

復興事業に伴う津波避難場所へのアクセス性の変化に関する研究

佐藤 史弥

人と防災未来センター 研究員

1. 背景と目的

1-1. 津波からの避難環境の変化

東北地方太平洋沖地震の津波によって、岩手県沿岸市町村は壊滅的な被害を受けた。東日本大震災から9年が経過した被災地では、復興計画に基づき復興が進みつつある。岩手県沿岸市町村では、防潮堤の建設、災害危険区域の設定、高台への移転、土地のかさ上げ、それに伴う土地利用、道路網の変化によって、震災前に比べ街の様相が大きく変化している。また東日本大震災以降、避難計画の見直しによって、避難場所の位置や数が変わった市町村が多く存在する。街の環境の変化、避難計画の変化に伴い復興事業が終了した後の被災地では、津波からの避難環境が大幅に変化すると考えられる。

このような、震災前と復興事業完了後で津波避難環境が大きく変化した地域において、地域住民が新たな避難計画を検討するためには、震災前と復興事業完了後で、どの様に津波からの避難環境が変化したのかを空間的に把握する必要があると考えられる。

1-2. 研究の目的

津波からの避難においては、南ら¹⁾も指摘するように避難開始地点から避難場所まで移動する間の水平方向の移動距離に加えて、垂直方向の移動距離を評価する必要がある。

そこで本研究では、避難開始地点から避難場所までの移動距離を水平距離、標高差を垂直距離として、震災前と復興事業完了後の水平距離と垂直距離の2つの距離の変化に着目し分析を行った。

本研究では、岩手県宮古市田老地区を対象に、復興事業完了後の被災地の津波避難環境の変化を、水平移動と垂直移動の変化として定量的に表し、その空間分布を把握することを目的とした。

2. 先行研究と本研究の位置づけ

東日本大震災に関連する研究は様々な分野で行われており、東日本大震災から9年が経過し、多くの成果が報告されている。本章ではその中でも、本研究と関連の深い、東日本大震災からの復興計画に関する研究を整理し、本研究の位置づけを述べる。

復興計画や復興についての先行研究では、主に復興計画や被災に伴う土地利用の変化やその課題、対策について検討したもの^{2)~5)}や、復興計画のプロセスの評価や課題の検討を行ったもの^{6)~7)}などが存在する。

また、加藤ら⁸⁾は復興計画に伴う生活環境の変化を分析している。森田ら⁹⁾は復興計画による地域構造を防災面と生活面の2つの面で評価を行い、復興計画によって防災性は向上するが、高台移転によって生活範囲が広がり、日常生活に問題が生じる可能性があることを明らかにした。また、森田ら¹⁰⁾は、石巻市において復興計画内で検討されている津波避難ビルや避難訓練の防災対策の効果について分析している。

このように東日本大震災の復興計画に関する研究は、様々な報告が挙げられているが、まだまだ研究の蓄積は足りていないと考えられる。これらの研究では嵩上げや高台造成などの、復興事業による津波避難環境を定量的に把握した研究は行われていない。

また、筆者らは既報¹¹⁾において来訪者の津波避難に着目し、三陸沿岸のトレイルコース内に位置する観光地点から、来訪者を避難誘導する際に直面する可能性のある津波避難経路上の課題の明確化と対策の検討を行った。既報¹¹⁾では分析の際に、避難場所までの水平距離のみを指標として扱っていたが、本研究では標高による分析を加えている点で、既報¹¹⁾の課題を補う研究であると位置づけられる。

3. 分析方法

3-1. 対象地域について

(1) 震災前と復興事業完了後における街の変化

本研究では、岩手県宮古市田老地区を対象としている。図-1は震災前と復興事業完了後の田老の市街地を比較した図を示している。津波常襲地帯に位置する田老地区は、「津波防災の町」として、積極的にハードとソフトの両面で津波防災対策を行ってきた。ハード面の対策としては、総延長2,433m、高さ10mの「万里の長城」と呼ばれる防潮堤の建設や、直接避難場所に避難しやすいように、山に向かって放射状に道路網を整備していた。震災前は防潮堤の内側の荒谷地区や、館が森地区、田中地区だけでなく、防潮堤より海側の野原地区や乙部地区の一部にも居住地が広がっていた。

しかし田老地区では、東日本大震災によって街全体が壊滅的な被害を受けた。田老地区では東日本大震災の復興事業の土地区画整理に伴い道路網が大幅に変化し、市街地の住所も一部変更となった^{12) 13)}。また、復興事業完了後は、津波により大きな被害を受けた防潮堤より海側の野原地区や野中地区、川向地区に加え、防潮堤より海側の田老2丁目や田老3

丁目も災害危険区域に指定され、居住が制限された¹⁴⁾。防潮堤の位置も変更され¹⁵⁾、第2防潮堤の高さも14.7mとなり、震災前よりも高い防潮堤となった。

また復興事業完了後は、市街地内を通過する国道45号が震災前よりも北側に移設され、その周辺の田老1丁目と荒谷地区は1m～3mの地盤の嵩上げが行われた¹⁵⁾。それに加えて、高台移転として、山地を切り開き高台を造成し、高所に新たな居住地を設けている¹⁵⁾。

(2) 震災前と復興事業完了後における避難場所の変化

東日本大震災によって、避難計画も大幅に見直された¹⁶⁾。震災前は避難場所が30ヶ所、避難所が14ヶ所指定されていた¹⁷⁾。しかし、避難計画の見直しによって、東日本大震災の津波が浸水した避難場所及び避難所や、近隣にさらに高い避難場所がある避難場所は指定が解除された。また新たな避難場所が指定され、復興事業完了後は避難場所が31ヶ所、避難所が11ヶ所と震災前に比べて避難場所の数は増加したが、避難所の数が減少した¹⁶⁾。

また田老地区では造成された高台に新たに避難場所を設置することを検討している。本研究ではその避難場所も分析に使用している¹⁷⁾。

3-2. 方法の概要

本研究では、震災前と復興事業完了後のそれぞれの道路網を用いてネットワーク分析を行った。震災前と復興事業完了後のそれぞれの条件で、最寄り避難場所までの経路を算出し、震災前と復興事業完了後の水平距離と、垂直距離を比較することで、復興

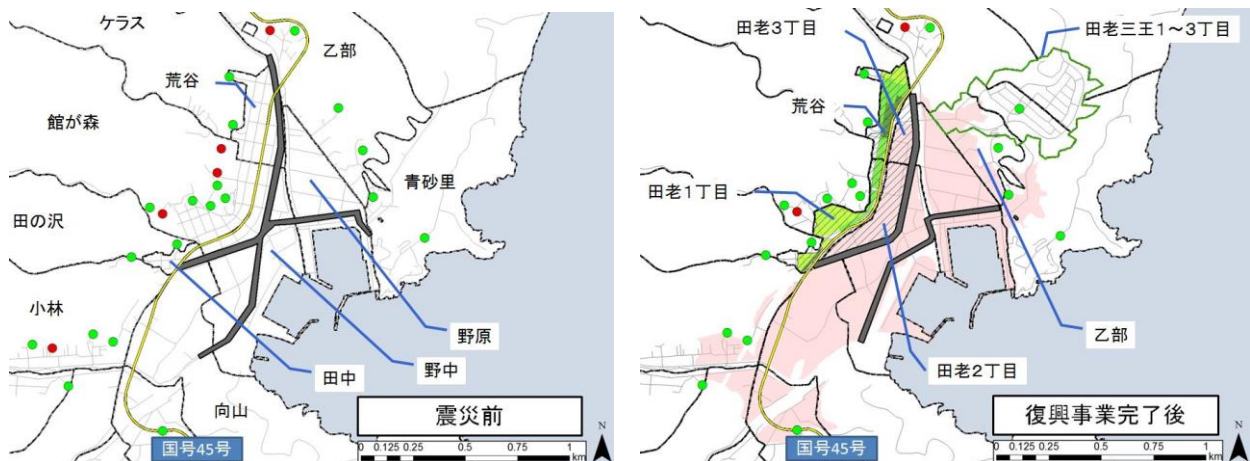
事業完了後は震災前に比べ、津波からの避難環境がどのように変化しているのかを定量的に明らかにする。

3-3. 使用データ

本研究ではGISを用いたネットワーク分析により、避難経路を算出した。ネットワーク分析では、震災前と復興事業完了後の田老地区の道路網データを用いた。震災前の道路網は、数値地図(国土基本情報)¹⁸⁾の道路中心線のデータを、復興事業完了後は宮古市の土地区画整理事業の計画図¹⁵⁾を元に、数値地図(国土基本情報)¹⁸⁾の道路中心線のデータを加工して作成したものを分析に用いた。

震災前と復興事業完了後の避難場所には、震災前については、宮古市のハザードマップ¹⁷⁾に記載されている避難場所を、復興事業完了後は宮古市津波避難計画¹⁶⁾に記載されている避難場所を用いた。

また、各避難場所と道路網の各ノード(交差点と端点)は、その地点の標高値を格納している。震災前の標高値については、数値地図(国土基本情報)¹⁸⁾の5mのDEMデータを用いて算出した。復興事業完了後の標高値は、かさ上げエリアと高台が造成されたエリアについては、田老造成計画図¹⁹⁾を元に各ノードの値を入力した。また、造成された高台に位置する避難場所については、田老造成計画図¹⁹⁾内で避難場所が位置している区画の地盤高を用いた。それ以外の範囲は震災前と標高が変化していないと仮定し、数値地図(国土基本情報)¹⁸⁾の5mのDEMデータを用いて算出した。また、道路網については標



凡例



図-1 震災前と復興事業完了後の田老地区の比較 (文献番号12)～

高値を算出したノードから、各道路リンクの傾斜も算出した。浸水域は、東日本大震災の津波浸水域²⁰⁾を用いた。また分析には、ArcGIS NetworkAnalystを用いた。

3-4. 水平距離と垂直距離の算出方法

東日本大震災の浸水域内の50mメッシュの重心点から、最寄りの避難場所までの最短経路を算出した。算出した避難経路の移動距離を水平距離と定義した。また、この分析では経路を算出する際に、50mメッシュから最も近い道路リンクを選択し、そのリンクと50mメッシュからの垂線の交点を避難開始地点として経路を算出している。その避難開始地点の標高値を道路リンクの傾斜から算出した。避難開始地点の標高値と最寄り避難場所の標高値の差を垂直距離と定義した。

また上記の分析方法は、震災前に比べて復興事業完了後の道路網が大幅に減少した場合、50mメッシュの重心点は震災前に選択していた道路リンクよりも離れた道路リンクを選択してしまうため、震災前と復興事業完了後の比較が、正確にできないメッシュが含まれている可能性がある。

3-5. 水平距離の変化についての分析

各50mメッシュから算出した避難経路について、同じメッシュで復興事業完了後の水平距離から震災前の水平距離の差を求めることで、復興事業完了後は震災前に比べて、水平距離が変化しているのかを求めた。また、震災前と復興事業完了後で、最寄り避難場所が変化しているかに注目し、最寄り避難場所が変化したメッシュを「最寄り避難場所変化メッシュ」と定義し、変化のないメッシュを「最寄り避難場所変化なしメッシュ」と定義し、水平距離の差を集計した。「最寄り避難場所変化メッシュ」は、道路網もしくは、避難場所の配置の変化の影響で大幅に経路が変化している可能性がある。また、「最寄り避難場所変化なしメッシュ」で、水平距離が変化しているメッシュは、道路網の変化が原因で、水平距離が変化したと考えられる。

3-6. 垂直距離の変化についての分析

各50mメッシュから算出した避難経路について、同じメッシュで復興事業完了後の垂直距離から震災前の垂直距離の差を求めることで、復興事業完了後は震災前に比べて、垂直距離が変化しているのかを求めた。垂直距離が変化する理由として考えられることは、避難開始地点の標高が変化し、避難場所の標高が変化し、もしくはその両方の理由が考えられる。そのためこの分析では、各50mメッシュから算出した避難経路について、同じメッシュで震災前と復興事業完了後で避難開始地点の標高値のみが変化したメッシュを「避難開始地点標高変化メッシュ」、避難場所の標高のみが変化したメッシュを「避難場所標高変化メッシュ」、避難開始地点と避難場所の標高値がどちらも変化したメッシュを「両地点標高変化メッシュ」、両地点変化のないメッシュを

「両地点標高変化なしメッシュ」として、垂直距離の差を集計した。

4. 結果

4-1. 水平距離の変化について

図-2は震災前と復興事業完了後での最寄り避難場所までの水平距離の差を、「最寄り避難場所変化なしメッシュ」と、「最寄り避難場所変化メッシュ」ごとに集計した結果を示している。

震災前と復興事業完了後で「最寄り避難場所変化なしメッシュ」は、最寄り避難場所までの水平距離が、震災前と復興事業完了後で変化なしが最も多く、次に0m-50mの短縮、0m-50mの増加の順に分布していた。このことから、最寄り避難場所が変化していない地点では、避難場所までの水平距離の変化がないか、0m~50m程度増減していることがわかる。また「最寄り避難場所変化メッシュ」は、水平距離の差が増加する側に多く分布している。このことから、最寄り避難場所が変化した地点では水平距離が増加する傾向にあることがわかる。

図-3は「最寄り避難場所変化メッシュ」を赤色で、「最寄り避難場所変化なしメッシュ」を青色で示している。また、図-4は震災前と復興事業完了後での水平距離の差に増減があったメッシュのみを示している。青系の色のメッシュが、震災前よりも復興事業完了後の方が、最寄り避難場所までの水平距離が短縮されたメッシュである。赤系の色のメッシュが、震災前よりも復興事業完了後の方が、最寄り避難場所までの水平距離が増加したメッシュである。

図-3を見ると、「最寄り避難場所変化なしメッシュ」は、荒谷地区、田老3丁目、野原地区、向山地区、小林など浸水域内に多く分布していることがわかる。その中でも図-4より、荒谷地区、田老3丁目、野原地区のメッシュは、復興事業完了後も水平距離が変化していないか、0m~50m程度の増減であることが見てとれる。しかし向山地区に位置するメッシュは、復興事業完了後の水平距離が100m以上短縮されており大きく変化していることがわかる。

図-3より、「最寄り避難場所変化メッシュ」は、田老2丁目や野中地区、野原地区の北部に多く分布していた。その中でも、野中地区、野原地区の北部は水平距離が100m以上増加していることが見てとれる。

4-2. 垂直距離の変化について

図-5は震災前と復興事業完了後で、垂直距離の差を「避難開始地点標高変化メッシュ」、「避難場所標高変化メッシュ」、「両地点標高変化メッシュ」、「両地点標高変化なしメッシュ」の分類ごとに示している。復興事業完了後も垂直距離に変化のないメッシュが最も多く存在することがわかる。「両地点標高変化メッシュ」と「避難開始地点標高変化メッシュ」は、垂直距離の差が0m~50m短縮か、0m~50m増加する結果となった。「避難場所標高変化メ

メッシュ」は、復興事業完了後に垂直距離が増加する側に多く分布していた。

図-6は、避難開始地点と避難場所の標高の変化による分類の空間分布を示している。また図-7は震災前と復興事業完了後で、垂直距離の増減があったメッシュのみを示している。青系の色のメッシュが、震災前よりも復興事業完了後の方が、最寄り避難場所までの垂直距離が短縮されたメッシュである。赤系の色のメッシュが、震災前よりも復興事業完了後の方が、最寄り避難場所までの垂直距離が増加したメッシュである。

図-6を見ると「避難開始地点標高変化メッシュ」は、荒谷地区、田老2丁目、田老1丁目など、復興事業完了後は市街地となる場所に多く分布している。また、図-7より、「避難開始地点標高変化メッシュ」の中でも荒谷地区に位置するメッシュは、垂直距離の短縮量が大きいことがわかる。

図-6より「両地点標高変化メッシュ」と、「避難場所標高変化メッシュ」は野中地区や向山地区、野原地区の北部などの災害危険区域内に多く分布している。その中でも野中地区や野原地区の北部は復興事業完了後に垂直距離が増加することが見てとれる。

5. 考察

5-1. 道路網と避難所の配置の変化の影響

図-2より、最寄り避難場所が変化していない地点では、避難場所までの水平距離の変化がないか、0m~50m程度増減する結果となった。また、図-3より荒谷地区、田老3丁目、野原地区、向山地区、小林など浸水域内に多く分布している。図-4より、これらのメッシュは水平距離に変化がないか、0m~50mほどの増減に収まっている。そのため、これらの地域は、震災前と水平距離があまり変わっていないと考えられる。

田老2丁目は、最寄り避難場所が、震災前と復興事業完了後で変化し、水平距離も100m前後増加している。この地域の復興事業完了後の道路ネットワークは震災前に比べると、少し道路密度が薄くなった程度で大きな道路網の変化は起きていない。しかし、最寄り避難場所が変化している。震災前の最寄り避難場所が、避難計画の見直しによって、指定が解除されてしまい、復興事業完了後は最寄り避難場所が変化したため、水平距離も増加したと考えられる。

野中地区は最寄り避難場所が、震災前と復興事業完了後で変化しかつ、水平距離が増加する地域となった。この原因としては、田老地区の震災前の道路網は、避難場所の位置する山側に、最短経路で避難できるように、放射状の道路網が構築されていた。しかし、復興事業完了後は市街地の道路の密度が薄くなり、山側に最短経路で避難できる放射状の道路網の構造が崩れている。そのため、野中地区では避難するために防潮堤を迂回して、震災前とは異なる

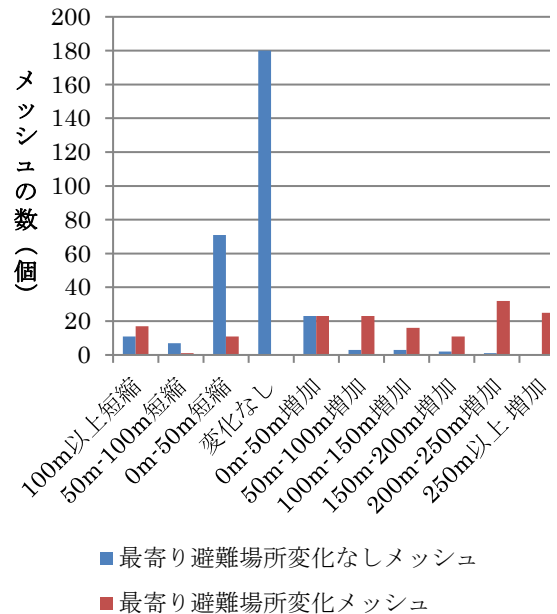


図-2 最寄り避難場所の変化による分類ごとの水平距離の差の増減の分布

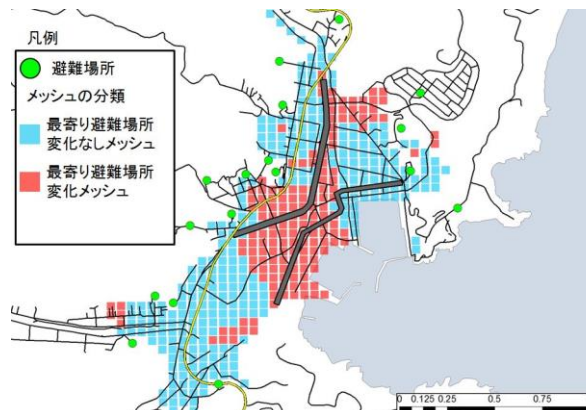


図-3 最寄り避難場所の変化による分類結果の空間分布

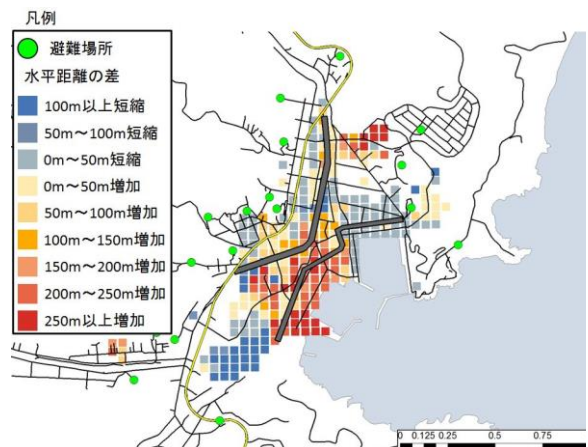


図-4 水平距離の差の空間分布

避難場所に避難する必要があり、復興事業完了後の水平距離が増加したと考えられる。

また図-7に示すように、最寄り避難場所の変化によって、垂直距離も4m程増加している。この垂直距離の増加も、最寄り避難場所が震災前とは異なる場所に変化したことが原因であると考えられる。野中地区は、復興事業による道路網の変化によって、水平距離、垂直距離共に増加した地域であると考えられる。

また、川向地区は図-4を見ると水平距離が100m以上短縮される結果となった。この結果になった原因は、上記のような道路リンクの大幅な減少によって、過大評価されているメッシュである可能性がある。

5-2. 高台造成及びかさ上げの影響

野原地区の北側のメッシュも水平距離と垂直距離が大幅に増加しており、野中地区と同様の結果となった。野原地区の北部のエリアは、震災前の最寄り避難場所が、距離は近いが東日本大震災の浸水域内に位置する避難場所となっていた。しかし、高台が整備されたことにより、復興事業完了後は最寄りの避難場所が高台の上の避難場所に変化した。このエリアは移動距離が長くなったが、より標高が高い場所に避難可能となったエリアであるため、水平距離と垂直距離が増加したと考えられる。

また、図-6と図-7より、「避難開始地点標高変化メッシュ」は荒谷地区、田老2丁目、田老1丁目など、復興事業完了後の市街地に多く分布し、荒谷地区では、垂直距離の短縮量も3m前後と比較的大きい。垂直距離が短縮された理由として、荒谷地区、田老2丁目、田老1丁目は復興事業によって、1m～3mのかさ上げが行われた。特に荒谷地区は2m～3m前後のかさ上げが行われており、その影響が及んだものと考えられる。

これらのエリアでは最寄り避難場所が震災前と同じであり、避難場所の標高は変わっていない。避難開始地点の標高がかさ上げによって上がったことにより、垂直距離が短縮されたと考えられる。避難開始地点の標高が上がり、垂直距離が短縮されたということは、同じ避難場所に行くのが震災前に比べ、容易になったと考えられる。

6. 結論・今後の課題

本研究では岩手県宮古市田老地区を対象に、水平移動と垂直移動の変化量に着目し、復興事業完了後の津波避難環境の変化を定量的に示し、その空間分布を明示した。その結果、以下のことが明らかになった。

- 最寄り避難場所が震災前と復興事業完了後で変化していない地区は、荒谷地区や田老3丁目、野原地区などであり、それらの地区は、水平距離が変わらないか0m～50mの増減が起きていたこと。

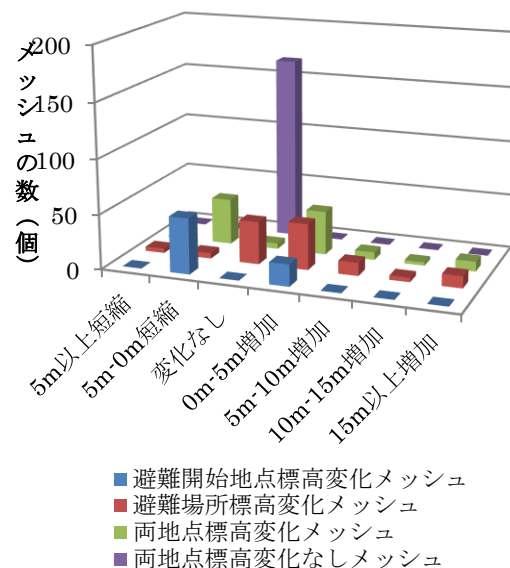


図-5 避難開始地点と避難場所の標高の変化による分類ごとの垂直距離の変化



図-6 避難開始地点と避難場所の標高の変化による分類の空間分布



図-7 垂直距離の分類結果の空間分布

- 最寄り避難場所が震災前と復興事業完了後で変化した地区は、野中地区や野原地区の北部であり、それらの地区は、水平距離が100m以上増加していたこと。
 - 避難開始地点のみ標高が変化した場所は、復興事業完了後の市街地に多く分布しており、その中でも荒谷地区は垂直距離の短縮量が大きいこと。
 - 最寄り避難場所の標高のみ変化した場所や避難開始地点と最寄り避難場所の標高が変化した地点は、野中地区や野原地区の北部に多く分布しており、その中でも野原地区北部の垂直距離は15m以上増加していること。
 - 復興事業による道路網の変化によって、野中地区では防潮堤を迂回して避難する必要があり、最寄り避難場所が変化し、水平距離と垂直距離が共に増加した地域であること。
 - 市街地内の特に荒谷地区では、地盤の嵩上げによって最寄り避難場所までの垂直距離が震災前よりも短縮されていること。
 - 野原地区北部のエリアは、高台が造成されたことにより最寄り避難場所が変わり、水平距離と垂直距離が共に増加したこと。
- 今後の課題としては、復興事業完了後の人口分布を考慮した分析や、より詳細な道路網を用いた分析を行うことで分析の精度を上げることが挙げられる。

- 7) 三橋伸夫 (2016) 「三陸漁村の住宅地復興プロセスに見る検討課題—岩手県征石市箱崎集落の事例から—」, 農村計画学会誌, 34(4), pp.403-406
- 8) 加藤 湧夢, 佐藤 史弥, 南 正昭, 谷本 真佑 (2016) 「宮古市田老地区における復興計画に伴う都市施設環境の変化に関する研究」, 土木学会東北支部講演集
- 9) 森田 哲夫, 細川 良美, 塚田 伸也, 湯沢 昭, 森本章倫 (2014) 「津波被害を考慮した地域構造に関する研究」, 社会技術研究論文集, 11, pp.1-11
- 10) 森田 哲夫, 長谷川 弘樹, 塚田 伸也, 橋本 隆, 湯沢昭 (2015) 「避難行動データに基づく防災対策の効果分析—東日本大震災被災地の石巻市を対象として—」, 社会技術研究論文集, 12, pp.51-60
- 11) 佐藤 史弥, 南 正昭 (2016) 「沿岸部のトレイルコースにおける津波避難対策に関する研究—岩手三陸沿岸地域の観光地を対象として—」, 都市計画論文集, 51(3), pp.1205-1212
- 12) 宮古市(2015)「田老地区住居表示整備新旧対照案内図」
- 13) 宮古市(2015)「田老三王地区住居表示整備新旧対照案内図」
- 14) 宮古市(2015)「田老災害危険区域」
- 15) 宮古市(2015)「田老地区復興まちづくりに関する説明会資料」
- 16) 宮古市(2016)「宮古市津波避難計画」
- 17) 宮古市(2017)「宮古市総合防災ハザードマップ」
- 18) 国土地理院 (2013) 「数値地図(国土基本情報)」(作成 2013.2.12)
- 19) 「田老地区造成計画図」
- 20) 国土交通省都市局 (2012) 「復興支援調査アーカイブ」, <http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/> (参照 2017.4.28)

【参考文献】

- 1) 南 正昭, 中嶋 雄介, 安藤 昭, 赤谷 隆一 (2005) 「避難経路の高低差が津波避難者に与える負荷に関する基礎的研究」, 都市計画論文集, 40, pp.685-690
- 2) 荒木 笙子, 秋田 典子 (2017) 「津波被災地において復興土地区画整理事業が住民の居住地選択に与えた影響—岩手県釜石市A地区を事例として—」, 都市計画論文集, 52(3), pp.1088-1093
- 3) 贄田 純平, 姥浦 道生, 宮川 雅史 (2016) 「東日本大震災後の復興期における建築動向とそれによる市街地形態の変容に関する研究—非線引き都市・大船渡市におけるケーススタディ—」, 都市計画論文集, 51(3), pp.538-545
- 4) 榊山 和哉, 姥浦 道生, 荻谷 智大 (2016) 「被災中心市街地における被災後の土地の利活用実態と地権者意向に関する研究」, 都市計画論文集, 51(3), pp.431-437
- 5) 宮川 雅史, 姥浦 道生, 贄田 純平 (2016) 「東日本大震災からの復興プロセスにおける農地転用の実態に関する研究」, 都市計画論文集, 51(3), pp.1046-1053
- 6) 進藤 惣治, 稲田 幸三, 田高 岳, 遠藤 和子 (2016) 「地域リーダーの意思決定に着目した震災復興プロセスの評価—宮城県農地整備(圃場整備)事業地区を事例として—」, 農業農村工学会論文集, 84(3), pp.259-270