

津波被害を考慮した地域構造に関する研究

A STUDY ON REGIONAL STRUCTURE CONSIDERING TSUNAMI DAMAGE

森田 哲夫¹・細川 良美²・塚田 伸也³・湯沢 昭⁴・森本 章倫⁵

¹博士（工学） 東北工業大学教授 工学部都市マネジメント学科 (E-mail: ttmorita@tohtech.ac.jp)

²学士（工学） 東日本旅客鉄道株式会社高崎支社

³博士（工学） 前橋市建設部公園緑地課公園建設係長 (E-mail: shinya-tsu@city.maebashi.gunma.jp)

⁴工学博士 前橋工科大学教授 工学部社会環境工学科 (E-mail: yuzawa@maebashi-it.ac.jp)

⁵博士（工学） 宇都宮大学大学院教授 工学研究科 (E-mail: morimoto@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

2011年の東北地方太平洋沖地震により発生した大津波は、東北地方の太平洋沿岸部に大きな被害をもたらした。本研究の目的は、津波被害に着目し、被害を軽減する地域構造について検討することである。

本研究では、宮城県南三陸町を対象に、復興計画による地域構造について、防災性と生活面の視点から評価を行った。その結果、復興計画による地域構造は防災性を高める効果があるが、生活面では問題があることが明らかになった。また、集約型の地域構造により、問題を軽減できる可能性を示した。

キーワード：東日本大震災、津波、地域構造、南三陸町

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により大津波が来襲し、東北地方の太平洋沿岸部に大きな被害をもたらした東日本大震災が発生した。大震災後、国や自治体は、被災地の復旧・復興に向けた計画を策定した。

被災自治体の復興計画をみると、基本的な考え方として、将来の地域づくりのための土地利用計画のあり方が示されており、居住地やその他の都市機能を、津波被害の可能性の高い地区から高台へ移転し、集約型やコンパクトな地域構造を目指すとするものが多い¹⁾。住宅の高台移転は、津波災害を小さくすることが期待できる一方で、震災前の居住地や従業地である海岸付近から離れた地区への移転となるため、通勤距離が長くなること、移転先の確保などいくつかの懸念があげられている。

自治体の復興計画で提案されている地域構造は、津波被害の軽減効果を定量的に検討していない場合が多い。今後、復興計画の具体化の過程で、定量的な検討が必要である。また、高台移転等による新たな地域構造における生活面からの評価も合わせて検討する必要がある。

以上を背景とし、本研究では、津波被害に着目し、防災性と生活面の視点から、被災自治体の復興計画による地域構造を定量的に評価することを目的とする。本研究における地域構造とは、復興計画で示されている土地利用、特に人口分布を指すこととする。

本研究では、高台移転等による新たな地域構造におい

ては、非日常の防災性と日常の生活面の評価にはトレードオフの関係があると想定している。本研究では、防災性については、津波による人的・物的被害の程度で評価することとする。防災性の評価にあたっては、東日本大震災時の避難行動に関する調査データを用い分析する。本研究での生活面の評価とは、主に日常生活における移動に関係する評価とし、具体的内容は後述する。

(2) 既存研究と本研究の位置づけ

本研究の目的に沿い、東日本大震災に関する避難行動・被害に関する調査・研究、地域の日常の生活面からの評価に関する研究の2つの視点から整理する。

1 つめの東日本大震災に関する調査・研究について整理する。内閣府の調査²⁾は、被災地を広く対象とした調査（岩手県、宮城県、福島県の沿岸地域）であり、被災者870人を対象とし避難行動等を面接調査した。東日本放送とサーベイリサーチセンター³⁾は、宮城県沿岸部の避難所の451人を対象に、避難行動等について調査を実施している。ウェザーニューズ⁴⁾は、北海道から千葉県の1道6県の被災者を対象に、避難行動等についてインターネット調査を実施した。回答数は5,296件であり、津波犠牲者の避難行動情報も得ていることが特徴である。

東日本大震災を対象とした研究は、津波被害からの施設復旧に関する研究⁵⁾、施設立地・配置に関する研究⁶⁾がみられ、大震災発生直後から数多くの研究が進められている。これら研究の中で、避難行動特性に関しては、避難距離や交通手段等の避難行動の分析⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾、新聞記事

データを用いた避難行動の分析¹⁾、言語解析技術を用いた分析²⁾がみられ、詳細な避難行動分析が進んでいる。金井・片田¹³⁾は、太平洋沿岸の広い地域を対象に、避難意思決定構造を明らかにした。藤生・沼田¹⁴⁾は、建物被害認定調査の実態について分析している。

1 つめの東日本大震災に関する避難行動・被害に関する調査・研究の視点から、本研究の位置づけを整理する。東日本大震災を対象とした調査・研究が、さまざまなアプローチで活発に行われており、今後も成果の蓄積が期待される。その中において、自治体の復興計画の定量的な評価に関する研究は見あたらないが、喫緊の課題である被災地の復興計画の検討や整備への知見を提供するという意義があると考えられる。一方で、非日常である震災時の避難行動データ取得の困難性が予想される。本研究においては、利用可能な避難行動調査データを用い、研究を進めることとする。

2 つめの地域の日常の生活面からの評価に関する研究は数多く行われている。都市部について、定井・増田¹⁵⁾、森本・中川¹⁶⁾の研究では、居住環境に対する市民の意識構造を分析し、地区特性と市民の評価値との関連を分析している。吉田¹⁷⁾は個人属性、地区特性、生活満足度、生活質を統合的に扱う共分散構造モデルを提案した。最近、林¹⁸⁾による生活質の視点から社会資本整備を評価した研究、加知¹⁹⁾による市街地拡大抑制策の検討に生活質評価を適用した研究がある。森田²⁰⁾は、都市環境に関わる諸施策を評価するモデルシステムの提案している。長尾²¹⁾は、QOL 指標と維持費用に基づく市街地の撤退・集結について検討している。このように、生活質の分析から施策評価を行う段階にきていると考えられる。森田²²⁾は、山間地域を対象に、生活質と居留意向を分析している。交通面に着目した研究としては、森山²³⁾の研究、宮崎²⁴⁾の研究において、過疎地域の公共交通サービスレベルに着目し、検討されている。

2 つめの地域の日常の生活面からの評価に関する研究の視点から、本研究の位置づけを整理する。本研究は従来の生活質に関する研究の系列上に位置するものである。本研究の特徴は、東日本大震災の被災地を対象とし、日常生活からの評価に加え、非日常における津波被害の危険性からの評価を試みる点である。評価する施策は、被災自治体の復興計画で提案されている地域構造とする。既往研究では現状の地域構造を基本とした政策の評価を行っているのに対し、本研究では新市街地を対象とした評価を行う。そのため、復興計画の情報だけでは人口分布や市街地整備に関する条件を十分得られないため、既往研究に比べ評価指標が限定されると考えられる。

(3) 本研究の着眼点と分析の進め方

二葉²⁵⁾によると、被災自治体の復興計画において集

Table 1 評価指標

分類	設定意図	評価指標
防災性	犠牲者が少ない	犠牲者数
	避難しやすい	平均避難距離、 平均避難高低差
	建物の被害が少ない	浸水建物数
生活面	人口分布	居住地の人口密度
	生活範囲が広すぎない	通勤距離 (自動車利用)
	環境負荷が小さい	交通エネルギー消費 (通勤・自動車利用)

約型やコンパクトな地域構造を目指すとするのは、岩手県、宮城県、福島県 29 自治体のうち 22 自治体であり、4 分の 3 を占めている。コンパクトな地域構造に期待される効果²⁶⁾は、自動車交通への依存を減らす、土地・空間資源を有効に活用できる、環境汚染と自然や農地の破壊を減らす、活気ある中心市街地を維持・形成できる、安価で効率的な行財政運営ができると整理されている。これら効果は、日常生活における効果であり、大災害時における非日常の効果は含まれていない。本研究では、コンパクトな地域構造の効果に津波による被害が小さいことを効果の一つに加えることを検討する。災害は人命にかかわる重要な視点であるとともに、日常生活における安心感に関わる視点であると考えられる。

本研究における地域構造の評価指標を Table 1 に示した。津波に対する防災性と日常生活の両面から評価することとする。防災性については、避難しやすく、犠牲者が少なく、建物の被害が少ない地域構造にしていくことを意図した。生活面については、森田²⁰⁾の既存研究を参考にした。この既存研究においては、生活質の評価指標(利便性、快適性、安全性)や経済面からの評価指標など多くの指標が設定されているが、本研究においては、主に人口分布による評価を行うこととし、居住地と通勤地との関係において算出できる指標とした。すなわち、集約的な人口分布であって、生活範囲が広がりすぎず、環境負荷が小さい地域構造であるかを評価できる指標とした。本研究では、前述のように、高台移転による復興計画の防災性の評価は高いが、生活面の評価は低いなど、防災性と生活面の指標はトレードオフ関係にあると想定している。既存研究に対し評価指標が限られることについては、今後の研究課題と考えることとする。

2. 研究対象地域とシミュレーション方法

2.1. 研究対象地域

(1) 研究対象地域の設定

東日本大震災により津波被害を受けた自治体について、

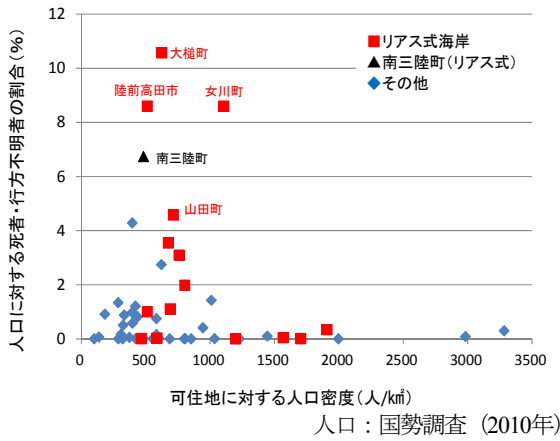


Fig. 1 被災地自治体の人口密度と死者・行方不明者の関係

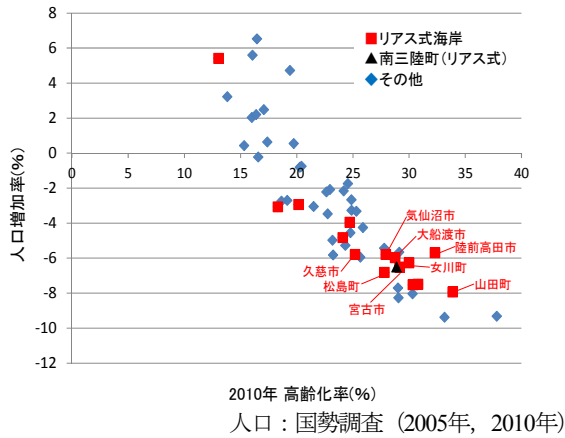


Fig. 2 被災地自治体の高齢化率と人口増加率の関係

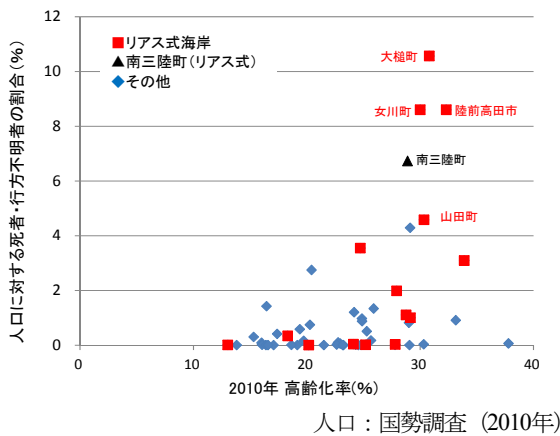


Fig. 3 被災地自治体の高齢化率と死者・行方不明者の関係

人口密度と死者・行方不明者割合の関係 (Fig. 1), 高齢化率と人口増加率の関係 (Fig. 2), 高齢化率と死者・行方不明者割合の関係 (Fig. 3) を示した。

リアス式海岸をもつ自治体において、人口に対する死者・行方不明者の割合が高い自治体がある (Fig. 1)。高齢化率と人口増加率の関係をみると、リアス式海岸の自治体において高齢化率が高く人口減少がみられる (Fig. 2)。本研究においては、高齢化率が高く、死者・行方不明者の高いリアス式海岸の自治体に着目する (Fig. 3)。これ



浸水域

資料：国土地理院

Fig. 4 宮城県南三陸町

Table 2 南三陸町の人口・世帯数及び罹災戸数

	人口 注1	世帯数 注1	罹災戸数 注2
戸倉地区	2,411 (13.6%)	680 (12.7%)	523 (15.8%)
志津川地区	8,213 (46.5%)	2,723 (50.7%)	2,044 (61.9%)
歌津地区	5,144 (29.1%)	1,441 (26.9%)	726 (22.0%)
入谷地区	1,898 (10.7%)	518 (9.7%)	8 (0.2%)
合計	17,666 (100.0%)	5,362 (100.0%)	3,301 (100.0%)

注1：2011年2月末（住民基本台帳）

注2：2011年8月31日現在²⁷⁾

これらの条件に合致する自治体である岩手県の山田町、大槌町、陸前高田市、宮城県の南三陸町、女川町のうち、死者・行方不明者の割合が極端に高い自治体ではなく、市街地が比較的まとまっており地域構造を検討しやすいと考えられる宮城県南三陸町 (Fig. 4) を対象地域とする。

(2) 南三陸町の被害状況と復興計画

南三陸町の震災前 (2011年2月末、住民基本台帳) の総人口は17,666人であり、大震災による死者・行方不明者数²⁶⁾は838人である。地区別 (Table 2) にみると、南三陸町の中心部を含む志津川地区は、南三陸町の世帯数の約50%、罹災戸数の約60%を占めている。

南三陸町の復興計画は2011年12月に策定され、2012年3月に改訂された²⁷⁾。基本理念は「自然・ひと・なりわいが紡ぐ安らぎと賑わいのあるまち」である。復興目標は、目標1「安心して暮らし続けられるまちづくり」、目標2「自然と共生するまちづくり」、目標3「なりわいと賑わいのまちづくり」である。安全性と賑わいの両面を目標として掲げていることがわかる。今後、人口減少と高齢化が進むと予想し、「これからの新しいまちづくりにあたっては、過大な宅地造成は行わず、なるべくコンパクト (集約) にすること」が必要としている。集約に

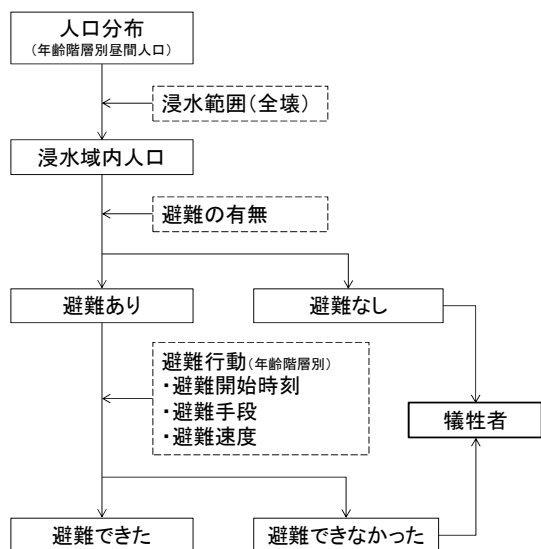


Fig. 5 シミュレーションの流れ

よる土地利用の方針は、住宅・公共施設を高台に移転し、産業・観光施設を低地に配置するとともに避難対策を強化すると記述されている。復興計画には、町域の人口見通し、土地利用計画イメージ図が示されているが、具体の人口配置計画は示されていないため、その他資料を参考に、本研究におけるシミュレーションのための人口配置を設定することとする。

2.2. シミュレーションの方法

(1) シミュレーションの流れ

防災性に関する評価指標を算出するために、津波の犠牲者数を推計するシミュレーションを行う。推計する状況は、東日本大震災時と同様の人口分布であり、住民が大震災時と同様の避難行動をとった場合である。

既存調査³⁾から、年齢階層別に避難行動特性が異なることがわかっているため、本シミュレーションでは、年齢階層別に分析する。最初に、大震災が発生した時点での町丁大字別・年齢階層別(5才刻み)の昼間人口を整備する。基本とする人口は、2010年国勢調査データ(10月1日時点)とした。大地震は平日の14時46分に発生したため、就業者は就業中、児童・生徒・学生は就学中、幼稚園児等の未就学者は在宅しているとした。非就業者、非就学者は在宅していたと仮定した。以上により、就業者は国勢調査データに基づき従業地に配置した。就業者は従業地を離れている場合があるが、外出・移動中の所在地を町丁大字別に特定できないため、従業地に存在したとした。就学者は小学校、中学校、高等学校、専門学校、短期大学、大学の所在地に配置した。その他の非就業者、非就学者は居住地に配置した。次の浸水域内人口は、一定以上の浸水深の範囲に存在した人とする。一定以上の浸水の範囲とは、東日本大震災津波避難合同調査

Table 3 年齢階層別避難開始時刻(地震発生からの時間)

年齢	5分未満	5~10分	10~20分	20~40分	40~60分	1時間以上	避難なし	合計
~19才	14%	43%	14%	14%	0%	0%	14%	100%
20~59	20%	22%	26%	16%	12%	1%	3%	100%
60才~	18%	27%	19%	21%	8%	0%	8%	100%

Table 4 年齢階層別避難手段

年齢	徒歩	自転車	自動車(運転)	自動車(同乗)	その他	合計
~19才	56%	0%	0%	44%	0%	100%
20~59	37%	5%	45%	13%	0%	100%
60才~	50%	3%	23%	23%	1%	100%

Table 5 年齢階層別避難速度

	徒歩				自転車	自動車
	未就学	学生	一般	高齢者		
避難速度 m/分	57	72	76	55	250	150

団の調査資料²⁸⁾より、犠牲者(死亡者)の発生と関連の強い全壊建物のある範囲とした。分析ゾーン単位は町丁大字であるが、一部の町丁大字については、浸水域により面積比でゾーン分割した。また、夜間におけるシミュレーションも行うため、夜間人口も整備する。

Fig. 5に示すように、整備した町丁大字別・年齢階層別の浸水域内人口に対し、避難行動の特性値を乗じることにより、犠牲者数を推計する。浸水域内人口に避難の有無の比率を乗じ、「避難あり」、「避難なし」に分ける。「避難あり」については避難開始時刻、避難手段、避難速度により、津波来襲までに一定以上の浸水域外に「避難できた」、「避難できなかった」を判定する。一定以上の浸水域とは、震災時に全壊建物の発生した範囲とし、浸水域外に達した時点で避難終了とする。「避難なし」および「避難できなかった」の人口の合計を犠牲者とする。

(2) シミュレーション条件

シミュレーション計算に入力する避難の有無、避難開始時刻、避難手段は、南三陸町と比較的地形が類似している近隣で実施された宮城県石巻市を対象とする調査のヒアリング調査結果²⁸⁾より設定した。この調査は、東日本大震災津波避難合同調査団により実施された。有効回答数は1,126票(ヒアリング調査344票、ポスティング調査782票)である。避難行動データには、国土、交通省都市局が実施した「東日本大震災津波被災市街地復興支援調査」²⁹⁾があり、南三陸町についても428の個票データが公開されている。本研究においては、より個票データの多い東日本大震災津波避難合同調査団による石巻市の避難行動データを用いた。地域間の避難行動特性の

差異については、今後の研究課題としてとらえている。

「避難あり」、「避難なし」の人口については、調査団の調査資料²⁸⁾から避難なしを5%とし分割する(後述のCase1~3, Case4以降は0%)。避難なしの比率は、既に亡くなっている人を含む情報であり、生存者を対象とする調査からは把握できないため、調査団によるヒアリング調査結果から設定した。また、年齢階層別には十分なサンプル数を確保できていないため、一律の値とした。次の避難行動に関する特性値は個票データからの集計値を用いる。避難開始時刻をTable 3に、避難手段をTable 4に示した。交通手段別の避難速度は調査団の調査では把握していないため、別途設定することとした(Table 5)。自動車の避難速度は、渋滞等による影響を考慮することとし国土交通省による被災地全域を対象とする調査³⁰⁾の結果(9.0km/時)より設定した。自転車については国土交通省による調査ではサンプル数が30トリップと少ないため、既存研究³¹⁾より平均的な値(細街路, 14.7km/時)を設定した。歩行者の速度は年齢階層別に異なることが知られている³²⁾。本研究で、5才刻みの歩行速度が報告されている文献³³⁾に基づき、未就学(5才未満)、学生(5才以上20才未満)、一般(20才以上60才未満)、高齢者(60才以上)の平均値(男女平均, 自由歩行)を算出した。以上による避難速度の設定には、データソースが異なること、自転車と歩行者が通常時のデータであること、グループでの避難が考慮されていないことの課題があると認識しており、今後研究を進めたい。

津波到達時刻は、南三陸町復興計画²⁷⁾における被災状況写真、大船渡および鮎川検潮所の潮位データ、その他報道資料より、地震発生から40分後とした。住民は、海岸に直交する方向に避難すると仮定した。ただし、実際には直線経路ではなく道路等に沿い迂回するため、避難速度を $\sqrt{2}$ で除した値を用いた。すなわち、正方形の対角線を移動するために、正方形の2辺を経由するという仮定であり、都市圏パーソントリップ調査における交通需要予測モデルのゾーン内々モデルの経路距離設定に用いられることのある方法である。国土交通省の調査²⁹⁾では、避難経路についても把握している。志津川地区について図上で迂回率の平均値(各サンプルの平均)を算出したところ1.37となった。調査結果は、山林では経路を直線で示されていることを考慮すると、本研究における設定は概ね妥当と考える。

ここで、生存者と犠牲者の行動特性に差異はないという重要な仮定をおいていることを述べる。本研究で用いた避難行動データは生存者に限られる。犠牲者についても生存者へのヒアリング調査により情報を得たが、生存者と犠牲者の行動特性の差異について定量的に検証するほどの情報を得ておらず、この点については、今後の研究課題とする。

Table 6 ケース設定と犠牲者数の推計

ケース	想定	設定	犠牲者数(推計)
Case 1	夜間に津波が発生(避難なし)	・夜間人口分布 ・避難なし100%	8,515人
Case 2	日中に津波が発生(避難なし)	・昼間人口分布 ・避難なし100%	8,950人
Case 3 再現	日中に避難が発生(避難あり)	・昼間人口分布 ・避難有無の選択あり	870人 【実績】838人

3. 津波による犠牲者数の再現

(1) ケース設定

復興計画による地域構造を評価する前に、東日本大震災による犠牲者数を再現し、シミュレーションの精度の確認をする。シミュレーションケースをTable 6に示した。Case 1は、夜間に津波が発生し、避難をしなかった場合である。Case 2は日中に津波が発生し、避難をしなかった場合である。Case 3は日中に津波が発生し、大震災時の避難行動特性により避難をした場合であり、このケースが大津波による犠牲者数の再現ケースとなる。

(2) 再現結果

シミュレーションの結果(Table 6)、犠牲者は、Case 1の夜間に津波が発生し避難しなかった場合は8,515人、Case 2の日中に津波が発生し避難しない場合は8,950人、Case 3の日中に津波が発生し避難した場合は870人であった。夜間・日中とも避難しないと被害が非常に大きくなったこと(Case 1, Case 2)、避難行動により被害は小さくなったこと(Case 2, 3の比較)が明らかになった。本研究は、東日本大震災の発生と同時にでの分析を主とするが、時刻により人口分布が異なるため、他の時刻における避難行動特性の把握や分析の必要性が示唆される。

本分析の目的である津波被害の再現については、Case 3の推計値870人に対し、実績値838人(宮城県資料²⁶⁾、死者と行方不明者の合計)であり、概ね良好な精度が得られたと考える。避難行動には、世帯・グループでの避難、一旦避難したあとの帰宅、海を見に行くなど、様々な行動がみられたとの調査結果がある。本シミュレーションでは、これらの詳細な行動を反映できていないものの、避難行動に関する定量的な情報には制約があるため、本シミュレーションをもとに、復興計画の地域構造を評価するものとする。

4. 復興計画の地域構造に関する評価

4.1. 居住地の高台移転による地域構造の評価

Table 7 ケース設定 (復興計画)

ケース	想定	設定
Case 4	復興計画なし 日中に津波が発生 (避難あり)	Case 3 に加え ・震災後、住民が帰還 (大震災の犠牲者を除く) ・10%人口減少 ・震災前の人口分布パターン
Case 5	復興計画あり 日中に津波が発生 (避難あり)	Case 3 に加え ・震災後、住民が帰還 (大震災の犠牲者を除く) ・10%人口減少 ・復興計画に基づく人口配置

Table 8 復興計画における犠牲者数

ケース	犠牲者数	
	南三陸町	うち志津川地区
Case 4 復興計画なし	312 人 (100%)	186 人 (100%)
Case 5 復興計画あり	90 人 (29%)	88 人 (47%)

Table 9 復興計画における避難のしやすさ (志津川地区)

ケース	平均避難距離	平均避難高低差
Case 4 復興計画なし	1.44km (100%)	25.4m (100%)
Case 5 復興計画あり	1.33km (92%)	30.0m (118%)

Table 10 復興計画における浸水建物数 (志津川地区)

Case 4 復興計画なし	1,957 戸 (100%)
Case 5 復興計画あり	283 戸 (14%)

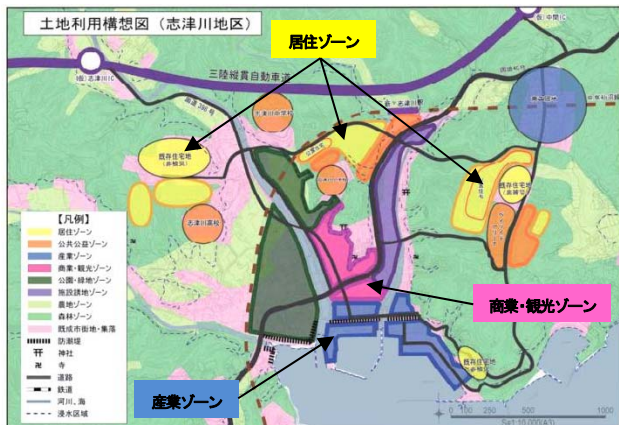


Fig. 6 復興整備計画における土地利用構想 (志津川地区) 35)

(1) ケース設定

復興計画における地域構造を評価するため、Table 7 に示すケースを設定した。Case 4 は復興計画による地域構造を行わない場合であり、Case 5 は、復興計画による地域構造を行った場合である。2011 年に南三陸町が実施した意向調査³⁴⁾の結果、町外への移転意向を示した人は約 8%であった。復興計画²⁷⁾における人口フレームは、2016 年に約 10%以上減少するとしている。以上より、Case 4、Case 5 では、震災時よりも南三陸町全体で人口が 10%減少するとする。Case 4 は震災前の居住地に居住するとし、震災前人口分布パターンとする。Case 5 は、復興計画の土地利用計画に沿って人口を配置した場合である。2012 年 3 月に改訂された復興計画²⁷⁾における土地利用構想 (志津川地区) では、高台に居住ゾーン (居住人口)、沿岸部に産業ゾーン (第 2 次従業人口)、その内側の低地に商業・観光ゾーン (第 3 次従業人口) を配置するという考え方と土地利用構想が示されている。その後、南三陸町・宮城県が検討を続けている復興整備計画³⁵⁾に示されている土地利用構想は Fig. 6 のとおりであるが、具体的な人口配置は示されていない。

本研究における、人口分布の設定方法は以下のとおりである。まず、将来の検討をすることとし、町全体人口 17,666 人から東日本大震災の犠牲者を各分析ゾーンから先取りする (Case 3 による犠牲者 870 人)。次に、復興計

画による年齢階層別人口見通しに基づき、町域全体で人口が 10%減少するよう人口を減じる。これが復興計画なしの Case 4 の人口分布である。

復興計画ありの Case 5 では、まず、震災前に浸水域内に従業していた第 2 次産業の就業者は、復興計画の産業ゾーンに従業することとした。同様に、第 3 次産業就業者は商業・観光ゾーンに従業することとした。次に、復興計画による「非被災の既存市街地」と被災していない住宅には、震災前と同様に居住するものとした。その他の浸水した町丁大字の人口は、検討が続けられている復興整備計画による各種住宅事業の区域と規模に応じ、分析ゾーンに配分した。居住地と従業地パターンは震災前と同様とした。

復興計画の地域構造 (人口分布) の評価を行うため、防潮堤等の防御施設は震災前と同様とし、津波の浸水状況も震災時と同様とする。また、大震災後であるため避難なしを選択する人はいないとした。

(2) 防災性からみた評価

シミュレーションの結果、犠牲者 (Table 8) は、Case 4 の復興計画を実施しない場合は 312 人、うち志津川地区では 186 人となった。3 章の Case 3 再現ケースに比べ犠牲者数が減少しているのは、沿岸部に多かった大震災による犠牲者を含めていないことと人口の減少による。避難できず犠牲になった人に対し、産業ゾーンや商業・観光ゾーンからの避難が可能よう復興計画に示されている避難計画 (避難路、避難所) の必要性が高いと考える。また、避難なしを選択する人はいないとしたが、実際には何らかの状況により避難できない可能性も考えられる。Case 4 に対し、Case 5 の復興計画を実施した場合は、犠牲者数が 90 人 (Case 4 の 29%)、志津川地区では 88 人 (Case 4 の 47%) となった。この結果から、復興計画の地域構

造は犠牲者数を減らす効果があること、志津川地区に対しては効果が低いことが明らかになった。

次に、避難のしやすさ、建物（住宅、その他建物）の浸水数を推計する。南三陸町の被害が志津川地区に集中していること、志津川地区とその他の地区（主に歌津地区）は津波被害の特性が異なること、ここからは志津川地区について評価指標を算出するものとする。

避難しやすさの評価指標である平均避難距離、平均避難高低差の推計結果を Table 9 に示した。復興計画では、東日本大震災の経験を踏まえ、避難所は安全な高台に設置することを基本とし、避難が困難な地域には避難塔（避難ビル）を整備するとしているが、具体的な計画は示されていない。本分析においては、地域構造（人口分布）による効果を検証するため、避難所の場所は特定しない。Case 1 から 3 と同様に、津波来襲までに一定以上の浸水域外に一時避難できなかった人を犠牲者と判定する（一定以上の浸水域とは、大震災時に全壊建物の発生した範囲）。平均避難距離、平均避難高低差は、昼間に存在した地区から最寄りの避難所までの直線距離・高低差を算出し、分析ゾーン単位の値をゾーン人口で加重平均した。復興計画による地域構造により、平均避難距離は約 100m 短縮（8%減少）されるが、避難高低差は約 5m 大きく（18%増加）なる。高低差が大きくなるのは、標高の低い産業ゾーン、商業・観光ゾーンに人口を配置したためである。

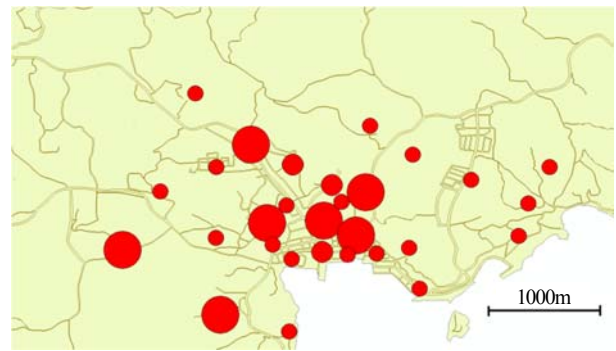
浸水建物数の推計結果を Table 10 に示した。建物の配置は分析ゾーン別の居住人口、従業員人口に応じ、震災前の規模・建物数が存在するとした。復興計画を実施することにより住宅が高台に移転するため、浸水建物数が大幅に減少する。

以上から、復興計画の高台の住居ゾーンに居住することで犠牲者数は減少することがわかる。防災性の観点からは、浸水域内の産業ゾーン、商業・観光ゾーンの昼間人口に対し、復興計画に示されている避難路・避難場所、避難塔（避難ビル）の検討が必要と考えられる。

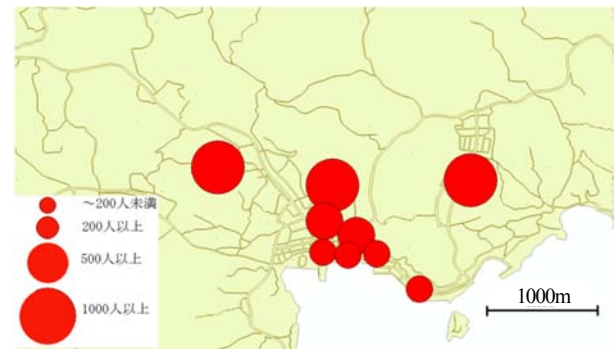
(3) 生活面からみた評価

復興計画の地域構造について、日常の生活面から評価を行う。Case4 の復興計画なしと Case 5 の復興計画に基づく人口分布（昼間人口）を Fig. 7 に示す。Table 11 の居住地の人口密度は、総人口を、居住人口を配置した町丁大字面積の合計で除した値である。Case 4 の復興計画なしでは 15 人/ha、Case 5 の復興計画ありでは 61 人/ha となり、集約型の地域構造となっている。

日常生活の範囲を表すと考えられる自動車利用の通勤距離は、Case 4 の復興計画なしについては、国勢調査³⁶⁾による通勤交通手段・所要時間（旧志津川町）、全国都市パーソントリップ調査による交通手段別平均速度³⁷⁾により設定した。Case 5 の復興計画については、Case 4 を基



a. Case 4 復興計画なし



b. Case 5 復興計画あり

Fig. 7 人口分布（志津川地区）

Table 11 居住地の人口密度（志津川地区）

Case 4	復興計画なし	15 人/ha
Case 5	復興計画あり	61 人/ha

Table 12 平均通勤距離（自動車利用、志津川地区）

Case 4	復興計画なし	15.0km/トリップ
Case 5	復興計画あり	17.0km/トリップ

Table 13 交通エネルギー消費（通勤・自動車利用、志津川地区）

Case 4	復興計画なし	5,233kcal/人日
Case 5	復興計画あり	5,903kcal/人日

本に、復興計画にしたがい居住地を変更し、交通手段は変更なしと仮定することにより算出した。その結果（Table 12）、Case 4 の復興計画なしが 15km/トリップ、Case 5 の復興計画ありが 17km/トリップとなり、生活範囲が拡大すると考えられる。なお、通学交通、私事交通、自動車以外の交通手段についても分析することが考えられるが、震災時の所在地、復興計画による施設配置等の資料・データの制約から、通勤交通の自動車利用のみを対象とした。

次に、通勤交通の自動車利用による交通エネルギーを推計する。推計式を式(1)に示した。

$$E = T * d * e \tag{1}$$

Table 14 ケース設定 (集約型の地域構造)

ケース	想定	設定
Case 6	復興計画あり +かさ上げ 日中に津波が発生 (避難あり)	Case 5 に加え ・犠牲者の発生する地区をかさ上げ (中心部 22ha)
Case 7	復興計画あり +かさ上げ +人口集約 日中に津波が発生 (避難あり)	Case 6 に加え ・かさ上げ地区に人口を配置 (高台の 4,869 人を移動)

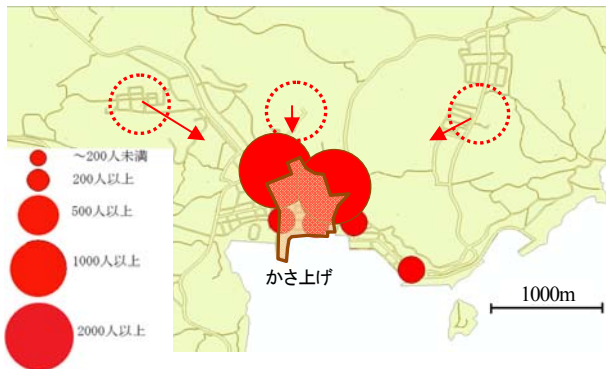


Fig. 8 かさ上げ地区 (Case 6, 7) と人口分布 (Case 7)

ここに、 T :1人1日あたりトリップ数 [トリップ/人日], d : 平均通勤距離 [km/トリップ], e : 輸送エネルギー原単位 [kcal/km], E : 交通エネルギー消費 [kcal/人日]. 輸送エネルギー原単位は, 省エネルギーセンターが公表している値³⁸⁾を用いた.

交通エネルギー消費の推計結果を, Table 13 に示した. Case 4 復興計画なしが 5,233 kcal/人日に対し, Case 5 復興計画ありは 5,903 kcal/人日となり, 復興計画により高台移転を行うと, 交通エネルギーが増加する結果となった. なお, この結果は, 復興計画後の交通手段分担, 移動速度を考慮していないため, 平均移動距離と同様の傾向になっている. 今後, 復興後の交通特性の把握, 行動モデル開発を進めることを課題としたい.

4.2. 集約型の地域構造の評価

(1) 集約型の地域構造の検討

復興計画の地域構造を評価した結果, 防災性からみると効果があることが明らかになったが, 平均避難高低差が増加した. 日常の生活面からみた評価では, 復興計画により高台に人口が集中することで集約型の地域が形成されるが, 生活範囲が拡大し, 交通エネルギー消費が増大することが明らかになった. このように, 復興計画の地域構造は防災性を高める点では有効であるが, 生活面からみると評価が低下すると考えられる. ここでは, これら問題に対処するために, 復興計画における地域構造

Table 15 集約型の地域構造の評価結果 (志津川地区)

ケース	Case 4 (再掲)	Case 5 (再掲)	Case6	Case7
復興計画の実施		○	○	○
かさ上げ (中心部)			○	○
人口集約 (中心部)				○
犠牲者数	186 人	88 人	9 人	9 人
平均避難距離	1.44km	1.33km	0.50km	0.50km
平均避難高低差	25.4m	30.0m	0m	0m
浸水建物数	1,957 戸	283 戸	38 戸	38 戸
居住地の人口密度	15 人/ha	61 人/ha	61 人/ha	94 人/ha
通勤距離 (自動車)	15.0km	17.0km	17.0km	6.5km
交通エネルギー消費 (通勤・自動車利用)	5,233 kcal/人日	5,903 kcal/人日	5,903 kcal/人日	2,261 kcal/人日

注: ○はその対策を施すことを示す.

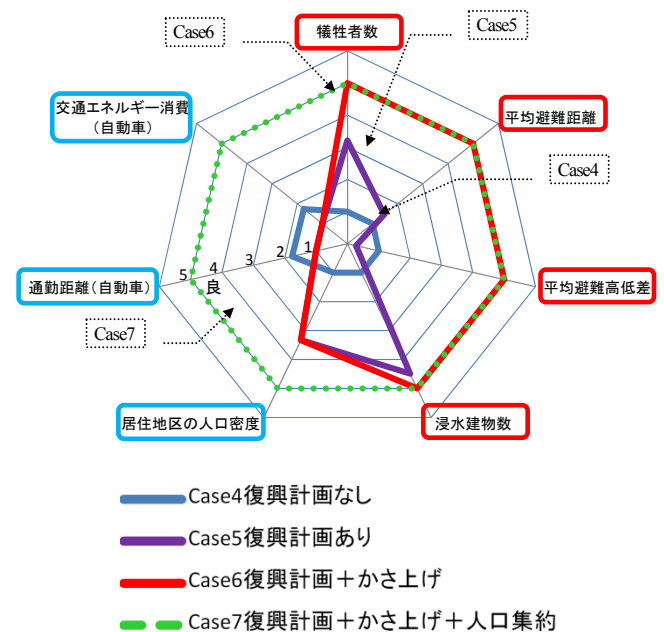


Fig. 9 集約型の地域構造の評価結果 (志津川地区)

を集約型の視点から改善する方策を検討する.

本章では, 復興計画による地域構造の防災性の効果を保持しつつ, コンパクトな地域構造に期待される効果²⁵⁾である自動車への依存を減らし, 土地・空間資源を活かし, 環境負荷を低下させる可能性のある地域構造を検討する. シミュレーションのケース設定をTable 14に示した. 先ず, 復興計画の防災性をより高めるため, Case 5の復興計画に対し, 国土交通省³⁴⁾が「復興パターン」として提示している「かさ上げ」を, Case 5において犠牲者の発生した中心部の町丁大字に対し行うCase 6を設定する. かさ上げは大規模なハード整備を伴うが, 限定された地区に対して行うことにより整備費用・期間を抑制でき, 緊急性を要する復興に対応できると考えた. 防災性を向上しながら, 生活面の評価を向上させるため, かさ上げ地区に居住人口を集中させる集約型の地域構造

Case 7を設定した。かさ上げ地区および人口分布をFig. 8に示した。かさ上げは中心部の22haに対して行い、高台の3地区の人口約4,900人が中心部に居住することとし、Case 6のかさ上げ地区の町丁大字別人口に比例して配分した。かさ上げ高は、東北地方太平洋沖地震級の津波が来襲しても、地区に存在する人、建物に被害を及ぼさない高さとして仮定する。

(2) 集約型の地域構造の評価結果

シミュレーションを行い、評価指標を得た (Table 15)。

Case 5の復興計画ありに対し、Case 6の中心部のかさ上げを行うことにより、犠牲者数の減少、平均避難距離の短縮、平均避難高低差の低下、建物被害の減少の効果が、ケース設定の意図どおり防災性が向上している。

Case 6に対し、Case 7の高台の人口をかさ上げ地区に配置すると、居住地の人口密度は都市部のニュータウン並みの94人/haまで上昇する。自動車による通勤距離は17.0kmから6.5kmに、交通エネルギー消費は5,903kcal/人日から2,261kcal/人日に低下し、生活面からみた効果があると考えられる。

以上の評価結果を視覚的に表現するため、レーダーチャートで示すことを試みる。各評価指標について、最も望ましいと考えられるケースの値を5、最も望ましくないと考えられるケースの値を1とし、評価値を換算する。居住地の人口密度以外の指標は、小さいほど望ましいとした。人口密度は、集約型の地域構造の観点からみると大きいほどその意図を表していると考えた。作成したレーダーチャートをFig. 9に示した。Case 4の復興計画なしに対し、Case 5の復興計画を行うことにより防災性が向上し、Case 6の中心部のかさ上げによりさらに防災性は向上する。加えて、Case 7の人口を中心部に集約する地域構造により交通生活の評価が向上する。

(3) 評価のまとめ

Case 7の地域構造は、本研究の評価ケースの中では、人口密度からみると集約型の特徴を最も備えており、集約型地域構造の効果を期待できることを意味する。今後は、南三陸町復興計画に謳っているように、「過大な宅地造成を行わず、なるべくコンパクト (集約)」な地域構造を実現するために、復興整備計画の検討を進め、具体化していくことが重要である。そのためには、防災性のみならず日常の生活面からの検討が課題である。

震災前において、志津川地区32町丁大字のうち、20人/ha以上は8、最大の町丁大字は48人/haであった。本研究で設定した人口密度は、Case 4 (復興計画なし)の15人/haに対し、集約化を進めることにより、Case 5とCase 6で61人/ha、Case 7で94人/haとなる。これらの人口密度は、都市部のニュータウン計画の水準であ

る。南三陸町では、災害危険区域を指定し、Case 5のように高台への集団移転を検討しているが、震災前とは異なった居住環境になることに留意が必要である。さらに、本分析で設定したかさ上げ地に人口集約するCase 7を実現するためには中高層住宅を含めた住宅市街地となり、震災前とは居住環境が大きく変化することに関し住民合意が課題となる。また、復興計画のフレームとなる人口動向等の情勢変化にも注意が必要である。

本分析では、ケースや評価指標の追加を行うための1つの方法を示すことができたと考えられる。復興整備計画のより具体的な検討に際しては、本分析を参考に、避難行動モデルの構築、震災前居住地や居住意向を考慮したケース設定の必要がある。

5. おわりに

(1) 本研究のまとめ

本研究では、東日本大震災の津波被害に着目し、南三陸町を研究対象地域とし、防災性と生活面の視点から、復興計画の地域構造について評価を行った。

まず、津波被害をシミュレーションするため、犠牲者数の再現をした結果、概ね良好な精度が得られた。次に、復興計画の地域構造について評価するため、防災性、日常生活の両面から評価を行い、復興計画による地域構造は防災性を向上する効果があるが、日常生活からみると問題があることを明らかにした。最後に、復興計画の地域構造の問題を軽減するために、中心部のかさ上げ、人口配置の変更により集約型の地域構造を設定し評価を行った結果、日常生活からみても評価が向上することを示した。

本研究のシミュレーションでは、いくつもの仮定をおき分析を進めたため、次節に示すような研究課題が得られた。本研究においては、わが国の喫緊の課題である東日本大震災被災地の復興に関する知見を得るために、津波被害を考慮した地域構造の評価を試みることができたと考える。

(2) 今後の研究課題

本研究を通じ得られた研究上の課題を3点示す。これら課題に、著者らは今後取り組んでいく予定である。

1つめは、東日本大震災の避難行動実績のデータ取得に関する課題である。本研究において用いた避難行動データ、シミュレーションのためのデータは、対象地域の被災時の特性を十分表現していないと考えられるものもある。災害時のデータ取得は困難であることは自明ではあるが、様々な資料・調査データを入手し、世帯やグループでの避難等の詳細な行動の把握、地域間の比較を行

うことが課題である。また、本研究で用いた避難行動データは生存者に関する情報である。一部の調査⁴⁰⁾では、生存者へのヒアリング調査により亡くなった方の避難行動についての情報を収集しているため、これらデータを含めた分析について検討する必要がある。また、本研究では東日本大震災と同時刻を対象としたが、夜間や他の時刻における避難行動の分析についても検討する必要がある。

2 つめは、評価指標に関する課題である。本研究では、防災性と日常生活の2つの面からの評価を行ったが、これらに加えるべき評価指標もあると考えられる。さらに、既存研究では総合的な生活質からの評価、財政面からの評価を行っている。また、被災地の復興がわが国の喫緊の計画課題であることを考えると、社会システムの復興までの時間軸を含めた検討が必要となろう。

3 つめは、復興後の生活や行動についての分析に関する課題である。本研究では、復興後の通勤交通や自動車利用に関する評価指標を設定したが、通学・業務・私事交通、自動車以外の交通手段については含めていない。また、復興後の居住地選択、交通手段選択等の交通特性についても反映していない。これらについて分析やモデル構築を進めることが今後の研究課題である。

参考文献

- 1) 森本章倫, 二葉潤(2012)「平常時と非常時の計画の対比から見た集約型都市」『集約型都市構造における土地利用変化の実態に関する研究報告書』(pp. 28-46) 公益社団法人日本交通政策研究会.
- 2) 内閣府(2011.08.16)『平成23年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査(住民)分析結果』.
- 3) 東日本放送, サーベイリサーチセンター(2011.04.28)『東日本大震災「宮城県沿岸部における被災地アンケート」調査結果について』.
- 4) 株式会社ウェザーニューズ(2011.09.08)『東日本大震災津波調査(調査結果)』.
- 5) 元田良孝, 宇佐美誠史(2011)「津波被災地の公共交通復旧プロセス—陸前高田市の事例—」『土木計画学研究・講演集』44, CD-ROM(P3).
- 6) 猪狩有佑, 平井寛, 南正昭, 菱沼拓郎(2011)「津波被災地区における避難所設置場所の検討に関する基礎的研究—岩手県宮古市田老地区を例に—」『土木計画学研究・講演集』44, CD-ROM(P48).
- 7) 永家忠司, 外尾一則, 北川慶子, 猪八重拓郎(2011)「東日本大震災の被災地域における社会福祉施設の立地特性について」『土木計画学研究・講演集』44, CD-ROM(181).
- 8) 柳原純夫, 村上ひとみ(2012)「東日本大震災における石巻市内での避難行動—移動距離からの分析—」『地震工学研究発表会講演概要集』32, CD-ROM(6-235).
- 9) 村上ひとみ, 三上卓, 柳原純夫(2012)「東日本大震災における津波避難の交通手段と危険度—石巻市のアンケート調査をもとに—」『地震工学研究発表会講演概要集』32, CD-ROM(6-377).
- 10) 平井寛, 南正昭, 菱沼拓郎(2011)「避難のしかたによる避難の所要時間と身体への負担の違いについての研究—宮古市田老地区における調査データを用いて—」『土木計画学研究・講演集』44, CD-ROM(P11).
- 11) 大野沙知子, 高木郎義, 倉内文孝, 出村嘉史, 大崎孝典(2012)「東日本大震災における津波避難行動に関する新聞記事データベースの構築とそれに基づく考察」『土木計画学研究・講演集』45, CD-ROM(9).
- 12) 遠藤聡, 石川哲也, 藤生慎, 高田和幸(2012)「言語解析を用いた東北地方太平洋沖地震による津波避難分析—気仙沼市の被災者を対象として—」『地震工学研究発表会講演概要集』32, CD-ROM(5-328).
- 13) 金井昌信, 片田敏孝(2012)「2011年東北地方太平洋沖地震津波来襲時における津波避難意思決定構造の把握」『災害情報』10, 91-102.
- 14) 藤生慎, 沼田宗純, 大原美保, 目黒公郎(2013)「東日本大震災における建物被害認定調査の実態に関する分析」『社会技術研究論文集』10, 96-105.
- 15) 定井喜明, 増田勇人(1988)「[[住みよさ] からみた都市施設整備事業計画の合理化に関する研究」『日本都市計画学会論文集』23, 181-186.
- 16) 森本章倫, 中川義英(1990)「住宅地における環境の評価指標に関する研究」『土木学会論文集』419, IV-13, 71-80.
- 17) 吉田朗, 鈴木淳也, 長谷川隆三(1998)「近隣環境における「生活の質」の計測に関する研究」『日本都市計画学会論文集』33, 37-42.
- 18) 林良嗣, 土井健司, 杉山郁夫(2004)「生活質の定量化に基づく社会資本整備の評価に関する研究」『土木学会論文集』751, IV-62, 55-70.
- 19) 加知範康, 加藤博和, 林良嗣, 森杉雅史(2006)「余命指標を用いた生活環境質(QOL)評価と市街地拡大抑制策検討への適用」『土木学会論文集 D』62(4), 558-573.
- 20) 森田哲夫, 吉田朗, 小島浩, 馬場剛, 樋野誠一(2008)「都市環境に関わる諸施策を評価するモデルシステムの提案」『土木学会論文集 D』64(3), 457-472.
- 21) 長尾征洋, 青野隆仁, 戸川卓哉, 加藤博和, 佐野充(2012)「QOL 指標と維持費用に基づく撤退・集結市街地の遺伝的アルゴリズムを用いた選定方法」『土木学会論文集 D3』68(5), 339-348.

- 22) 森田哲夫, 木暮美仁, 塚田伸也, 橋本隆, 杉田浩(2013)「限界自治体の生活質と居留意向に関する研究」『社会技術研究論文集』10, 86-95.
- 23) 森山昌幸, 藤原章正, 杉恵頼寧(2003)「過疎地域における公共交通サービスの評価指標の提案」『日本都市計画学会都市計画論文集』38-3, 475-480.
- 24) 宮崎耕輔, 徳永幸之, 菊池武弘, 小枝昭, 谷本圭志, 喜多秀行(2005)「公共交通サービスレベル低下による生活行動の格差分析」『土木計画学研究・論文集』22, 583-591.
- 25) 海道清信(2007)『コンパクトシティの計画とデザイン』(pp. 14-15) 学芸出版社.
- 26) 宮城県(2014.01.10)『東日本大震災における被害等状況 (平成 25 年 12 月 31 日現在)』.
- 27) 南三陸町(2012.03.26)『南三陸町震災復興計画(改訂)～未来への懸け橋～』.
- 28) 東日本大震災津波避難合同調査団(2011.12.18)『想定を超える大津波からの避難に関する国際ワークショップ資料』.
- 29) 国土交通省都市局(2012)『東日本大震災津波被災市街地復興支援調査』復興支援アーカイブ (東京大学空間情報センター) .
- 30) 国土交通省(2011.12)『東日本大震災の津波被災現況調査結果 (第 3 次報告) ～津波からの避難実態調査結果 (速報)』.
- 31) 山本彰, 小林寛, 橋本雄太, 上坂克己, 岸田真(2012)「自転車旅行速度の推定と活用方法に関する提案」『土木計画学研究・講演集』45, CD-ROM(294).
- 32) 山崎昌廣, 佐藤陽彦(1990)「ヒトの歩行—歩幅, 歩調, 速度およびエネルギー代謝の観点から—」『人類誌』98(4), 385-401.
- 33) 阿久津邦男(1975)『歩行の科学—運動不足克服のために』(pp. 56-57) 不昧堂出版.
- 34) 南三陸町(2011.11)『「南三陸町の復興まちづくり」に関する意向調査結果』.
- 35) 南三陸町, 宮城県(2013.08.16)『復興整備計画 (第 11 回変更)』.
- 36) 総務省統計局『平成 2 年国勢調査 従業地・通学地集計その 1』.
- 37) 国土交通省都市・地域整備局都市計画課都市交通調査室(2002)『平成 11 年全国都市パーソントリップ調査 (1.基礎集計編)』.
- 38) 一般財団法人省エネルギーセンター『エネルギー・経済統計要覧 2012』.
- 39) 国土交通省都市局(2012.04)『津波被災市街地復興手法検討調査報告書』.
- 40) 三上卓(2013)「東日本大震災の津波犠牲者に関する調査分析～山田町・石巻市～」『地震工学研究発表会講演概要集』33, CD-ROM.

謝辞

大震災で亡くなられた方々のご冥福を祈り, 被災地の復興を祈念します. 本研究は, 東日本大震災津波避難合同調査団 (山田町・石巻市担当チーム) による調査結果を使用しています. ここに記し謝意を表します.

A STUDY ON REGIONAL STRUCTURE CONSIDERING TSUNAMI DAMAGE

Tetsuo MORITA¹, Yoshimi HOSOKAWA², Shinya TSUKADA³, Akira YUZAWA⁴
and Akinori MORIMOTO⁵

¹Ph.D. (Eng.) Professor, Tohoku Institute of Technology (E-mail: ttmorita@tohtech.ac.jp)

²B.S. (Eng.), East Japan Railway Company, Takasaki Branch Office

³Ph.D. (Eng.), Maebashi City Office (E-mail: shinya-tsu@city.maebashi.gunma.jp)

⁴Ph.D. (Eng.) Professor, Maebashi Institute of Technology (E-mail: yuzawa@maebashi-it.ac.jp)

⁵Ph.D. (Eng.) Professor, Utsunomiya University (E-mail: morimoto@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

On March 11, 2011, the tsunami which occurred in the Tohoku Earthquake brought destructive damage to the Pacific coast part of the Tohoku district. In this study, we focused on the tsunami disasters and studied it for Minamisanriku Town, Miyagi Prefecture. It was thought that the damage can be reduced by a compact city. However, there was a trade-off relationship between the disaster prevention and traffic life in the revival plan. To solve this problem, we proposed the regional structure which is applied a compact city in order to improve the disaster prevention and traffic life. This regional structure was able to get high evaluations of the disaster prevention and traffic life.

Key Words: Tohoku Earthquake, tsunami, regional structure, Minamisanriku Town