択についてロジットモデルを用いてモデルを作成している。この中では、避難場所の魅力度（避難空間として潜在的に避難者を引き付ける程度）を考慮して住民の避難先を予測している。このモデルでは避難先選択の要因として、「住民の在住期間」「住民と避難場所との直線距離」「住民と避難場所の間に避難を妨げる河川の有無」を用いている。大佛ら（2011）³⁸⁾は、東京都世田谷区の木造密集地で居住者と発災時の滞留者を対象として、地震時における広域避難行動モデルを作成している。この研究では、物的被害モデル（建物倒壊・道路閉塞、出火判定・市街地延焼を考慮）と人間行動モデル（避難行動開始時期、経路探索、避難方法、歩行速度を考慮）を用いて避難シミュレーションしている。廣井（2014）³⁹⁾は、2011年3月に福島原子力発電所で発生した原子力災害時における住民の避難行動について、広域避難の目的地分布を予測する広域避難行動モデルを作成している。このモデルは、選択肢集合は「親類・知人宅」「避難所」「その他」の3種類としている。避難者はランダム効用理論に基づいて避難先の種類を選ぶものとし、効用関数を各避難先の効用と個人属性で表している。避難先の要因は、「避難手段（自分が運転する車なら1、それ以外は0）」「親類・知人宅への避難有無（1カ月の間に1回でも行ったら1、それ以外は0）」「年齢（10歳区切り）」「避難区域（自主避難・よくわからないのは0、それ以外は1）」としている。

以上のように、津波は昔から繰り返し起きており津波対策が行われてきた。近年、津波避難施設が増加傾向にあり、法律やガイドラインが整備されている。また上記に記載したように、多数の津波避難行動の調査、津波避難行動および避難行動モデルの研究が行われ、これらの研究は必要性が高い。避難行動モデルの作成は、ロジットモデルが多く用いられる。避難行動を説明する変数は、年齢や移動手段、避難者の位置といった避難者の属性に関する変数、避難先の位置など避難先に関する変数、避難経路や避難距離など避難者と避難先の両方が関係する変数が用いられる。

1.2 本論の目的と意義

「南海トラフ巨大地震」「慶長型地震」等の地震が発生した場合、太平洋側の沿岸地域において津波による浸水が予想される。津波から身を守るためには、まず高台に避難することが大原則である。しかし高台までの避難に相当の時間を要する平野部や、背後に避難に適さない急峻な地形が迫る海岸集落等では、津波からの避難地確保が容易ではなく、大きな課題である。また、地震発生から津波到達までの時間的余裕が少なく、避難するための十分な時間を確保できない地域も少なくない。先の東日本大震災の津波襲来時に津波避難施設へ避難したことにより助かった事例からも明らかであるように、津波から生命を守る手段として、津波避難施設は有効である。現在、津波避難施設を整備するための法整備が行われ、地震・津波に対する備えとして津波避難施設が整備されている。1.1.1節で述べたように近年、全国の市区町村は津波避難のための施設整備を進めており、これらの数が増えれば、それだけ地域の安全性が増す。津波避難のための施設を整備するにあたり、災害時には一人でも多くの人助かる施設配置と規模が望ましい。しかし、高度利用が難しい沿岸地域、施設の建設コスト、維持管理等を考慮すると必要かつ最小限の数、位置で計画されることが望ましい。このような施設配置をするためには、避難者の津波避難行動を把握し、どの施設に避難するか予測する必要がある。また津波避難施設のカバーエリア、即ち避難圏域を示すガイドライン¹⁴⁾では、避難者は海から離れる方向のみに避難するよう避難方向が示されている。しかし、避難者と津波避難施設の距離や施設規模を考慮した場合や避難者の年齢や性別、交通手段によって避難する方向、避難先は異なることが考えられる。

1.1.2節で述べたように津波避難に関する研究は多数行われており、研究手法や得られた知見についても多様である。しかし、これまでの津波避難行動予測は、避難者が避難先または避難経路を選択する場合「より標高の高い方向へ向かう」や「自分のいる地点から一番近い津波避難施設を避難先とする」等のように避難者の避難行動を一律に設定している。しかし、各避難施設の配置、階数、収容人数といった規模は施設ごとに異なり、各避難者の施設までの距離や避難する方角は避難者ごとに異なる。そのため避難者がどの施設に避難するかという施設選択行動は、一律に設定される避難行動とは異なると考えられる。実際の避難行動をより正確に把握、予測するためには、避難施設や避難者ごと

に異なる要因を考慮した避難施設の選択行動モデルを用いて、津波避難行動を予測することが必要である。

本論の目的は、津波避難者の避難施設の選択行動をより正確に把握できるモデルを提案することである。また本論の独創性は、避難施設の規模や避難者の施設までの距離、避難する方角を考慮した津波避難の選択行動モデルを作成することである。はじめに津波避難施設の選択行動特性の基礎的な知見を得るために、津波被害を想定した津波避難施設選択の被験者実験を行う。調査結果から津波避難者それぞれの地理的要因（避難施設までの距離、避難施設の方向、川の有無）、避難施設の属性（高さ、広さ、収容人数）を考慮して避難行動を説明するモデルを作成し、避難先選択に影響する要因を分析する。つぎに海水浴場の訪問者を対象としてインタビュー調査を行う。調査結果から津波避難施設の選択行動モデルを作成、避難先選択に影響する要因を分析する。そして海岸にいる津波避難者がどこに位置する津波避難施設を選択しやすいか、効用値の分布図を示す。さらに東日本大震災で津波被害を受けた宮城県仙台市、名取市、岩沼市を対象として、津波避難行動のモデル化および避難先選択に影響する要因を分析し、従来の避難圏域モデルと本論で提案する避難圏域モデルを比較する。

本論の意義は、津波避難施設の選択行動モデルを作成して分析することにより、津波避難シミュレーションおよび津波避難施設の配置計画、避難計画に寄与することである。津波避難シミュレーションは、避難者の性別や年齢、交通手段を考慮することによって、これまでより詳細かつ正確に避難行動を推測できる。また津波避難施設の配置計画は、津波避難施設の選択行動を考慮することで、津波避難施設の配置と規模の検討が可能になる。避難計画は、避難先および避難経路の整備などに役立てることが可能になる。図 1-7 は、研究背景・目的の概略図である。

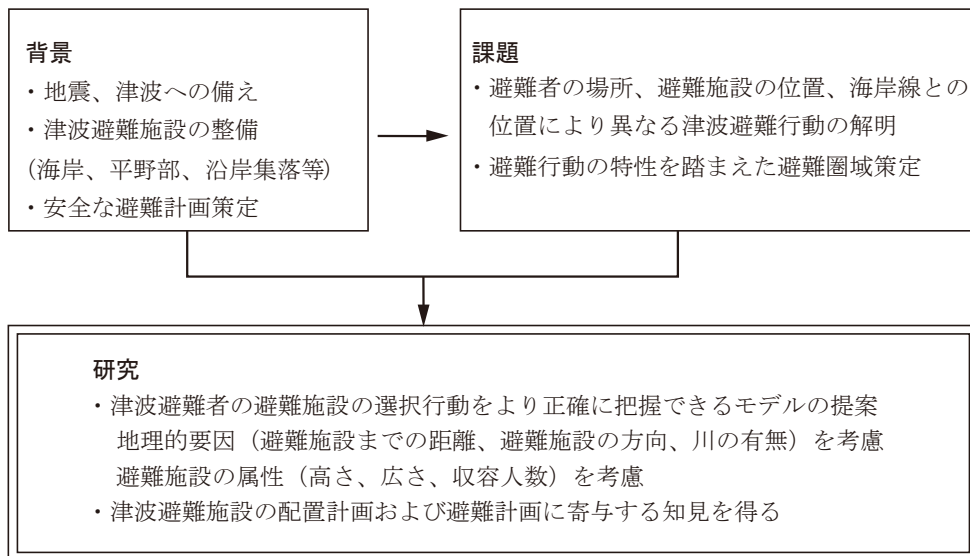


図 1-7 研究背景・目的

1.3 本論の内容と構成

本論は、津波による避難者の津波避難施設の選択行動をモデル化することで、津波避難時の避難行動を把握し、津波避難施設の配置計画や防災計画に役立つ知見を得ることである。図 1-8 に本論の構成を示し、以下に各章の内容について概説する。

第 1 章「序論」は、研究の背景、本論の目的と意義、論文の内容と構成について述べる。

第 2 章「被験者実験による津波避難施設の選択行動モデル」は、津波避難施設の選択行動特性について、基礎的な知見を得るために行ったインタビュー調査と津波避難施設の選択行動を分析した結果を述べる。そして、津波避難施設の選択行動モデルのパラメータ推定を行い、津波避難施設の選択行動に影響する要因を分析する。さらに津波被害が想定される沿岸地域において、どのような津波避難施設が選択されやすいか分析する。

第 3 章「海水浴場の訪問者による津波避難施設の選択行動モデル」は、津波避難者の中でも特に、海水浴場の訪問者を対象としてインタビュー調査を行い、津波避難時の津波避難施設の選択行動を分析する。そして選択行動モデルのパラメータ推定、津波避難施設の選択行動に影響する要因を分析する。また海岸線で、どのような配置の津波避難施設が選択されやすいか分析する。さらに津波避難施設の推定避難者数を算出し、既設の津波避難施設の収容人数と比較する。

第 4 章「東日本大震災の避難者による津波避難施設の選択行動モデルと避難圏域」は、宮城県仙台市、名取市、岩沼市を対象にして、東日本大震災の津波襲来時に自治体が定めていた避難施設に避難した避難者の選択行動を分析する。また徒歩による避難者と車による避難者の避難行動を分析し、選択行動モデルのパラメータ推定、津波避難施設の選択行動に影響する要因を分析する。パラメータ推定結果に基づき津波避難施設の避難圏域を作成し、従来の避難圏域と比較する。

第 5 章「結論」は、2 章から 4 章で行った調査・分析結果をまとめ、今後の展望を述べる。

なお本論で用いる津波避難施設または津波避難ビル、避難施設、施設は、津波避難のための施設を指す。そして、津波避難者または避難者は、津波から避難する人を指す。

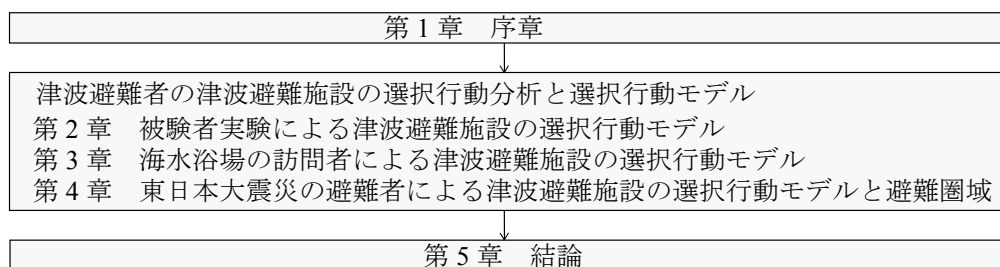


図 1-8 本論の構成

第 2 章 被験者実験による 津波避難施設の選択行動モ デル

2.1 はじめに

本章は、避難者の津波避難施設の選択行動について基礎的な知見を得るため調査を行う。津波避難施設の選択行動を把握するために、3つの津波浸水区域を想定してインタビュー調査を行う。1つ目は、川付近における津波避難施設の選択行動である。避難者から見て津波避難施設が同じ距離にあるとき、「川を渡る施設」と「川を渡らない施設」では選択されやすさが異なるか調査する。2つ目は、海岸付近における津波避難施設の選択行動である。避難者から見て海岸と平行または内陸方向に津波避難施設が位置するときの避難行動を調査する。3つ目は、沿岸地域における津波避難施設の選択行動である。避難者から見て内陸方向と海方向に津波避難施設が位置するときの避難行動を調査する。2.2節では、インタビューの調査計画を説明し、調査結果を考察する。2.3節では、多項ロジットモデルを用いて効用関数を設計し、津波避難施設の選択行動モデルを構築する。さらにモデルを用いて津波避難施設の選択されやすさの変化を分析する。2.4節では、本章から得られる知見をまとめる。

2.2 津波避難施設の選択行動調査

2.2.1 調査計画

川付近における津波避難施設の選択行動の調査は、津波避難施設の選択行動に影響する要因として、避難者から津波避難施設までの「移動距離」と「川の有無」を考慮する。表 2-1 に津波避難施設の特性を示す。表 2-1 の特性を考慮した津波避難施設は、6つの津波避難施設の組み合わせとなる。表 2-2 に津波避難施設の組み合わせを示す。表 2-2 をインタビュー回答画面に配置したものが図 2-1 である。6つの津波避難施設のうち、3つの津波避難施設は、避難者から見て川を渡る必要がある。

海岸付近における津波避難施設の選択行動の調査は、津波避難施設の選択行動に影響する要因として「避難方向」「移動距離」「階数」「収容人数」を考慮する。表 2-3 に津波避難施設の特性を示す。表 2-3 に示す津波避難施設の組み合わせすべてを調査すると、81の津波避難施設をインタビューする必要がある。このため、実験計画法の直交計画を行い、津波避難施設の組み合わせの圧縮を図る。直交計画は、複数の因子「避難方向」「移動距離」「階数」「収容人数」について全ての水準を組み合わせなくても、各因子の効果が独立して評価できる。表 2-4 に直交計画から得た津波避難施設の組み合わせを示す³。表 2-4 をインタビュー回答画面に配置したものが図 2-2 である。

沿岸地域における津波避難施設の選択行動の調査は、津波避難施設の選択行動に影響する要因として「避難方向」「移動距離」「階数」「収容人数」を考慮する。表 2-5 に津波避難施設の特性を示す。表 2-5 に示す津波避難施設の組み合わせすべてについて調査すると 135 の津波避難施設を設けてインタ

³ 津波避難施設の組み合わせは、IBM SPSS Statistics を用いて作成した。

ビューする必要がある。ここでも実験計画法の直交計画を用いて、津波避難施設の組み合わせの圧縮を図る。表 2-6 に直交計画から得た津波避難施設の組み合わせを示す。表 2-6 をインタビュー回答画面に配置したものが図 2-3 である。

表 2-1 津波避難施設の特徴（川付近）

特性（因子）	水準
移動距離（m）	250、500、1000
川の有無	無、有

表 2-2 津波避難施設の組み合わせ（川付近）

津波避難施設	距離	川の有無
イ	1000 m	無
ロ	500 m	無
ハ	250 m	無
ニ	250 m	有
ホ	500 m	有
ヘ	1000 m	有

※質問※
画面の津波避難ビルの中から**避難したいと思うビルを一つ**お答えください。

凡例

- 津波避難ビル
- 橋
- あなたの位置

イ 1000m (約15分)

ロ 500m (約7分)

ハ 250m (約4分)

ニ 250m (約4分)

ホ 500m (約7分)

ヘ 1000m (約15分)

川

海 津波

イ ロ ハ

ニ ホ ヘ

図 2-1 インタビュー回答画面（川付近）

表 2-3 津波避難施設の特徴（海岸付近）

特性（因子）	水準
避難方向（度）	0、45、90
移動距離（m）	250、500、1000
階数（階）	3、5、10
収容人数（人）	50、300、1000

表 2-4 津波避難施設の組み合わせ（海岸付近）

津波避難施設	避難方向	移動距離	階数	収容人数
イ	45°	500	3	1000人
ロ	45°	250	5	300人
ハ	90°	250	10	1000人
ニ	90°	500	5	50人
ホ	90°	1000	3	300人
ヘ	0°	1000	5	1000人
ト	0°	250	3	50人
チ	0°	500	10	300人
リ	45°	1000	10	50人
ヌ	45°	250	10	50人
ル	0°	250	10	1000人

※質問※
画面の津波避難ビルの中から**避難したいと思うビルを一つ**お答えください。

内陸

海

津波

凡例

津波避難ビル

3F

5F

10F

50人

300人

1000人

あなたの位置 ★

イ

ロ

ハ

ニ

ホ

ヘ

ト

チ

リ

ヌ

ル

図 2-2 インタビュー回答画面（海岸付近）

表 2-5 津波避難施設の特性（沿岸地域）

特性（因子）	水準
避難方向（度）	-90、-45、0、45、90
移動距離（m）	250、500、1000
階数（階）	3、5、10
収容人数（人）	50、300、1000

表 2-6 津波避難施設の組み合わせ（沿岸地域）

津波避難施設	避難方向	移動距離	階数	収容人数
イ	0°	250m	5F	300人
ロ	45°	250m	5F	50人
ハ	45°	1000m	10F	1000人
ニ	-45°	250m	3F	300人
ホ	90°	250m	10F	50人
へ	0°	1000m	5F	50人
ト	-45°	500m	10F	50人
チ	-45°	250m	3F	1000人
リ	90°	500m	5F	300人
ヌ	90°	1000m	3F	300人
ル	45°	500m	3F	300人
ヲ	45°	500m	3F	50人
ワ	-90°	500m	5F	1000人
カ	0°	500m	3F	1000人
ヨ	90°	500m	3F	50人
タ	90°	250m	5F	1000人
レ	-90°	500m	5F	50人
ソ	-90°	250m	3F	50人
ツ	-90°	250m	10F	300人
ネ	45°	250m	5F	300人
ナ	-45°	1000m	5F	50人
ラ	0°	250m	3F	50人
ム	0°	500m	10F	300人
ウ	-45°	500m	5F	300人
ノ	-90°	1000m	3F	300人
オ	-90°	1000m	3F	50人
ク	45°	1000m	3F	300人

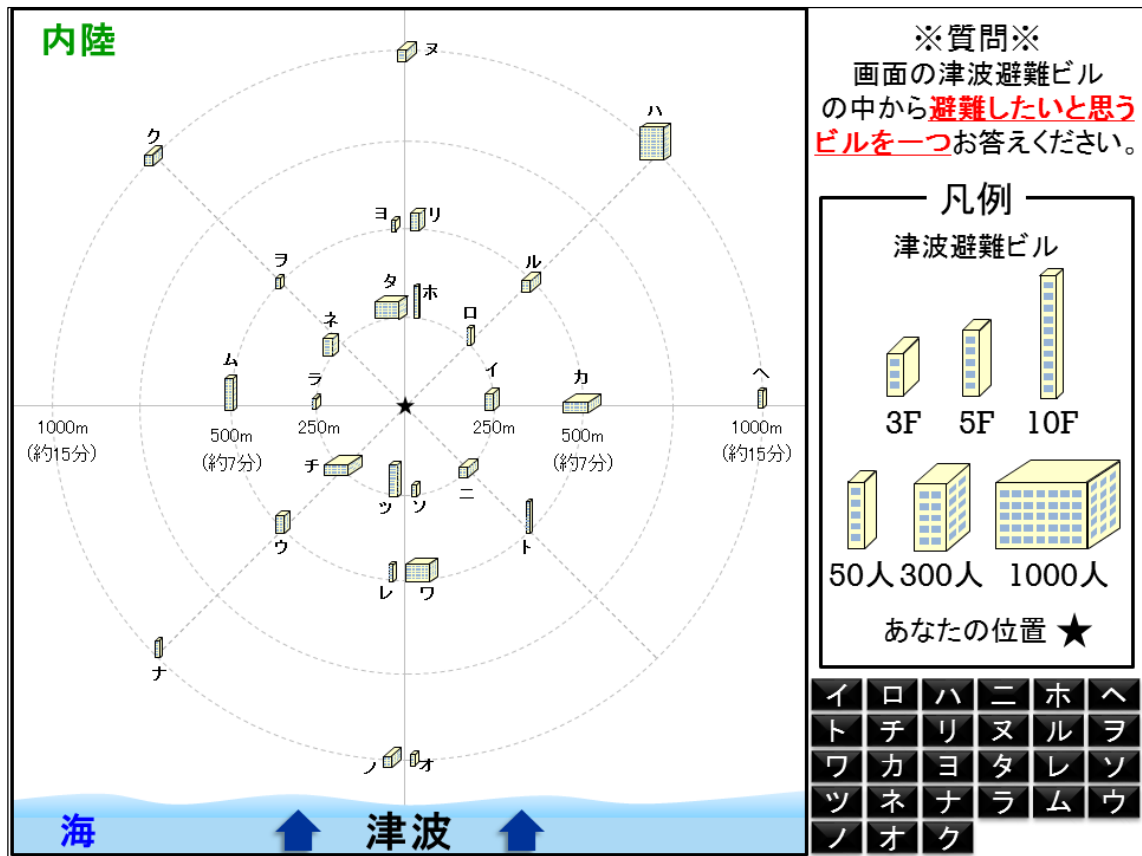


図 2-3 インタビュー回答画面（沿岸地域）

表 2-7 に調査概要を示す。調査は 2013 年 12 月 17、18 日にインタビュー調査を行った。調査場所は、慶應義塾大学協生館 1 階のエントランスホールで、施設内の歩行者に声をかけて歩行者の了承が得られた場合、エントランスホール内のラウンジに案内し、パソコン画面に図 2-1、図 2-2、図 2-3 のインタビュー回答画面を見せて回答してもらった。調査した 1 階部分は、コンビニエンスストア、診療所、調剤薬局、カフェ、フィットネスジムの出入口、保育園、居酒屋の店舗があり、学生以外の利用者が多い場所である。

図 2-4、図 2-5 は回答者の内訳である。調査の回答者は、大学内の施設であるため学生の歩行者割合が多いが、できるだけ学生に偏らないように幅広い年代に声をかけて調査に協力いただくことに注意した。なお本調査では、回答者が外出先で津波に遭遇した状況の避難行動を想定しているため、回答者の住まいについては質問していない。有効回答数は、統計的な有意水準が得られるまで継続して行い、結果として合計 52 人の回答を得た。図 2-6 はインタビュー風景である。

表 2-7 調査概要

調査形式	PC画面を用いたインタビュー調査
調査期間	2013年12月17日-2013年12月18日
調査場所	神奈川県横浜市（慶應義塾大学協生館1階）
回答者数	52（男性：24、女性：28）

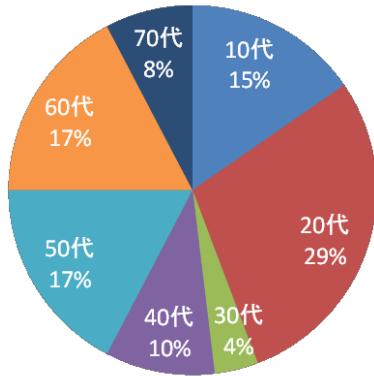


図 2-4 回答者の内訳（年代別）

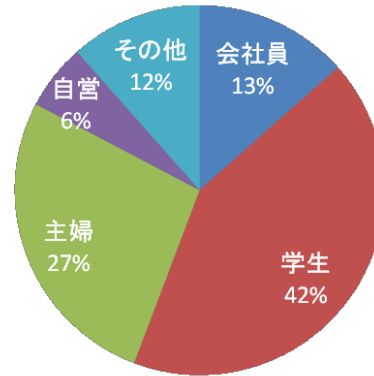


図 2-5 回答者の内訳（職業別）



図 2-6 インタビュー風景

調査者は、回答者にパソコン画面に映し出される津波避難施設を提示し、避難したいと思う施設を優先順に回答してもらった。インタビュー回答の流れを図 2-7 に示す。インタビュー調査で使用した質問用紙を付録 3 に示す。なお本調査において「津波避難施設」と「津波避難ビル」は、同義とする。インタビュー回答の手順は次の通りである。以下「」内を口頭で説明した。

「大津波警報が発令した状況を想定してください⁴。画面の下部方向から津波がきます。あなたが画面上の★の位置にいると仮定したとき、画面上の津波避難ビルの中から避難したいと思うビルを 1 つ挙げてください。津波が何分後に到達するかはわかりません。パソコン画面内全てが浸水区域ですが、津波避難ビルに到達すれば安全が確保されます。」パソコン画面で提示している地域の標高は、平野部を想定し、緩やかな勾配があるがほぼ平坦としており、回答者から質問があった場合に教示した。

手順 1：一番避難したい津波避難施設を回答者に選んでもらう。(図 2-7)

手順 2：選ばれた津波避難施設は、調査者が画面から消す。次に残りの津波避難施設の中から避難したい津波避難施設を回答者に選んでもらう。(図 2-7A)

手順 3：手順 2 を画面から津波避難施設がなくなるか、回答者が避難をしないと回答するまで繰り返す。尚、途中で避難しないと答えてよいとは教示していない。(図 2-7B-D)

図 2-1、図 2-2、図 2-3 の★は回答者の避難開始位置である。なお、回答者は直線距離で避難する。また回答者は避難時にパソコン画面に表示された全ての津波避難施設を把握しているものとする。大津波警報が発令されていることだけを教示しているため、回答者によって、想定する津波の大きさや危険度、津波が到達する予想時間は異なる。避難する移動距離や方角、津波避難施設の収容人数や階数などの安全度を総合的に考えて、避難者にとって最も効用の高い津波避難施設を選択したと捉えられる。

⁴ 気象庁は、最初に発表する大津波警報や津波警報では、予想される津波の高さを「巨大」や「高い」という言葉で発表して、非常事態であることを伝える。その後、地震の規模が精度よく求められた時点で津波警報を更新し、予想される津波の高さも数値で発表する(出典 気象庁：津波警報・注意報、津波情報、津波予報について、<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/joho/tsunamiinfo.html>, (参照 2014-8-28))。また津波到達時刻は、津波の最大波が第一波とは限らず、津波到達予想時刻にずれが生じる。このため、本論のインタビュー調査でも具体的な津波高さ及び津波到達時間を提示していない。

2.2.2 調査結果と考察

回答者がインタビュー調査で最初に選択した津波避難施設の特性に準じて2番目以降の津波避難施設を選択する傾向が見られたため、最初に選択した津波避難施設は、回答者の津波避難施設の選好が最もよく表れると考えられる。このため、各調査で津波避難施設が最初に選択された回数を基にして津波避難施設の選択行動の傾向を考察する。表 2-8 に川付近における津波避難施設の選択行動の調査において最初に選択された回数を示す。また図 2-8 に津波避難施設ごとの最初に選択された回数を示す。津波避難施設「イ」「ロ」「ハ」は、ほぼ同じ回数選択された。川を越える「ニ」「ホ」「ヘ」は選択されず、移動距離が遠くても川を越える施設は選択されなかった。回答者は津波から避難する際、川を渡るか、川を渡らないか考慮して津波避難施設を選択することが明らかになった。

表 2-9 に海岸付近における津波避難施設の選択行動の調査において最初に選択された回数を示す。また図 2-9 に津波避難施設ごとの最初に選択された回数を示す。津波避難施設「ハ」が最初に選択された回数が一番多く、津波避難施設「ホ」が二番目に多く選択された。避難開始位置から近い津波避難施設を選択する回答者、海から離れた津波避難施設を選択する回答者の2種類の避難者がいることが明らかになった。「ハ」が一番多い理由は、避難者から一番近い距離で階数と収容人数が大きいためと考えられる。「ホ」が二番目に多い理由は、海から一番遠い施設であるためと考えられる。

表 2-10 に沿岸地域における津波避難施設の選択行動の調査において最初に選択された回数を示す。また図 2-10 に津波避難施設ごとの最初に選択された回数を示す。海岸付近における津波避難施設の選択行動と同様、避難開始位置から近い津波避難施設を選択する回答者、海から離れた津波避難施設を選択する回答者の2種類の避難者がいることが明らかになった。また男性と女性の間では、大きな差は見られなかった。調査において、最初に一番多く選ばれたのが「ハ」と「タ」であった。「ハ」については、海からの距離が遠く、階数、収容人数が大きいため好まれたと考えられる。「ハ」を最初に選んだ人は、続けて「ヌ」、「ク」を選択している人が多く、意図的に海から遠い津波避難施設を選んでいると考えられる。「タ」については、避難開始位置からの距離が近く、周りの津波避難施設と比較して収容人数が大きいことが好まれた要因になったと考えられる。この津波避難施設を最初に選んだ人は、続けて「イ」、「ホ」、「ネ」など距離が近い津波避難施設を選ぶ傾向にあった。次に多かったのが「ホ」であった。これは避難開始位置からの距離が近く、内陸側にある津波避難施設のうち、10階の津波避難施設がこれだけであることから選ばれたと推測される。「ホ」を最初に選んだ人は、距離の近い「タ」、「ネ」、「ツ」を選んだほか、階数が高い「ム」を早い段階で選択していた。また選択され難い津波避難施設として、最後まで選択肢に残っていたのが、「ナ」、「ノ」、「オ」であった。海方向への避難、移動距離が大きい、階数、収容人数が小さいため最後まで選択されなかったと考えられる。付録3に各津波避難施設が選択された順番と回数の集計を掲載する。

表 2-8 津波避難施設ごとの最初に選択された回数（川付近）

津波避難施設	回答数	津波避難施設	回答数	津波避難施設	回答数
イ	18 (男 7 女 11)	ハ	17 (男 10 女 7)	ホ	0 (男 0 女 0)
ロ	17 (男 7 女 10)	ニ	0 (男 0 女 0)	ヘ	0 (男 0 女 0)

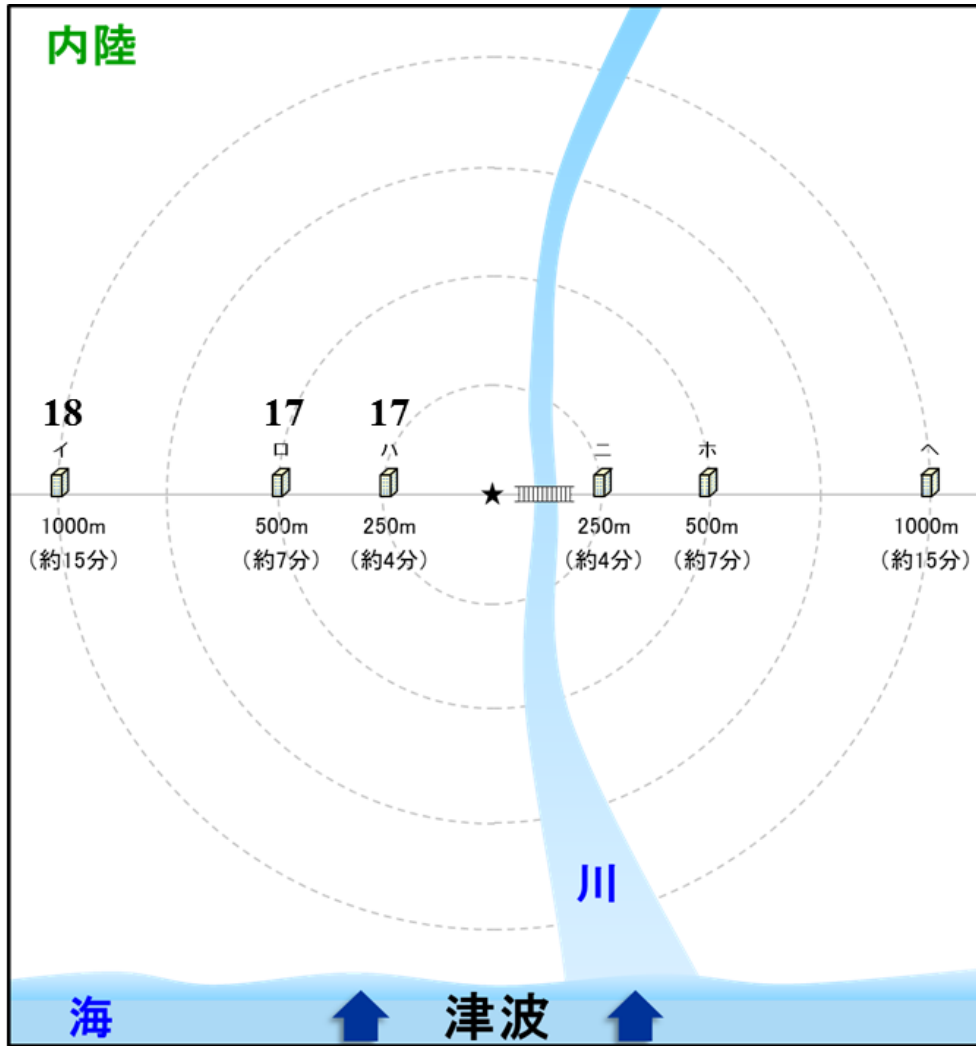


図 2-8 津波避難施設ごとの最初に選択された回数（川付近）

表 2-9 津波避難施設ごとの最初に選択された回数（海岸付近）

津波避難施設	回答数	津波避難施設	回答数	津波避難施設	回答数
イ	2 (男1女1)	ホ	10 (男5女5)	リ	7 (男1女6)
ロ	1 (男0女1)	へ	0 (男0女0)	ヌ	4 (男3女1)
ハ	26 (男13女13)	ト	0 (男0女0)	ル	0 (男0女0)
ニ	2 (男1女1)	チ	0 (男0女0)		

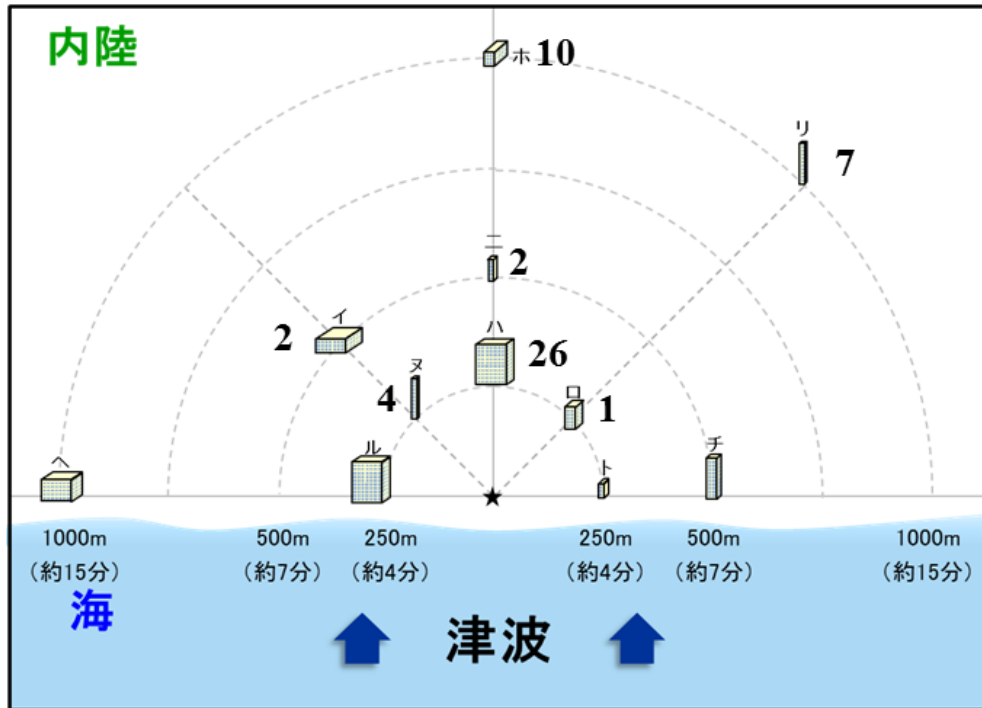


図 2-9 津波避難施設ごとの最初に選択された回数（海岸付近）

2.3 選択行動モデル

図 2-11 は、避難者が図 2-3 の沿岸地域にいる場合のモデル化において考慮する変数の模式図である。避難者が津波避難施設に避難するとき、避難者の地理的特性と津波避難施設の特性を考慮して施設選択を行うと考える。地理的特性は、避難者と津波避難施設ごとに異なる値を持つ「避難方向」「移動距離」である。津波避難施設の特性は「階数」「収容数」を用いる。「階数」「収容人数」は、自治体が津波避難ビル等を指定するとき把握する情報であり、自治体が公開している津波避難マップから得られる情報である。これらの特性を用いて効用関数を作成し、沿岸地域における津波避難施設の選択行動をモデル化し、多項ロジットモデルで効用関数のパラメータ推定を行う。モデル理論は、付録 2 に掲載する。つぎに各効用について説明する。

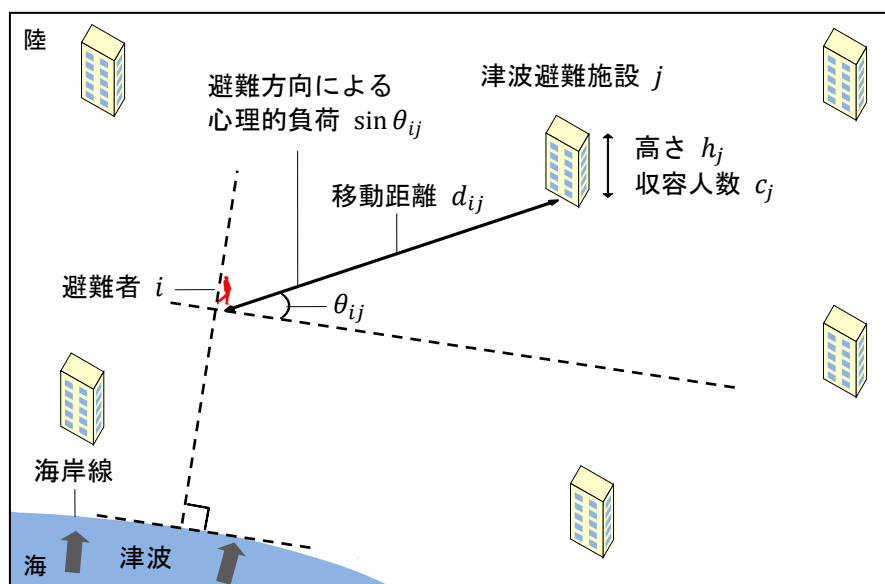


図 2-11 モデル化において考慮する変数の模式図

避難方向による心理的効用 θ_{ij}

津波の避難行動を考えると、海に近づく方向への避難には心理的に大きな負荷があると考えられ、どの方向に向かって避難するかを考えるのは重要なことである。今村ら (2001)¹⁾ や鈴木ら (2004)²⁾ による津波避難シミュレーションの既往研究においても「人は海に向かう方向には避難しない」「人は標高の高い方向にのみ避難する」等のような設定を設け、人が避難する方向を考慮している。このような側面の効用として、本論は避難方向による心理的効用を考慮する。具体的には式 (2-1) で表すように、海岸線と避難者 i から津波避難施設 j までの直線の間を θ_{ij} として、 θ_{ij} の効用を得る。 β_1 は係数である。

$$\theta_{ij} = \beta_1 \sin \theta_{ij} \quad (2-1)$$

θ_{ij} は、避難者から津波避難施設までの直線距離と避難者*i*の場所の海岸線との平行線のなす角度 ($-90^\circ \leq \theta_{ij} \leq 90^\circ$)とする。 $\sin \theta_{ij}$ は、 -1 から 1 の値をとる。 θ_{ij} は、海岸線と並行にx軸、海岸線と垂直にy軸としたとき、x軸より内陸側が $0^\circ \leq \theta_{ij} \leq 90^\circ$ 、x軸より海側が $-90^\circ \leq \theta_{ij} \leq 0^\circ$ の範囲である。 θ_{ij} が 90° に近づくと θ_{ij} は大きくなり、その津波避難施設の効用に対してプラスに働く。なお、性質として θ_{ij} は 0° に近づくと 1° あたりの効用の変化の絶対値は大きくなる。

避難施設までの移動距離による効用 D_{ij}

$$D_{ij} = \beta_2 d_{ij} \quad (2-2)$$

避難者から津波避難施設までの距離を d_{ij} (m) とすると、その距離に比例する移動負担が生じる。これは避難時の移動距離に置き換えられる。 β_2 は係数である。 D_{ij} はコストなので、係数 β_2 は負の値となることを想定している。ここでは、 d_{ij} (m) を直線距離とする。避難者は避難する際、避難方向と避難施設までの距離をイメージして避難すると考えられるため、移動距離は直線距離を用いた⁵。

避難施設の階数による効用 H_j

$$H_j = \beta_3 \ln(h_j) \quad (2-3)$$

一般的に津波避難時は、より高い津波避難施設の方が好まれることが予測されるため、津波避難施設の階数 h_j (階) について考慮する。 β_3 は係数である。ここで、津波避難施設の階数は、物理量ではなく感覚量として扱うものとしている。具体的には、3階建てと4階建ての建物の階数による効用の差と、13階建てと14階建ての効用の差を同じとすると、高い建物の効用値が必要以上に大きくなる危険性を回避するためのものである。したがって本論ではウェーバー・フェヒナーの法則に基づき、津波避難施設の階数に対数をとる。

避難施設の収容人数による効用 C_j

$$C_j = \beta_4 \ln(c_j) \quad (2-4)$$

災害時には一度に大勢の避難者が発生する。そのような状況下で、自分が望む津波避難施設が既に満員で入れない可能性がある。したがって、選択行動に影響を与えるものとして収容人数 c_j (人) を考慮する。 β_4 は係数である。ここでは、佐野 (1990)³⁾の文献と同様、効用値が非線形の場合となる特性を考慮して、収容人数の値に対数をとったものをモデル式に組み込んでいる。以上の特性を考慮し、ロジットモデルに適用する。これらの効用を組み込んだモデル式を効用関数 V_{ij} として、式 (2-5) に示す。

⁵ 移動距離はネットワーク距離を用いたこともあるが、直線距離の方がモデルの適合度 (尤度比) が高かった。

$$V_{ij} = \beta_1 \sin \theta_{ij} + \beta_2 d_{ij} + \beta_3 \ln(h_j) + \beta_4 \ln(c_j) \quad (2-5)$$

2.3.1 パラメータ推定

沿岸地域における津波避難施設の選択行動の調査を行うことで、ロジットモデルの分析サンプル数は、計 1346 サンプルを得た⁶。回答者計 52 人のうち 51 人は、画面から津波避難施設が無くなるまでの 26 回選択した。1 人は、20 回選択した後で、残りの津波避難施設には避難しないと回答した。推定値は、インタビュー調査で得られた 1346 サンプルを用いて求めた。表 2-11 に係数の推定結果を示す。全ての係数が 1%水準で有意となった。モデルの適合度を表す尤度比 ρ^2 の値は 0.2 以上となり、ロジットモデルとして適合する値を持つと判断される⁴⁾。次に表 2-11 の各係数について述べる。 β_1 は正の値となり、内陸方向への避難ほど効用が高くなることを表している。 β_2 は負の値となり、避難者から距離が遠い津波避難施設ほど効用が低い。 β_3 は正の値となり、津波避難施設の階数が高いほど効用が高い。 β_4 は正の値となり、津波避難施設の収容人数が多いほど効用が高い。次に避難者個人の属性による違いを分析するため、回答者を 10-20 歳代、30-50 歳代、60-70 歳代の年代別、男性、女性に分けてモデル化を行った。表 2-11 に係数の推定値を示す。係数の推定値の正負は、全体と年代別、性別は同じ結果となった。尤度比は、年代別のモデルの方が、全体のモデルよりも値が高い。このことから避難者を一括りで表すよりも年齢層の違いを考慮したモデルの方がモデルの適合度が高くなった。なお、適中率 1 は効用が 1 番目に高い津波避難施設、適中率 2 は効用が 2 番目に高い津波避難施設までを含めて算定した結果である。

適中率は、27 個から 2 個まである津波避難施設から 1 つを選択する際、ランダムに選択すると適中率は平均で 11%程度になる。しかしモデル式に当てはめて適中率を算定した場合、ランダムに選択する場合よりも十分に高い適中率である。このことから各変数から得られるモデル式は、避難者の選択行動を表現する上で有効なモデル式といえる。

次に図 2-12 は、表 2-11 に示す全体のモデルのパラメータ推定値と表 2-6 を用いて (2-5) 式から算定した、避難者が★の位置にいる時の全 27 個の津波避難施設に対する効用関数 V_{ij} の値である。さらに表 2-12 は、表 2-11 に示す全体と年代別、性別のモデルのパラメータ推定値から算定した全 27 個の津波避難施設に対する効用関数 V_{ij} について、値の高い順に並べたものである。どの年代においても値が最も高い津波避難施設は、「タ」である。3 番目以降は、各年代で異なる結果となった。表 2-12 において、特に 30-50 歳代と 60-70 歳代は、避難開始位置から遠い津波避難施設「ハ」「ヌ」「ク」が 10-20 歳代に比べて高い順位となった。これは避難する際の意識として、海（津波方向）から少しでも遠くに避難したいという意識が 30-50 歳代と 60-70 歳代の方が強く働いた結果であると考えられる。

⁶ ロジットモデルによる分析を行うときのサンプル数。全津波避難施設の選択肢集合から 1 つ選択されると 1 サンプル、残りの津波避難施設から 1 つ選択されると 1 サンプルとしている。図 2-7 の手順で津波避難施設が無くなるか、回答者が避難しないと答えるまでの回答数である。

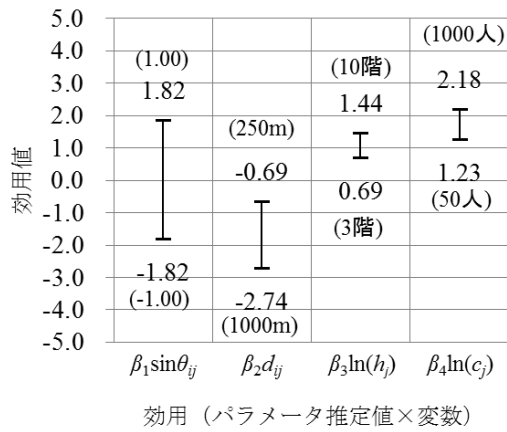
表 2-12 各モデルの効用関数の値

順位	全体		10-20 歳代		30-50 歳代		60-70 歳代		男性		女性	
	値	属性	値	属性	値	属性	値	属性	値	属性	値	属性
1	4.32	タ	4.38	タ	4.56	タ	5.03	タ	4.94	タ	3.89	タ
2	3.81	ホ	3.89	ホ	3.89	ホ	4.56	ホ	4.41	ホ	3.39	ホ
3	3.41	ネ	3.47	ネ	3.67	リ	4.25	リ	3.96	ネ	3.02	ネ
4	3.26	リ	2.99	リ	3.57	ネ	3.98	ネ	3.72	リ	2.95	リ
5	2.84	ロ	2.85	ロ	2.98	ロ	3.51	ハ	3.30	ロ	2.53	ロ
6	2.40	ル	2.28	イ	2.84	ル	3.44	ロ	2.76	ル	2.22	ヨ
7	2.37	ヨ	2.09	ル	2.84	ハ	3.39	ヨ	2.66	イ	2.17	ル
8	2.16	ハ	1.97	ヨ	2.83	ヨ	3.24	ル	2.64	ハ	1.84	ハ
9	2.12	イ	1.86	ム	2.45	ヌ	3.09	ヌ	2.63	ヨ	1.71	イ
10	1.87	ム	1.52	ハ	2.25	ヲ	2.70	ヲ	2.46	ム	1.67	ヲ
11	1.84	ヲ	1.47	ヲ	2.16	イ	2.40	ク	2.09	ヲ	1.48	ヌ
12	1.57	ヌ	1.32	カ	2.00	ム	2.32	ム	1.90	カ	1.42	ム
13	1.49	カ	1.26	ラ	1.87	ク	2.30	イ	1.73	ヌ	1.19	カ
14	1.23	ラ	1.15	ツ	1.83	カ	1.93	カ	1.58	ラ	0.98	ラ
15	1.03	ク	1.11	チ	1.33	ラ	1.45	ラ	1.40	ツ	0.94	ク
16	0.89	チ	0.69	ニ	0.91	チ	0.68	チ	1.38	チ	0.49	チ
17	0.73	ツ	0.64	ヌ	0.51	ニ	0.50	へ	1.20	ク	0.18	ツ
18	0.51	ニ	0.15	ク	0.50	ツ	0.37	ツ	0.94	ニ	0.16	ニ
19	0.14	ウ	0.12	ウ	0.27	ウ	0.31	ニ	0.58	ウ	-0.21	ウ
20	0.01	ト	0.05	ト	0.11	へ	0.21	ウ	0.50	ト	-0.38	ト
21	-0.01	ワ	0.05	ワ	0.08	ワ	0.10	ト	0.49	ワ	-0.43	ワ
22	-0.50	へ	-0.42	ソ	0.00	ト	-0.12	ワ	-0.26	ソ	-0.62	へ
23	-0.59	ソ	-0.99	レ	-0.67	ソ	-0.92	ソ	-0.34	へ	-0.88	ソ
24	-0.96	レ	-1.25	へ	-0.91	レ	-1.02	レ	-0.62	レ	-1.25	レ
25	-1.79	ナ	-2.44	ナ	-1.30	ナ	-1.17	ナ	-1.64	ナ	-1.93	ナ
26	-2.08	ノ	-2.72	ノ	-1.53	ノ	-1.64	ノ	-1.94	ノ	-2.22	ノ
27	-2.65	オ	-3.34	オ	-2.13	オ	-2.18	オ	-2.60	オ	-2.71	オ

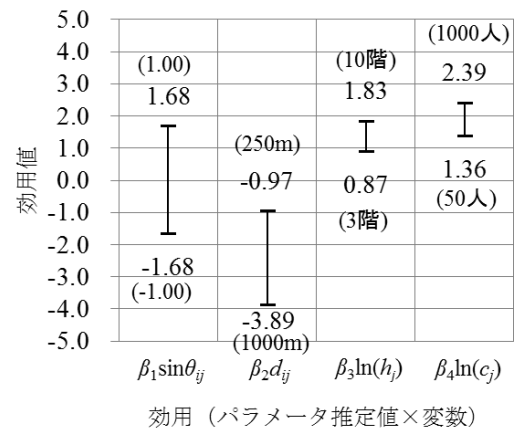
2.3.2 選択行動に影響する要因の比較

表 2-11 の各モデルにおいて、効用値を算出するにあたり、どの説明変数が強く影響しているか考察する。表 2-11 の β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 の各推定値を用いて、27 の全ての津波避難施設の各効用値を計算し、その最大値と最小値の差（各効用の値域の幅）を比較する。

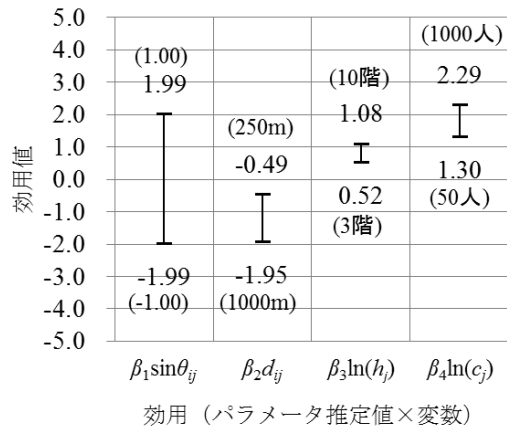
表 2-11 で示す各モデルの各効用の最大値と最小値の幅を図 2-13 に示す。値域の幅が最も大きい説明変数が、施設選択の決定に大きな影響を与えている可能性があると考えられる。なお図 2-13 で () の数値は、各効用値のとき説明変数がとる値である。図 2-13 の (a) 全体のモデルで、避難する方向の効用 $\beta_1 \sin \theta_{ij}$ の最大値と最小値の差が大きくなっていることから、避難方向 $\sin \theta_{ij}$ が、津波避難施設の効用値を決めるときに重要な変数になる。すなわち、避難行動に大きく影響する要因であると言える。つぎに津波避難施設までの移動距離による効用 $\beta_2 d_{ij}$ の最大値と最小値の差が大きく、避難者から津波避難施設までの距離 d_{ij} も津波避難施設の効用値を決めるときに重要な変数になっている。特に (b) 10-20 歳代では、 $\beta_2 d_{ij}$ の最大値と最小値の差が他の年齢層よりも顕著であり、津波避難施設の効用値の決定に影響を与えていることが確認できた。



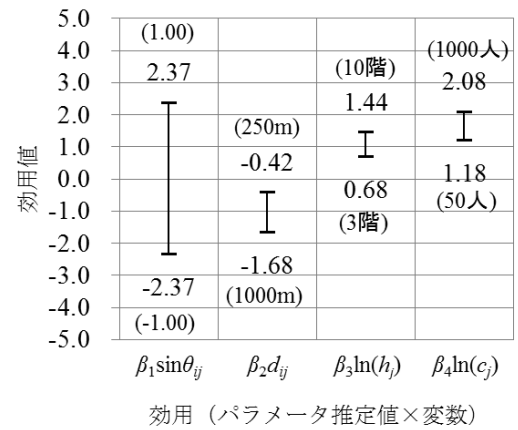
(a) 全体



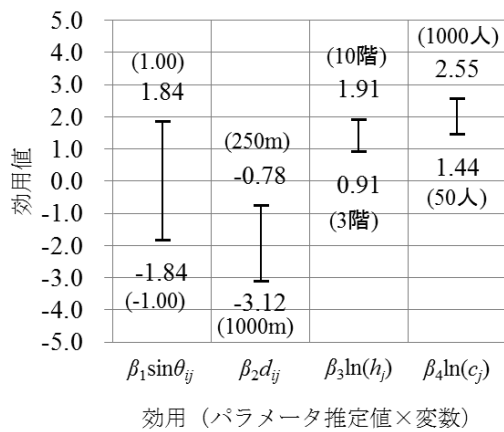
(b) 10-20 歳代



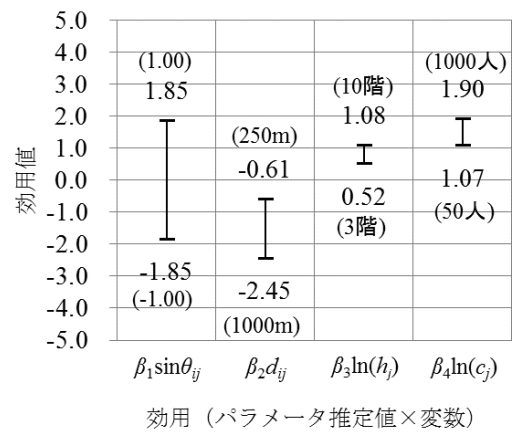
(c) 30-50 歳代



(d) 60-70 歳代



(e) 男性



(f) 女性

図 2-13 各効用の値域の幅

2.3.3 津波避難施設の効用値変化

(1) 津波避難施設の効用値比較

津波避難施設の整備を検討する際、同一敷地で配置は変わらないが建て替えにより、階数や収容人数が変更になることが想定される。津波避難施設の階数と収容人数の変化によって効用値がどのように変化するか検討することは、津波避難施設の整備を行う際に有用である。図 2-14 は、図 2-12 の「タ」の津波避難施設を例とした階数と収容人数が変化する時の等効用線である。まず効用関数 V_{ij} の値が図 2-12 「タ」の 4.32 であるときを考える。表 2-11 の全体モデルの係数 β_1 、 β_2 の値から、 $\beta_1 \sin \theta_{ij}$ 、 $\beta_2 d_{ij}$ を求める。このとき $\sin \theta_{ij}$ は 1.0、 d_{ij} は 250 (m) である。これらと (2-5) 式と表 2-11 の β_3 の値を用いて $\beta_3 \ln(h_j)$ を求める。次に階数 h_j (階) を 3 階から 15 階まで変化するときの $\beta_4 \ln(c_j)$ を求める。以上から c_j (人) を算出すると、図 2-14 の等効用線が示される。階数 5 階で収容人数 1000 人の津波避難施設 (図 2-12 の「タ」 $V_{ij}=4.32$) は、階数 6 階で収容人数 700 人、階数 11 階で収容人数 200 人の時にも同じ効用値を持つことが示された。さらに、津波避難施設の魅力度 (効用関数の値) を変化させた場合においても、階数と収容人数をどのように設定すればよいか検討することが可能である。

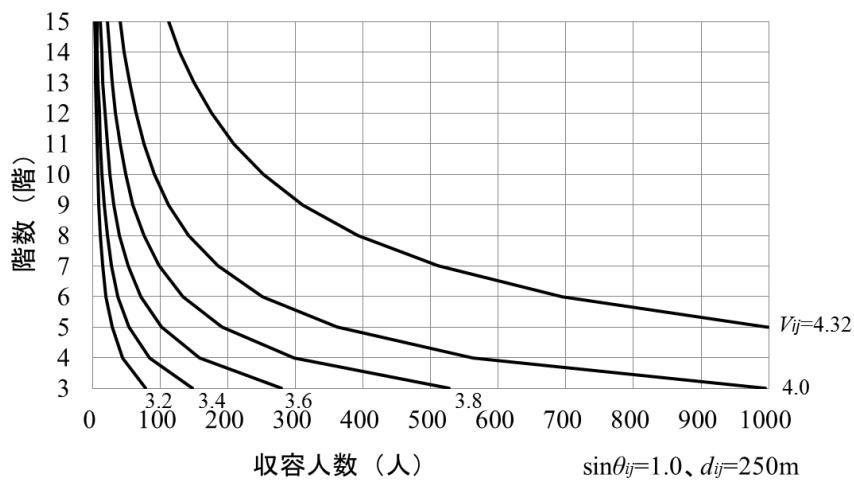
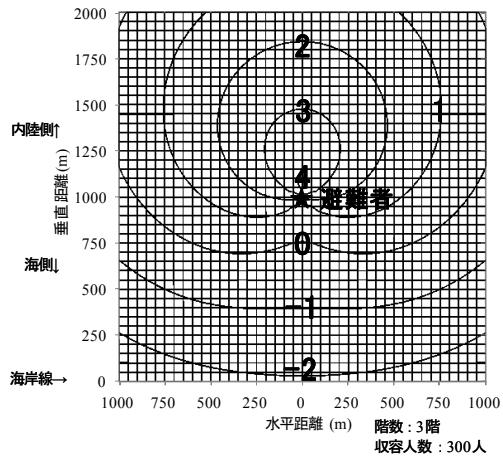


図 2-14 収容人数と階数の等効用線 (津波避難施設「タ」の例)

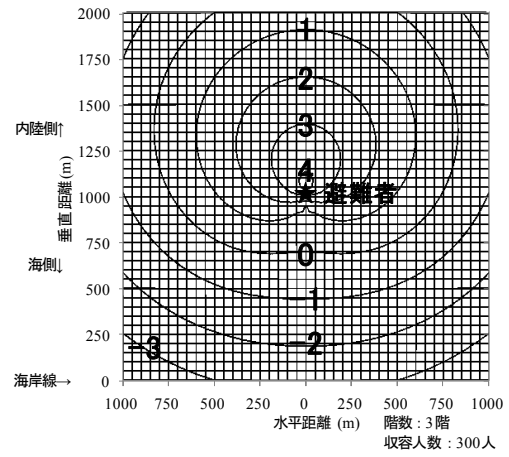
(2) 津波避難施設の等効用線図

図 2-15 に、表 2-11 で得られた各モデルのパラメータ推定値と (2-5) 式から、図 2-3 の★にいる避難者から見た津波避難施設の効用値を等高線で示す。このとき津波避難施設の階数は 3 階、収容人数は 300 人としている。図 2-15 において (a) は全体、(b) は 10-20 歳代、(c) は 30-50 歳代、(d) は 60-70 歳代、(e) は男性、(f) は女性のモデルである。ただし (a) については、避難者の年代構成及

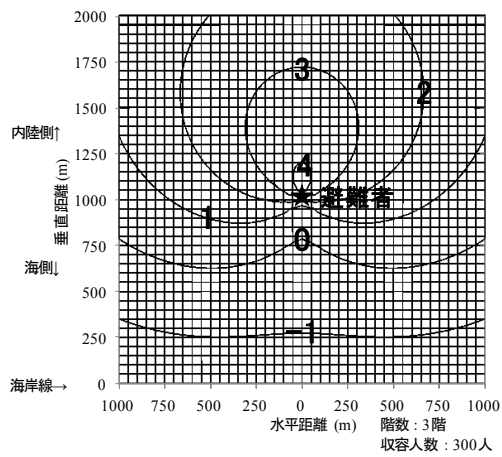
び男女比の割合が本調査の回答者と同じ時の等効用線である。各等効用線図は、避難者の位置から内陸側に効用値が高くなっており、海側や水平距離が移動すると効用値が低くなることがわかり、場所によって効用値の分布が変化する様子を示した。等効用線の分布は、図 2-15 (b) と (d) で示すように年齢層によって異なる。10-20 歳代より 60-70 歳代の方が、内陸側の津波避難施設に対して効用が高くなっている。年齢の違いによって、津波避難施設に対する魅力が異なることが示された。また 2.3.1 節でも述べたが、海から少しでも遠くに避難したいという意識が 60-70 歳代では強く働いた結果であると考えられる。また、図 2-16 は、表 2-11 で得られた各モデルのパラメータ推定値と (2-5) 式を用いて、津波避難施設から見た周辺地域の効用値を等高線で示す。このとき津波避難施設の階数は 3 階、収容人数は 300 人としている。



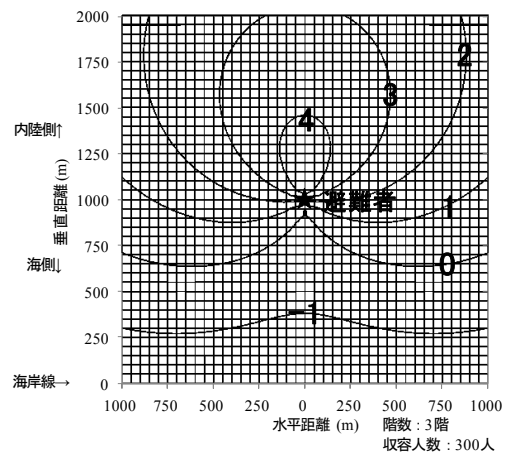
(a) 全体



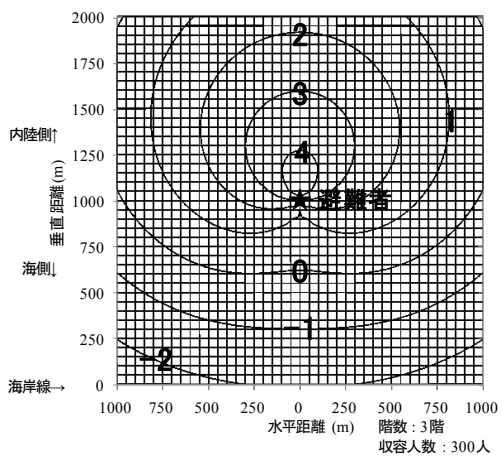
(b) 10-20 歳代



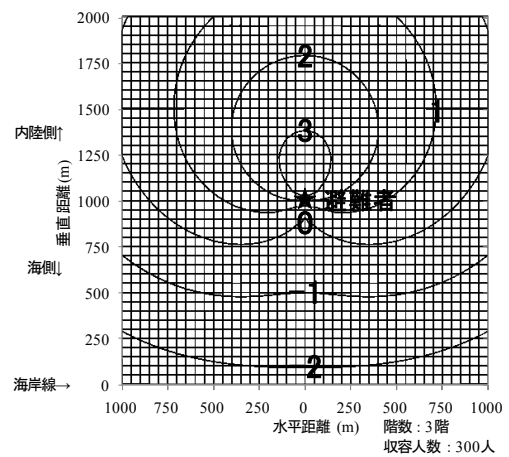
(c) 30-50 歳代



(d) 60-70 歳代

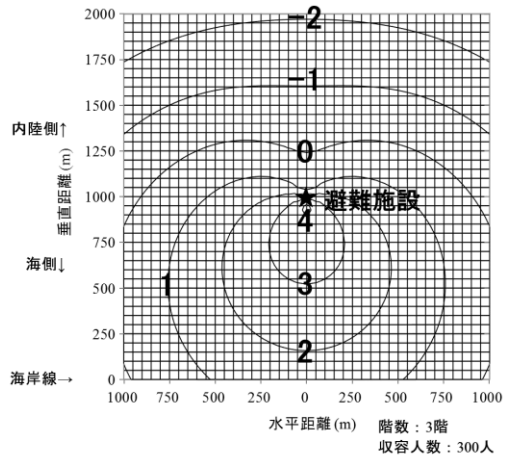


(e) 男性

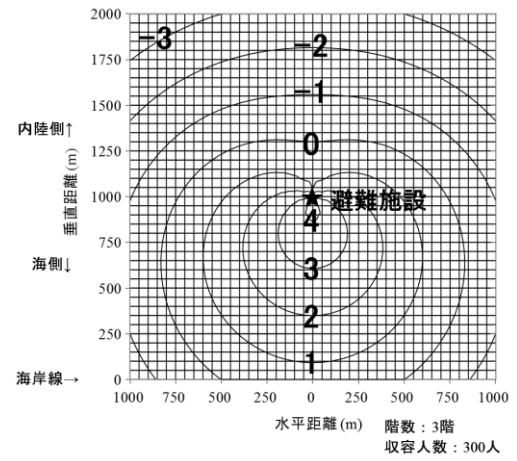


(f) 女性

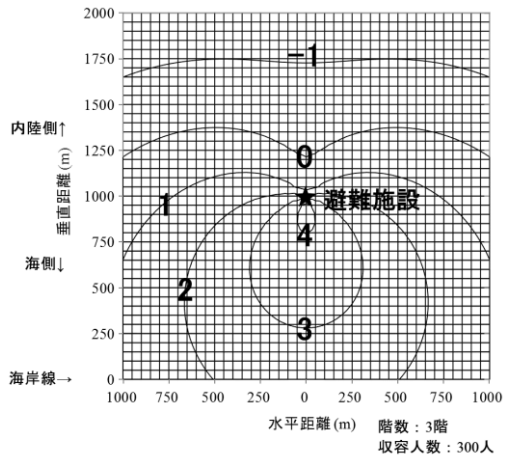
図 2-15 避難者から見た津波避難施設の効用値の等高線



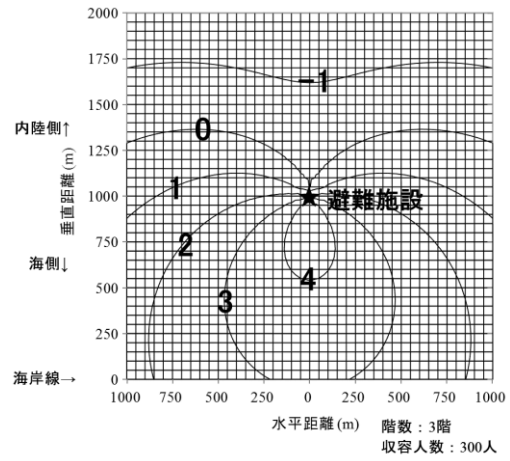
(a) 全体



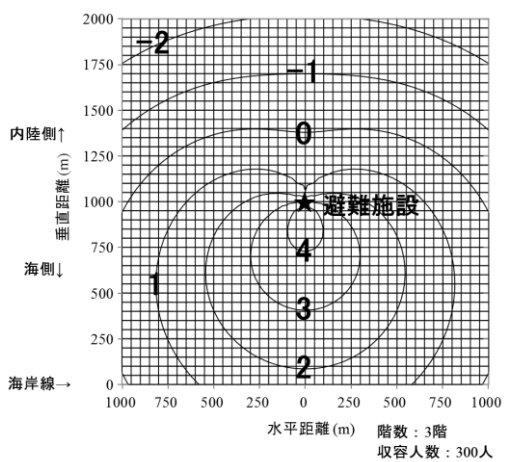
(b) 10-20 歳代



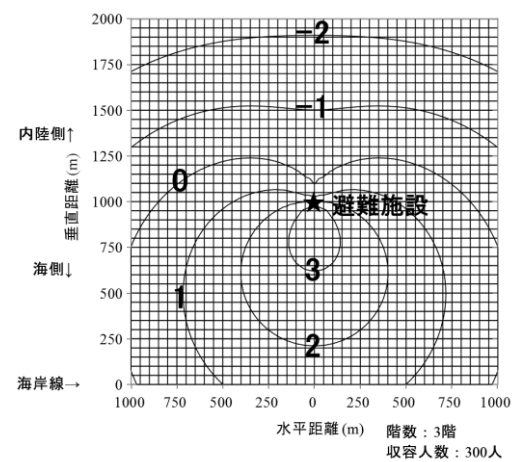
(c) 30-50 歳代



(d) 60-70 歳代



(e) 男性



(f) 女性

図 2-16 津波避難施設から見た周辺地域の効用値の等高線

2.4 まとめ

本章では、避難者の津波避難施設の選択行動について基礎的な知見を得るためパソコン画面を用いたインタビュー調査を行い、津波避難施設の選択行動特性を分析した。つぎに調査結果から沿岸地域における津波避難施設の選択行動モデルを作成し、津波避難施設の選択において影響を及ぼす要因のパラメータを推定した。各種検定による結果から示されるように「避難方向」「移動距離」「階数」「収容人数」は、津波避難施設の選択行動に影響する要因であることを明らかにした。そして、津波避難施設の選択行動に影響を与える要因の強度は年齢層によって異なり、10-20歳代は、「避難方向」と「避難開始位置から避難先までの移動距離」の影響が大きく、60-70歳代は、主に「避難方向」の影響が大きいことを確認した。

津波避難施設の等効用線を示して効用値を比較することで、津波避難施設の規模を設定する際における階数と収容人数について検討した。さらに本論で導き出したモデルを使い、津波避難施設の効用値の等高線を示すことで、効用値の平面上の広がりを実量的に示した。

第 3 章 海水浴場の訪問者 による津波避難施設の選択 行動モデル

3.1 はじめに

本章では、津波による被害が想定される神奈川県藤沢市片瀬西浜海水浴場の訪問者の大津波警報時における避難施設の選択行動を把握する。まず海水浴場の訪問者に避難先と避難先の選択理由をインタビューする。インタビュー調査の結果から、ロジットモデルを用いて選択行動のモデル化を行い、施設選択に影響を与える要因について分析する。3.2節では、インタビュー調査の対象、概要、質問内容について説明し、インタビュー調査の結果について述べる。3.3節は、多項ロジットモデルを用いて効用関数を設計し、避難者の選択行動モデルを構築する。3.4節では、本章から得られる知見をまとめる。

3.2 津波避難施設の選択行動調査

3.2.1 調査対象・調査計画

神奈川県藤沢市の海水浴場を対象としており、選定した理由は以下の通りである。

- (1) 慶長型地震または南海トラフ地震による津波襲来が予測される地域である。(参考：図 3-1)
- (2) 海岸から内陸部まで平野部が続いており一時避難場所として津波避難施設の選択が考えられる。
- (3) 毎年 300 万人前後の海水浴客が訪問している⁷。(参考：図 3-2)
- (4) 藤沢市による津波避難情報マップの提供が行われており、沿岸地域に津波避難施設が整備されている。(参考：図 3-3)
- (5) 筆者が行った藤沢市の津波防災担当者に対するヒアリング調査⁷において、津波避難施設の数が不足しているという現状があり、防災上の課題がある。

藤沢市の海水浴場は、片瀬東浜、片瀬西浜、辻堂の 3 つであるが、2013 年において藤沢市全体の海水浴客数の 7 割に当たるおよそ 210 万人の観光客が訪れている片瀬西浜海水浴場を対象地域とする。表 3-1 は、調査の概要を示したものである。図 3-4 は、藤沢市が指定している津波避難施設の位置を示している。選択肢集合は、津波避難施設への避難を想定するため海岸から片瀬山までの間にある津波避難施設とする。藤沢市の海岸には、津波避難ビルの位置を示す地図が目につきやすい位置に整備されているため、インタビュー回答者は、全ての津波避難ビルを知りうるとして調査した。インタビューを実施した調査地点は、図 3-4 で示す A～I の区域を対象にしており、それぞれの区域での被験者数が偏らないように、各区間を概ね 200m ごとに区切り、各区間でのサンプルが同数程度得られるように調査した。

⁷ 2013 年 7 月 30 日に神奈川県藤沢市防災危機管理室の津波防災担当者へのヒアリング調査を行った。この中で、津波避難施設や避難経路、避難場所、避難訓練、避難誘導、避難シミュレーション、想定している津波、住民への情報伝達、自治会での避難計画について、藤沢市としての方針・見解を伺った。

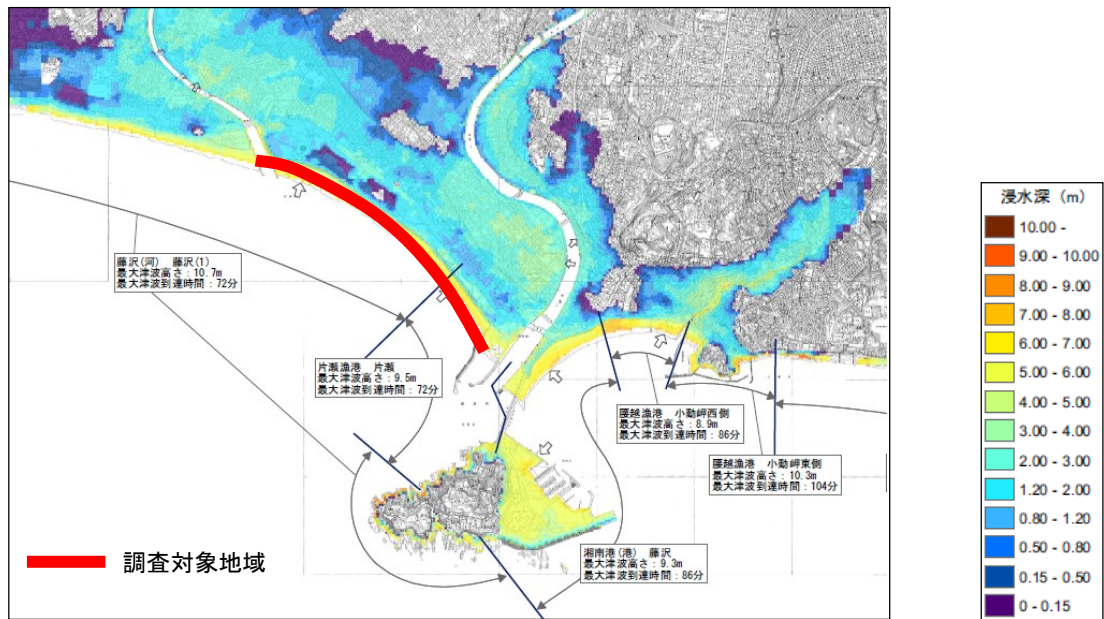


図 3-1 慶長型地震による津波浸水予測図と調査対象地域²⁾



図 3-2 海水浴場の訪問者（藤沢市）³⁾



図 3-3 片瀬西浜海水浴場と津波避難ビル（一部）⁴⁾

表 3-1 調査の概要

方法	インタビュー調査
場所	神奈川県藤沢市 片瀬西浜海水浴場
日程	2013年8月30日-2013年9月1日
時間	10時30分-16時30分
対象	海水浴場を利用している訪問者
有効回答数	241組(延べ639人) 男:290 女:241 子供:108(子供は保護者同伴の人数を算定)



図 3-4 津波避難施設地図⁸

図 3-5 にインタビュー調査の手順と質問内容を示す。はじめに、グループ人数、性別、年齢層、来場回数、津波避難訓練の参加経験の有無について質問した。つぎに、横 100cm×縦 50cm の大きさで印刷された図 3-4 の地図（スケールバーがあり、公共施設や目印となる場所が記載されている）を被験者に示す。図 3-4 には、津波避難施設の番号、階数、収容人数が記載されている。被験者の現在位置を教示して確認をしたうえで、防災放送で大津波警報が発令された状況を想定してもらい、避難先を 1 箇所選択してもらおう。さらに、その避難先を選択した理由を回答してもらおう。避難先までの所要時間は教示せず⁹、地図上の情報のみで回答をしてもらった。

⁸ 図 3-4 で示す津波避難施設地図の津波避難施設の番号、階数、収容人数は、藤沢市が作成した津波避難情報マップの内容を元に記載している。距離感覚がつかめるように、地図の左上及び右下に距離の尺度を載せた。地図中の建物配置は、ゼンリン住宅地図 2010 に基づいている。津波避難施設は、黄色の建物と番号を用いて示している。

⁹ 気象庁は、最初に発表する大津波警報や津波警報では、予想される津波の高さを「巨大」や「高い」という言葉で発表して、非常事態であることを伝える。その後、地震の規模が精度よく求められた時点で津波警報を更新し、予想される津波の高さも数値で発表する（出典：気象庁、津波警報・注意報、津波情報、津波予測について、<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/joho/tsunamiinfo.html>、(参照 2014-8-28))。また津波到達時刻は、津波の最大波が第一波とは限らず、津波到達予想時刻にずれが生じる。このため、本論のインタビュー調査でも具体的な津波高さ及び津波到達時間を提示していない。

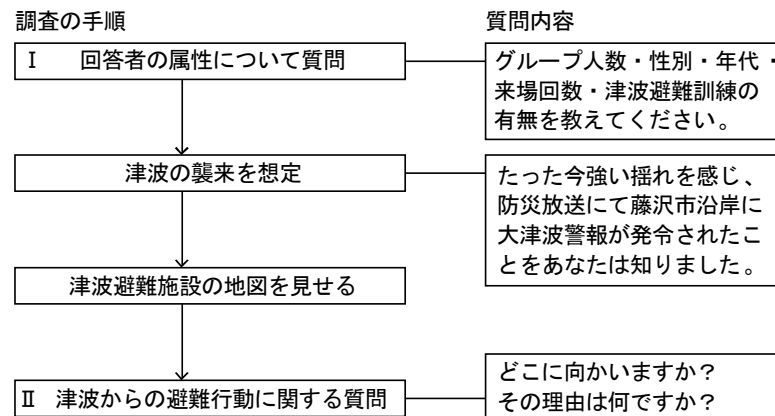


図 3-5 インタビュー調査の手順と質問内容

3.2.2 調査結果と考察

調査によって得られた観光客の津波避難行動に関する回答を整理し、避難先の選択に影響を与える要因を把握する。

(1) 回答者の属性・避難意識

図 3-6 から図 3-9 に回答者の属性について質問した結果を示す。初めての訪問者は少なかった。回答者には地元の人も含み、百回以上訪問したと回答している回答者もあり、観光客の中でも地理認知度に差があるものと考えられる。9 割の人は津波避難訓練の経験が無く、また「有る」と回答した人のほとんどが、2013 年 7 月に開催された藤沢市による避難訓練に参加したと回答している。

(2) 海岸における観光客の避難行動

図 3-10 に回答者の避難先、図 3-11 に避難先を選択した主な理由と回答数を示す。図 3-10 に示すように、8 割以上の回答者が避難先として津波避難施設を選択している。残りの回答者は、避難先として津波避難施設を選択せず、遠くの高台などを選択して回答している。避難先の選択理由は、図 3-11 に示すように、避難先までの距離が近いことを理由に挙げる回答者が多い。一方で、避難先が海から遠いからという回答者がいた。また、津波避難施設の高さや収容数についての理由も多く、観光客が津波避難施設を選択する際に重要視する要因を把握した。図 3-12 は、図 3-4 で示す津波避難施設を選択した回答者の位置と選択した避難先の対応関係を線で結んで示している。回答者の避難先は、海岸線の津波避難施設が多く選ばれる一方、海岸線から離れた内陸の施設を選択する回答者もいることが明らかになった。

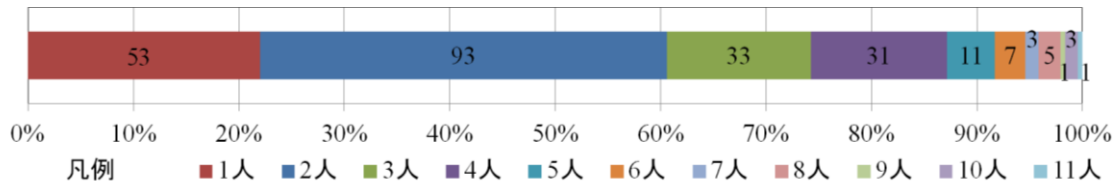


図 3-6 グループ人数 N=241

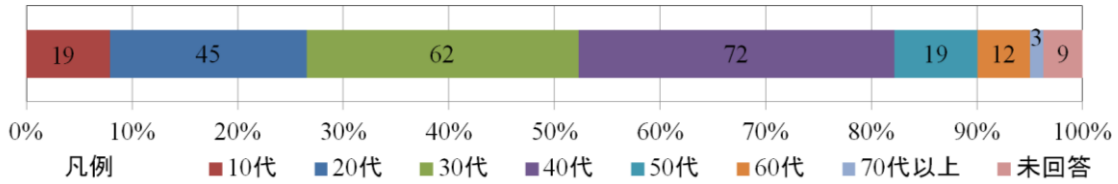


図 3-7 年齢層 N=241

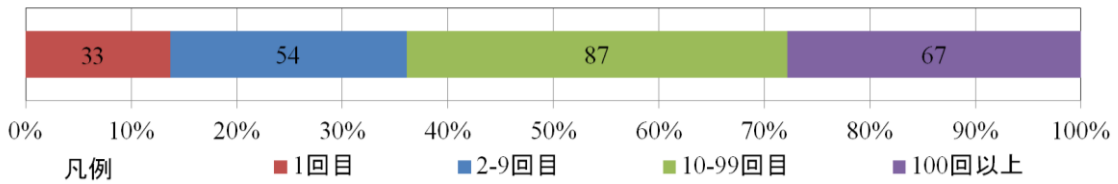


図 3-8 来場回数 N=241

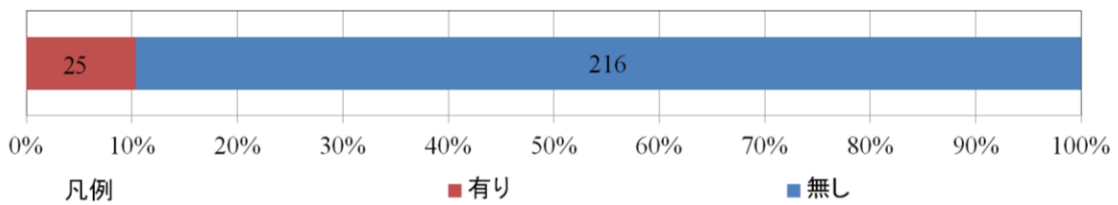


図 3-9 津波避難訓練の参加経験 N=241

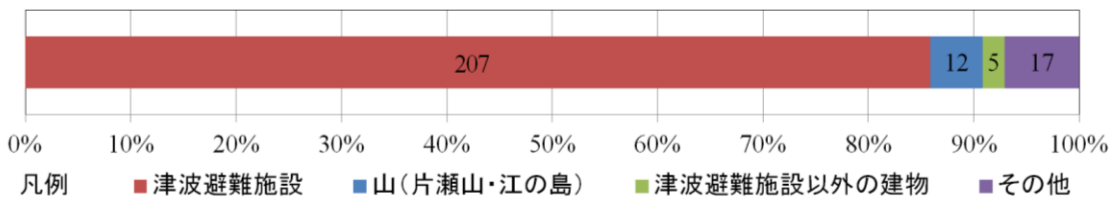


図 3-10 回答者の避難先 N=241

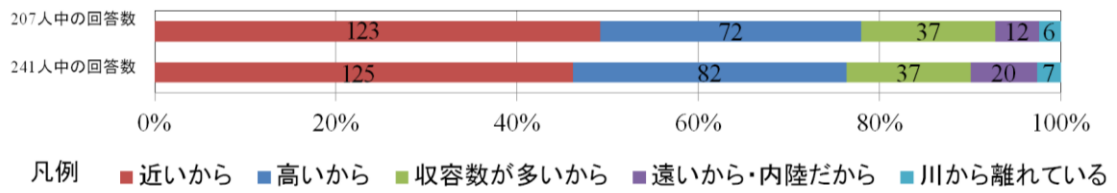


図 3-11 避難先を選択した主な理由 (1人あたり複数回答を含む)

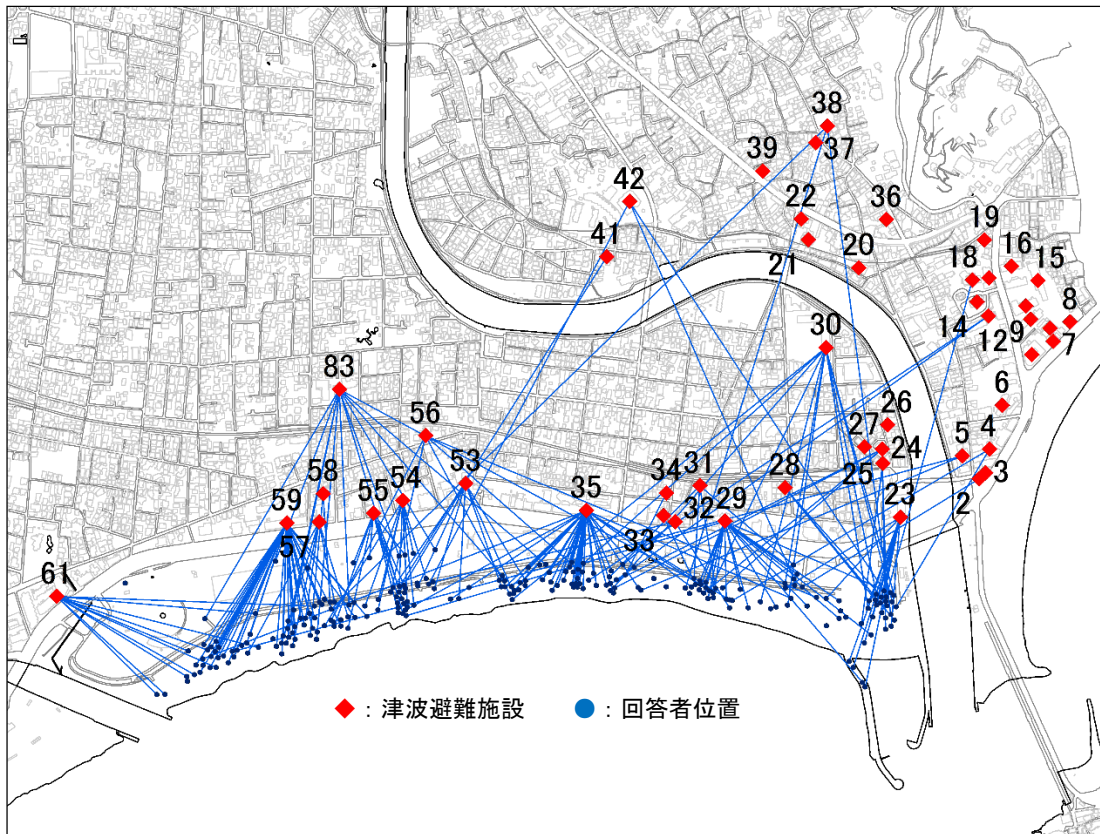


図 3-12 回答者と津波避難施設の希求線図 (N=207)

くまでの道のりの途中で境川を渡る必要のある施設を 1、渡る必要のない施設を 0 とした 0、1 データである。

避難施設の建築面積による効用 S_j

$$S_j = \beta_k \ln(s_j) \quad (3-2)$$

災害時には一度に大勢の避難者が発生する。そのような状況下で、自分が望む津波避難施設が既に満員で入れない可能性がある。したがって、選択行動に影響を与えるものとして建築面積 s_j (m^2) を考慮する。収容人数による効用と同様に効用値が非線形の場合となる特性を考慮して、建築面積に対数をとった値をモデル式に組み込んでいる。津波避難施設の地図の黄色く着色した部分を計測して建築面積の値を得た。

効用を組み込んだモデル式は、効用関数 V_{ij} として、式 (3-3) で表される。

$$V_{ij} = \beta_1 \sin \theta_{ij} + \beta_2 d_{ij} + \beta_3 r_{ij} + \beta_4 \ln(h_j) + \beta_5 \ln(c_j) + \beta_6 \ln(s_j) \quad (3-3)$$

ここで $\beta_1 \sim \beta_6$ は、 β_1 ：避難方向による心理的効用の係数、 β_2 ：避難施設までの移動距離による効用の係数、 β_3 ：避難施設に向かう道程の川の有無がもたらす効用の係数、 β_4 ：避難施設の階数による効用の係数、 β_5 ：避難施設の収容人数による効用の係数、 β_6 ：避難施設の建築面積による効用の係数とする。

3.3.1 パラメータ推定

パラメータ推定にあたり、図 3-10 で避難先を津波避難施設と回答した 207 人分のサンプルを対象に分析する。表 3-2 にパラメータの推定結果を示す。はじめに全ての効用を考慮した (3-3) 式をモデル 1 としてパラメータ推定を行った。つぎに説明変数の数を変更した場合に生じる尤度比 ρ^2 、適中率の変化を確認するためパラメータ推定を行った。モデル 2 は、モデル 1 で変数が有意でない収容人数を除いたモデルである。モデル 3 は、モデル 1 から建築面積を除いたモデルである。モデル 4 は、2 章の沿岸地域の分析の変数を用いたモデルである。但し、簡単のため距離 d_{ij} は直線距離を用いる。モデル 1 から 4 は、モデルの適合度を表す尤度比 ρ^2 の値が全てのモデルで 0.2 以上となっており、ロジットモデルとして十分高い適合度を持つと判断される⁵⁾。

次に表 3-2 の各パラメータ値について述べる。 β_1 は正の値となり、海から離れる方向ほど効用が高くなることを表している。 β_2 は負の値となり、避難者から距離が遠い施設ほど効用が低い。 β_3 は負の値となり、避難経路に川が有ると効用が低くなる。 β_4 は正の値となり津波避難施設の階数が高いほど効用が高い。 β_5 の収容人数については、モデル 1 では有意な結果が得られなかった。しかし、モデル

3 で建築面積を除いた場合には、正の値で有意な結果となった。 β_6 は正の値となり、建築面積が大きいほど効用が高い。モデル2とモデル3を比較すると、調査した際、回答者が地図から得られる情報は、収容人数は文字の表示であるが、建築面積は建物形状の図であり視覚的に捉えられるため、尤度比 ρ^2 は建築面積を考慮したモデル2の方が高くなったと考えられる。

適中率は、49個ある施設から1つを選択する際、ランダムに施設を選択すると適中率は2%程度になる。しかし表3-2で示すモデル式に当てはめて算定した場合の適中率は39%から44%であり、ランダムに施設を選択する場合と比較して十分に高い適中率である。このことから各モデルは、海水浴場の訪問者の施設選択行動を表現する上で有効なモデルであると考えられる。

表3-2のモデル1からモデル3において、モデル1のように収容人数と建築面積を同時に考慮すると収容人数が有意でなく、モデル2とモデル3のように単独に考慮すると有意な結果になった。また収容人数と建築面積は、どちらも津波避難施設の規模を表す。このため収容人数と建築面積の相関が高いことが考えられたため相関分析を行った。結果を表3-3に示す。収容人数と建築面積の相関係数は0.647となり、やや強いことが示された。

表 3-2 パラメータの推定結果

変数 ¹⁰	係数	モデル 1	モデル 2	モデル 3	モデル 4
		全ての説明変数	収容人数を除いたモデル	建築面積を除いたモデル	2章沿岸地域の分析と同じ変数
避難方向	β_1	2.85126***	2.82908***	3.68600***	2.51828***
移動距離	β_2	-0.00377***	-0.00384***	-0.00296***	-0.00544***
川の有無	β_3	-1.45955***	-1.46603***	-2.34730***	-
階数 (対数)	β_4	0.96048***	0.87821***	1.15820***	0.36386
収容人数 (対数)	β_5	-0.09358	-	0.31571***	0.30798***
建築面積 (対数)	β_6	0.83090***	0.76168***	-	-
説明変数の数		6	5	5	4
サンプル数 N		207	207	207	207
場合の数		9936	9936	9936	9936
$L(0)$		-805.61	-805.61	-805.61	-805.61
$L(\hat{\beta})$		-449.57	-450.10	-479.94	-499.87
$-2(L(0) - L(\hat{\beta}))$		712.08	711.00	651.33	611.47
ρ^2		0.442	0.441	0.404	0.380
$\bar{\rho}^2$		0.442	0.441	0.404	0.379
適中率 1		44.44%	43.48%	39.13%	40.10%
適中率 2		58.94%	58.94%	55.56%	53.62%
AIC/ N		4.402	4.397	4.685	4.868

*** : 1%有意水準、** : 5%有意水準、* : 10%有意水準

表 3-3 変数の相関係数

		避難方向	移動距離	川の有無	高さ (対数)	収容人数 (対数)	建築面積 (対数)
避難方向	Pearson の相関係数		-0.380**	0.358**	-0.149**	-0.057**	-0.054**
移動距離	Pearson の相関係数			0.547**	0.032**	0.129**	-0.021*
川の有無	Pearson の相関係数				0.144**	0.197**	-0.043**
階数 (対数)	Pearson の相関係数					0.440**	0.148**
収容人数 (対数)	Pearson の相関係数						0.647**
建築面積 (対数)	Pearson の相関係数						

** : 相関係数は 1%水準で有意 * : 相関係数は 5%水準で有意

¹⁰ 階数、収容人数、建築面積は、値を対数にしない場合を検討したが、値を対数にした場合の方が適合度（尤度比）は高かったため、値を対数にして用いた。

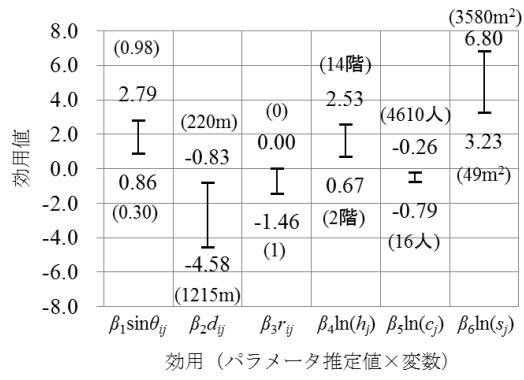
3.3.2 選択行動に影響する要因の比較

表 3-2 で示したモデルにおいて、効用値を算出するにあたり、どの説明変数が強く影響しているかを確認する。津波避難者が海岸線の中央（図 3-4 津波避難施設地図の E 地点）にいる場合を考える。表 3-2 のパラメータ推定値を用いて、津波避難者がいる位置から 49 の全ての津波避難施設の各効用値を計算し、その最大値と最小値の差（各効用の値域の幅）を比較する。表 3-2 で示す各モデルの各効用の最大値と最小値を図 3-14 に示す。値域の幅が最も大きい説明変数が、施設選択の決定に大きな影響を与えている可能性があると考えられる。なお図 3-14 で（ ）の数值は、各効用値のとき説明変数にとる値である。

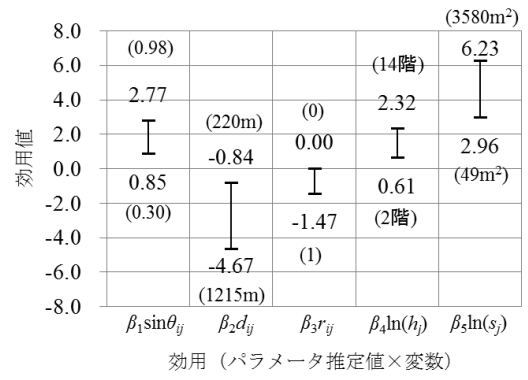
図 3-14 のモデル 1 は、避難者から津波避難施設までの距離が持つ効用 $\beta_2 d_{ij}$ の最大値と最小値の差が大きい。避難者から津波避難施設までの距離 d_{ij} が、津波避難施設の効用値を決める際に大きく影響する変数である。即ち、避難する際の重要な要因であると言える。つぎに津波避難施設の建築面積 s_{ij} による効用 $\beta_6 \ln(s_{ij})$ の最大値と最小値の差が大きく、津波避難施設の建築面積 s_{ij} も効用値を決める際に重要な変数である。

図 3-14 のモデル 2 は、津波避難施設の規模を建築面積としたモデルであり、図 3-14 のモデル 3 は、津波避難施設の規模を収容人数としたモデルである。モデル 2 は、避難者から津波避難施設までの距離 d_{ij} が一番高い値であり、建築面積 s_{ij} が二番目に高い値である。モデル 3 は、避難者から津波避難施設までの距離 d_{ij} が最も高い値であり、収容人数 c_j は最も影響が小さい値である。

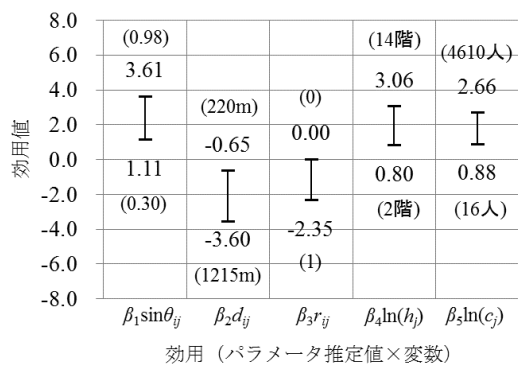
図 3-14 のモデル 4 は、2 章の図 2-13 各効用の値域の幅と比較するために作成した。図 3-14 のモデル 4 は、避難者から津波避難施設までの距離 d_{ij} が一番高い値である。2 章の図 2-13 では、避難方向 $\sin \theta_{ij}$ が一番値が高く、つぎに避難者から津波避難施設までの距離 d_{ij} が高い結果である。この違いは、調査時の津波避難施設の配置状況やインタビュー回答者と津波避難施設までの距離の条件が異なるためと考えられる。2 章の図 2-13 は、海方向にも津波避難施設があるため避難方向 $\sin \theta_{ij}$ の影響が大きくなったと考えられる。また図 3-14 のモデル 4 において、階数 h_j と収容人数 c_j が、避難者から津波避難施設までの距離 d_{ij} に比べて津波避難施設の利用行動において影響が小さいことは、2 章の図 2-13 と同様の結果である。



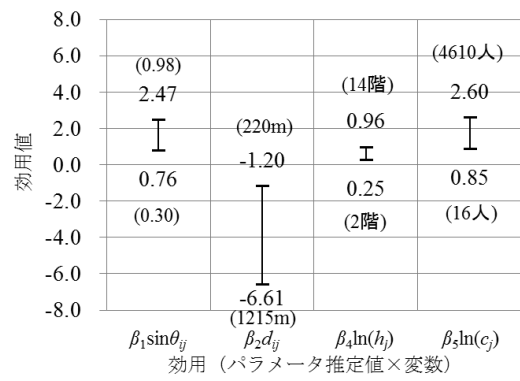
モデル 1



モデル 2



モデル 3



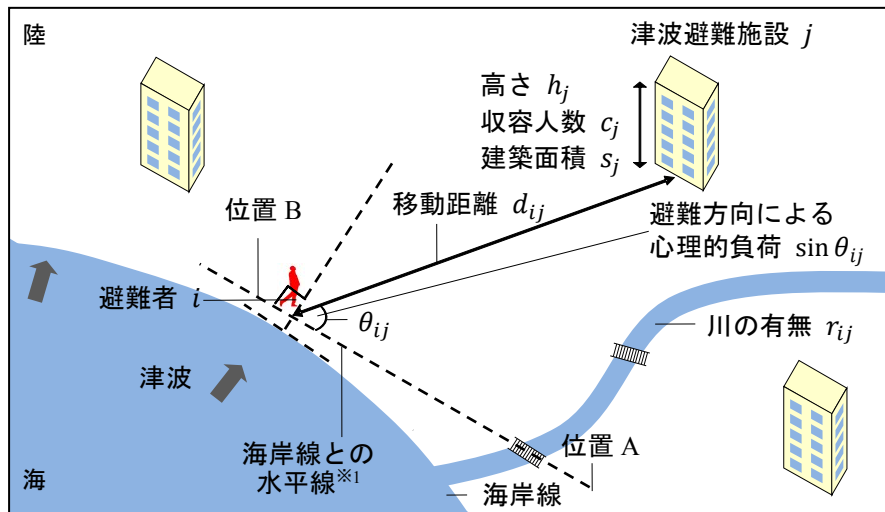
モデル 4

図 3-14 各効用の値域の幅

3.3.3 津波避難施設の効用値変化

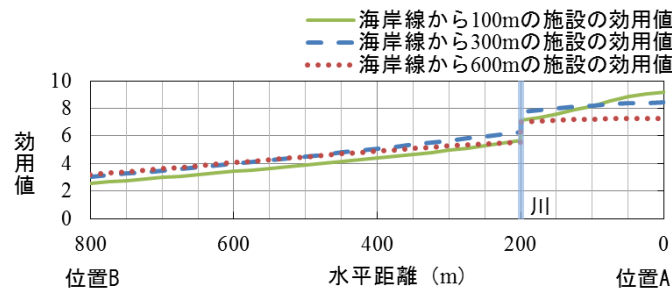
(1) 津波避難施設の効用値比較

海岸において、避難者の位置による津波避難施設の効用値の変化を考察する。図 3-15 のような海岸線において、避難者の位置が海岸線を位置 A から位置 B の方向に変化すると θ_{ij} は 90° から 0° に向かって変化する。それぞれの場所の効用値を結んだ線を図 3-16 に示す。位置 A 付近のときは、海岸線から 100 m に位置する施設の効用値が高くなる。しかし、位置 B 付近のときは、海岸線から 600 m に位置する施設の効用値が高くなる。位置 A から位置 B に移動する、即ち角度 θ_{ij} が小さくなるほど、海から近い施設よりも遠い施設の方が選択されやすい施設であることを示している。



※1: 避難者 i の場所から海岸線に垂線を引いた海岸線との平行線

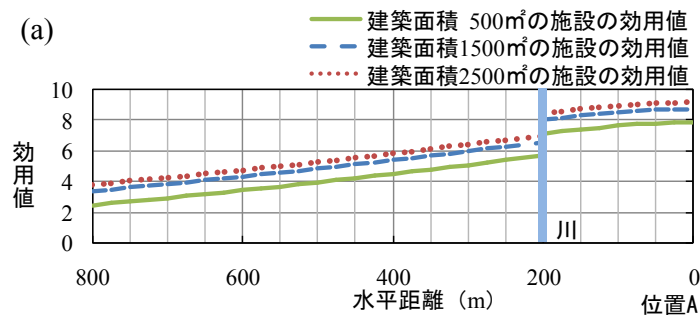
図 3-15 モデル化において考慮する変数の模式図



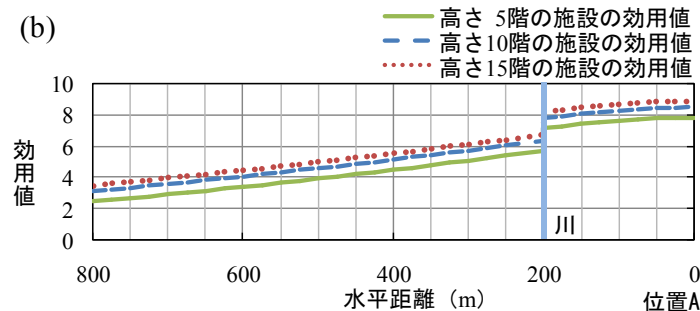
設定条件 高さ: 5 階、収容人数: 500 人、建築面積 1000m^2
川の有無: 水平距離 200m の位置に川あり

図 3-16 海岸線における効用値の変化 (モデル 1)

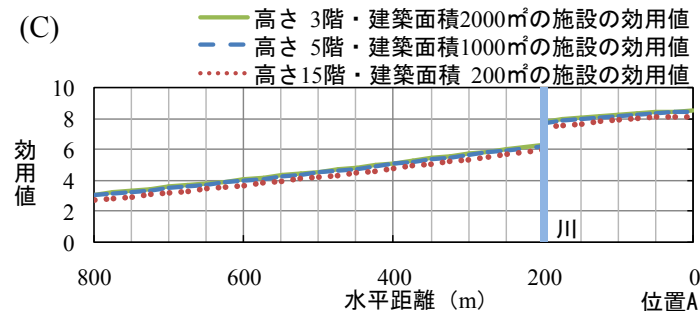
次に表 3-2 のモデル 1 を例として、図 3-17 に (a) 建築面積が変化、(b) 階数が変化、(c) 階数と建築面積が変化する場合における効用値の変化を示す。なお図 3-17 (a) から (c) は、海岸線から 300m に位置する施設である。図 3-17 (a) と (b) を比較すると「建築面積が 1000m² ずつ増えること」と「建築物の階数が 5 階分増えること」は、効用値が同程度変化することがわかり、線形の関係がみられる。また図 3-17 (c) は、避難者にとって「高さ 3 階で建築面積 2000m²」「高さ 5 階で建築面積 1000 m²」「高さ 15 階で建築面積 200 m²」の施設は同程度の効用があることを表している。



高さ：5 階（一定）、収容人数：500 人（一定）、建築面積：500 m²・1500 m²・2500 m²
川の有無：水平距離 200m の位置に川あり



高さ：5 階・10 階・15 階、収容人数 500 人（一定）、建築面積：500 m²（一定）
川の有無：水平距離 200m の位置に川あり



高さ：3 階・5 階・15 階、収容人数 500 人（一定）、建築面積 2000 m²・1000 m²・200 m²
川の有無：水平距離 200m の位置に川あり

図 3-17 高さと建築面積の変化による効用値（海岸線から 300m）（モデル 1）

(2) 津波避難施設の等効用線図

図 3-18 は、海岸にいる避難者が平面に配置される津波避難施設を選択するときの効用値分布である。表 3-2 のモデル 1 から作成した。なお、川はどこでも渡ることが可能と仮定した。避難者に近い位置ほど効用値が高くなる。川を越えて移動しなければならない範囲の効用値は小さく、選択され難い。

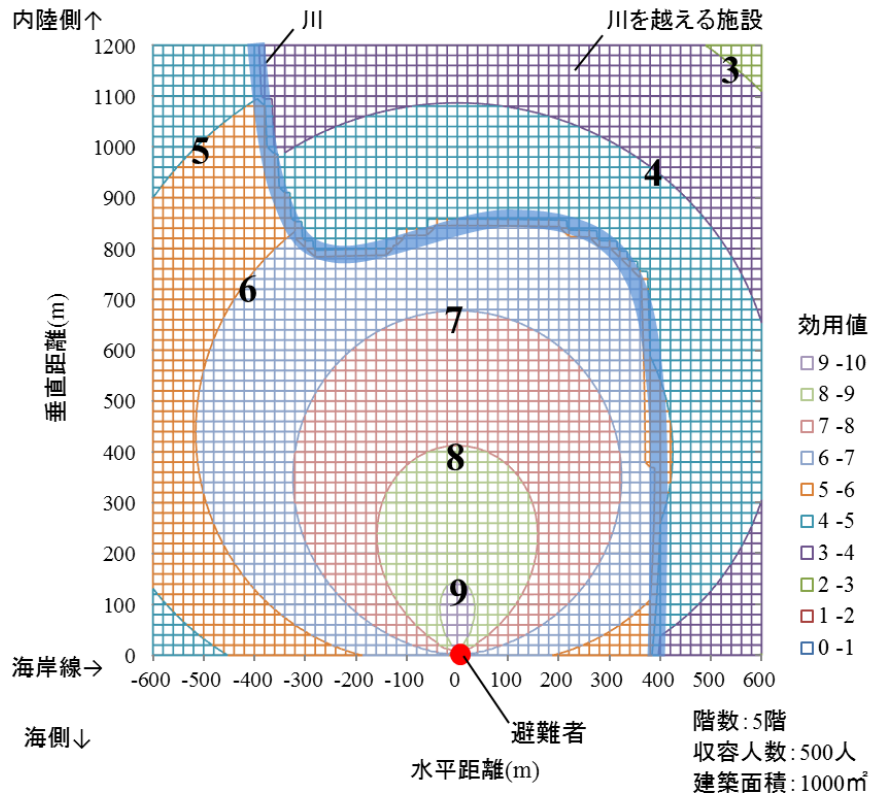


図 3-18 海岸の避難者から見た施設効用値の等高線 (モデル 1)

3.3.4 津波避難施設の避難者数推定

海水浴シーズン中に津波避難が行われたときに、どの津波避難施設にどれくらいの人々が集中するのか推計を行った。表 3-2 のモデル 2 を用いて、津波避難施設の推定避難者数を計算した。図 3-19 は、海岸線の避難者における津波避難施設の推定避難者数と混雑率である。西浜に 30,000 人、東浜に 15,000 人の訪問者がいるときの各津波避難施設の避難者数推定を示した¹¹。推定避難者数は、海岸線からの距離や津波避難施設の規模によって異なる。また推定避難者数を既設津波避難施設の収容人数で除した値を混雑率として示した。混雑率が 1.0 未満の施設がある一方で、混雑率が 5.0 以上の施設があることを確認した。

¹¹ 藤沢市の片瀬西浜と片瀬東浜の 1 日の訪問客数は、10,500 人～170,300 人 (2013 年 8 月) である。よって推定避難者数で設定した訪問者数 45,000 人は、妥当であると考えられる。(出典：藤沢市 平成 25 年の海水浴客数について)

凡例 収容人数と推定避難者数

凡例 避難施設 避難施設の混雑率
 1.0未満 1.0-5.0 5.0以上

$$\text{混雑率} = \frac{\text{推定避難者数}}{\text{収容人数}}$$

収容人数 推定避難者数

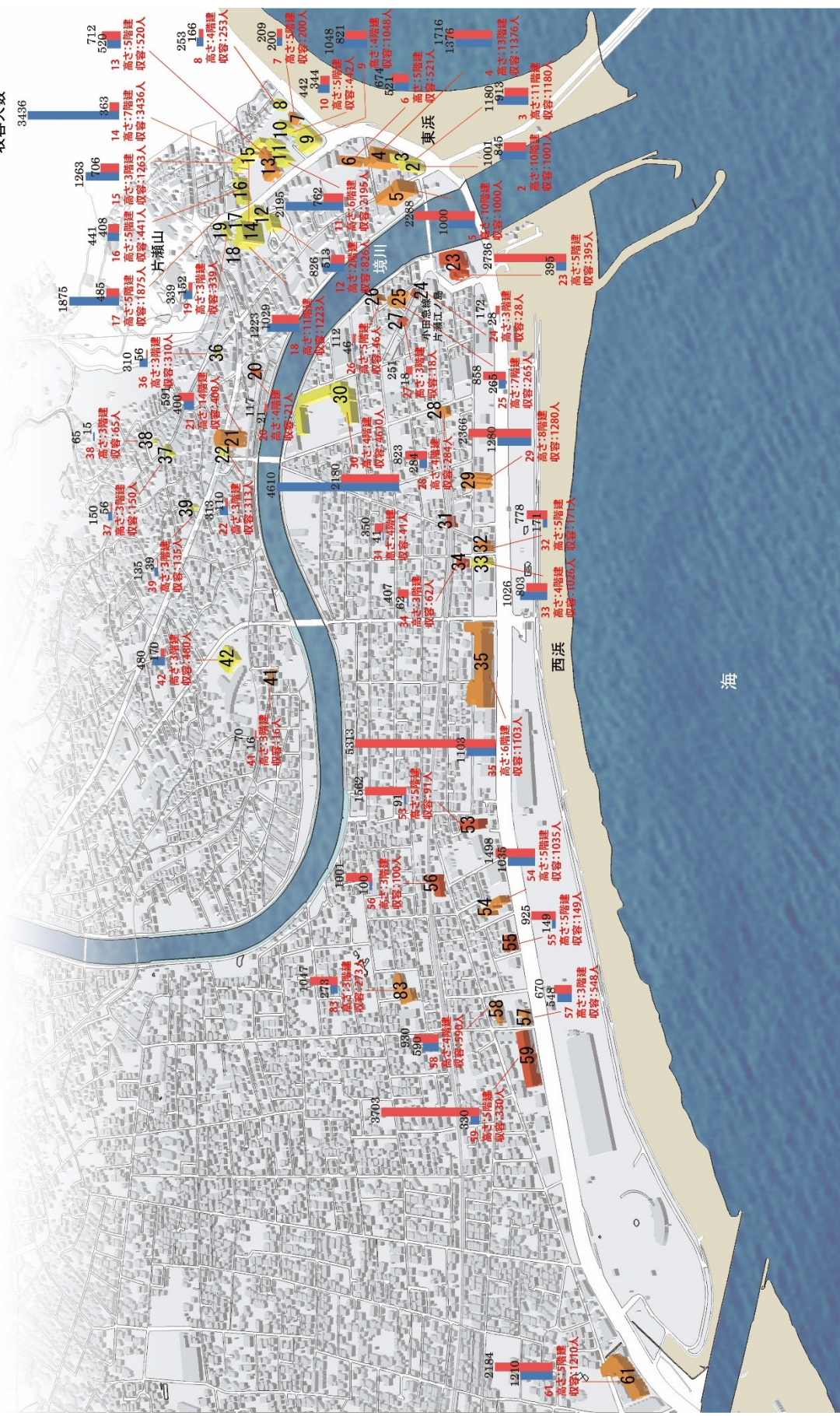


図 3-19 海岸線の避難者における津波避難施設の推定避難者数と混雑率

3.4 まとめ

本章は、津波避難施設が持つ特性を考慮して海水浴場の訪問者における津波避難施設の選択行動モデルを作成し、避難先選択に影響を与える要因を分析した。海岸の訪問者に対するインタビュー調査の結果から、訪問者は避難開始位置から近い避難先だけを選ぶのではなく、避難先の特性を考慮して避難先を選択しており、避難先の選択理由も多岐にわたることが明らかとなった。次に訪問者の避難行動について、避難方向の心理的負荷、避難者から施設までの距離、施設に行くまでの川の有無、施設の階数、施設の収容人数、施設の建築面積を考慮した施設選択モデルを作成した。

このモデルを用いると、海水浴シーズン中に津波避難が行われたときに、どの津波避難施設にどれくらいの人集中するのか推計が可能になる。推計した結果と現状の津波避難施設の配置や規模を比較して、今後の施設整備を検討することで防災計画に役立てることが可能になる。

第 4 章 東日本大震災の避難者による津波避難施設の 選択行動モデルと避難圏域

4.1 はじめに

2章では津波避難施設の選択行動特性を把握するための被験者実験を行い、3章では海水浴場の訪問者を対象に調査を行い、大津波警報が発令された際の津波避難施設の選択行動について多項ロジットモデルを用いてモデル化した。その中で、避難者の年齢、性別によって避難行動は異なり、避難する方角、避難距離、避難先となる津波避難施設の階数や収容人数といった規模は、津波避難時の避難先選択行動に影響する要因であることを確認した。

本章は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震における避難者を対象とした実際の避難行動に基づく津波避難施設の選択行動をモデル化する。さらに、従来の避難施設選択モデルと比較して、本章で提案するモデルが高い精度で避難施設選択をモデル化することができ、施設の圏域を検討可能であることを示す。具体的には、最近接の施設を選択するポロノイ図により作成されるモデルと、内閣府によるガイドラインにより示されている陸側の最近接の施設を選択とした場合の避難圏域モデルを比較する。これら2つのモデルは、避難施設配置の検討において用いられる代表的なモデルである。表4-1に本章の分析概要を示す。

表 4-1 本章の分析概要

津波避難施設の選択行動分析	分析対象地の概要、津波避難施設と避難者数、移動手段階別（徒歩・車）の避難先選択行動を示す。
モデル分析	避難方向、避難距離、津波避難施設の階数、建築面積を考慮した選択行動のモデル化、変数の相関分析、選択行動に影響する要因を比較する。
避難圏域の作成と比較	従来の施設選択モデル（最近接モデル、陸側最近接モデル）と提案モデルを比較する。

4.2 対象地域の津波被害の概要

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震は、津波を引き起こし、日本の広範に渡る沿岸地域で浸水被害をもたらした。特に宮城県仙台市南部に広がる仙台平野では、海岸線30km以上に渡って浸水区域が続き、図4-1で示すように海岸線から5km離れた地域まで浸水した場所もある。本章では、東日本大震災で津波被害を受けた沿岸地域に平野部が広がる宮城県仙台市、名取市、岩沼市を対象とする。これらの地域は、津波避難時に高台へ避難することが難しく、津波避難施設が避難先となるが多かった。表4-2に対象地域の津波による浸水被害状況の概略を示す。気象庁(2011) ¹⁾は、宮城県に津波警報（大津波）を3月11日14時49分に発表した。その後、宮城県は2011年3月12日午後に大津波警報が解除になった。仙台市(2012) ²⁾は、主な被害として人的被害、建物の浸水被害・流失、農地被害、産業施設被害、ライフライン施設の損壊、交通インフラ施設の損壊があると報告している。図4-2は、被災前の沿岸地域であり、図4-3は、被災後の沿岸地域である。

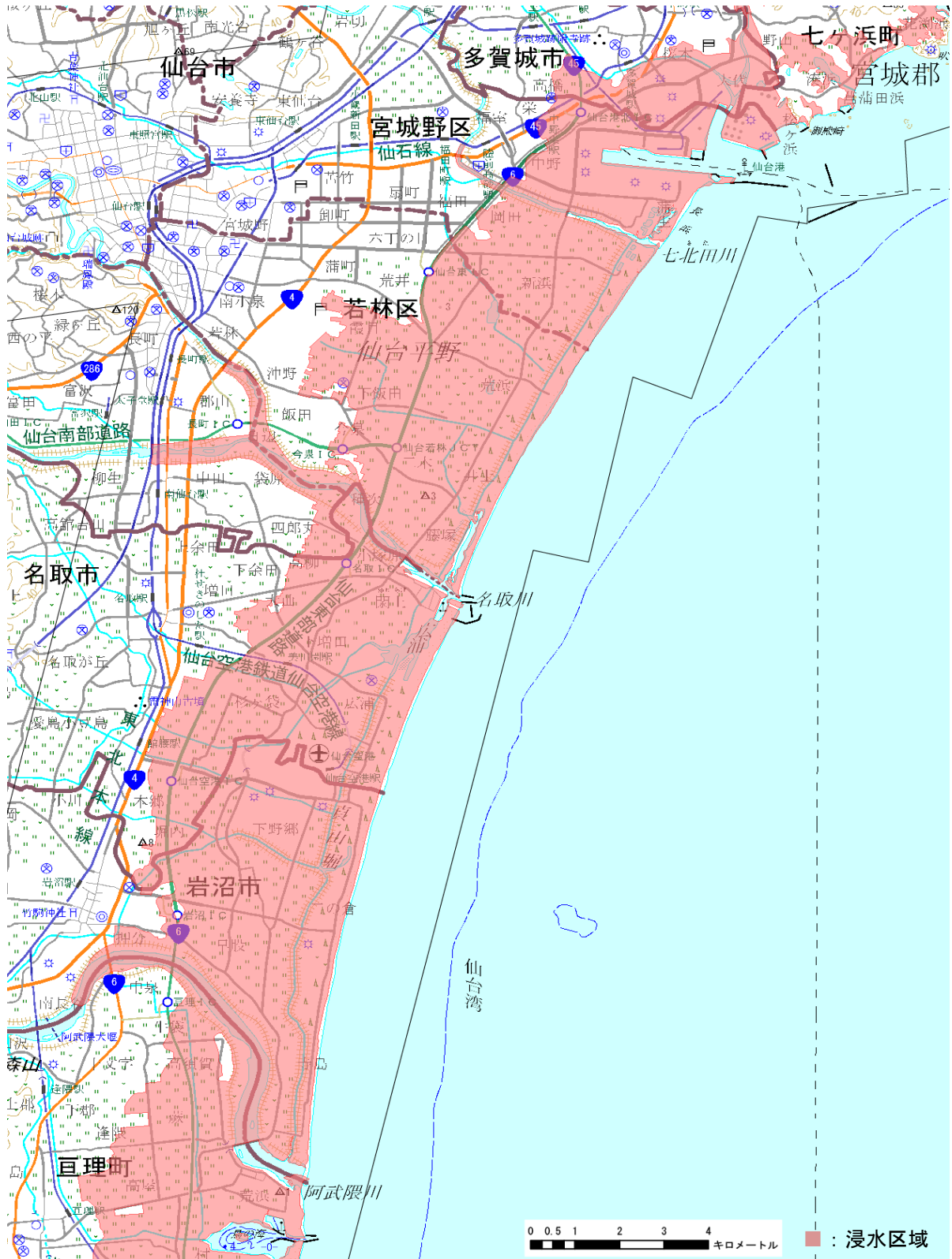


図 4-1 分析対象地の全体図³⁾

表 4-2 対象地域の津波による浸水被害

	仙台市	名取市	岩沼市
津波の高さ または最大浸水高さ	仙台港 7.2m ²⁾ (推定津波高さ)	閑上漁港 9.09m ⁴⁾ (最大浸水高)	長谷釜地区 6.9m ⁵⁾ (最大浸水高)
市町村面積 ⁶⁾	784 (km ²)	100 (km ²)	61 (km ²)
浸水面積 ⁶⁾	47 (km ²)	26 (km ²)	26 (km ²)



図 4-2 沿岸地域の写真（宮城県名取市）被災前 2007 年 5 月⁷⁾



図 4-3 沿岸地域の写真（宮城県名取市）被災後 2011 年 4 月 11 日⁷⁾

4.3 復興支援調査アーカイブによる津波避難行動

避難施設の選択行動モデルを作成するための避難行動データは、東日本大震災津波被災市街地復興支援調査⁸⁾のアーカイブ（以下、「復興支援調査アーカイブ⁹⁾」）の「避難方法（個人）」¹²であり、GIS（地理情報システム）で表示可能である。これは、国土交通省が行った東日本大震災当日の「移動行動」を世帯単位で、調査員による聞き取りによるアンケート調査により得られた避難場所のポイントデータおよび避難経路のポリラインデータである。表 4-3 は復興支援調査アーカイブの移動経路データを集計したものである。また、表 4-4 は復興支援調査アーカイブの調査概要である。津波の浸水被害を受けた青森・岩手・宮城・福島・茨城・千葉の 6 県の 49 市町村の 10,603 人の 20,503 経路が含まれる¹⁰⁾。移動目的を「津波からの避難のため」「身を寄せる避難所へ行くため」と回答した移動経路データは 12,340 経路である。避難者の年代、性別などの個人属性のほか、避難先の施設の種類の、移動目的、移動手段、避難開始時刻、避難終了時刻の情報が含まれる。対象エリアでは、1,692 経路（仙台市 529 経路、名取市 761 経路、岩沼市 402 経路）がある。安否確認や被害の情報確認のための移動など避難以外の移動を除外すると、941 移動経路（仙台市 293 経路、名取市 444 経路、岩沼市 204 経路）がある。本論では、避難施設の選択行動の分析を目的とするので、目的地が自宅などの避難施設でない移動を除外し、さらに浸水しなかった区域からの避難を除外し、さらに徒歩および車による避難のみに限定した。その結果、分析経路数は徒歩による避難 123 経路、車による避難 245 経路である。表 4-5 は本章の分析対象である。

表 4-6 は仙台市、名取市、岩沼市の避難施設一覧と避難人数である。避難施設の選択肢集合は、東日本大震災当時に仙台市¹¹⁾、名取市¹²⁾、岩沼市¹³⁾が震災前に指定していた避難施設で、海岸線からおよそ 5km までの施設、及び多くの避難者がいた仙台空港ターミナルビル、震災当日に避難施設指定となった名取市文化会館とする。図 4-4 と図 4-5 は、復興支援アーカイブの GIS データを元に、対象地域における避難者の避難開始位置と避難終了位置を線で結んだ希求線図であり、避難者と避難施設、海岸線、および浸水の範囲を示している。多くの避難者は陸方向に避難しているが、一部の避難者は海方向にも避難していること、避難者から一番近い施設に避難するとは限らないことが見られる。

¹² 復興支援調査アーカイブ避難方法（個人）は、被災区域内の対象調査区内人口に対して 1.5%～3%の抽出（被災区域の対象調査区内人口が多い市町村については 1.5%に低減）を行うこととして調査規模を設定している。20～70 歳代を対象としており、避難所・仮設住宅・自宅等へ訪問し、聞き取りを実施している。調査項目は、回答者の年代、性別、目的地の施設の種類の、移動目的、移動手段、避難開始位置、避難終了位置などが含まれる。なお、復興支援調査アーカイブは 2011 年 3 月 11 日夜までの回答者の行動である。

表 4-3 復興支援調査アーカイブの移動経路の集計 ※1: 移動目的が避難の回答者の移動経路数 ※2: 全移動経路数

県名	市区町村名	男							女							不明				総計 ※1	総計 ※2			
		20 歳代	30 歳代	40 歳代	50 歳代	60 歳代	70 歳代 以上	不明	男 集計	20 歳代	30 歳代	40 歳代	50 歳代	60 歳代	70 歳代 以上	不明	女 集計	60 歳代	70 歳代 以上			不明	不集 明計	
青森県	階上町		2	1	3	5			11	2	1	4	1	5	1		14					25	53	
	三沢市	1	3		3	1	4		12	3	3	3	3	1	3		16					28	58	
	八戸市	1	2	8	5	10	5		31	6	8	5	11	13	4		47					78	125	
岩手県	釜石市	3	15	14	26	48	42		148	1	50	20	39	49	64	2	225					373	613	
	岩泉町		4		1	3	13		21		3	8	1	13	12		37					58	93	
	久慈市	6	8	9	15	24	22		84	5	20	15	32	34	26		132					216	370	
	宮古市	8	27	18	25	45	51		174	10	34	23	47	76	58		248			2	2	424	758	
	山田町	1	8	6	9	17	14		55		14	7	9	28	20		78					133	634	
	大船渡市	27	25	41	51	103	75		322	40	41	47	79	121	107		435					757	1222	
	大槌町	15	15	20	30	22	34		136	8	18	20	28	31	40		145					281	501	
	田野畑村	1	2	1	11	13	7		35	2	5	5	13	10	9		44					79	119	
	野田村	3	6	2	11	17	18		57	4	9	8	24	21	34		100					157	230	
	洋野町	1		6	4	9	2		22	2	4	9	8	10	11		44					66	126	
	陸前高田市	19	30	53	49	72	131		354	14	78	73	77	118	180		540					894	1649	
宮城県	塩竈市	7	17	7	12	20	15		78	6	10	9	25	25	28		103					181	313	
	岩沼市	11	19	6	9	38	13		96	6	30	9	27	31	5		108					204	402	
	気仙沼市	15	47	34	49	101	117		363	29	84	76	119	196	253		757					1120	1590	
	山元町	9	12	8	8	17	25		79	8	15	15	21	48	53		160					239	378	
	七ヶ浜町	6	9	15	7	10	21		68	5	16	13	22	9	22		87					155	263	
	女川町	15	7	11	8	27	28		96	4	12	20	26	37	36		135					231	320	
	松島町	2	4	7	3	2	8		26	1	7	10	2	4	6		30					56	99	
	石巻市	20	47	69	87	160	195		578	66	138	168	225	333	384		1314				1	1	1893	2880
	仙台市	3	1	6	20	69	67	3	169	2	2	12	24	50	29	1	120			2	2	4	293	529
	多賀城市	4	5	1	3	3	4		20	2	3	7	7	5	6		30					50	91	
	東松島市	14	11	17	13	37	36		128	19	16	22	38	40	37		172					300	498	
	南三陸町	7	13	37	30	39	64		190	7	49	61	69	63	89		338					528	721	
	名取市	7	30	10	27	17	40		131	13	105	44	47	69	35		313					444	761	
利府町	2	2	2	1	4	5		16				2	5	6		13					29	55		
亘理町	13	9	13	18	33	38		124	4	16	24	39	48	28		159					283	568		

表 4-3 復興支援調査アーカイブの移動経路の集計つづき ※1：移動目的が避難の回答者の移動経路数 ※2：全移動経路数

県名	市区町村名	男							女							不明				総計 ※1	総計 ※2		
		20 歳 代	30 歳 代	40 歳 代	50 歳 代	60 歳 代	70 歳以 代上	不 明	男 集 計	20 歳 代	30 歳 代	40 歳 代	50 歳 代	60 歳 代	70 歳以 代上	不 明	女 集 計	60 歳 代	70 歳以 代上			不 明	不 集 明 計
福島県	いわき市	30	45	45	62	92	114		388	40	73	81	85	140	167		586			5	5	979	1578
	広野町	7	5	5	9	14	20		60	1	5	8	12	17	22		65					125	199
	新地町	4	5	8	16	26	19		78	4	14	11	22	28	34		113					191	292
	相馬市	19	17	15	25	23	28		127	21	17	14	25	25	58		160	3			3	290	433
	南相馬市	18	19	8	31	38	48		162	15	23	22	41	40	75		216			7	7	385	679
茨城県	ひたちなか市			1	2	10	6		19			4	5	5	3		17					36	44
	高萩市			1	2	4	5		12			4	3	2			9					21	46
	鹿嶋市	1	2		7	4	7		21		3	4	7	6	16		36					57	88
	神栖市		1		3	6	2		12		1	1	1	6	1		10					22	33
	水戸市					1	3		4			2					2					6	10
	大洗町				3	1	1		5				2	3	6		11					16	24
	東海村						1		1				2	3	1		6					7	15
	日立市				6	22	24		52			2		10	2		14					66	110
	鉾田市			1		2	2		5			1			1		2					7	11
	北茨城市	1		1	7	17	8		34	2			10	3	7		22					56	110
千葉県	旭市	9	13	12	14	22	63		133	13	10	18	23	45	71	1	181			1	1	315	510
	一宮町				1	2	3		6	1	1			9	6		17					23	41
	横芝光町			4	1	2	3		10		1	2	2	2	11		18					28	54
	匝瑳市		5	2	1	6	8		22	2	4	4	3	7	12		32					54	85
	銚子市	2	3	2	6	5	10		28		2	7	9	15	20		53					81	122
総計	312	495	527	734	1263	1469	3	4803	368	945	922	1317	1859	2099	4	7514	3	3	17	23	12340	20503	

表 4-4 復興支援調査アーカイブの調査概要⁸⁾

調査趣旨	各県において策定される津波避難計画ガイドライン等への活用とともに、各市町村における防災計画や避難計画、復興市街地の具体的な計画や設計において活用するため、避難実態の聞き取り調査を実施した。
調査対象市町村	津波の浸水被害を受けた、青森・岩手・宮城・福島・茨城・千葉の計 6 県の内、太平洋側に位置する 62 市町村を対象とし、49 市町村において調査票を回収した。
調査対象	サンプル回収数：10,603 人
調査時期	2011 年 9 月－2011 年 12 月
調査方法	調査員により、避難所・仮設住宅・自宅等へ訪問し、聞き取り調査を実施（ヒアリング方式）
調査項目	(1) 津波に関する認識、警報等の情報入手 (2) 避難をしたか、しなかったか (3) 発災から当日の日没までの行動（避難ルート、移動手段、避難時の状況、避難先など）

表 4-5 本章の分析対象

対象地	仙台市・名取市・岩沼市（宮城県の仙台平野）
対象者	津波避難者 (移動手段：徒歩／車、浸水区域から移動した人、目的地：避難施設、移動目的：津波避難のため、身を寄せる避難所へ行くため)
分析経路数	徒歩：123 経路、車 245 経路 (計 368 経路、計 338 人、経路には 2 重避難者を含む)

表 4-6 仙台市・名取市・岩沼市の避難施設一覧と避難人数

No	施設名称	徒歩の 避難経路数	車の 避難経路数	No	施設名称	徒歩の 避難経路数	車の 避難経路数
1	中野栄小学校	0	0	20	名取市民体育館	0	7
2	中野中学校	0	0	21	増田中学校	0	8
3	福室小学校	0	0	22	名取市文化会館	1	8
4	高砂中学校	24	19	23	名取市斎場	0	0
5	鶴巻小学校	0	0	24	下増田公民館	1	2
6	中野小学校	6	6	25	下増田小学校	6	6
7	岡田小学校	4	16	26	宮城農業高校	0	0
8	七郷小学校	1	9	27	仙台空港ターミナル	17	20
9	七郷中学校	1	16	28	北釜集会所	0	1
10	荒浜小学校	3	1	29	相野釜公会堂	0	0
11	六郷小学校	0	2	30	矢野目地区中央集会所	2	3
12	六郷中学校	0	4	31	藤曾根生活センター	0	0
13	東六郷小学校	2	13	32	市民会館中央公民館	0	14
14	関上小学校	11	18	33	玉浦中学校	10	12
15	関上中学校	20	24	34	総合体育館	0	0
16	関上公民館	10	14	35	玉浦小学校	2	15
17	名取北高校	1	5	36	二野倉生活センター	1	0
18	増田公民館	0	1	37	寺島公会堂	0	0
19	増田小学校	0	1	38	蒲崎公会堂	0	0

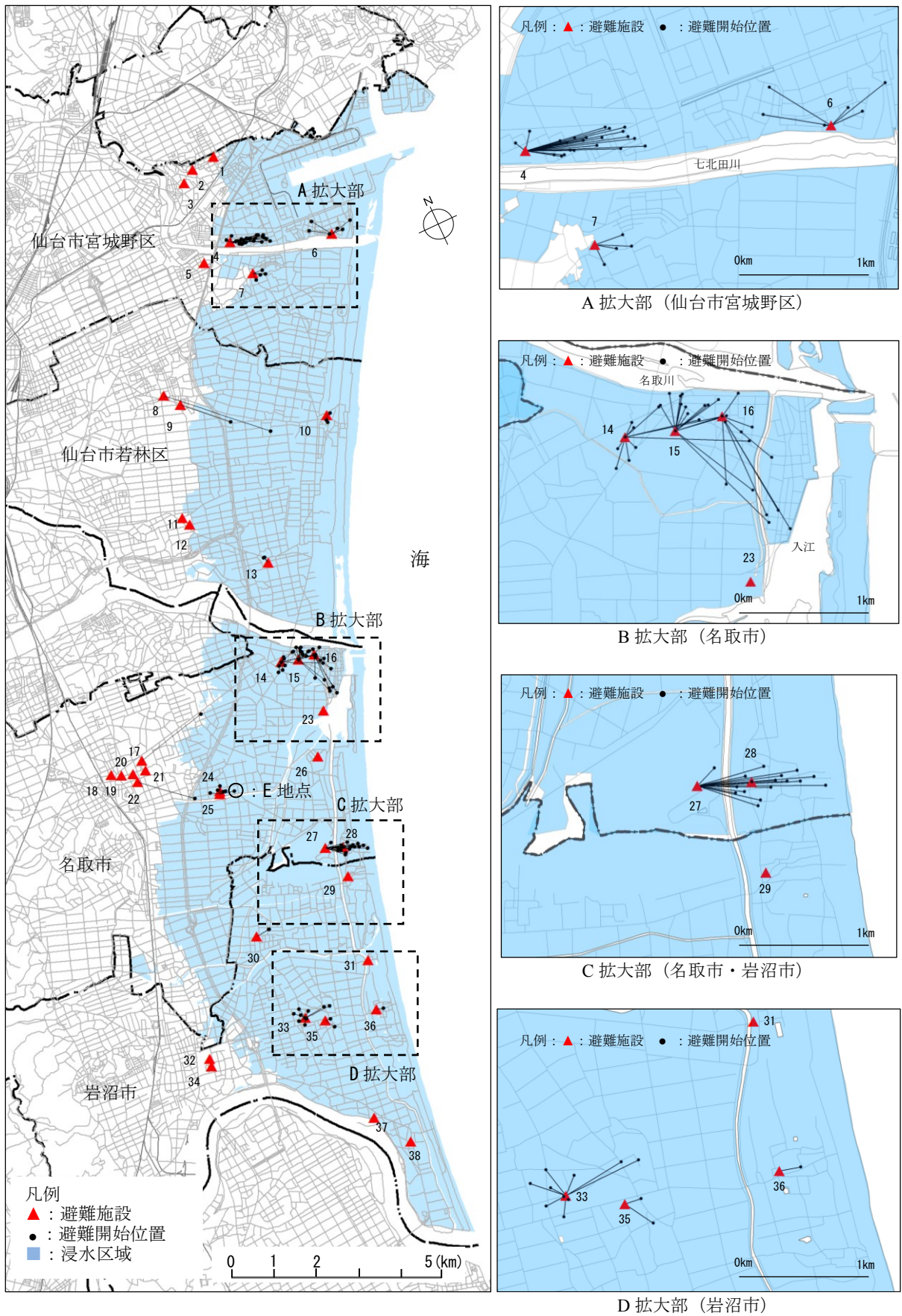


図 4-4 徒歩による避難者の避難開始位置と選択した避難施設への希求線図

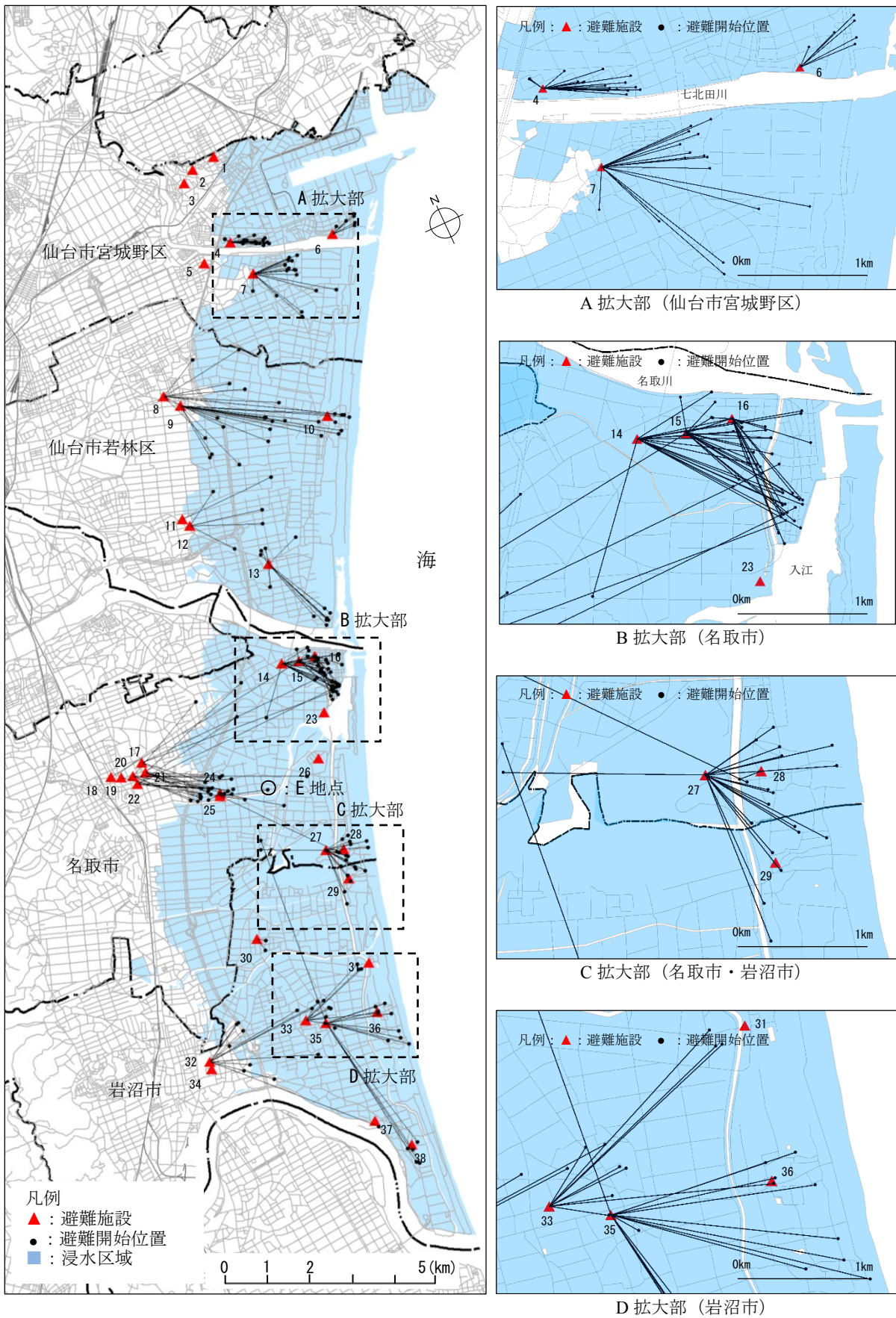


図 4-5 車による避難者の避難開始位置と選択した避難施設への希求線図

4.4 選択行動モデル

本節では、図 4-6 で示すように津波避難施設の選択は、「避難者の避難する方向」「避難者から避難施設までの移動距離」「避難施設の階数」「避難施設の建築面積」「避難施設の標高」の 5 効用を用いてモデル化する。5 効用のうち 3 効用は 2 章で説明した「避難方向による心理的効用」「避難施設までの移動距離による効用」「避難施設の階数による効用」を用いる。「避難施設の建築面積による効用」は 3 章で説明した。「避難施設の建築面積」と「避難施設の標高」は国土地理院の基盤地図情報を用いる。避難施設の標高による効用は以下で表される。

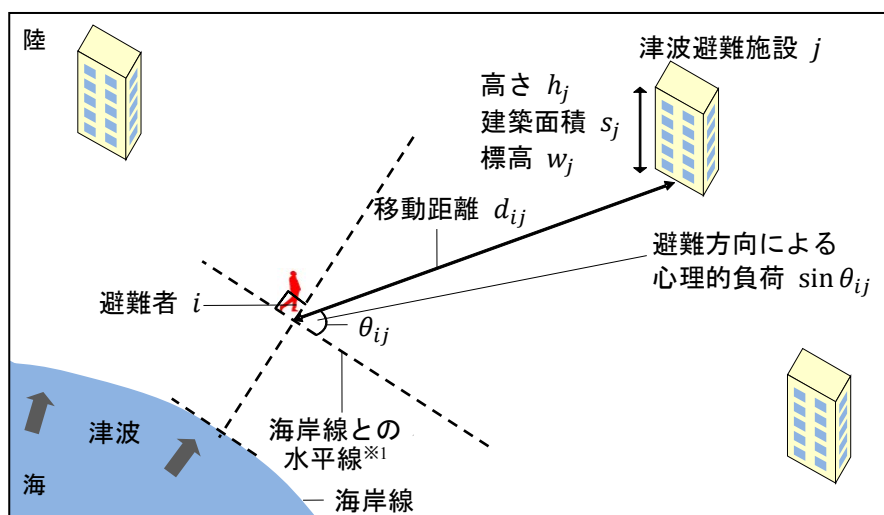
避難施設の標高による効用 W_j

$$W_j = \beta_k w_j \quad (4-1)$$

津波から避難するとき、標高の高い場所に避難することが重要であると考えられる。そのため、避難施設の標高 w_j (m) を考慮する。 β_k は係数である。

効用を組み込んだモデル式は、効用関数 V_{ij} として、式 (4-2) で表される。多項ロジットモデルで効用関数のパラメータ推定を行う。ここで $\beta_1 \sim \beta_5$ は、 β_1 : 避難方向による心理的効用の係数、 β_2 : 避難施設までの移動距離による効用の係数、 β_3 : 避難施設の階数による効用の係数、 β_4 : 避難施設の建築面積による効用の係数、 β_5 : 避難施設の標高による効用の係数とする。

$$V_{ij} = \beta_1 \sin \theta_{ij} + \beta_2 d_{ij} + \beta_3 \ln(h_j) + \beta_4 \ln(s_j) + \beta_5 w_j \quad (4-2)$$



※1：避難者 i の場所から海岸線に垂線を引いた海岸線との平行線

図 4-6 モデル化において考慮する変数の模式図

4.4.1 パラメータ推定

表 4-7 に徒歩による避難者のパラメータの推定結果、表 4-8 に車による避難者のパラメータの推定結果を示す。はじめに全ての効用を考慮した式 (4-2) をモデル 1 としてパラメータ推定を行った。つぎにモデル 2 とモデル 3 は、説明変数の数を変更した場合に生じる尤度比 ρ^2 、適中率の変化を確認するため、モデル 1 で有意でなかった説明変数を 1 つ除いたモデルである。モデル 4 は、説明変数を 3 つにしたモデルである。表 4-9、表 4-10 に示すように階数と建築面積に相関関係が見られたため、モデル 4 は建築面積を除いたモデル、モデル 5 は階数を除いたモデルである。モデル 1 から 5 は、モデルの適合度を表す尤度比 ρ^2 の値が全てのモデルで 0.2 以上を満たすため、ロジットモデルとして十分高い適合度を持つと判断される¹⁴⁾。

つぎにモデル 1~5 を比較する。表 4-7 の徒歩による避難者のパラメータの推定結果では、説明変数を「避難方向」「移動距離」「階数」としたモデル 4 が、モデル 5 と比較して、高い尤度比 ρ^2 で避難施設の選択行動が示された。一方、表 4-8 の車による避難者のパラメータの推定結果では、説明変数を「避難方向」「移動距離」「建築面積」としたモデル 5 が、モデル 4 と比較して、高い尤度比 ρ^2 と適中率で避難施設の選択行動が示された。

表 4-7 徒歩による避難者のパラメータ推定結果

変数	係数	モデル 1	モデル 2	モデル 3	モデル 4	モデル 5
避難方向	β_1	1.87095***	1.81716***	1.76652***	1.78774***	1.65652***
移動距離	β_2	-0.00581***	-0.00566***	-0.00581***	-0.00591***	-0.00493***
階数 (対数)	β_3	2.22327	-	3.43445**	4.14351***	-
建築面積 (対数)	β_4	0.58891	1.27605***	0.26116	-	1.14003***
標高	β_5	-0.42672	-0.69332**	-	-	-
説明変数の数		5	4	4	3	3
サンプル数 N		123	123	123	123	123
選択肢の数		地域による	地域による	地域による	地域による	地域による
場合の数		1580	1580	1580	1580	1580
$L(0)$		-322.57	-322.57	-322.57	-322.57	-322.57
$L(\hat{\beta})$		-45.72	-46.54	-46.71	-46.90	-51.16
$-2(L(0) - L(\hat{\beta}))$		553.70	552.06	551.73	551.34	542.82
ρ^2		0.858	0.856	0.855	0.855	0.841
$\bar{\rho}^2$		0.858	0.855	0.855	0.854	0.841
適中率 1		85.37%	85.37%	84.55%	85.37%	85.37%
適中率 2		95.12%	94.31%	94.31%	94.31%	94.31%
AIC/ N		0.825	0.822	0.824	0.811	0.881

*** : 1%有意水準、** : 5%有意水準、* : 10%有意水準

表 4-8 車による避難者のパラメータ推定結果

変数	係数	モデル 1	モデル 2	モデル 3	モデル 4	モデル 5
避難方向	β_1	2.02246***	1.96420***	1.94627***	1.88473***	1.95832***
移動距離	β_2	-0.00110***	-0.00111***	-0.00116***	-0.00112***	-0.00116***
階数 (対数)	β_3	-0.32696	-	0.06816	1.23229***	-
建築面積 (対数)	β_4	0.76200***	0.68791***	0.68169***	-	0.69768***
標高	β_5	-0.19800**	-0.16420*	-	-	-
説明変数の数		5	4	4	3	3
サンプル数 N		245	245	245	245	245
選択肢の数		地域による	地域による	地域による	地域による	地域による
場合の数		3054	3054	3054	3054	3054
$L(0)$		-577.80	-577.80	-577.80	-577.80	-577.80
$L(\hat{\beta})$		-314.92	-315.23	-316.96	-329.79	-316.98
$-2(L(0) - L(\hat{\beta}))$		525.76	525.13	521.67	496.01	521.63
ρ^2		0.455	0.454	0.451	0.429	0.451
$\bar{\rho}^2$		0.454	0.454	0.451	0.429	0.451
適中率 1		60.41%	59.59%	58.37%	53.88%	58.37%
適中率 2		75.51%	75.51%	77.96%	75.92%	77.55%
AIC/ N		2.612	2.606	2.620	2.717	2.612

*** : 1%有意水準、** : 5%有意水準、* : 10%有意水準

適中率 1 は効用が 1 番目に高い施設、適中率 2 は効用が 2 番目に高い施設まで含めて算定した結果である。選択肢の数は、仙台市 13、名取市 15、岩沼市 11 (岩沼市内の避難施設と仙台空港ターミナル) とした。

表 4-9 徒歩による避難者の変数の相関係数

		避難方向	移動距離	高さ (対数)	建築面積 (対数)	避難先 標高
避難方向	Pearson の相関係数		0.094**	0.408**	0.247**	0.408**
移動距離	Pearson の相関係数			0.131**	0.081**	0.051*
階数 (対数)	Pearson の相関係数				0.639**	-0.115**
建築面積 (対数)	Pearson の相関係数					0.087**
避難先標高	Pearson の相関係数					

** : 相関係数は 1%水準で有意 * : 相関係数は 5%水準で有意

表 4-10 車による避難者の変数の相関係数

		避難方向	移動距離	高さ (対数)	建築面積 (対数)	避難先 標高
避難方向	Pearson の相関係数		0.014	0.394**	0.254**	0.300**
移動距離	Pearson の相関係数			0.174**	0.093**	0.085**
階数 (対数)	Pearson の相関係数				0.679**	-0.068**
建築面積 (対数)	Pearson の相関係数					0.112**
避難先標高	Pearson の相関係数					

** : 相関係数は 1%水準で有意 * : 相関係数は 5%水準で有意

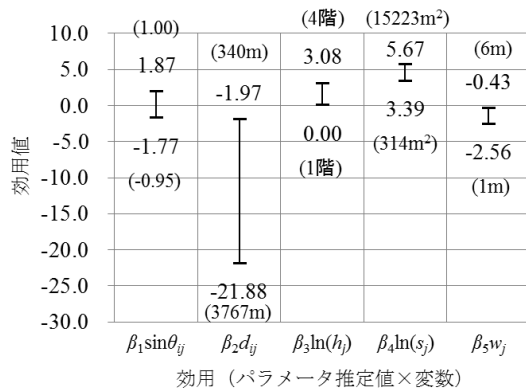
4.4.2 選択行動に影響する要因の比較

徒歩による避難者と車による避難者において、津波避難施設の選択行動にどの説明変数が強く影響しているか確認する。津波避難者が津波浸水区域（図 4-4 および図 4-5 の名取市 E 地点）にいる場合を考える。表 4-7 の徒歩による避難者と表 4-8 の車による避難者のパラメータ推定値を用いて、津波避難者がいる位置からの津波避難施設の各効用値を計算し、その最大値と最小値の差（各効用の値域の幅）を比較する。表 4-7 の徒歩による避難者の各効用の最大値と最小値を図 4-7 に示す。表 4-8 の車による避難者の各効用の最大値と最小値を図 4-8 に示す。値域の幅が最も大きい説明変数が、施設選択の決定に大きな影響を与えている可能性があると考えられる。図 4-7 と図 4-8 で () の数値は、各効用値のとき説明変数がとる値である。図 4-7 と図 4-8 のモデル 3 は、2 章の図 2-13 各効用の値域の幅と比較するために作成した。

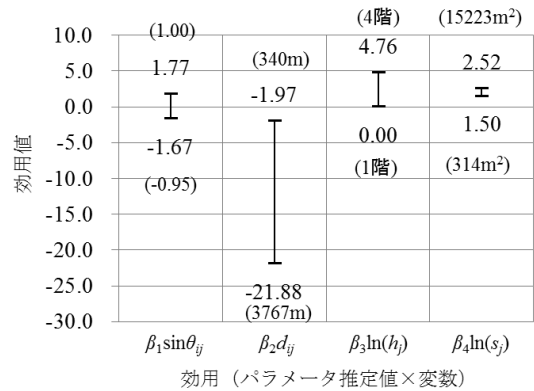
図 4-7 のモデル 1 は、避難者から津波避難施設までの距離が持つ効用 $\beta_2 d_{ij}$ の最大値と最小値の差が大きい。徒歩の避難者は、津波避難施設までの距離 d_{ij} が津波避難施設の効用値を決める際に重要な変数である。一方、図 4-8 のモデル 1 は、避難方向 $\beta_1 \sin \theta_{ij}$ の最大値と最小値の差が大きい。車の避難者は、避難方向 $\sin \theta_{ij}$ が津波避難施設の効用値を決める際に重要な変数である。

図 4-7 の徒歩による避難者と図 4-8 の車による避難者を比較する。徒歩による避難者は、車による避難者より、避難者から津波避難施設までの距離が持つ効用 $\beta_2 d_{ij}$ の最大値と最小値の差が大きい。これは、徒歩による避難者の避難した距離が車による避難者に比較して短いためと考えられる。

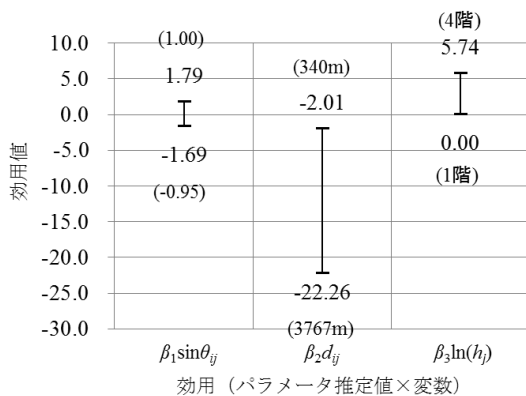
図 4-7 の徒歩による避難者のモデル 3 と 2 章の図 2-13 (a) 全体を比較する。図 4-7 の徒歩による避難者のモデル 3 は、図 2-13 (a) 全体と同様に避難施設の規模による要因（階数、建築面積または収容人数）よりも、津波避難施設までの距離 d_{ij} による要因が津波避難施設の効用値を決める際に重要な変数である。図 4-8 の車による避難者のモデル 3 と 2 章の図 2-13 (a) 全体を比較した場合では、図 4-8 の車による避難者のモデル 3 は、図 2-13 (a) 全体と同様に避難方向 $\sin \theta_{ij}$ と津波避難施設までの距離 d_{ij} による要因が津波避難施設の効用値を決める際に重要な変数である。



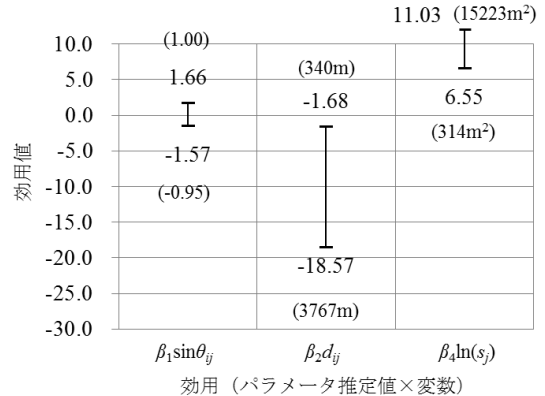
モデル 1



モデル 3

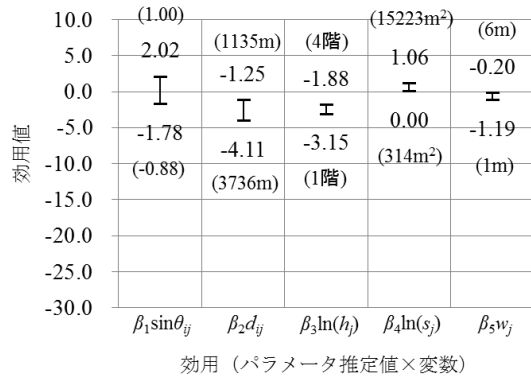


モデル 4

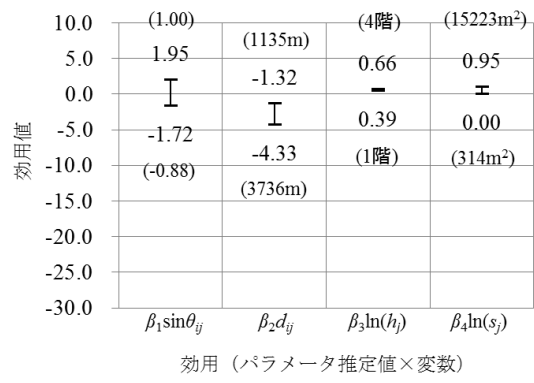


モデル 5

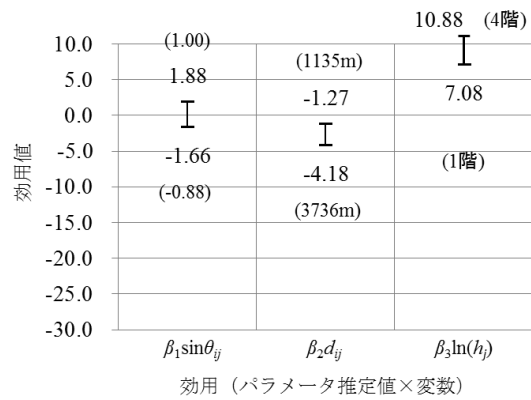
図 4-7 徒歩による避難者の各効用の値域の幅



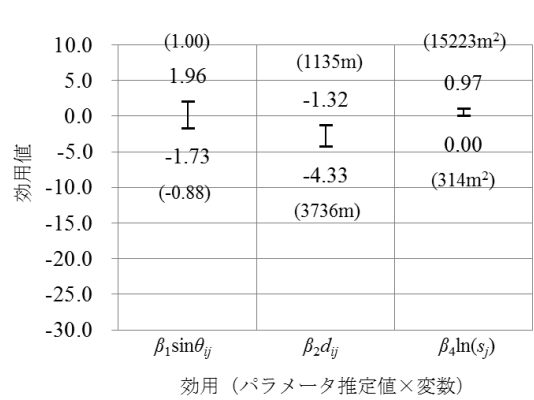
モデル 1



モデル 3



モデル 4



モデル 5

図 4-8 車による避難者の各効用の値域の幅

4.5 避難圏域図の作成と比較

作成したモデルから避難圏域を作成し、最近接避難圏域、陸側最近接避難圏域といった既往研究やこれまでガイドラインで示されてきた圏域との比較を行う。

(a) ボロノイ図による最近接避難圏域

ボロノイ図は、利用者の施設選択と施設の圏域を示すための図である。利用者はもっとも近い場所にある施設を選択すると仮定すると、ボロノイ多角形（Thiessen 多角形とも呼ぶ）がそれぞれの施設の圏域を表すこととなる。図 4-9 で示すように避難施設間を結んだ線分の垂直二等分線が境界線である。各避難施設を母点としたボロノイ図による最近接避難圏域を図 4-12 に示す。

(b) 政府のガイドラインが定める陸側最近接避難圏域

津波避難における施設選択に関するモデルには、内閣府（2005）¹⁵⁾が発行したガイドラインが定める津波避難ビル等候補の選定にかかわるモデル（以後ガイドラインモデル）がある。これは津波避難の施設計画における代表的なモデルであり、竹内ら（2003）¹⁶⁾による高知県須崎市の津波避難場所の評価に関する研究、Ratna（2012）¹⁷⁾によるインドネシアの津波避難施設配置に関する研究、村尾ら（2014）¹⁸⁾による藤沢市片瀬地区における津波避難計画の研究などでも同様のモデルが用いられている。ガイドラインモデルは、避難施設のカバーエリア（圏域）の設定において、原則として避難者は一番近くの施設を選択するが、海方向（津波の襲来方向）への施設へは避難せず、その避難者から見て海側の施設は選択しないとするモデルである。ガイドラインで示される考え方を図 4-11 に示す。なおガイドラインモデルは、避難施設の収容可能人数を考慮し、収容人数の多い施設は広範囲を、収容人数の少ない施設はその人数に応じて狭い範囲をカバーしている。施設の容量を考慮することも重要であるが、とても複雑になるので、避難施設が満員で避難できなかった事例が報告されていないこともあり、ここでは容量を考慮せずに検討する。ガイドラインモデルは、図 4-13 のように描画する。図 4-10 はその作図方法を示しており、海岸との平行線と垂直 2 等分線を組み合わせることで圏域を作成する。海岸線との平行線を施設の位置で描き、施設と施設を結ぶ線分の垂直二等分線を描き、それらを組み合わせることで圏域の境界線を描く。ボロノイ図による圏域と類似するが、施設より陸側に圏域が広がらない点で大きく異なる。

(c) 避難施設の選択行動モデルを用いた避難圏域

前節で導出した避難施設の選択モデルを用いることにより、避難施設がもっとも選択されやすい領域を描画することができる。全ての避難施設の選択確率のうち最も選択確率が高い施設の領域をその施設の圏域とみなすと、その領域とその境界線が描画できる。ただし、選択確率の境界線を解析的に求めることは困難なので、ここでは 50m 間隔のグリッド状の点データを作成し、それぞれの点の選択確率を最大とする施設を求める。50m のグリッドデータの間を直線で補完する

ことによって境界を描画する。図 4-14 は、徒歩の避難者による避難施設の選択確率と避難圏域図の作成方法、図 4-15 は、車の避難者による避難施設の選択確率と避難圏域図の作成方法である。

図 4-16 は、徒歩による避難者の避難圏域図である。表 4-7 の説明変数「避難方向」「移動距離」「階数」としたモデル 4 を用いて作成した。図 4-17 は、車による避難者の避難圏域図である。表 4-8 の説明変数「避難方向」「移動距離」「建築面積」としたモデル 5 を用いて作成した。図 4-16 と図 4-17 の等高線は、最大選択確率の等確率線である。各避難施設の圏域は、やや海方向に広がっている。海方向に広がっているのは、角度 θ_{ij} に対するパラメータ β_1 の影響であり、施設によって圏域の大きさが異なるのは、施設の階数または建築面積の大小が選択確率に影響しているためである。図 4-16 と図 4-17 を比較すると、図 4-17 は図 4-16 に比べて内陸側の避難施設が持つ避難圏域が海方向に広がっている。この理由として車の避難者は、徒歩の避難者に比べて移動距離が長く、徒歩の避難者に比べて内陸の避難施設を選択したため、内陸側の避難施設の選択確率が高くなり、海側の選択確率が低くなったと考えられる。

最近接、陸側最近接、本章の 3 つの圏域モデルの適合具合を比較するため、実際の避難施設選択と、避難圏域による施設選択の適中数を計算した。その結果、徒歩の避難者を表 4-11、車の避難者を表 4-12 に示す。適中数は、避難者が避難圏域内で避難した時は適中、避難圏域外に避難した時は適中しないとして計算している。各圏域の適中数を比較したとき、(c) の適中率がいずれも最大となっている。この結果から従来の避難圏域の考え方よりも避難施設の選択行動モデルから作成した避難圏域の割り当ての方が、実際の避難者行動に応じた圏域の割り当てが可能になると考えられる。

つぎに、どの地域の避難者が適中したかまたは適中していないか示した。図 4-18 に徒歩の適中した避難者と適中していない避難者、図 4-19 に車の適中した避難者と適中していない避難者を示す。図 4-18 で示す徒歩の避難者は、移動距離が短い避難者が多く、避難圏域内での移動したため適中数が高い。一方、図 4-19 で示す車の避難者は、徒歩の避難者に比べて移動距離が長い避難者が多く、施設の密集している地域に避難した避難者も多いため、適中数が下がったと考えられる。

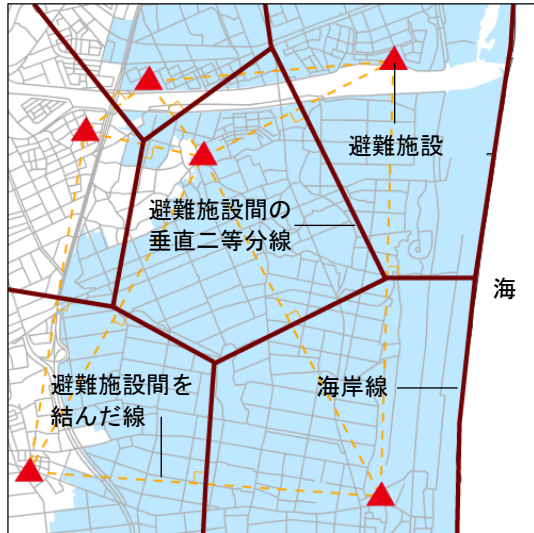


図 4-9 最近接避難圏域の作成

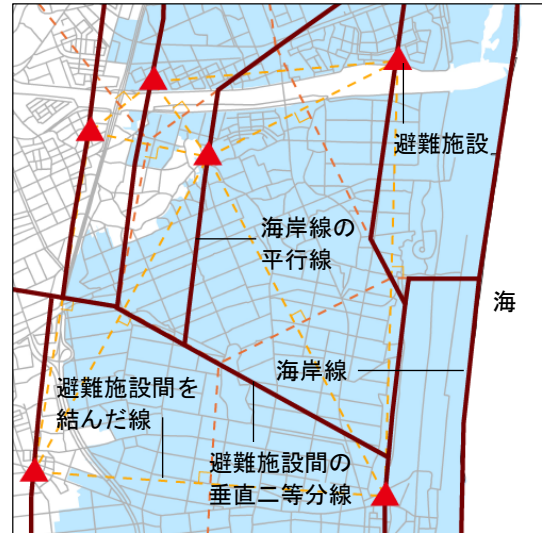
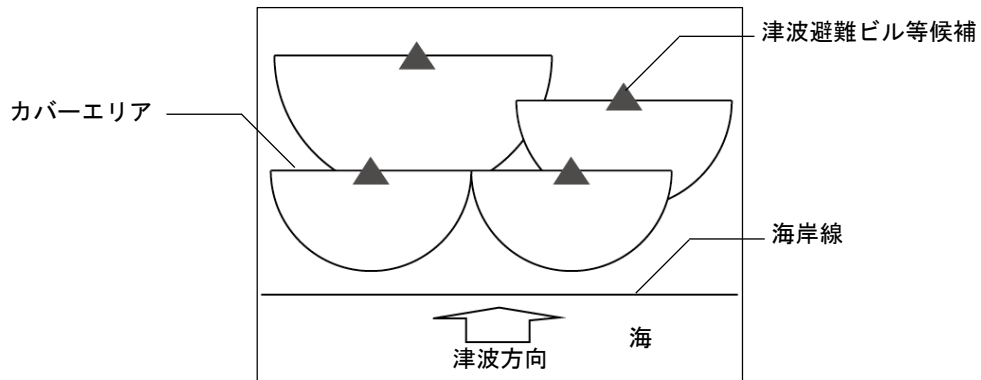


図 4-10 陸側最近接避難圏域の作成



避難可能な範囲の設定は、津波から遠ざかる方向のみとしている。内閣府 (2005)¹⁵⁾のガイドラインを基に作成。

図 4-11 ガイドラインによる圏域

表 4-11 徒歩による避難者の各避難圏域の適中数

	仙台市 41 人	名取市 67 人	岩沼市 15 人	対象三市 123 人
(a) 最近接	39 人 (95.12%)	26 人 (38.81%)	13 人 (86.67%)	78 人 (63.41%)
(b) 陸側最近接	32 人 (78.05%)	33 人 (49.25%)	7 人 (46.67%)	72 人 (58.54%)
(c) 提案モデル	40 人 (97.56%)	51 人 (76.12%)	14 人 (93.33%)	105 人 (85.37%)

表 4-12 車による避難者の各避難圏域の適中数

	仙台市 86 人	名取市 108 人	岩沼市 51 人	対象三市 245 人
(a) 最近接	44 人 (51.16%)	12 人 (11.11%)	10 人 (19.61%)	66 人 (26.94%)
(b) 陸側最近接	50 人 (58.14%)	23 人 (21.30%)	15 人 (29.41%)	88 人 (35.92%)
(c) 提案モデル	65 人 (75.58%)	44 人 (40.74%)	34 人 (66.67%)	143 人 (58.37%)

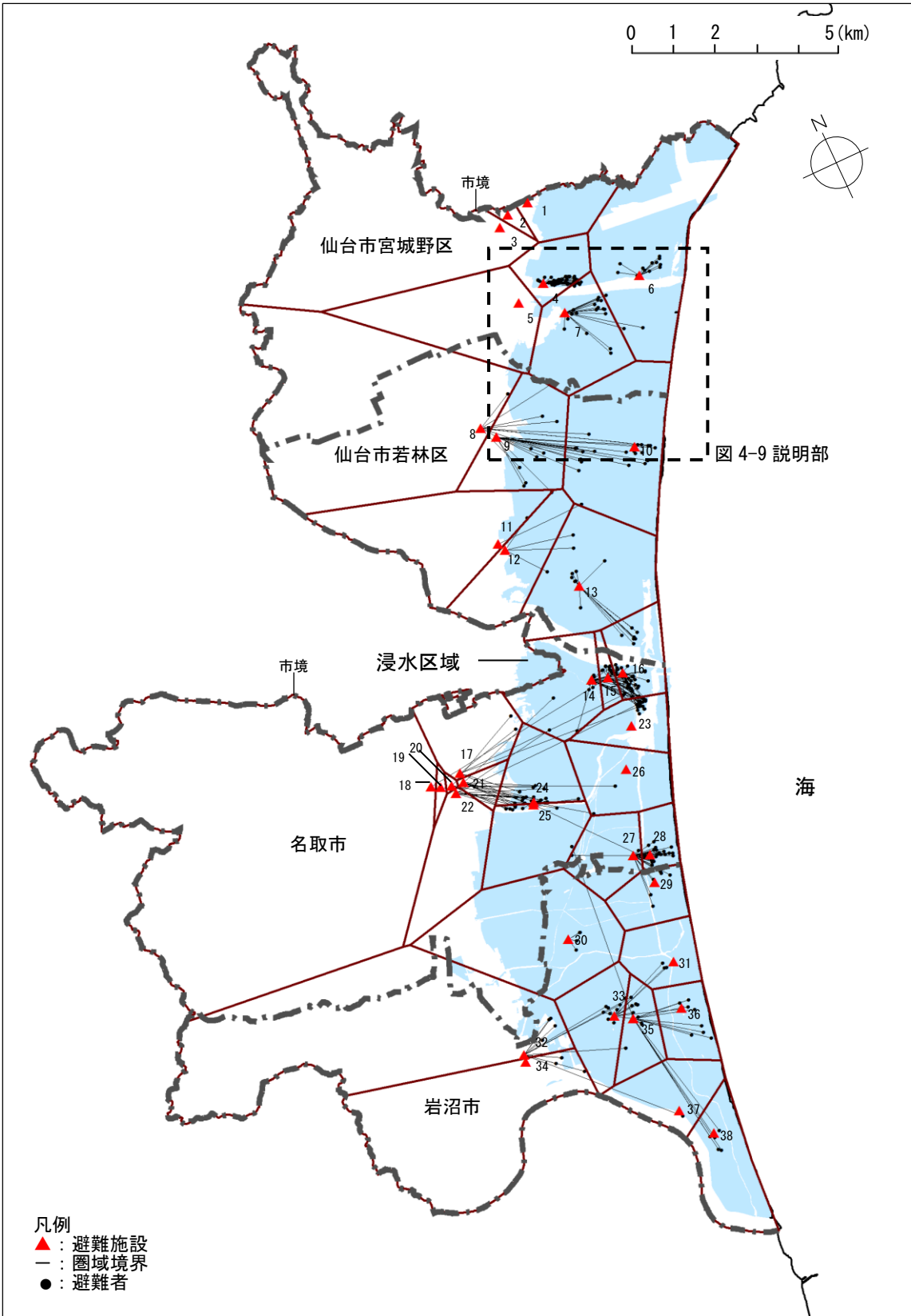


图 4-12 (a) 最近接避難圏域

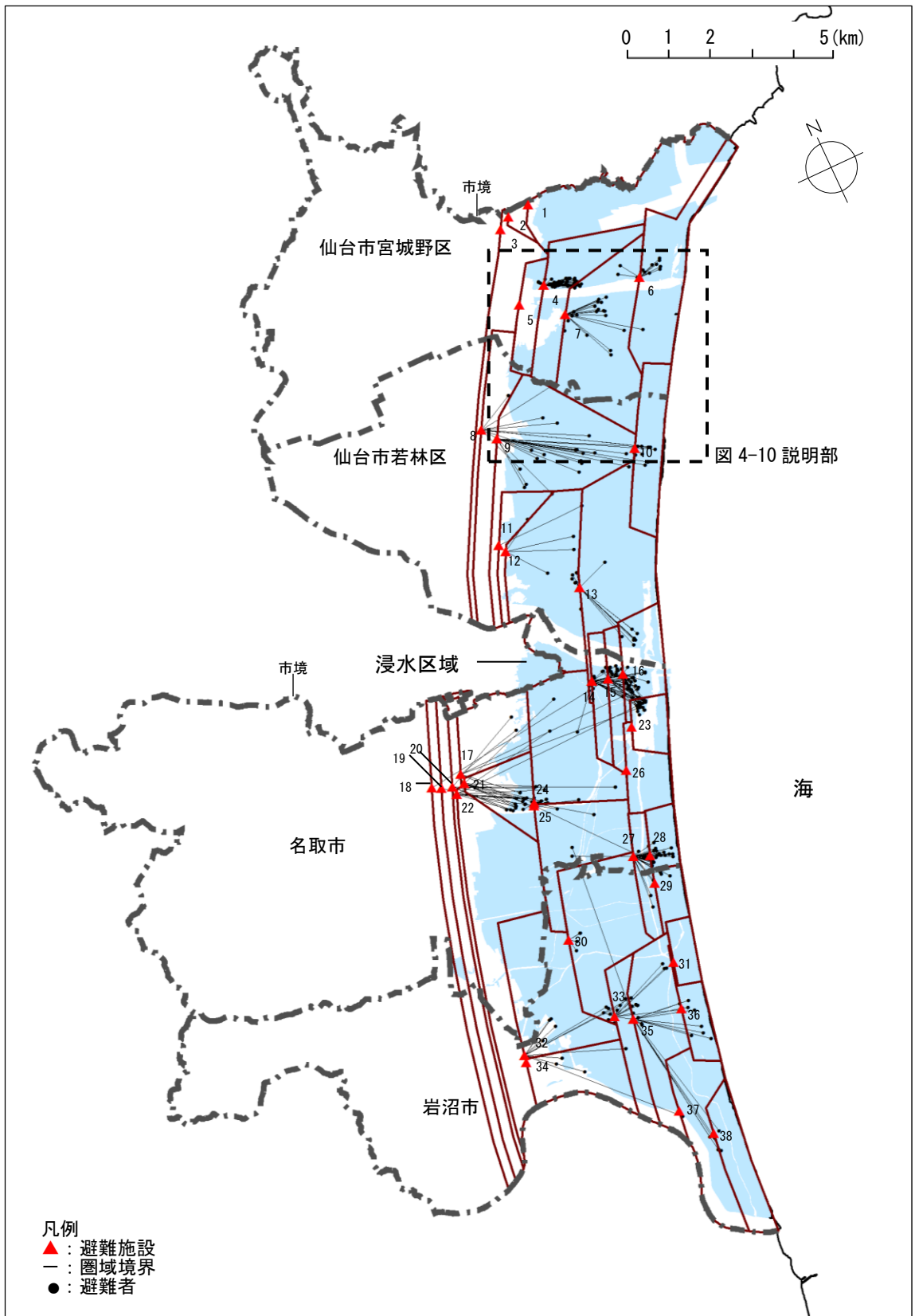
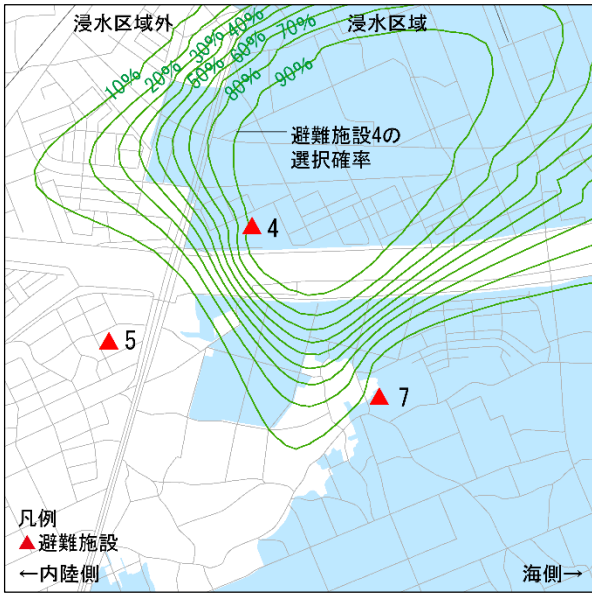
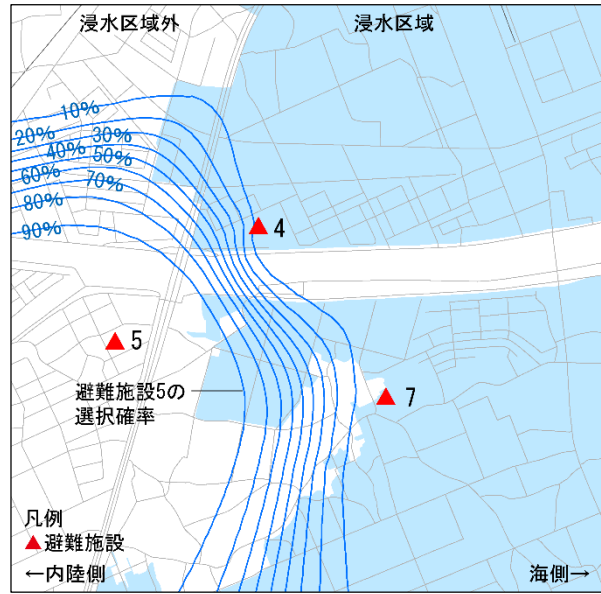


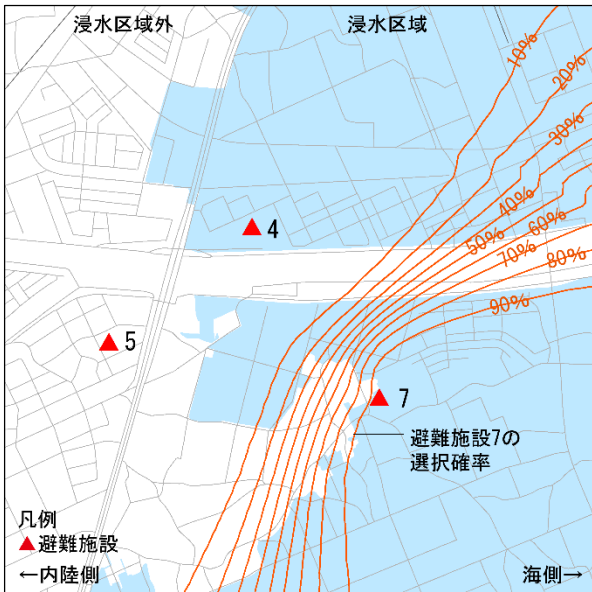
図 4-13 (b) 陸側最近接避難圏域



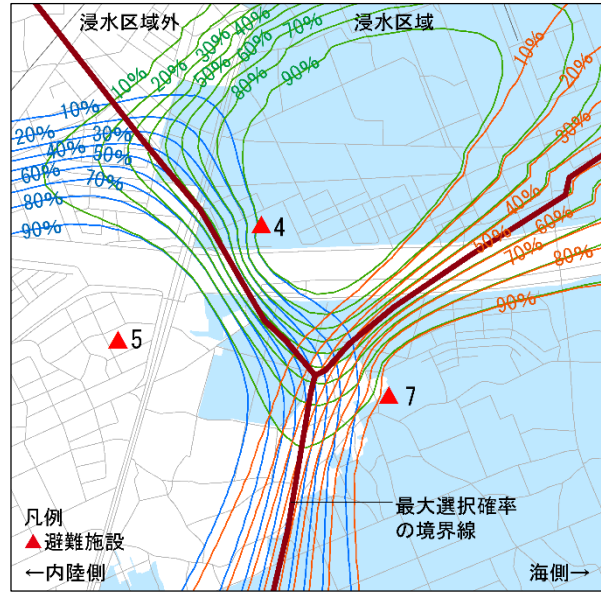
避難施設 4 の選択確率



避難施設 5 の選択確率

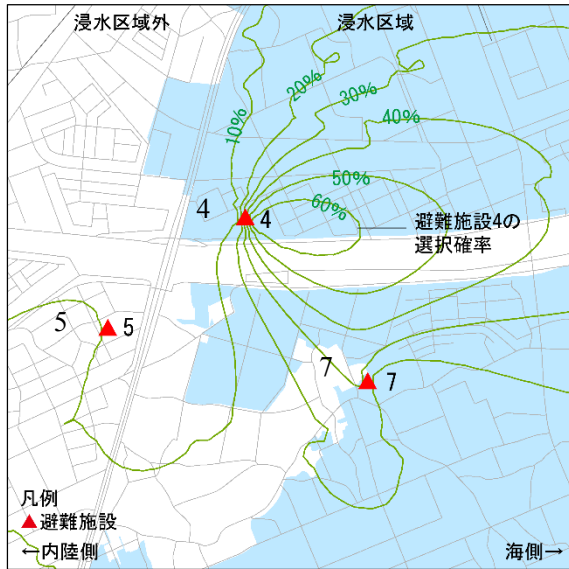


避難施設 7 の選択確率

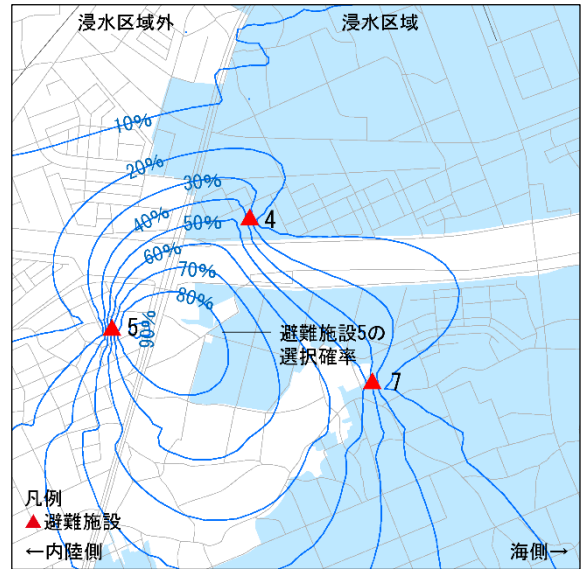


避難施設 4、5、7 の最大選択確率の境界線
(避難施設 4、5、7 の避難圏域)

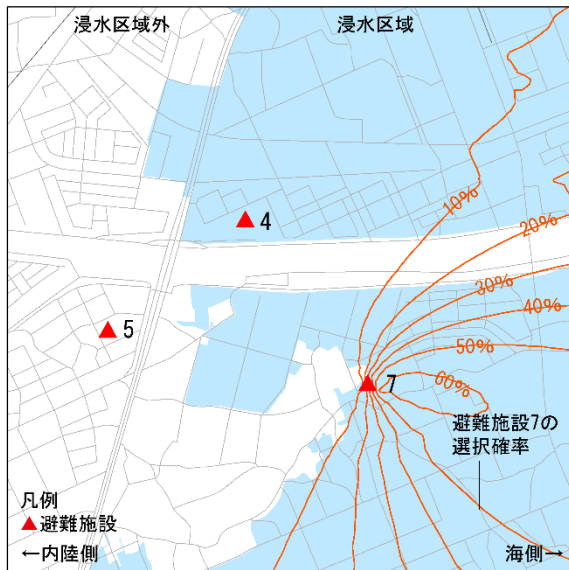
図 4-14 徒歩の避難者による避難施設の選択確率と避難圏域の作成方法



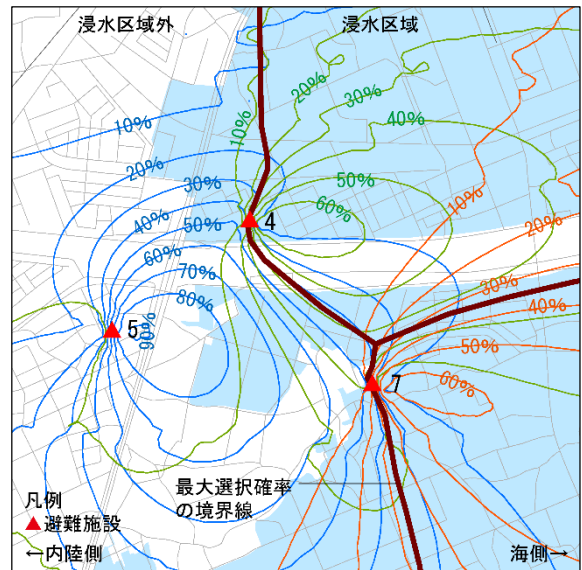
避難施設 4 の選択確率



避難施設 5 の選択確率



避難施設 7 の選択確率



避難施設 4、5、7 の最大選択確率の境界線
(避難施設 4、5、7 の避難圏域)

図 4-15 車の避難者による避難施設の選択確率と避難圏域の作成方法

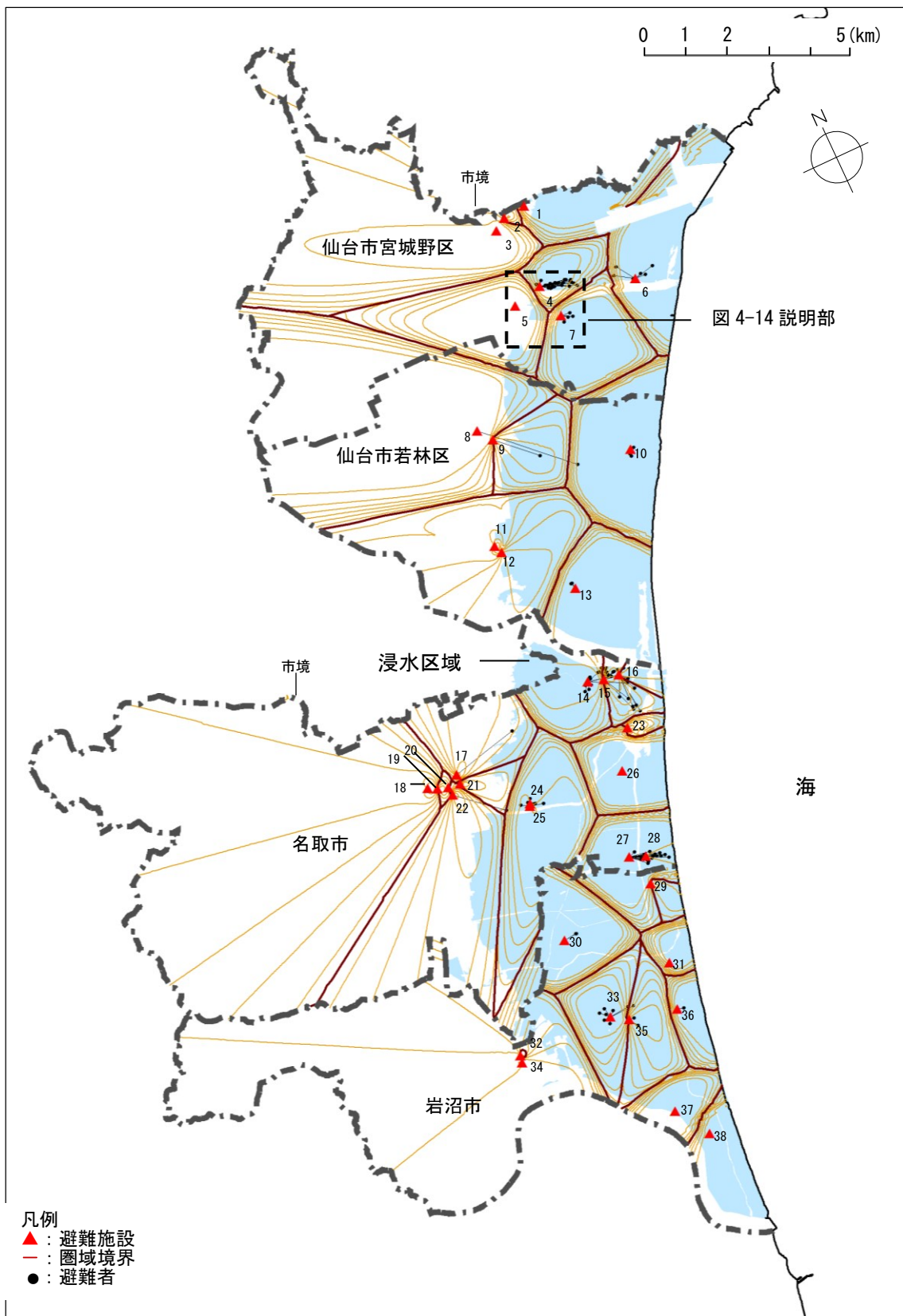


図 4-16 (c) 徒歩による避難者の最大選択確率と避難圏域



図 4-17 (c) 車による避難者の最大選択確率と避難圏域

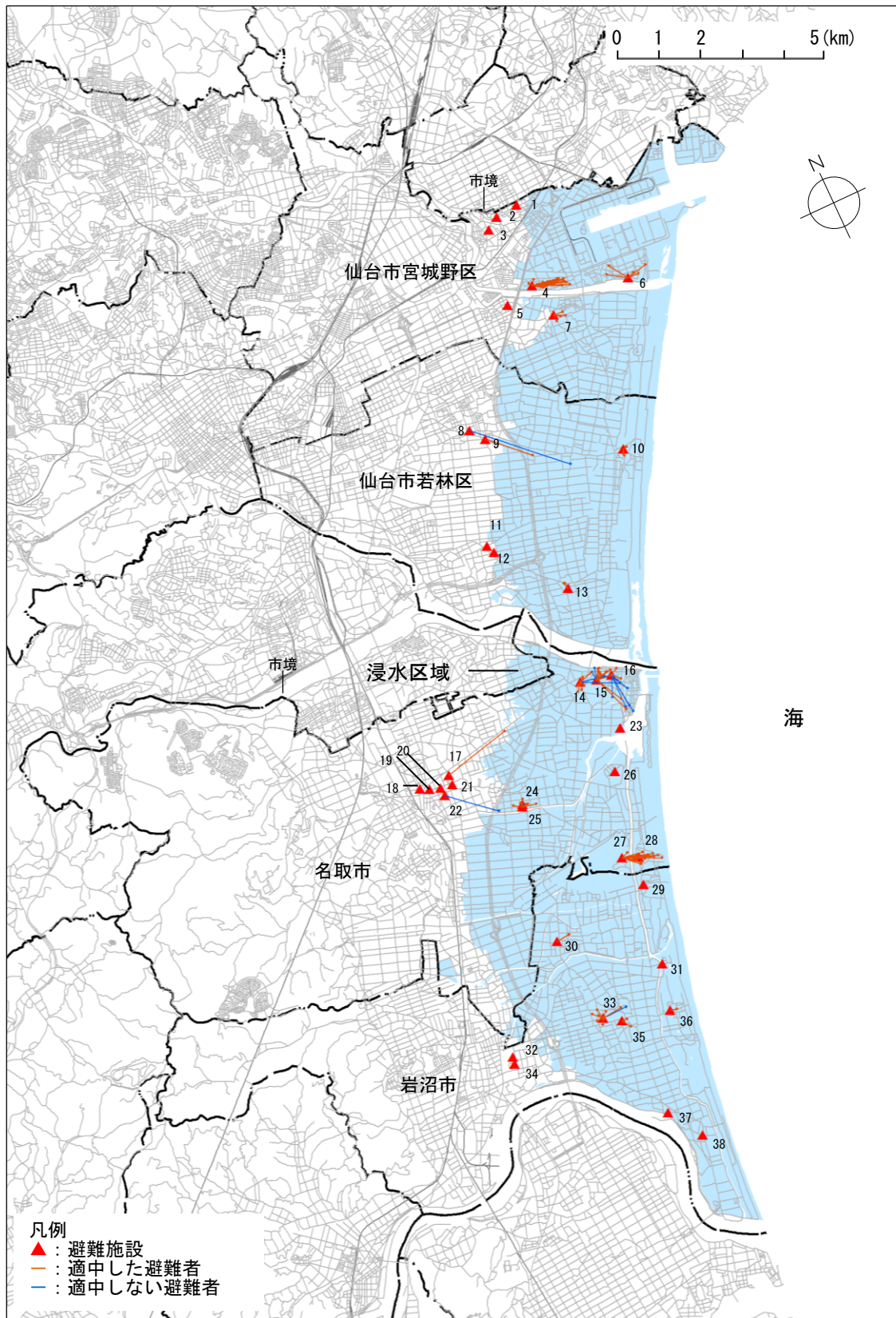


図 4-18 徒歩の適中した避難者と適中していない避難者

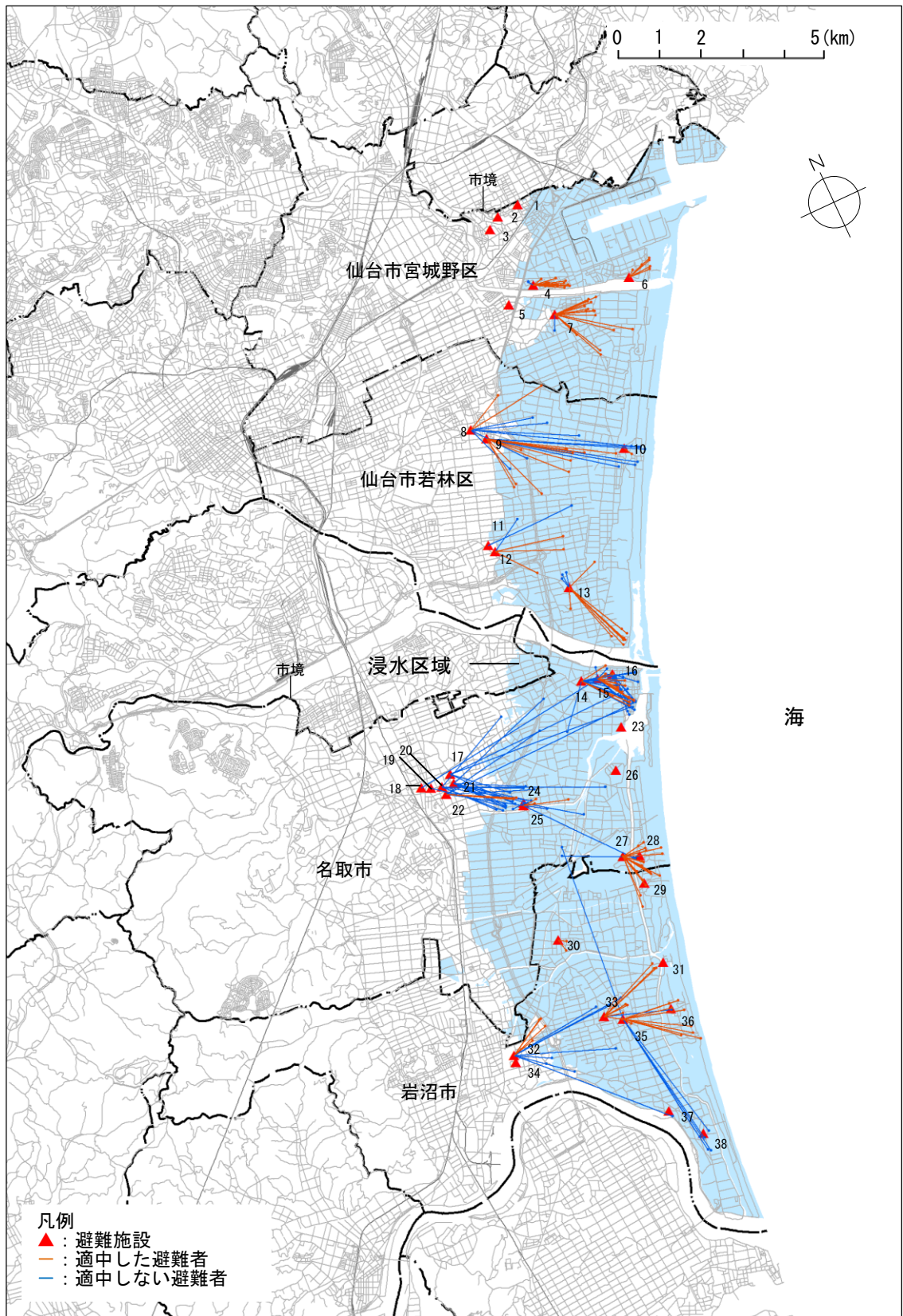


図 4-19 車の適中した避難者と適中していない避難者

4.6 まとめ

本章は、東日本大震災後に国土交通省により行われた避難行動調査で作成された復興支援調査アーカイブを基にして、宮城県沿岸平野部において、徒歩による津波避難者および車による津波避難者の避難施設の選択行動をモデル化した。避難施設の選択について、避難する方向、避難者から施設までの距離、施設の階数、施設の建築面積、施設の標高を効用として設定し、ロジットモデルからパラメータを推定した。パラメータ推定値から避難所圏域を推定し、ボロノイ図による最近接避難圏域、および陸方向に限定した陸側最近接避難圏域との比較検証を行った。本章で作成した避難施設の選択行動モデルから導いた避難圏域は、最近接避難圏域や陸側最近接避難圏域といった既往研究やガイドラインで示されるものより精度高く避難者の避難施設の選択行動を示すことが可能になった。よって本モデルは、避難施設の圏域の検討において有効と考えられる。

第 5 章 結論

5.1 はじめに

本論では、大津波警報が発令された状況を想定した津波避難者の避難施設の選択行動、そして東日本大震災における津波避難者の避難施設の選択行動を分析した。そして、津波避難者の避難施設の選択行動に影響を及ぼす要因を仮定し、避難施設の選択行動をモデル化した。さらに、モデルの適合度を示す統計検定値の尤度比、適中率、赤池情報量規準により、作成したモデルの有用性を検討した。本章では、これまでの各章で得られた知見をまとめる。

5.2 前章までの総括

2章では、外出先で津波に遭遇した状況において、大津波警報が発令された際の津波避難施設の選択行動を調査した。津波避難施設の持つ特性を考慮して、沿岸地域における津波避難施設の選択行動をモデル化した。そして、多項ロジットモデルを用いて津波避難施設の選択において影響を及ぼす要因のパラメータを推定した。これまでの政府の指針や既往研究では、津波避難は内陸方向で最寄りの津波避難施設に避難することを想定し、避難方向や施設の階数を考慮した避難施設選択を想定していないが、各種検定による結果から示されるように、津波避難者の「避難方向」と「移動距離」、津波避難施設の規模を表す「階数」と「収容人数」は、津波避難施設の選択行動に影響する要因であることを明らかにした。そして津波避難施設の選択行動に影響を与える要因の強度は、年齢層により違いがあることを明らかにした。また津波避難施設の等効用線の比較により、津波避難施設の効用値を保ったまま同一敷地内で建て替える場合の階数と収容人数の変化を検討した。津波避難施設の効用値の等高線の比較により、場所によって効用値の分布が変化する様子を示した。

3章では、海水浴場において、大津波警報が発令された際における訪問者の津波避難施設の選択行動をインタビュー調査した。調査の結果、訪問者は避難開始位置から近い避難先だけを選ぶのではないことが明らかとなった。また避難先の選択理由も多岐にわたり、避難先の高さや収容人数を考慮して選択することが明らかとなった。つぎに訪問者の避難行動について、津波避難者の「避難方向」「移動距離」「津波避難施設に行くまでの川の有無」、津波避難施設の「階数」と「収容人数」「建築面積」を考慮した津波避難施設の選択行動をモデル化した。モデル式を用いて津波避難者が海岸線を移動したときの津波避難施設の効用値の変化を検討した。また津波避難施設の効用値の等高線図を作成し、平面上の津波避難施設の選択されやすさを示した。さらに津波避難施設の選択行動モデルを用いて、津波避難施設の推定避難者数を計算した。このモデルを用いると、海水浴シーズン中に津波避難が行われた際、どの津波避難施設にどれくらいの人々が集中するのか推計が可能になる。推計した結果と現状の津波避難施設の配置や規模を比較して、今後の施設整備を検討することが可能である。

4章では、復興支援調査アーカイブを用いて、宮城県仙台市、名取市、岩沼市を対象として、実際の津波避難者の避難行動に基づく避難施設の選択行動をモデル化した。モデルの説明変数は、津波避難者の「避難方向」と「移動距離」、避難施設の「階数」と「建築面積」「標高」を考慮した。また従来の避難施設選択モデルと比較して、本論で提案するモデルの方が高い精度で避難施設の選択行動をモデル化することができ、施設の圏域策定において有効であることを示した。

2章から4章までの分析を比較する。津波避難者の避難施設の選択行動の特徴、モデルのパラメータ推定値、選択行動に影響する要因について述べる。各章で得られた津波避難者の避難施設選択行動の特徴を表5-1にまとめる。避難施設の選択行動の特徴は、「最寄りの避難施設を選択する津波避難者がいる一方、海岸からできるだけ離れた避難施設を選択する津波避難者がいる」「津波避難者は、避難する場所の階数、収容人数、建築面積といった施設規模を考慮して避難先を選んでいる」ということが共通する。つぎにパラメータ推定値から考察できることを述べる。津波避難施設は、「内陸方向の施設が選択されやすい」「移動距離が短い施設が選択されやすい」「川を越える施設は選択されにくい」「階数が高い施設が選択されやすい」「収容人数が多い施設が選択されやすい」「建築面積が大きい施設が選択されやすい」。標高は有意な結果とならなかった。避難施設の選択行動において、標高が低くても津波避難者から距離が短い施設や避難施設の属性（階数、建築面積）が避難先の決定に大きく影響したためだと考えられる。選択行動に影響する要因について述べる。各章の分析を通して移動距離が避難施設の選択に強く影響する。避難方向および避難施設の規模を示す階数や収容人数、建築面積も選択に影響する要因であるが、これらは、津波避難者の避難開始位置、避難施設の配置や規模、津波避難者の交通手段で変化する。

表 5-1 津波避難者の避難施設選択行動の特徴

		2章 沿岸地域モデル	3章 海水浴場モデル	4章 東日本大震災モデル	
避難施設選択 行動の特徴		<ul style="list-style-type: none"> ・最寄りの避難施設を選択する津波避難者がいる一方、海岸からできるだけ離れた避難施設を選択する津波避難者がいる。 ・津波避難者は、避難する場所の階数、収容人数、建築面積という施設規模を考慮して避難先を選んでいる。 			
パラメータ 推定値	避難方向	内陸方向の施設が選択されやすい			
	移動距離	移動距離が短い施設が選択されやすい			
	川の有無	川を越える施設は選択されにくい	-		
	階数	階数が高い施設が選択されやすい			
	収容人数 または 建築面積	収容人数が多い施設が選択されやすい 建築面積が大きい施設が選択されやすい			
	標高	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ・有意な結果にならない ・標高が高い場所の施設を選択しているのではない 	
	尤度比	0.2 以上	0.3 以上	0.8 以上 (徒歩) 0.4 以上 (車)	
	適中率	45～51%	39～44%	84～85% (徒歩) 54～60% (車)	
選択行動に 影響する要因 4変数の順位	1 避難方向 2 移動距離 3 収容人数 4 階数	1 移動距離 2 避難方向 3 収容人数 4 階数	1 移動距離 2 階数 3 避難方向 4 建築面積	1 避難方向 2 移動距離 3 建築面積 4 階数	

5.3 津波防災まちづくりに対する提言

本節では、前節までの結果を踏まえ、津波避難者の観点と津波避難施設整備の観点から津波災害に対応したまちづくりに対する提言を述べる。

5.3.1 津波避難者の観点から

自治体が津波避難施設を指定した場合でも、津波避難時の避難者は、指定された施設に避難するとは限らない。津波避難者の施設選択に影響する要因の強度は、年齢や性別、交通手段によって違いがあるためである。自治体や研究者は、避難者の年齢や性別、交通手段による避難行動の違いを十分に留意して、避難行動シミュレーションを実施する際の条件を設定する必要がある。

5.3.2 津波避難施設整備の観点から

浸水区域内の津波避難者は、津波避難時に浸水区域内にある近い距離の施設に避難する人もいれば、浸水区域外にある遠い距離の施設に避難する人もいる。津波避難施設の整備を行う自治体は、浸水区域内の施設を整備する他、浸水区域外でも施設を整備する必要がある。津波避難施設に避難する津波避難者の人数は、施設の階数や収容人数、建築面積といった施設規模により異なる。単体の施設だけでなく、地域全体の避難を考慮して施設配置及び規模を検討する必要がある。

津波被害が予測される地域は、上述した津波避難者と津波避難施設の観点を踏まえて住民や観光客の安全を守るための方策を検討する必要がある。本論の知見を基にして方策を述べると、まず自治体の既存津波避難施設の配置と人口分布から各津波避難施設の推定避難者数を計算する。推定避難者数が既存施設の収容人数に対して多い場合、既存施設の規模の見直しや新しい施設の配置を検討する。このように検討を行うことで、地域の安全性を高めることが可能である。現在、国はどこに津波避難施設を配置するか、どの建物を津波避難施設に指定するかといった施設整備の方針を自治体に委ねている。今後、施設整備を行うための方法論やルールづくりが必要である。

実際の津波避難者は指定した津波避難施設に行かない可能性がある。そのため、津波から避難する際、津波避難者が本能的に選ぶ施設の配置が望ましいと考える。本論のモデルを施設配置計画に役立てることで、津波避難者の本能的な津波避難施設の選択行動を考慮した施設整備を行うことができると考える。

5.4 今後の展望

本論で作成した選択行動モデルを津波避難行動の研究、施設整備計画に役立てることである。具体的には、「津波避難の避難先選択予測を行う研究のモデル構築」「選択行動モデルを用いた津波避難困難地域の算出」「津波避難施設が必要な地域に避難行動モデルを適用して避難者数算定、施設配置の検討」「自治体の避難計画、津波避難施設計画の検討と提案」をすることである。

津波避難者の避難先決定に大きく影響する要因は、本論で検討した説明変数の他にも存在する可能性がある。本論では、平野部で津波避難施設の避難行動のモデルを作成したが、津波はリアス部や扇状地を持つ地域でも起きる。平野部以外の地域でも津波避難者の避難行動を分析する必要がある。本論で選択肢集合とした津波避難施設の他に、津波避難上有効な鉄道駅や道路の高架橋が存在する。今後の課題として、津波避難施設以外にも避難先となる場所を選択肢集合として考慮することが課題である。

海水浴場の避難者数推定において、海水浴場の中でも訪問者が集中する場所と集中しない場所があるため、訪問者の密度分布を考慮することが課題である。また既存施設の収容人数を超える推定避難者数がある施設の対応、さらに海岸の津波避難者のほかに地元住民の津波避難者の対応を検討することが課題である。津波避難施設を選択行動モデルから推定避難者数と津波避難施設の混雑率が計算できたので、避難行動に影響する情報を操作して、混雑する施設に津波避難者が向かわないようにする対策が可能である。例えば、ソフト対策として、混雑が予測される津波避難施設の周囲に他の施設の場所を表示する対策、現在海水浴場の人口密度が高すぎるため、周辺地域の海水浴場に観光客を分散化するなど考えられる。またハード対策は、津波避難者が迅速に施設の上階まで行くことができるように混雑が予測される施設では屋外階段の設置や出入口を拡張する対策、混雑する施設の周辺地域に施設を重点的に整備して、津波避難者が避難できるようにするなど考えられる。今後、津波避難者の津波避難施設の選択行動を踏まえたうえで、1人でも多く避難できる対策を検討したい。

東日本大震災被災地の宮城県仙台市、名取市、岩沼市の分析データには、津波により亡くなった方や避難施設に行かなかった自宅待機者を考慮していない。これらの方々の津波避難についても検討する必要がある。また津波避難者の避難先候補（選択肢集合）は、自宅、商業施設、指定避難所となっていない公共施設などが考えられるため、これらの場所を選択肢集合に含めて津波避難者の避難先選択行動を検討する余地がある。さらに津波到達時間は、地震の震源地や沿岸地域の位置により異なるため、避難開始時間や避難距離を考慮して避難行動分析、津波避難施設配置を検討することが課題である。

参考文献

第1章 参考文献

- 1) 国土地理院：津波による浸水範囲の面積（概略値）について（第5報），
<http://www.gsi.go.jp/common/000059939.pdf>，（参照 2015-11-01）
- 2) 内閣府政策統括官（防災担当）：平成23年版防災白書，内閣府，p. 12，2011
- 3) 渡辺偉夫：日本被害津波総覧，第2版，東京大学出版会，pp. 61-65，1998
- 4) 北原糸子：津波災害と近代日本，吉川弘文館，p. 172，2014
- 5) 首藤伸夫，今村文彦，越村俊一，佐竹健治，松富英夫：津波の事典，朝倉書店，p. 64，pp. 334-339，2007
- 6) 山口弥一郎，石井正己，川島秀一：津浪と村，三弥井書店，p. 139，2011
- 7) 毎日新聞社：東日本大震災 定点観測，<http://mainichi.jp/graph/select/shinsaiteiten/025.html>，（参照 2015-12-05）
- 8) 豊田直巳：東日本大震災記録写真集，第三書館，p. 264，2011
- 9) わかやま新報：津波避難ビルに指定 砂山の公務員宿舎，
http://www.wakayamashimpo.co.jp/2012/02/20120223_9340.html，（参照 2015-12-05）
- 10) えのぼ | 江の島・藤沢ポータルサイト：津波避難タワーの建設，
http://www.enopo.jp/tokusyu/9845-2012daishinsai.html#tsunami_2，（参照 2015-12-05）
- 11) 神奈川県ホームページ：「津波浸水予測図」慶長型地震，
<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f360944/p393044.html>，（参照 2015-12-05）
- 12) 国土交通省：「津波避難ビル等」に関する実態調査結果について，p. 1，p. 10，2011，
http://www.mlit.go.jp/report/press/house06_hh_000070.html，（参照 2014-12-23）
- 13) 朝日新聞：（災害大国 迫る危機）津波避難ビル指定急増 2年間で4倍，2013-3-2，朝刊，聞蔵Ⅱビジュアル，<http://database.asahi.com/library2/main/start.php>，（参照 2014-12-23）
- 14) 内閣府政策統括官（防災担当）：津波避難ビル等に係るガイドライン，pp. 19-24，2005
- 15) 国土交通省：津波防災地域づくりに関する法律，第56条（指定避難施設の指定），2011
- 16) 国土交通省：津波防災まちづくりの計画策定に係る指針，2013
- 17) 中央防災会議：防災基本計画，第4編 津波災害対策編，第3章 災害復旧・復興，p. 212，2014

- 18) 国土交通省：東日本大震災からの津波被災市街地復興手法検討調査のとりまとめについて，2011，
<http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi-hukkou-arkaibu.html>，（参照 2015-3-27）
- 19) 内閣府，消防庁，気象庁：東北地方太平洋沖地震の津波警報及び津波情報に関わる面談調査結果
（速報），2011，<http://www.jma.go.jp/jma/press/1108/08a/besshi3.pdf>，（参照 2015-3-27）
- 20) 内閣府（防災担当）：東日本大震災時の地震・津波避難に関する住民アンケート調査，2012，
http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/pdf/20121221_chousa1_1.pdf，（参照 2015-3-27）
- 21) 中央防災会議，防災対策推進検討会議，南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海
トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告），p. 4，2012，
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20120829_higai.pdf，（参照 2015-3-27）
- 22) 今村文彦，鈴木介，谷口将彦：津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区
への適用，自然災害科学，Vol. 20，No. 2，pp. 183-195，2001
- 23) 鈴木介，今村文彦：住民意識・行動を考慮した津波避難シミュレーションモデル，自然災害科学，
Vol. 23，No. 4，pp. 521-538，2004
- 24) 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ー奥
尻島青苗地区を例としてー，日本建築学会計画系論文集，No. 597，pp. 229-234，2005
- 25) 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 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，No. 612，pp. 87-91，2007
- 26) 廣井脩，福田 充，関谷直也，松尾一郎，中村 功，中森広道，三上俊治，宇田川真之：2003 年十
勝沖地震における津波避難行動ー住民聞き取り調査を中心にー，東京大学大学院情報学環，情報学
研究調査研究編，No. 23 抜刷，2005
- 27) 増本憲司，川中龍児，石垣泰輔，島田広昭：観光地海岸利用者の津波に対する避難行動と避難意
思決定に関する研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 66，No. 1，pp. 1316-1320，2010
- 28) 照本清峰：観光地における津波避難体制の課題とあり方に関する一考察ー白浜町・白浜地域にお
ける津波避難訓練をもとにした検討ー，都市計画論文集，Vol. 48，No. 3，pp. 795-800，2013
- 29) 諫川輝之，大野隆造：住民の地域環境に対する認知が津波避難行動に及ぼす影響ー千葉県御宿町
の事例からー，日本建築学会計画系論文集，Vol. 79，No. 705，pp. 2405-2413，2014

- 30) 神原康介, 窪田亜矢, 黒瀬武史, 萩原拓也, 福士薫, 田中暁子: 東日本大震災時における高齢者の緊急避難行動の実態と集落環境による影響, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 79, No. 701, pp. 1593-1602, 2014
- 31) 竹内光生, 近藤光男, 山口満, 濱田洋平: 容量を考慮した津波避難場所の評価に関する実証分析ー須崎市を対象としてー, 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, No. 2, pp. 345-354, 2003
- 32) Ratna Sari Dewi: A-Gis Approach of an Evacuation Model for Tsunami Risk Reduction, Journal of Integrated Disaster Risk Management, Vol. 2, No. 2, pp. 108-139, 2012
- 33) 村尾修, 杉安和也: 藤沢市片瀬地区における津波避難計画の提案 (概要), 民間都市開発推進機構都市研究センター, Urban study, Vol. 58, pp. 59-78, 2014
- 34) 桑沢敬行, 金井昌信, 細井教平, 片田敏孝: 津波避難の意思決定構造を考慮した防災教育効果の検討, 土木計画学研究・論文集, Vol. 23, No. 2, pp. 345-354, 2006
- 35) 米岡久徳, 梶秀樹: 避難経路選択モデルに基づく街路網評価, 日本都市計画学会学術研究論文集 (26-A), pp. 199-204, 1991
- 36) 塚口博司, 大橋祐貴: 大規模地下街における歩行者の経路選択行動分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 25, No. 3, pp. 615-621, 2008
- 37) 西野智研, 樋本圭佑, 田中哮義: 地震火災時における住民の避難先選択のモデル化, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 76, No. 663, pp. 469-477, 2011
- 38) 大佛俊泰, 守澤貴幸: 都市内滞留者・移動者の多様な状態と属性を考慮した大地震時における広域避難行動シミュレーションモデル, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 76, No. 660, pp. 389-396, 2011
- 39) 廣井悠: 福島原子力発電所からの避難行動に関する調査と分析, 都市計画論文集, Vol. 49, No. 3, pp. 537-542, 2014

第2章 参考文献

- 1) 今村文彦, 鈴木介, 谷口将彦: 津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適用, 自然災害科学, Vol. 20, No. 2, pp. 183-195, 2001
- 2) 鈴木介, 今村文彦: 住民意識・行動を考慮した津波避難シミュレーションモデル, 自然災害科学, Vol. 23, No. 4, pp. 521-538, 2004

- 3) 佐野紳也：質的選択分析－理論と応用，財団法人三菱経済研究所，pp. 37-38，1990
- 4) 土木学会土木計画学研究委員会：非集計行動モデルの理論と実際，土木学会，p. 51，1995

第3章 参考文献

- 1) 藤沢市：平成25年の海水浴客数について，
http://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/kankou/page_t100101.shtml，（参照 2014-02-20）
- 2) 神奈川県ホームページ：「津波浸水予測図」慶長型地震，
<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f360944/p393044.html>，（参照 2015-12-05）
- 3) 鎌倉 TODAY：江ノ島海水浴場 展望灯台にて，<http://www.kamakuratoday.com/suki/iine/681.html>，（参照 2015-12-05）
- 4) 景図工房：江ノ島展望灯台 パノラマ展望図 東部編，
http://www.kei-zu.com/geo/enoshima/enoshima_east.html，（参照 2015-12-05）
- 5) 土木学会土木計画学研究委員会：非集計行動モデルの理論と実際，土木学会，pp. 51-52，1995

第4章 参考文献

- 1) 気象庁：災害時地震・津波速報，平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震，（3）津波警報等の発表状況，災害時自然現象報告書2011年，No. 1，p. 4，2011
- 2) 仙台市：大震災による被害状況，http://www.city.sendai.jp/shisei/1199059_1984.html，（参照 2015-03-12）
- 3) 国土地理院：10万分1浸水範囲概況図，浸水範囲概況図13，
<http://www.gsi.go.jp/common/000060133.pdf>，（参照 2015-03-12）
- 4) 名取市震災記録室：名取市の被害 2.被害の概要，
<http://www.city.natori.miyagi.jp/soshiki/soumu/311kiroku/index/higai/gaiyou>，（参照 2015-03-12）
- 5) 岩沼市：岩沼市震災復興計画グランドデザイン，被災状況，p. 6，2011
- 6) 消防庁：東日本大震災記録集，第2章 地震・津波の概要 2.2 津波の概要，p. 45，2013
- 7) 河北新報出版センター：津波被災前・後の記録 名取市関上，p. 172，2012

- 8) 国土交通省都市局：東日本大震災からの津波被災市街地復興手法検討調査のとりまとめについて，国土交通省，2011
- 9) 国土交通省都市局：『復興支援調査アーカイブ』データ，2012
- 10) 国土交通省：津波避難を想定した避難路，避難施設の配置及び避難誘導について（第3版），p. 18，2013
- 11) 仙台市ホームページ：避難所・避難場所リスト，
http://www.city.sendai.jp/kurashi/bosai/hinanjo/1188545_1388.html，（参照 2015-03-27，仙台市危機管理室減災推進課に問合せして東日本大震災当時の避難所を確認した。）
- 12) 名取市消防本部：避難所地図検索，http://www.fdn119.jp/search_map/index.html，（参照 2014-05-23）
- 13) 岩沼市防災課ホームページ：指定避難所・指定救護所一覧，
<http://web.archive.org/web/20110322201041/http://www.city.iwanuma.miyagi.jp/kakuka/010800/010801/un-titled.html>，（参照 2015-02-09）
- 14) 土木学会土木計画学研究委員会：非集計行動モデルの理論と実際，土木学会，p. 41，pp. 50-52，pp. 73-90，1995
- 15) 内閣府政策統括官（防災担当）：津波避難ビル等に係るガイドライン，pp. 19-25，2005
- 16) 竹内光生，近藤光男，山口満，濱田洋平：容量を考慮した津波避難場所の評価に関する実証分析－須崎市を対象として－，土木計画学研究・論文集，Vol. 20，No. 2，pp. 345-354，2003
- 17) Ratna Sari Dewi：A-Gis Approach of an Evacuation Model for Tsunami Risk Reduction，Journal of Integrated Disaster Risk Management，Vol. 2，No. 2，pp. 108-139，2012
- 18) 村尾修，杉安和也：藤沢市片瀬地区における津波避難計画の提案（概要），民間都市開発推進機構都市研究センター，Urban study，Vol. 58，pp. 59-78，2014

付録

- 1) 交通工学会編：やさしい非集計分析，丸善出版，p. 4，p. 23-25，1993
- 2) 土木学会土木計画学研究委員会：非集計行動モデルの理論と実際，丸善，pp. 40-70，p. 114，p. 145，1995
- 3) 日本建築学会編：建築・都市計画のためのモデル分析の手法，井上学院，p. 117，1992

- 4) DANIEL L. MC FADDEN : Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior, in P. Zarembka (ed.), FRONTIERS IN ECONOMETRICS, Academic Press, New York, pp. 105-142, 1973
- 5) Tom Domencich and Daniel L. McFadden: Urban Travel Demand : A Behavioral Analysis, with T. Domencich, North Holland : Amsterdam, 1975
- 6) 北村隆一・森川高行: 交通行動の分析とモデリング, 技法堂出版, p. 107, pp. 112-113, p. 114, p. 116, 2002
- 7) 青木義次 : 建築計画・都市計画の数学, 数理工学社, pp. 45-47, 2006
- 8) 森地茂・屋井鉄雄 : 非日常的交通への非集計行動モデルと選択肢別標本抽出法の適用性, 土木学会論文報告集, No. 343, pp. 161-170, 1984
- 9) 太田勝敏 : 非集計行動モデルの交通計画への適用に関する研究 I , II , 文部省科学研究費報告書, 1980, 1981

この論文に含まれる著者の文献リスト

- 1) 山田崇史, 秋山和範, 末澤貴大, 岸本達也 : 海水浴場における津波避難施設の選択行動モデル化- 神奈川県藤沢市をケーススタディとして-, 都市計画論文集, Vol. 49, No. 3, pp. 549-554, 2014
- 2) 山田崇史, 岸本達也 : 沿岸地域における津波避難ビルの選択行動モデル化, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 80, No. 707, pp. 125-133, 2015
- 3) 山田崇史, 佐々木雅宏, 岸本達也 : 津波避難時の避難施設選択モデルを用いた避難施設圏域の推定, 日本建築学会技術報告集, Vol. 22, No. 51, 2016 に掲載予定

付録

付録 1：各自治体の津波避難ビル等の指定状況

「津波避難ビル等」は、津波避難ビル等に係るガイドライン検討会・内閣府政策統括官（防災担当）による「津波避難ビル等に係るガイドライン」（2005）で用語の定義がされている。津波避難ビル等は、「津波浸水予想地域内において、地域住民等が一時もしくは緊急避難・退避する施設（人工構造物に限る）をいう。なお、津波による浸水の恐れのない地域の避難施設や高台は含まない。」この用語の定義に基づいて、各自治体のホームページ等に記載されている数をカウントした（2015年5月26日現在）。2011年6月30日と2011年10月31日は、国土交通省の調査「「津波避難ビル等」に関する実態調査結果について（2011年12月27日）」に記載の数である。

表：各自治体の津波避難ビル等の指定状況

	2011年6月30日	2011年10月31日	2015年5月26日現在
北海道	21	31	141
青森県	3	3	25
岩手県	-	-	-
宮城県	-	-	-
秋田県	1	1	3
山形県	5	5	24
福島県	-	-	-
茨城県	0	9	28
栃木県	-	-	-
群馬県	-	-	-
埼玉県	-	-	-
千葉県	125	154	181
東京都	-	-	-
神奈川県	135	429	811
新潟県	13	19	115
富山県	0	15	18
石川県	15	18	30
福井県	8	8	1
山梨県	-	-	-
長野県	-	-	-
岐阜県	-	-	-
静岡県	682	1031	1079
愛知県	127	302	1096
三重県	29	105	487
滋賀県	-	-	-
京都府	10	10	9
大阪府	13	749	2103
兵庫県	121	263	844
奈良県	-	-	-
和歌山県	101	145	232
鳥取県	1	2	97
島根県	-	-	-
岡山県	4	4	5
広島県	-	-	-
山口県	-	-	-
徳島県	277	280	921
香川県	0	110	124
愛媛県	8	8	22
高知県	122	150	372
福岡県	-	-	-
佐賀県	4	4	-
長崎県	-	-	-
熊本県	8	8	-
大分県	2	65	518
宮崎県	9	17	215
鹿児島県	7	7	-
沖縄県	25	34	164
合計	1876	3986	9665

付録 2：非集計行動モデル

本論で用いた非集計行動モデルの理論について述べる。モデル式の未知パラメータを推定する方法およびモデル式の妥当性を判断するための検定方法について述べる。非集計行動モデルは、単に個人の交通行動を記述するのではなく、個人が「利用可能な選択肢群の中から最も望ましい選択肢を選ぶ」といった合理的な選択ルールに基づいて行動することを仮定してモデル化しようとしていることから個人選択モデルとも言われる¹⁾。また、ある手段を使うか使わないかといった 0、1 の選択問題を対象としていることから離散型（選択）モデルとも呼ばれる。非集計行動モデルは以下の特性がある²⁾。

- ・少ないサンプルでモデルを作成できる。
- ・個人の行動原理を反映しているため、影響を及ぼす政策変数を数多く取り込める。多様な政策に対する需要面からの評価が可能であることに加え、選択の微妙な変化を扱う問題に対応できる。
- ・説明力が高い。
- ・地域的、時間的移転可能性が高い。
- ・距離と施設の魅力度という 2 つの変数しか扱えなかった空間相互作用モデルと違って 3 つ以上の変数でも扱える³⁾。

本論で用いた非集計行動モデルは、ミクロ経済学において開発されたランダム効用理論にもとづく離散型選択モデルの一つであり、McFadden らの研究（1973）⁴⁾（1975）⁵⁾により交通需要予測問題へ導入され、大きく進展した。ここで、ランダム効用理論にもとづく離散型選択モデルは、ダニエル・リトル・マクファーデン（Daniel Little McFadden）がミクロ経済学理論に基づく定式化を行った理論体系である。また、離散型選択モデルは、選択者が複数の選択肢の中からある選択肢を選ぶ行動を記述とき、選択者は最大の効用を得ることができる選択肢を選択すると仮定し、個人の選択行動をモデル化することである。非集計行動モデルのパラメータは、最尤法を用いて推定できる。この方法によると、パラメータの統計的な検定をすることが可能になり、距離や床面積以外の他の変数を導入できる。本論では、選択肢集合を 3 つ以上扱うことができ、確率効用理論としての展開が最も進んだ流れである多項ロジットモデル（Multinomial Logit）を用いてモデル化する。多項選択モデルの選択確率の導出方法は、多項ロジットモデルの他に多項プロビットモデルがあるが、多項プロビットモデルは最大効用を表現する際に多重積分形が残ってしまう。多項プロビットモデルは選択肢の数が増えると積分計算が煩雑になる。選択確率に積分形が残らず解析的に計算できる特徴を持つものが多項ロジットモデルである⁶⁾。

多項ロジットモデル⁷⁾

本論は津波避難施設の選択行動について、それぞれの津波避難施設の効用を設定し、多項ロジットモデルから効用関数のパラメータ推定を行う。個人*i*が*j*個の選択対象の中から対象*j*を選択するという行動を考える。各対象*j*には、それを個人*i*が選択したときに効用 v_{ij} が得られる。このとき、各個人は各対象における効用のうち最も大きいものを選択すると考える。効用 v_{ij} は確定量ではなく、様々な状況の中で変動するものとする。まず、効用を下記のように定式化する。

$$v_{ij} = u_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

u_{ij} は非確率的な変量であり、 ε_{ij} は確率的な変量である。この確率変量 ε_{ij} は、次式の確率分布に従うものと仮定する。ここで、 $F(x)$ は累積分布関数、 $f(x)$ は確率密度関数である。

$$\Pr[\varepsilon_{ij} < x] = F(x) = \exp[-\exp[-x]] \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{d}{dx}F(x) = \exp[-x - \exp[-x]] \quad (3)$$

この分布は、ガンベル分布または極値分布と呼ばれる。正規分布に近い形状であり、ある分布から抜き出したサンプルにおける最大値が示す確率分布と一致する。以上の前提で、個人*i*が対象*j*を選択する確率 P_{ij} を求める。個人*i*が、対象*j*を選択するのは*j*以外のどの対象*l*の効用 v_{il} よりも効用 v_{ij} の方が大きいときである。

したがって、

$$P_{ij} = \Pr[v_{ij} > v_{il}, \text{ for all } j \neq l] \quad (4)$$

となる。式(1)より、これは、

$$P_{ij} = \Pr[u_{ij} + \varepsilon_{ij} > u_{il} + \varepsilon_{il}, \text{ for all } j \neq l] \quad (5)$$

$$P_{ij} = \Pr[\varepsilon_{il} < u_{ij} + \varepsilon_{ij} - u_{il}, \text{ for all } j \neq l] \quad (6)$$

と変形することができる。確率変量 ε_{ij} の分布式を用いれば、次のように表現できる。

$$\begin{aligned} P_{ij} &= \int_{-\infty}^{\infty} f(\varepsilon_{ij}) \prod_{j \neq l} \Pr[\varepsilon_{il} < u_{ij} + \varepsilon_{ij} - u_{il}] d\varepsilon_{ij} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f(\varepsilon_{ij}) \prod_{j \neq l} F(u_{ij} + \varepsilon_{ij} - u_{il}) d\varepsilon_{ij} \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、ガンベル分布の特性から計算すると、

$$\prod_{j \neq l} F(u_{ij} + \varepsilon_{ij} - u_{il}) = \prod_{j \neq l} \exp[-\exp[-(u_{ij} + \varepsilon_{ij} - u_{il})]] \quad (8)$$

である。対数を取ると

$$\begin{aligned} \log \prod_{j \neq l} F(u_{ij} + \varepsilon_{ij} - u_{il}) &= \sum_{j \neq l} -\exp[-(u_{ij} + \varepsilon_{ij} - u_{il})] \\ &= -\exp[-(u_{ij} + \varepsilon_{ij})] \sum_{j \neq l} \exp[u_{il}] \end{aligned} \quad (9)$$

となる。式 (8)、(9) より、次式を得る。

$$\prod_{j \neq l} F(u_{ij} + \varepsilon_{ij} - u_{il}) = \exp[-\exp[-(u_{ij} + \varepsilon_{ij})] \sum_{j \neq l} \exp[u_{il}]] \quad (10)$$

これを式 (7) に代入すると

$$\begin{aligned} P_{ij} &= \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-\varepsilon_{ij} - \exp[-\varepsilon_{ij}]] \cdot \exp[-\exp[-(u_{ij} + \varepsilon_{ij})] \sum_{j \neq l} \exp[u_{il}]] d\varepsilon_{ij} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-\varepsilon_{ij} - \exp[-\varepsilon_{ij}]] \{1 + \exp[-u_{ij}] \sum_{j \neq l} \exp[u_{il}]\} d\varepsilon_{ij} \end{aligned} \quad (11)$$

を得る。ここで、積分変数を含まない項を

$$\alpha = 1 + \exp[-u_{ij}] \sum_{j \neq l} \exp[u_{il}] \quad (12)$$

とおくと、式 (11) は式 (13) のように変形できる。

$$\begin{aligned} P_{ij} &= \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-\varepsilon_{ij} - \alpha \exp[-\varepsilon_{ij}]] d\varepsilon_{ij} \\ &= \frac{1}{\alpha} \left[\exp[-\alpha \exp[-\varepsilon_{ij}]] \right]_{-\infty}^{\infty} \\ &= \frac{1}{\alpha} \end{aligned} \quad (13)$$

つまり、個人*i*が対象*j*を選択する確率*P_{ij}*は下記の式で表すことができる。

$$P_{ij} = \frac{1}{1 + \exp[-u_{ij}] \sum_{j \neq l} \exp[u_{il}]} = \frac{\exp[u_{ij}]}{\sum_{l=1}^J \exp[u_{il}]} \quad (14)$$

ここで*P_{ij}*は、式 (15) の性質を持つ。

$$\sum_{j=1}^J P_{ij} = 1 \quad (15)$$

最尤法によるパラメータ推定¹⁾²⁾

モデルの推定とは、理論モデルに含まれる未知パラメータを、実験や観測データを最も良く再現できるように同定することである。非集計行動モデルにおける未知パラメータは、効用関数の説明変数にかかる未知係数である。個人の選択確率が未知パラメータを含む理論式で与えられたとき、推計データに最も適合するパラメータ値を求める方法として最尤推定法が最も一般的に用いられる。最尤推定法の考え方は、行動を表す理論モデル（ここに未知パラメータが含まれている）が正しいとの仮定のもとで、観測されたデータが得られるもつもらしさ（尤度）が最大になるようにパラメータを求めることである⁹⁾。以下、ベクトルを太字として β のように表す。

本節では最尤法によるパラメータ推定を説明するにあたり、未知パラメータをベクトル β として式(16)のように表す。 k 番目の未知パラメータは β_k である。

$$\beta = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} \quad (16)$$

個人 i が選択肢 j を選択する確率を P_{ij} 、個人 i が選択肢 j を選択した結果を δ_{ij} とする。なお、 δ_{ij} は個人 i が選択肢 j を選択したときは $\delta_{ij} = 1$ 、選択しなかった場合は $\delta_{ij} = 0$ がそれぞれ成り立つものとする。このとき、全ての選択行動が同時に発生する同時確率は、

$$L^* = \prod_i \prod_j (P_{ij})^{\delta_{ij}} \quad (17)$$

と表される。この同時確率 L^* を未知パラメータの関数とみなしたとき、尤度関数という。ここで「得られた標本の結果が実現したのは、その選択パターンが実現する同時確率が高いため」という考えの下、最尤推定法では、同時確率 L^* を最大にするパラメータを推定する。

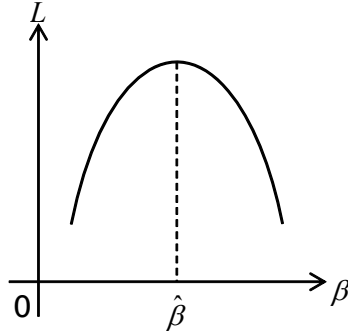
L^* を最大化することは、 L^* の対数 $L = \ln L^*$ を最大化することと等価であるので、

$$L = \ln L^* = \sum_i \sum_j \delta_{ij} \ln P_{ij} \quad (18)$$

を得る。式(18)に式(14)を代入すると式(19)を得る。

$$L = \sum_i \sum_j \delta_{ij} \ln \frac{\exp[V_{ij}]}{\sum_{j=1}^J \exp[V_{ij}]} \quad (19)$$

一般に上に示した対数尤度関数 L は未知パラメータベクトル β に関して下図のような上に凸の関数（凹関数）であることが証明されている。したがって、 L を最大にする β の値、すなわち最尤推定量 $\hat{\beta}$ は、式(19)を β に関して微分したものをゼロとした連立方程式の解となる。



図：対数尤度関数 L は β に関して凹関数

ここで、 L を β_k について微分したものを ∇L 、 $\partial L/\partial \beta_k$ を β_q で微分した2階微分を $\nabla^2 L$ とすると

$$\nabla L = \begin{pmatrix} \frac{\partial L}{\partial \beta_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial L}{\partial \beta_{k'}} \\ \vdots \\ \frac{\partial L}{\partial \beta_k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_i \sum_j (\delta_{ij} - P_{ij}) \cdot X_{ij1} \\ \vdots \\ \sum_i \sum_j (\delta_{ij} - P_{ij}) \cdot X_{ijk'} \\ \vdots \\ \sum_i \sum_j (\delta_{ij} - P_{ij}) \cdot X_{ijk} \end{pmatrix} \quad (20)$$

$$\nabla^2 L = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 L}{\partial \beta_1^2} & & \cdots & & \frac{\partial^2 L}{\partial \beta_1 \beta_q} \\ & \ddots & & & \vdots \\ \vdots & & \frac{\partial^2 L}{\partial \beta_{k'} \beta_{q'}} & & \vdots \\ & & \vdots & \ddots & \\ \frac{\partial^2 L}{\partial \beta_k \theta_1} & & \cdots & & \frac{\partial^2 L}{\partial \beta_k^2} \end{pmatrix} \quad (21)$$

と表される。 X_{ijk} は、個人 i の選択枝 j の k 番目の特性変数である。

式(20)で表される ∇L を $\mathbf{0}$ とする非線形連立方程式の解が求める最尤推定値となる。この方程式を解くにあたり、数値計算法を用いるのが一般的である。なお、式(21)で表した $\nabla^2 L$ は、その数値計算法を用いるのに必要となる。

数値計算法の考え方は、大別して2つに分かれる。一方は、 $\nabla L = \mathbf{0}$ の連立方程式を解く手法であり、もう一方は対数尤度関数 L を直接最大にする点を求める方法である。本論では、前者の考え方に分類される手法の中で最もよく使用されるニュートン・ラプソン法を用いる。以下にその手順を示す。

手順0：ベクトル β の初期値をゼロとする。すなわち、未知パラメータ $\beta_1 \sim \beta_k$ を0とする。

$$\beta^{(0)} = [0, 0, \dots, 0]' \quad (22)$$

手順1： $\beta^{(m+1)} = \beta^{(m)} - (\nabla^2 L(\beta^{(m)}))^{-1} \nabla L(\beta^{(m)})$ によって $\beta^{(m+1)}$ を求める。 $(\nabla^2 L(\beta^{(m)}))^{-1}$ は、式(21)に $\beta^{(m)}$ を代入したときの逆行列を示し、 $\nabla L(\beta^{(m)})$ は式(20)の勾配ベクトルに $\beta^{(m)}$ の値を代入した K 次

ベクトルである。尚、 m は繰り返し回数であり、初期値 0 から手順を繰り返すごとに 1 ずつ増やすものとする。

手順 2 : 次式 (23)、(24) が成り立つかどうかを調べる。

$$\frac{1}{k_{max}} = \left\{ \sum_{k=1}^{k_{max}} \left(\beta_n^{(m+1)} - \beta_n^{(m)} \right)^2 \right\}^{1/2} < \mu_1 \quad (23)$$

$$\left\{ \frac{\beta_n^{(m+1)} - \beta_n^{(m)}}{\beta_n^{(m)}} \right\} < \mu_2 \quad (24)$$

なお、収束判定値である μ_1 、 μ_2 には以下の値が用いられる。

$$\mu_1 = 10^{-4}、\mu_2 = 10^{-2} \quad (25)$$

ここで式 (23)、(24) が成り立てば、 $\beta_k^{(m)}$ を解として計算を終了する。もし成り立っていないならば繰り返し回数 $m = m + 1$ として、手順 1 に戻る。パラメータ値の推定は、以上の方法を用いる。

最尤推定値の検定方法

推定したパラメータは最尤推定量と呼ばれ、これはサンプル数が十分に大きくなれば、その分布が正規分布に近似でき、分散が十分小さくなり、真の値に確率収束するという統計的に好ましい性質を持つ。このような特性のため、通常の統計的検定手法を用いて、求められたパラメータの良否を判断できる¹⁾。本論では、下記で示す統計検定値を計算する。

a. t 値の計算と t 検定

t 検定は、絶対値の大小によってパラメータ推定値の信頼度を判定するものである。各パラメータ推定値 $\hat{\beta}_k$ をそれぞれの推定標準偏差で除した値を求め、その絶対値の大小によってパラメータ推定値の信頼度を判定するものである。 t 値 (t_k) は次式で表される。

$$t_k = \frac{\hat{\beta}_k}{\sigma_k} \quad (26)$$

ここで、 $\hat{\beta}_k$: 推定値、 σ_k : 推定標準偏差

パラメータ推定値の信頼度は、 $|t_k| \leq 2.576$ で 99% となり、1.96、1.64 のときそれぞれ 95%、90% となる。本論では、それぞれ 1%、5%、10% 水準で推定を行うものとする。

b. その他の統計量の計算と検定²⁾

(1) サンプル数 : N

最尤推定値 $\hat{\beta}$ は統計量であり、サンプル数 N が十分大きいときには正規分布となる。このためパラメータ及び統計検定値が、いくつのサンプル数から求められたのか示すことは作成したモデルの評価

を行うために重要である。非集計行動モデルで十分信頼するに足るパラメータを推定するのに必要なサンプル数については、いくつかの研究がある。アメリカにおける事例では、2~3000 といわれているが、その根拠は明らかにされていない。森地ら（1984）⁸⁾の研究では、3~500 程度と結論づけている。太田（1981）⁹⁾の研究では、280~350 のサンプルでよいと結論づけている。これらの結果は、限定された選択肢特性の確率分布の下での結果であるため、一般性には限度があるが、サンプル数の決定に有力な手掛かりを与えている。本論のサンプル数決定にあたっては各章の説明によるが、原則として、サンプル数の確保は、パラメータ推定において統計的に有意であり、下記で述べる統計検定値量からモデルとして評価を行えることを基準とした。ここで有意とは、「確率的に偶然とは考えにくく、意味があると考えられること」である。

(2) 場合の数 : B

場合の数は、モデルの適合度を表す \bar{r}^2 を計算するとき用いる。下記の式で表す。

$$B = \sum_{i=1}^N (J_i - 1) \quad (27)$$

J_i は、個人 i の選択肢数である。

(3) $L(\mathbf{0})$

対数尤度関数 L の推定値 β_k の値をすべて 0 としたときの L の値である。

$$L(\mathbf{0}) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J \delta_{ij} \ln\left(\frac{1}{J_i}\right) = -\sum_{i=1}^N \ln\left(\frac{1}{J_i}\right) \quad (28)$$

δ_{ij} の値は、 J_i 中の選択した 1 つのみに 1 を記入し、他はゼロである。個人 i が選択肢集合 J_i から選択したとき $\delta_{ij} = 1$ 、選択しなかったとき $\delta_{ij} = 0$ となる。

(4) $L(\hat{\beta})$

対数尤度関数 L の最大値であり、下記で表される。

$$L(\hat{\beta}) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J \delta_{ij} \ln(P_{ij}) = -\sum_{i=1}^N \ln(P_{ij}) \quad (29)$$

(5) $-2(L(\mathbf{0}) - L(\hat{\beta}))$

全てのパラメータの値が 0 であるか否かという仮説検定に用いる統計量。 $-2(L(\mathbf{0}) - L(\hat{\beta})) > \chi_{\alpha}^2$ が成り立つときは帰無仮説を棄却し、全ての β_k が 0 であるとは限らないと考える。任意の有意水準における χ^2 の値を χ^2 分布表から読み取って、その値 χ_{α}^2 と $-2(L(\mathbf{0}) - L(\hat{\beta}))$ の大小を比べることで帰無仮説の判定を行うことができる。

(6) 適中率 : *Hit R*

パラメータ推定値と説明変数値を用いて計算される効用の確定部分の推定値が最大となる選択肢が選択されると予測し、この選択予測と実際の選択が一致しているサンプルを「適中」として、全サンプルの何パーセントが適中したかを表したものである⁶⁾。本論では具体的な数値基準を設けず、できるだけ高い値を目指すとする。また、適中率1は効用が1番目に高い選択肢、適中率2は効用が2番目に高い選択肢までを含めて算定した結果である。

(7) 尤度比 (McFadden の決定係数) : ρ^2

ρ^2 は、尤度比または McFadden の決定係数といい、 $0 < \rho^2 < 1$ の値をとり、1に近いほどモデルの適合度がよいことを示す指標である。ロジットモデルの場合において $0.2 < \rho^2 < 0.4$ が成り立つときには十分適合度の高いモデルと判断してよいとされ、次式で表される。

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)} \quad (31)$$

(8) 自由度調整済み決定係数 : $\bar{\rho}^2$

尤度比 ρ^2 は、回帰分析の R^2 と同様に、説明変数を増やせば指標値が増加する。回帰分析においてこの欠点を克服したものが自由度調整済み決定係数 \bar{R}^2 であった。McFadden の決定係数にも同様の考え方が適用され、以下のような自由度調整済み決定係数が提案されている。尤度比 ρ^2 と同様に1に近いほどモデルの適合度がよいことを示す指標である⁶⁾。

$$\bar{\rho}^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})/(B-K)}{L(0)/B} \quad K : \text{モデルに導入した変数の数} \quad (32)$$

(9) 赤池の情報量規準AIC

AIC (赤池の情報量規準) は、最尤法によって推定されるどのようなモデルに対しても用いることができる適合度指標である。AICは下記の式で表わされる。AICの値は、その値が小さくなるほどモデルの適合度がよい⁶⁾。

$$AIC = -2(\log L - K) \quad L : \text{最大尤度関数} \quad (33)$$

付録 3：第 2 章調査質問票

質問事項

Q1. ご職業は何ですか？（会社員・学生・主婦・その他）

Q2. 年齢層を教えてくださいませんか？（男・女 代）

ここからは、この PC 画面をご覧ください。

Q3. あなたが画面上の☆マークにいると仮定したとき、画面上の避難ビルの中から避難したいと思うビルを一つ挙げてください。（ ）

※答えた後、選んだビルが消える※

次に、今選んだビルが初めからなかったと仮定したとき、残りのビルの中から避難したいと思うビルを一つお答えください。（ ）

※再び、答えたビルが消える※

このように、選んだビルを順番に消していくので、画面から避難ビルがなくなるまで避難したいビルを順番に挙げてください。（ ）→（ ）→（ ）→（ ）

このような画面があと 2 つ出てきますので、今の要領で画面からビルが

なくなるまで順番にお答えください。

※次のスクリーンに移る※

この画面では、縦方向でビルの高さ、体積でビルの収容人数を

表現しています。

Q4. 画面上の☆マークにいると仮定したとき、先程と同じ要領で避難したいビルを順番にお答えください。

（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→

（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）

※次のスクリーンに移る※

Q5. 今までと同じように、画面上の☆マークにいると仮定したとき、避難したいビルを順番にお答えください。

（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→

（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→

（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→

（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→（ ）→

（ ）→（ ）→（ ）

以上です。ご協力ありがとうございました。

表：慶應義塾協生館インタビュー調査 各津波避難施設が選択された順番と回数の集計

Q3 川付近における津波避難施設の選択行動：男（4番目以降、避難しないと回答した人がいたため、合計が異なる。）

	1番目	2番目	3番目	4番目	5番目	6番目	合計
イ	7	1	5	2	9	0	24
ロ	7	14	2	0	1	0	24
ハ	10	5	5	0	3	1	24
ニ	0	1	3	7	1	11	23
ホ	0	1	8	9	5	0	23
ヘ	0	2	1	5	4	11	23
合計	24	24	24	23	23	23	

Q3 川付近における津波避難施設の選択行動：女

	1番目	2番目	3番目	4番目	5番目	6番目	合計
イ	11	6	5	3	3	0	28
ロ	10	11	6	0	1	0	28
ハ	7	1	8	2	9	1	28
ニ	0	2	3	2	0	21	28
ホ	0	2	4	11	11	0	28
ヘ	0	6	2	10	4	6	28
合計	28	28	28	28	28	28	

Q4 海岸付近における津波避難施設の選択行動：男（8番目以降、避難しないと回答した人がいたため、合計が異なる。）

	1番目	2番目	3番目	4番目	5番目	6番目	7番目	8番目	9番目	10番目	11番目	合計
イ	1	4	4	5	4	3	1	1	1	0	0	24
ロ	0	2	3	3	3	3	4	4	2	0	0	24
ハ	13	1	4	3	2	1	0	0	0	0	0	24
ニ	1	2	4	4	7	2	1	1	1	1	0	24
ホ	5	2	2	1	1	3	5	2	2	1	0	24
ヘ	0	0	1	0	0	0	0	2	2	12	6	23
ト	0	0	0	0	0	1	0	0	4	3	15	23
チ	0	1	0	1	1	1	4	2	7	5	1	23
リ	1	4	3	2	2	3	3	3	2	0	1	24
ヌ	3	5	3	4	2	4	3	0	0	0	0	24
ル	0	3	0	1	2	3	3	8	2	1	0	23
合計	24	24	24	24	24	24	24	23	23	23	23	

Q4 海岸付近における津波避難施設の選択行動：女

	1番目	2番目	3番目	4番目	5番目	6番目	7番目	8番目	9番目	10番目	11番目	合計
イ	1	3	7	7	2	5	2	0	0	1	0	28
ロ	1	3	3	4	2	4	6	2	3	0	0	28
ハ	13	4	0	4	6	1	0	0	0	0	0	28
ニ	1	1	9	4	8	2	1	2	0	0	0	28
ホ	5	7	1	0	3	3	1	3	4	1	0	28
ヘ	0	0	0	1	0	1	1	1	4	11	9	28
ト	0	0	0	0	1	1	2	0	1	4	19	28
チ	0	0	1	0	3	0	2	5	9	8	0	28
リ	6	4	2	3	0	1	5	3	3	1	0	28
ヌ	1	4	4	2	2	6	7	1	1	0	0	28
ル	0	2	1	3	1	4	1	11	3	2	0	28
合計	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	

表：慶應義塾協生館インタビュー調査 各津波避難施設が選択された順番と回数の集計

Q5 沿岸地域における津波避難施設の選択行動：男（23番目以降、避難しないと回答した人がいたため、合計が異なる。）

	1 番 目	2 番 目	3 番 目	4 番 目	5 番 目	6 番 目	7 番 目	8 番 目	9 番 目	10 番 目	11 番 目	12 番 目	13 番 目	14 番 目	15 番 目	16 番 目	17 番 目	18 番 目	19 番 目	20 番 目	21 番 目	22 番 目	23 番 目	24 番 目	25 番 目	26 番 目	27 番 目	合 計
イ	0	0	2	2	2	1	1	3	0	3	1	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
ロ	1	0	0	2	3	1	1	1	3	2	4	1	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
ハ	6	3	0	0	2	0	0	0	3	1	1	0	1	1	1	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	24
ニ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	1	2	1	2	2	9	2	0	0	0	1	0	0	0	24
ホ	7	5	1	1	1	2	0	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
へ	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5	3	1	4	0	0	2	5	0	0	0	1	0	1	0	24
ト	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	7	6	1	0	0	0	0	23
チ	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	3	0	3	6	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	24
リ	1	0	1	9	2	2	3	1	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
ヌ	2	4	1	0	1	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	24
ル	0	0	0	0	1	3	4	5	1	2	1	1	0	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
ヲ	0	0	1	0	0	2	2	0	0	2	1	5	0	0	3	2	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	24
ワ	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	5	5	8	0	0	0	0	23
カ	0	0	1	1	1	1	0	4	2	3	0	3	2	3	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	24
ヨ	0	0	1	1	2	1	0	1	2	1	3	0	1	3	1	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	24
タ	6	6	3	2	1	2	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
レ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	19	0	0	0	23
ソ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	1	1	2	8	1	0	6	0	1	0	0	24
ツ	0	2	0	1	0	2	2	0	0	1	2	0	0	1	0	1	5	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	24
ネ	0	1	5	2	4	1	2	0	3	3	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
ナ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	20	1	0	23
ラ	0	0	0	1	0	2	2	0	1	0	1	2	1	1	1	6	1	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	24
ム	1	1	3	0	3	2	4	5	0	0	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
ウ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	4	7	5	1	0	0	0	23
ノ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	20	1	23
オ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22	23
ク	0	1	5	0	0	1	0	0	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	4	0	1	0	1	0	1	0	0	24
合計	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23	23	

表：慶應義塾協生館インタビュー調査 各津波避難施設が選択された順番と回数の集計

Q5 沿岸地域における津波避難施設の選択行動：女

	1 番 目	2 番 目	3 番 目	4 番 目	5 番 目	6 番 目	7 番 目	8 番 目	9 番 目	10 番 目	11 番 目	12 番 目	13 番 目	14 番 目	15 番 目	16 番 目	17 番 目	18 番 目	19 番 目	20 番 目	21 番 目	22 番 目	23 番 目	24 番 目	25 番 目	26 番 目	27 番 目	合 計	
イ	0	2	1	1	1	3	0	2	1	0	1	0	6	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
ロ	0	0	0	2	3	1	0	3	0	1	6	6	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
ハ	11	2	0	0	2	2	0	0	2	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	3	0	1	0	0	0	0	28	
ニ	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	6	8	6	1	0	0	1	0	0	0	28	
ホ	3	4	1	1	1	1	4	4	1	4	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
へ	0	2	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	4	2	3	3	1	2	2	1	1	0	0	3	0	0	0	28	
ト	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	1	3	2	3	4	6	2	2	0	0	0	28	
チ	0	0	1	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	1	4	5	7	4	0	1	0	0	0	0	0	0	28	
リ	1	2	4	10	3	2	0	1	0	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
ヌ	2	7	2	1	0	2	1	0	0	1	0	1	1	1	0	2	1	1	0	0	0	4	0	1	0	0	0	28	
ル	0	1	4	1	2	6	3	4	1	0	0	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
ヲ	0	0	0	2	0	0	6	3	3	1	0	4	1	2	2	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	28	
ワ	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	3	0	3	3	11	2	1	0	0	28	
カ	0	1	0	0	3	1	1	0	0	3	0	2	0	5	7	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
ヨ	0	0	0	2	5	3	3	1	2	0	3	2	1	2	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	28	
タ	11	3	1	1	1	0	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
レ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	1	4	17	1	0	0	28	
ソ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	1	0	0	0	0	0	1	12	5	2	3	0	0	0	0	28	
ツ	0	2	0	0	0	0	2	1	1	1	0	0	2	2	0	9	3	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	28	
ネ	0	1	3	3	2	2	1	0	1	7	5	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
ナ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	26	0	0	28	
ラ	0	0	0	0	0	3	1	0	1	1	1	1	1	1	3	9	3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	28	
ム	0	0	2	1	4	2	1	2	1	2	4	6	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
ウ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	9	10	3	0	0	0	0	28	
ノ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	1	28
オ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	27	28	
ク	0	0	9	2	0	0	2	2	0	0	1	0	2	1	1	0	1	1	1	0	0	0	4	1	0	0	0	28	
合計	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28		

付録 4 : 第 3 章調査質問票

津波避難アンケート（海水浴客）

調査日

8月30日（金）～9月1日（日）

時間

10:30~16:30

調査内容

津波避難に関するインタビュー調査

注意事項

- インタビューは二人一組で行ってください。一人はマップ（A1 版）を持ちながら回答者に話しかけ、質問をしてください。もう一人は配布したアンケート用紙に回答内容を記録してください。
- インタビューは 1 グループにつき 1 回行ってください（同じグループと思われる人たちには 2 回以上聞かないでください）。
- 回答の内容はできるだけ詳細に記録してください（例えば複数の意見が挙げられた時には、両方の意見を記録してください）。
- 記録の際には、所定の位置に「調査者」及び「調査番号」を記入してください（番号は最初にインタビューした人を 1 とし、以降順番に数えてください）。
- 相手に話しかける役は疲労が蓄積するため、適宜交代するなどして負担を軽減するようお願いいたします。
- 1 時間に 8 組、一日で 35 組を目標にお願いします。
- 休憩は 1 時間調査→30 分休憩→1 時間調査→...を目安に、各自で時間管理を行ってください。
- 終了は 16:30 を予定しています。時間になりましたら所定の場所まで来てください。アンケート用紙を提出して頂き次第、解散となります。

質問事項

※最初はマップを見せないで回答してもらおう

- Q1. 本日何人で来ていますか？（本人含む）
大人（男 人 女 人） 子供（ ）人
- Q2. この海岸に来たのは今日で何回目ですか？：（ ）回目
- Q3. 前回ここに来たのはいつ頃ですか？：約（ ）前
- Q4. 過去に津波避難訓練に参加したことはありますか？：無・有（ ）回
- Q5. 学生（社会人）の方ですか？（相手の容姿から判断して適宜質問を変更）
中学生・高校生・大学生・専門学生・社会人（年齢（ ）代）

ここからは、今から述べる状況になったと想定して以降の質問に回答してください。

「たった今強い揺れを感じ、防災放送にて藤沢市沿岸に大津波警報が発令されたことをあなたは知りました。」

- Q6. まず何をしますか？（自由回答）

例) 避難する、周りの人に避難を呼びかける等

- Q7. どこに向かいますか？（自由回答）

例) 高台へ向かう、交番へ向かう等

- Q8. その理由は何ですか？（自由回答）

例) なるべく遠くへ逃げたいから、なるべく高い所へ逃げたいから等

※ここでマップを見てもらおう

Q9. マップの番号は、藤沢市が指定している津波避難ビルになります。これをご覧になったうえで、再度伺います。避難する時どこへ向かいますか？（自由回答）

例) 29 へ逃げる、片瀬山まで逃げる等

Q10. その理由は何ですか？（自由回答）

例) ビルの収容人数が大きいから、ビルの高さが高いから等

Q11. その目的地まで何分くらいで到着できると思いますか？（自由回答）

Q12. その時、どのような経路をたどりますか？（マップ上を指でなぞってもらう）

別添地図に記入

Q13. マップ上の津波避難ビルのうち、どの避難ビルなら避難したいと思いますか？
（マップで範囲を示してもらう）

例) 53~59,83 以外、29,31~25 のみ等

Q14. その理由は何ですか？（自由回答）

例) 低い建物には逃げたくないから、収容人数の小さいものは避けたいから等

Q15. あなたはどのタイミングで避難を開始しますか？

- ① 放送を聞いたら率先して避難する
- ② 真っ先に避難し始めた人の後を追うように避難する
- ③ 砂浜にいる人の半分くらいがいなくなったら避難する
- ④ 砂浜にいる人の7、8割がいなくなったら避難する
- ⑤ 自分だけになっても避難しない（津波が見えるまで避難しない）

以上

付録 5 : 第 4 章 調査質問票

出典 : 国土交通省都市局 : 『復興支援調査アーカイブ』

避難行動調査 調査票案

◆はじめに、地震発生時の状況について、おたずねします。

問1 地震発生時（平成23年3月11日14時46分頃）は、あなたはどちらにいましたか。この中から1つだけお答え下さい。

- | | | |
|---|---------------------------|---------------|
| 1 | 自宅 | |
| 2 | 会社・学校 | |
| 3 | 上記（自宅・会社・学校）以外の屋内 | |
| 4 | 屋外で過ごしたり、歩いたり、自転車などに乗っていた | → 問2へ お進みください |
| 5 | 車・バイクを運転中だった | → 問2へ お進みください |
| 6 | 電車やバスなどに乗っていた | → 問2へ お進みください |
| 7 | その他（具体的に： _____） | → 問2へ お進みください |

▶ 問1-1（問1で「1」～「3」と回答された方に）地震発生時にいた場所（施設）の建物は何階建てでしたか。この中から1つだけお答え下さい。

- | | |
|---|--------------|
| 1 | 平屋 |
| 2 | 2階建て |
| 3 | 3階建て |
| 4 | 4階建て |
| 5 | 5階建て以上 |
| 6 | 建物の外 |
| 7 | わからない/覚えていない |

▶ 問1-1-1 地震発生時、あなたは何階にいましたか。

 階

問2 地震発生時、同居のご家族はどこにいましたか。この中からいくつでもあげて下さい。

- | | |
|---|---------------------|
| 1 | 自宅 |
| 2 | 職場 |
| 3 | 学校 |
| 4 | 幼稚園・保育所 |
| 5 | 買い物・通院などで外出中 |
| 6 | その他の場所（具体的に： _____） |
| 7 | 同居家族はいない（単身者） |

問3 地震の揺れの直後、大津波警報を聞く前にあなたのいた場所に津波が来ると思いましたか。この中から1つだけお答え下さい。

- | |
|---------------------------------|
| 1 津波は必ず来ると思った |
| 2 津波は来るかもしれないと思った |
| 3 津波は来ないだろうと思った |
| 4 津波のことはほとんど考えなかった → 問4へお進みください |

→ 問3-1 (問3で「1」「2」と回答された方に)「津波が来る」と思ったのは、どのような理由からですか。この中からいくつでもあげて下さい。

- | |
|---|
| 1 その場所(あなたがいた場所)は津波ハザードマップで浸水が想定されていたから |
| 2 地震の揺れが大きかったから |
| 3 防潮堤などがあまり整備されていないから |
| 4 大きな地震(揺れ)が来た時は必ず津波が来ると考えているから |
| 5 今までの自分の経験や知識から |
| 6 昔からの言い伝えなどを思い出したから |
| 7 家族や同僚など周囲の人に言われたから |
| 8 自治体や消防等の呼びかけを聞いたから |
| 9 その他(具体的に: _____) |

→ 問4へ お進みください

→ 問3-2 (問3で「3」と回答された方に)「津波は来ないだろう」と思ったのは、どのような理由からですか。この中からいくつでもあげて下さい。

- | |
|--|
| 1 その場所(あなたがいた場所)は津波ハザードマップで浸水が想定されていないから |
| 2 地震の揺れはあったが被害がそれほどでもなかったから |
| 3 防潮堤や津波対策がされているから |
| 4 高台にいたから |
| 5 沿岸部から離れているから |
| 6 3月9日の地震でも大きな津波がこなかったから |
| 7 2010年の大津波警報の時も大きな津波は来なかったから |
| 8 1960年のチリ地震の際に避難する必要がなかったから |
| 9 今までの自分の経験や知識から津波は来ないと思った |
| 10 昔からの言い伝えなどで津波はここまで来ないと思った |
| 11 家族や同僚なども来ないと言っていたから |
| 12 津波の情報などがなく、自分ではわからなかったから |
| 13 その他(具体的に: _____) |

→ 問4へ お進みください

問4 あなたのいた場所では下記のようなことが起きましたか。この中からいくつでもあげて下さい。

- | |
|--------------------|
| 1 家具が倒れた |
| 2 室内にあるものが落下し、散乱した |
| 3 揺れている間に停電した |
| 4 揺れが収まって、すぐに停電した |
| 5 電柱や電線が大きく揺れた |
| 6 泥水が噴き出してきた |
| 7 上記のことは起きなかった |

問5 揺れが収まってから、あなたは以下のようなことを行いましたか。この中からいくつでもあげてください。

- | | | |
|----|---------------------------|---|
| 1 | テレビやラジオで地震情報を知ろうとした | |
| 2 | 防災無線から情報を知ろうとした | |
| 3 | インターネットや携帯電話で情報を知ろうとした | |
| 4 | 家族などの安否を確かめるために電話・メールをした | |
| 5 | 周囲の人を助け出した | |
| 6 | 仕事の同僚や従業員の安否を確認した | |
| 7 | 業務上の対応を行った | |
| 8 | 来訪者（来客者）や入所者等を避難させた | |
| 9 | 子どもの安否を確認した | |
| 10 | 外に出て様子をみた | |
| 11 | 家族や近所の人に声をかけたり相談したりした | |
| 12 | 地震後の家の片付けをした | |
| 13 | 荷物や貴重品をまとめるなど、避難のための準備をした | |
| 14 | 何もせず、すぐに避難した | |
| 15 | すぐに自宅に戻った | |
| 16 | その他（具体的に： | ） |

◆次に、地震発生時の警報の收受について、おたずねします。

問6 地震の直後に、岩手県・宮城県・福島県には大津波警報が出され、青森県・茨城県には津波警報から大津波警報に途中から切り替えられました。あなたは、この大津波警報をお聞きになりましたか。この中から1つだけお答え下さい。(津波警報・注意報は除きます。)

- | | |
|---|---------------------|
| 1 | 聞いた |
| 2 | 聞かなかった → 問7へお進みください |
| 3 | 覚えていない → 問7へお進みください |

▶問6-1 (問6で「1 聞いた」と回答された方に) あなたは、その大津波の津波警報をどのようにして知りましたか。この中からいくつでもあげて下さい。

- | | |
|----|--------------------|
| 1 | 民放テレビから |
| 2 | NHKテレビから |
| 3 | 携帯のワンセグから |
| 4 | 民放ラジオから |
| 5 | NHKラジオから |
| 6 | 防災無線の戸別受信機から |
| 7 | 防災無線の屋外拡声器から |
| 8 | 市町村の広報車から |
| 9 | 家族や近所の人から |
| 10 | 警察や消防の人から |
| 11 | 携帯メールから |
| 12 | インターネットから |
| 13 | その他 (具体的に: _____) |

▶問6-2 (問6で「1 聞いた」と回答された方に) あなたが聞いた大津波の津波警報は、どのような内容のものでしたか。この中からいくつでもあげて下さい。

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 | 大津波の津波警報が出たことだけ覚えている |
| 2 | 予想される津波の高さ → _____ m _____ m _____ m |
| 3 | 観測された津波の高さ → _____ m |
| 4 | その他 (具体的に: _____) |

▶問6-3 (問6で「1 聞いた」と回答された方に) あなたは、この大津波警報を聞いた時、どのように思いましたか。この中から1つだけお答え下さい。

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 | すぐに避難しなければいけないと思った |
| 2 | すぐに避難した方がいいかもしれないと思った |
| 3 | 警戒する必要があるが、海の様子をみてから判断した方がよいと思った |
| 4 | 警戒する必要があるが、周囲の様子をみてから判断した方がよいと思った |
| 5 | 避難するほどの危険はないと思った |
| 6 | その他 (具体的に: _____) |

問7 地震のあと、市町村から「大津波が来るので避難するように」といった呼びかけを聞きましたか。この中から1つだけお答え下さい。

- 1 聞いた
- 2 聞かなかった →問8へお進みください
- 3 覚えていない →問8へお進みください

→問7-1 (問7で「1 聞いた」と回答された方に) あなたは、この呼びかけを聞いた時、どのように思いましたか。(○は一つ)

- 1 すぐに避難しなければいけないと思った
- 2 すぐに避難した方がいいかもしれないと思った
- 3 警戒する必要があるが、海の様子をみてから判断した方がよいと思った
- 4 警戒する必要があるが、周囲の様子をみてから判断した方がよいと思った
- 5 避難するほどの危険はないと思った
- 6 その他 (具体的に: _____)

問8 地震発生後から日没までの間、避難や津波に関する情報を得るのに、次にあげる情報源は、あなたにとって役にたったと思いますか。この中からいくつでもあげてください。

- 1 家のテレビから
- 2 車のテレビ (カーナビ)
- 3 ラジオ
- 4 携帯のワンセグ放送
- 5 携帯電話のメール
- 6 携帯電話での通話
- 7 防災無線の戸別受信機
- 8 防災無線の屋外拡声器
- 9 市町村の広報車
- 10 家族や近所の人
- 11 警察や消防の人
- 12 ニュースサイトなどのホームページ
- 13 twitter、mixi、Facebook などのソーシャルメディア
- 14 役にたったものはなかった

◆つぎに、避難について、おたずねします。

問9 地震の後、津波が実際に押し寄せてくるまでの間、津波を警戒し避難しようと思いましたが。この中から1つだけお答え下さい。

- | | |
|----------------|-------------|
| 1 思った | →問10へお進み下さい |
| 2 思ったが避難できなかった | |
| 3 思わなかった | |

▶ 問9-1 (問9で「2 思ったが避難できなかった」と回答された方に) 避難できなかった理由は何ですか。この中からいくつでもあげてください。

- | |
|---|
| 1 子どもが帰ってくるので避難しようにも出来なかったから |
| 2 自身又は家族の身体が不自由なので避難できなかったから |
| 3 仕事や職務で避難できなかったから |
| 4 来場者や顧客・子どもを避難させる、あるいは守るため、留まらざるを得なかったから |
| 5 職場で避難の指示がでなかったから |
| 6 その他 (具体的に: _____) |

▶ 問9-2 (問9で「3 思わなかった」と回答された方に) 避難をしようと思わなかった理由は何ですか。この中からいくつでもあげてください。

- | |
|--------------------------|
| 1 過去の地震でも津波がこなかったから |
| 2 津波警報の津波の予想高さが高くなかったから |
| 3 最初に観測された津波の高さが小さかったから |
| 4 防潮堤など津波を防ぐ施設で防げると思ったから |
| 5 家族または近所の人が大丈夫だと言ったから |
| 6 海から離れた場所にいたから |
| 7 津波の恐れのない高台にいると思ったから |
| 8 様子を見てからでも大丈夫だと思ったから |
| 9 その他 (具体的に: _____) |

問 10 地震の揺れが収まってから当日の夜までの間に、あなたがいた、主な場所・そこで取った行動についてお尋ねします。別紙の地図と一緒に答えください。

- 注 1) 「最初にいた場所」、「○番目に行った場所」、及びその間の「移動経路」、及びその間の「移動経路」は、別紙の地図に丸番号と線でご記入ください。
 注 2) 「施設の種類」、「主な移動手段」、「移動した目的」、「移動のきっかけ」については下表 1～4 をそれぞれご覧いただき、あてはまる番号をご記入ください。
 注 3) 「津波の状況・方向」は、移動中に津波が見えた場合に、その状況や流れる方向等について、別紙の地図にご記入下さい。
 注 4) 「施設名・住所等補足、出発時刻・到着時刻 (24 時間表記)」は、そのままご記入ください。

	最初にいた場所	1番目に行った場所	2番目に行った場所	3番目に行った場所	4番目に行った場所	5番目に行った場所
	別紙地図に①と記入 番号 ()	別紙地図に②と記入 番号 ()	別紙地図に③と記入 番号 ()	別紙地図に④と記入 番号 ()	別紙地図に⑤と記入 番号 ()	
施設の種類 (表 1)						
施設名称 住所等補足						

	別紙地図に線を引く	別紙地図に線を引く	別紙地図に線を引く	別紙地図に線を引く	別紙地図に線を引く
移動経路	時 分	時 分	時 分	時 分	時 分
出発時刻	時 分	時 分	時 分	時 分	時 分
到着時刻	時 分	時 分	時 分	時 分	時 分
主な移動手段 (表 2)	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()
移動した目的 (表 3)	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()
移動のきっかけ (表 4)	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()	番号 () その他 ()
津波の状況・方向	別紙地図に⇒など引く				

	別紙地図に線を引く	別紙地図に線を引く	別紙地図に線を引く	別紙地図に線を引く	別紙地図に線を引く
(参考時刻)	時 分	時 分	時 分	時 分	時 分
地震発生	14時46分				
津波第1波					
津波最大波					
日没					

(表 1) 施設の種類の種類 (一つだけ)	(表 2) 主な移動手段 (一つだけ)	(表 3) 移動した主な目的 (一つだけ)
1 自宅・近所 2 自宅の2階以上 3 親戚・知人宅 4 職場 5 学校 6 店舗 7 同じ建物の上層階 8 屋外 9 海上の船の上 10 高い建物 (避難ビル等) 11 津波の危険がない屋外の高台 12 その他の指定された避難場所 13 その他 ()	1 おぶってもらった 2 徒歩 (1人) 3 徒歩 (継着者の同行者がいた) 4 徒歩 (乳幼児や高齢者など歩行速度が遅い同行者がいた) 5 徒歩 (歩行困難な同行者がいた) 6 自転車 (自分で乗った) 7 自転車 (乗せてもらった) 8 バイク (自分で運転) 9 バイク (乗せてもらった) 10 車 (自分で運転) 11 車 (乗せてもらった) 12 その他 ()	1 家族・親戚・知人の安否確認 (様子見) たりした 2 家族・親戚・知人を探したり、迎えに行ったりした 3 被害の状況確認 4 避難の用意のため 5 津波からの避難のため ⇒表 4へ 6 身を寄せる避難所へ行くため ⇒表 4へ 7 地震の後片付けのため 8 避難を呼び掛けたり手助けするため 9 救助活動のため 10 その他業務のため 11 その他 ()

(表 3) 施設の種類 (一つだけ)	(表 4) 避難のきっかけ (いくつでも)	(表 3) で「5、6」を選択したかたのみお答え下さい
1 自宅・近所 2 自宅の2階以上 3 親戚・知人宅 4 職場 5 学校 6 店舗 7 同じ建物の上層階 8 屋外 9 海上の船の上 10 高い建物 (避難ビル等) 11 津波の危険がない屋外の高台 12 その他の指定された避難場所 13 その他 ()	1 地震の揺れが大きくなり津波がくると思ったから 2 津波警報を聞いたから 3 家族・知人の勧め 4 市町村や消防の勧め 5 会社学校の指示 6 誘導されたため 7 津波が迫ってきたから 8 避難施設がいっぱいで入れなかった 9 ほっとんど人がいなくなった 10 津波が引いたため 11 その他 ()	1 地震の揺れが大きくなり津波がくると思ったから 2 津波警報を聞いたから 3 家族・知人の勧め 4 市町村や消防の勧め 5 会社学校の指示 6 誘導されたため 7 津波が迫ってきたから 8 避難施設がいっぱいで入れなかった 9 ほっとんど人がいなくなった 10 津波が引いたため 11 その他 ()

◆つぎに、避難経路、避難施設について、おたずねします。

問11 (問10の移動手段で車を選ばれた方に)車を使用した理由は何ですか。この中からいくつでもあげて下さい。

- 1 避難を始めた場所に車で来ていたから
- 2 車でないと間に合わないと思ったから
- 3 安全な場所まで遠くて、車でないといけないと思ったから
- 4 家族で避難しようと思ったから
- 5 家族に避難困難者(高齢者、要介護者、子ども等)がいたから
- 6 家族を探したり、迎えに行こうと思ったから
- 7 車も財産なので、守ろうとしたから
- 8 荷物を運べるから
- 9 車だと情報が得られるから
- 10 渋滞すると思わなかったから
- 11 家族や知人等にらせてもらったから
- 12 その他 ()

問12 津波が到達する前の避難時の移動において、道路の状況として実際に困ったことはありますか。この中からいくつでもあげて下さい。

- 1 渋滞して車が動けない状態だった
- 2 家屋・電柱の倒壊、陥没、がれき等が散乱していて通行しづらい状態だった
- 3 人や車が混在して危険な状態だった
- 4 河川や鉄道などがあり、迂回しなければならなかった
- 5 信号が点灯していなかった
- 6 橋や踏切など危険なところを通行せざるを得なかった
- 7 津波の水や漂流物があって通行しづらい状態だった
- 8 沿道に車が乗り捨てられていて進みにくかった
- 9 周りに人がいず、不安になった
- 10 段差が多いなど高台まで簡単に登れる道がなかった
- 11 道路が入り組んでわかりにくかった
- 12 標識などの避難場所までの行き方を示す道標がなかった
- 13 その他 ()
- 14 特に困ったことはなかった →問13へお進みください。

問12-1 その場所はどこですか、先ほどの地図上に線や点で具体的にお示しください。

問13 当日、津波から最初に避難した場所の立地や設備面で問題と感じたことはありますか。この中からいくつでもあげて下さい。

- 1 場所がわかりにくかった
- 2 場所が遠かった
- 3 場所までに階段が多かったり、勾配がきつかったりした
- 4 敷地が狭く、車が止められなかった
- 5 人で溢れて、入りきれなかった
- 6 津波の被害にあった
- 7 一部損壊していた
- 8 その他 ()
- 9 特に問題はなかった。

◆つぎに、災害前の状況について、おたずねします。

問14 あなたご自身は、津波ハザードマップ[※]や津波防災マップを見たことがありますか。この中から1つだけお答え下さい。

- | | | |
|---|---------|----------------|
| 1 | 見たことがある | |
| 2 | 見た覚えがない | → 問15へ お進みください |
| 3 | わからない | → 問15へ お進みください |

※津波の危険区域や大規模な地震によって予想される津波の高さを示した地図。

→ 問14-1 (問14で「1」と回答された方に) ご自宅は津波ハザードマップ上で浸水すると予想されておりましたか。この中から1つだけお答え下さい。

- | | | |
|---|---------------|---|
| 1 | 浸水が予想されていた | |
| 2 | 浸水しないことになっていた | |
| 3 | わからない | |
| 4 | その他(具体的に: |) |

問15 あなたは、あなたの地域で過去の津波や浸水や、津波発生時の避難方向、避難地などを示した「看板」「サイン」「標示」等を見たことがありますか。この中からいくつでもあげて下さい。

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1 | 過去の津波の浸水の看板・サイン・標示等を見たことがある |
| 2 | 津波発生時の避難の方向などの看板・サイン・標示を見たことがある |
| 3 | 避難地(場所)の看板・サイン・標示を見たことがある |
| 4 | 見たことはない |
| 5 | わからない |

問16 お宅では、今回の大震災が発生する前にどのような備えをしていましたか。この中からいくつでもあげて下さい。

- | | | |
|---|-------------------------------|---|
| 1 | 家具の固定 | |
| 2 | 非常持ち出し品の準備 | |
| 3 | 避難の方法や連絡手段、集合場所などを家族で話し合っていた | |
| 4 | 避難場所・避難経路の確認 | |
| 5 | 津波ハザードマップの確認 | |
| 6 | 地域の津波避難訓練に参加した | |
| 7 | 地域で避難が難しい人の誘導(手助け)について話し合っていた | |
| 8 | 何もしていなかった | |
| 9 | その他(具体的に: |) |

問17 あなたは、地震発生時にいた場所の指定避難場所や避難ビルを知っていましたか。この中から1つだけあげてください。

1 知っていた

2 知らなかった →問18へ お進みください

▶問17-1 (問17で「1」と回答された方に) あなたは、その指定避難場所や避難ビルに行けましたか。この中から1つだけあげてください。

1 行けた →問18へ お進みください

2 行こうとしたが、行けなかった

3 行こうとしたが、途中で行き先を変更した

4 最初から別の場所に向かった

5 行かなかった

▶問17-1-1 (問17-1で「2」「3」「4」「5」と回答された方に) あなたはその指定避難場所や避難ビルに行けなかった、行かなかった理由はなんですか。この中からいくつでもあげてください。

1 交通が渋滞していたから

2 道がふさがれていて、目指した場所に行くことが難しかったから

3 波が迫ってきたから

4 別の場所に行くように促されたから

5 他の避難しやすい場所に気付いたから

6 家族・知人などに車に乗せてもらって別の場所に移動したから

7 より高いところに移動しようとしたから

8 自宅に帰ったから

9 子どもを迎えに行ったから

10 家族・親戚・知人の様子を見にいったから

11 遠かったから

12 予め想定していた避難場所と異なるから

13 その他 (具体的に: _____)

問18 今後の避難経路や避難施設に関して、要望・ご意見がありましたらお聞かせください。

F 6 この度の地震や津波で、ご自宅はどのような被害を受けましたか。この中から 1 つだけあげて下さい。

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1 津波によって自宅が流出または全壊・全焼した2 津波によって半壊・一部損壊した3 地震の揺れによって全・半壊した4 その他（具体的に)5 特に被害はない |
|--|

F 7 この度の地震や津波で、ご家族はどのような被害を受けましたか。この中から 1 つだけあげて下さい。

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1 全員無事だった2 怪我をした家族がいる3 亡くなったり不明の家族がいる |
|---|

謝辞

本研究は、慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程在学中、同大学理工学部岸本達也准教授の指導のもとに行ったものである。私が本論文を取りまとめるにあたり、多くの方のご指導とご支援をいただきました。ここに感謝の意を表します。指導教員である岸本達也先生には、「津波避難」という社会的にも非常に重要な研究テーマを頂き、有意義な研究に取り組ませて頂きました。研究を遂行するにあたり、研究計画から本論作成までのあらゆる段階で、多大なるご指導を頂きました。研究に対する取り組み方に始まり、研究課題の解決方法、改善方法、発展方法など、研究者として必要な多くの素養を学ばせて頂きました。さらに、研究室の学生や授業で接する学生に対する懇切かつ熱心な指導については、教育者としてのあるべき姿を学びました。また投稿論文や研究助成金の申請書に記載する内容についても添削および推敲して頂きました。論文掲載や研究助成金の獲得に至ることができたのは、岸本先生のご教授のおかげです。博士論文の副査を務めて頂いた、慶應義塾大学理工学部の三田彰先生、栗田治先生、東京工業大学大学院の大佛俊泰先生は、本論のために有益な提案やご指摘を下さいました。また私の学士課程在籍中に三田先生、栗田先生の授業を受けた際、また後期博士課程在籍中に学会や研究論文で大佛先生の研究を拝見した際は、大変勉強になりました。お忙しい中、本論の審査を引き受けてくださり感謝致します。

岸本研究室の後期博士課程の先輩である羽鳥洋子さん、佐々木雄希さんには、研究生生活を送る上で多くのことを教わり感謝しています。羽鳥さんには、一学年上の先輩として、私が学士課程の頃から建築の授業や研究生生活についてアドバイスを頂きました。佐々木さんには、岸本研究室在籍時の後期博士課程の先輩として、研究の進め方、研究の取り組み方など参考にさせて頂きました。そして岸本研究室に在籍した期間中、同じく研究生生活を共にした皆様に感謝致します。本論の共同研究者であった岸本研究室の秋山和範君は、アンケート調査の計画から実施、分析に至るまでお互い知恵を出し合いました。同じく共同研究者の佐々木雅宏君、村山祐樹君は、東日本大震災の避難行動分析を行い、研究の発展に繋げることができました。佐々木君は、宮城県仙台市出身ということもあり、東日本大震災の被災経験のある身として熱心に研究へ取り組む姿勢は、私の研究に対する意識をさらに高めてくれました。研究室生活を共にした後輩は、多くの時間を研究室で一緒に過ごして研究課題について議論したことや、研究室以外でも多くの充実した生活を送ることができました。各人について感謝の意を表したいところですが、書き切れない程の内容になってしまうので、ここでは割愛いたします。本論の調査を行う際、神奈川県藤沢市総務部防災危機管理室、神奈川県鎌倉市防災安全部総合防災課、宮城県名取市総務部震災記録室の方々には、ヒアリングを受けて頂き、資料を提供して頂きましたことを感謝致します。そしてアンケート調査を実施するにあたり、調査協力をしてくれた方々とアンケートの回答にご協力頂いた方々に感謝致します。東日本大震災の避難行動を分析するにあたり、復興支援調査アーカイブのデータを提供頂いた東京大学空間情報科学研究センターの方々にお礼申し上げます。最後に、私の研究生生活を温かく見守り支えてくれている両親に心から感謝致します。

平成 28 年 3 月

山田崇史