

津波避難場所の誘導効果とそれを踏まえた設置場所のあり方に関する研究

桑沢 敬行¹・細井 教平²・片田 敏孝³

¹正会員 群馬大学大学院研究員 理工学府 広域首都圏防災研究センター ((株)IDA 社会技術研究所)
(〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)
E-mail: kuwasawa@ce.gunma-u.ac.jp

²正会員 群馬大学大学院研究員 理工学府 広域首都圏防災研究センター ((株)IDA 社会技術研究所)
(〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)
E-mail: hosoi@ce.gunma-u.ac.jp

³正会員 群馬大学大学院教授 理工学府 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)
E-mail: katada@gunma-u.ac.jp

南海トラフの巨大地震津波による被害想定を受けて、西日本を中心に津波避難対策の推進が喫緊の課題となっている。本研究では、適切な津波避難支援策の検討を目的として、地域のあらゆる地点を対象に避難場所整備による人的被害の低減効果を評価した。その結果、津波避難タワー等の氾濫域内における避難場所については、海岸から離れた氾濫域の先端部に近く付近に既存の避難場所が存在しない地域が効果的であることに加えて、適地として考えられがちな氾濫までの時間的余裕が無い地域における避難場所の整備は、不適切な運用が行われた場合、却って被害の拡大を招く危険性があることが確認された。さらに、避難場所の整備にも増して、避難場所に着くことよりも氾濫域から逃れることを優先した避難誘導の重要性が把握された。

Key Words: tsunami, shelter, evacuation guidance, simulation analysis

1. はじめに

近年、西日本を中心とした太平洋沿岸各地においては、南海トラフに起因する最大クラスの地震による大規模な被害想定¹⁾を受けて、人的被害の軽減を目的とした様々な対応が進められている。特に、この想定における最大の被害要因である津波については、四国や紀伊半島の太平洋沿岸、駿河湾沿岸等の一部地域において10 mを超える大津波が10分未満で襲来する等、非常に厳しい想定²⁾が示されており、津波からの避難を支援するための対策として津波避難タワーを始めとした避難場所の整備多くの自治体において推進されている³⁾。

ここで、この大規模な被害想定の契機となった東日本大震災を振り返ると、釜石市の鶴住居地区の例⁴⁾や名取市の閑上地区の例⁵⁾、そして石巻市の大川小学校の例⁶⁾など、巨大津波の襲来という誰もが未経験の稀有な事態における避難の有り様が被害の拡大を招いたと考えられる事例が複数見られる。これらの事例は、それぞれ種々の問題が複合的に影響し合うことによって発生した結果で

はあるものの、想定に依存した避難場所の存在が津波の氾濫域に避難者を引き止めたという、避難場所の配置や避難場所が持つ負の誘導効果といった共通の問題を有していると考えられる。筆者らはこのような背景から、津波による人的被害の低減に向けた避難支援策として、避難場所の整備や避難誘導といった基本的な対応策を最適化することの重要性を改めて認識した。そこで、本研究では、津波避難場所の整備箇所と避難誘導を対象とした津波避難支援策のあり方を検討することを目的として、津波氾濫による人的被害規模を指標とした避難シミュレーションによる分析手法を開発した。

津波を対象とした避難シミュレーションの開発に関しては、既往研究が多数存在している^{7),8),9)}。しかし、そのほとんどは、避難先となる場所の配置や数等、着目する幾つかのケースの比較検証のみを目的としている場合が多い^{10),11),12)}。これらに対して本研究は、避難シミュレーションを効果的に用いることによって、想定する氾濫ケースや住民対応、そして評価対象とする津波避難支援策の対象地域について網羅的な検討を実施している点が

特徴である。具体的に本研究で開発した手法は、「1.既存避難場所や避難路の影響を踏まえて、対象地域のあらゆる地点における避難場所整備による人的被害の低減効果を把握することで、効果的な整備箇所だけでなく、避難誘導に及んだ評価を行う」こと、そして「2.津波氾濫や住民避難といった不確定で動的に変化する要素を考慮するとともに、その配置や住民対応に依存して発生する避難場所整備の負の影響を加味することにより、想定困難な津波災害時においても安定した効果が期待できる対策を検討できる」という特徴を有している。

本論文では、避難シミュレーションを活用した津波避難支援策の評価方法について述べるとともに、尾鷲市を対象とした適用結果から、本分析手法の有効性や実地域における避難支援策の効果、そして、把握された適切な避難場所整備、避難誘導のあり方について述べる。

2. 津波避難支援策の分析手法

(1) 評価対象とする津波避難支援策

本研究では、「新規避難場所整備」と「避難誘導」の二種類の津波避難支援策を評価対象とした。ここで「新規避難場所整備」とは、津波避難タワーの整備や避難ビルの指定等の津波の氾濫が想定される地域（以下、氾濫域と呼ぶ）における避難場所の整備と、高台等の氾濫域の外側における避難場所の整備を指す。次に、「避難誘導」とは、防災教育や標識の設置等によって事前もしくは避難時に適切な場所や方向に避難者を誘導するものである。

(2) 評価方法

津波避難支援策の評価指標としては、各支援策を実施することによる被害者の低減人数を用いる。ここで被害者とは、歩行困難な程の津波氾濫に巻き込まれた人を指しており、経済被害のみを被った人は対象としていない。

a) 新規避難場所整備の評価方法

新規避難場所整備の評価には、既存の避難場所のみを表現した現状と比較して、新規避難場所整備を評価する地点（以下、評価地点と呼ぶ）一箇所に避難場所を追加した場合の被害者の低減人数を用いる。

$$S_p = D - D_p \quad (1)$$

ここで、 D ：既存避難場所のみの場合の被害者数、 D_p ：既存避難場所に加えて評価地点pに新規避難場所を追加した場合の被害者数、 S_p ：評価地点pの新規避難場所整備による被害者の低減人数である。なお、既存避難場所については、それぞれの規模に応じた収容可能人数を考慮するが、評価対象とする新規避難場所については、

収容可能人数を無限大として表現し、最終的に収容された避難者の人数から新規避難場所に求められる規模を把握する。また、整備すべき避難場所の形態は、評価地点の氾濫状況から判断する。具体的には、その場所が氾濫域内であった場合は、津波避難タワーや避難ビルの整備が求められ、高台等の氾濫域外であった場合は、広場等の避難場所の整備が必要となる。

b) 避難誘導の評価方法

避難場所は、「避難者の安全を確保する」という緊急避難場所としての効果に加えて、「緊急避難場所としての効果を享受するために周辺住民がその場所にまで移動してくる」という間接的な誘導効果を兼ね備えていると考えられる。本研究では、避難場所が持つこの誘導効果を考慮することによって、一つの分析結果から新規避難場所整備と同時に避難誘導による人的被害の低減効果を評価する。例えば、本分析から把握された効果的な新規避難場所の整備箇所が氾濫域外にあり、その場所が既に移動や滞在可能である場合は、防災教育や標識等による直接的な避難誘導によっても同様の結果が得られると解釈することができる。なお、避難誘導の評価を同時に実施する必要から、新規避難場所整備を評価する箇所は、現実的に考えられる候補地等に限定せず、対象地域に対して網羅的に設定する必要がある。

(3) 津波による被害者数の算定

津波避難支援策の評価に必要となる被害者の人数は、種々の条件を考慮した避難シミュレーションモデルによって算定する。

a) 避難シミュレーションモデル

本研究では、既往研究において開発した避難シミュレーションモデル^{13),14)}を用いる。本モデルは、地震発生からの経過時間に応じた住民避難と津波氾濫の状況を表現する。そして、時々刻々と変化する住民の分布と津波氾濫の空間的な関係から被害者を推計するものである。なお、本モデルには避難勧告等の情報の伝達状況を表現するモデルが組み込まれているが、本研究では住民が避難を開始してから完了するまでの行動支援に主眼を置くことから、情報伝達の表現は省略し、全住民が同じタイミングで避難を開始する状況を表現する。

b) 避難先と避難路の選択

避難場所の誘導効果を考慮するため、各住民は、既存避難場所と評価対象とする新規避難場所を合わせた全ての避難場所の中から、自宅から最寄りの場所を避難先として選択することとした。ただし、移動距離のみを考慮して避難先を選択した場合、高台の住民が低地にある避難場所を選択する等、非現実的な行動が表現されてしまうことから、まず自宅よりも標高が高い場所にある避難場所を抽出し、次にその中から最寄りの避難場所を選択

する様にした。なお、自宅と同じ標高にある避難場所は選択の対象から除外している。また、海に近づく方向にある避難場所についても除外するという条件も考えられるが、多くの場合海に向かって標高が低下するため、標高を考慮するだけで同様に表現されること、また、たとえ海に近づくとしても、十分な高さを持つ避難場所が最寄りにあれば避難する場合も考えられる¹⁵⁾ことから、本モデルでは海からの距離は非考慮とした。

また、前述の通り避難場所には収容可能人数が設定されており、避難者は到着した避難場所が既に満員であった場合、次に避難する場所を初回と同様の手順により決定する。この時、避難先の候補を絞り込むための標高は、自宅ではなく現在地点とし、常により高い場所へ避難する行動を表現した。なお、この行動はあくまでも合理的な津波避難を表現したものであり、実際の避難行動においては、必ずしも最寄りの避難場所に向かう等の行動が執られるとは限らない¹⁶⁾。

避難者は、避難経路として現在地点から避難先までの最短経路を選択する。また、避難の途中で氾濫により通行できない道路区間に遭遇した場合は、通行不能区間として記憶し、該当区間を除いた道路網を用いて再度前段の手順によりその場所からの避難先と避難路を探索することで津波氾濫からの回避行動を表現している。

c) 被害者の判定

シミュレーションでは、10秒毎に住民分布と氾濫域を比較し、水深身長比と流速の関係から歩行困難と判断¹⁸⁾された住民を被害者とした。なお、避難場所が氾濫域内に位置している場合は、津波に対して十分な高さを持つ避難ビルや避難タワーが整備される状況を想定するため、避難が完了した住民については、氾濫域の内外に関わらず被害者には判定しない。

d) 不確定要素の扱い

津波災害時において、発生する津波の規模と住民が避難を開始するタイミングは、被害者の規模を大きく左右する不確定要素である¹³⁾。ここで津波避難を支援する対策は、どのような状況においても有効に機能することが最善であり、本来ならば状況によって被害が拡大する方向に機能することが無い様にすべきである。本研究では、このような問題意識から津波の規模と住民の避難タイミングに依存した評価を避けるため、これらの条件を変化させた複数のケースによるシミュレーションを実施した。そして、不確定要素を踏まえた評価指標として、各ケースによる被害者の低減人数の平均値を用いることとした。また、津波避難支援策による負の効果についても把握するため、対策により被害を受けるようになった人の規模に着目した分析についても実施した。

表-1 設定条件

分類	項目	設定値、条件
住民	人口	16,171人
	身長、歩行速度	年齢に応じて設定 ¹⁷⁾
	避難率、避難手段	100%、徒歩
	避難開始(4ケース)	地震発生から5分、10分、15分、20分後
避難場所	被害者判定	10秒毎に水深身長比と流速から判定 ¹⁸⁾
	既存避難場所	指定避難場所、地域避難場所、高台（標高40m以上）
地震	想定地震(2ケース)	想定東海地震、東南海地震、南海地震連動型地震 ¹⁹⁾ 、南海トラフの巨大地震（ケース7） ²⁰⁾
	想定震度	震度6強
津波	ハード施設	機能しない
	メッシュ、計算時間	10m、地震後1時間（10秒間隔で評価）
標高	メッシュ、精度	10m、1cm単位

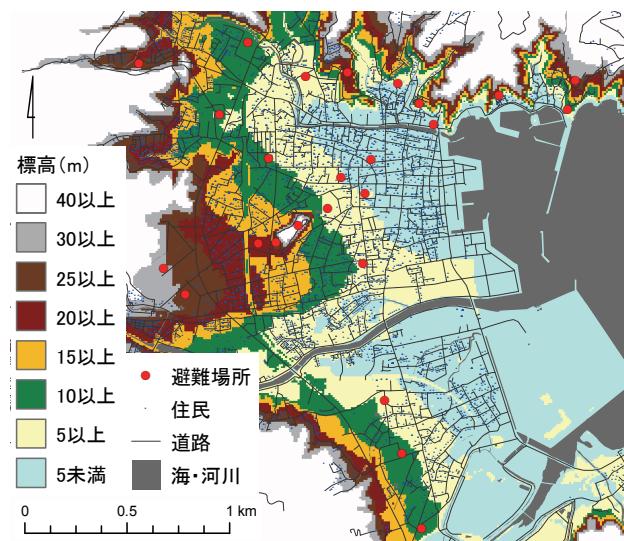


図-1 整備データ

3. 津波避難支援策のシミュレーション分析

尾鷲市を対象に前章に示した分析手法を用いて津波避難支援策を評価した結果を示す。なお、尾鷲市は幾つかの湾に集落が分散しているが、本論文では最も人口が多く氾濫域の広い市街地における結果を示す。

(1) 整備データと基本条件

シミュレーション分析の実施に向けて整備したデータや設定した条件をまとめ（表-1、図-1参照）。

標高（地形）は、内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」²⁰⁾において整備された10mメッシュの地形データを利用して表現した。

津波氾濫は、中規模ケースとして中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」において想定された想定東海地震、東南海地震、南海地震の震源域が同時に破壊された場合の津波（以下、中規模津波と呼ぶ）¹⁹⁾、

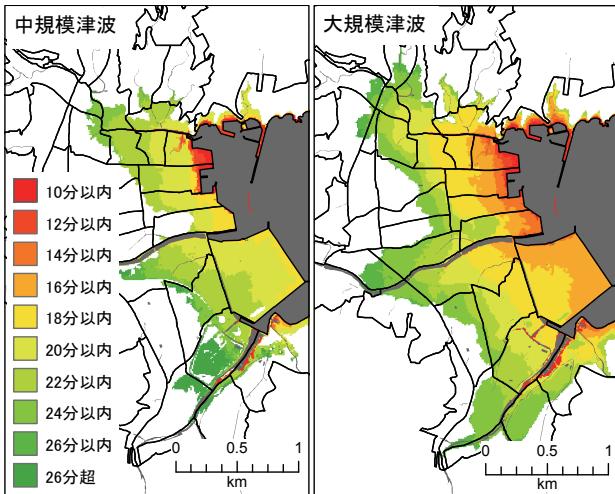


図-2 津波氾濫ケース別の氾濫域と氾濫タイミング

表-2 分析ケース

ケース	津波	避難の開始タイミング
1	中規模津波	地震発生から5分後
2		地震発生から10分後
3		地震発生から15分後
4		地震発生から20分後
5	大規模津波	地震発生から5分後
6		地震発生から10分後
7		地震発生から15分後
8		地震発生から20分後

大規模ケースとして内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」による想定から尾鷲市の氾濫が最大となるケース（以下、大規模津波と呼ぶ）²⁰⁾を採用した。そして、両ケースの条件に基づき地震発生から1時間後までの津波氾濫の状況を計算した（図-2参照）。

道路は、住宅地図を参考にネットワークデータを作成した。なお、本研究の分析では、全て徒歩による避難を行うこととし、歩行者のみが通過できる避難路も表現対象とした。

住民は、住民台帳に示される住所を参考に位置を表現した。また、シミュレーションにおいて歩行速度と身長の設定に用いる性別と年齢に関する属性を持たせた。

既存避難場所は、市の指定避難場所と地域で独自に設定されている避難場所を表現した。また、各避難場所の収容可能人数については、1 m²/人とするガイドライン²¹⁾があるが、津波襲来時の緊急避難時において限られたスペースにそれ以上の人人が避難する状況を想定し、一畳あたり二人（0.83 m²/人）を収容した場合の人数を設定した。なお、大規模津波の氾濫域内にある避難場所については、非浸水となる階のみを収容対象とし、屋外の場合や全階が浸水する避難場所については除外した。また、避難場所よりも高地の住民の避難や避難場所以外の高台への避難²²⁾²³⁾を表現するため、氾濫域や既存避難場所の分布を踏まえて、標高40 m以上となる道路上の地点に収容可能人数が無限大の仮想的な避難場所を設定した。

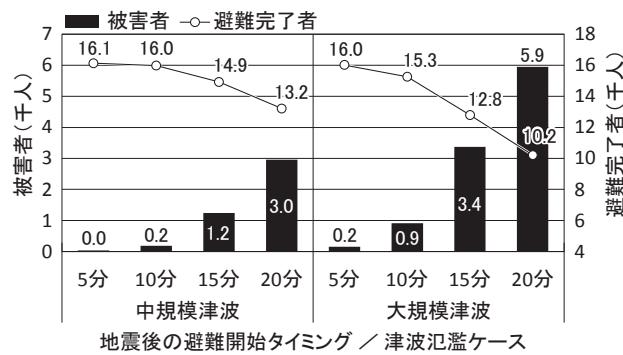


図-3 分析ケース別の被害者数

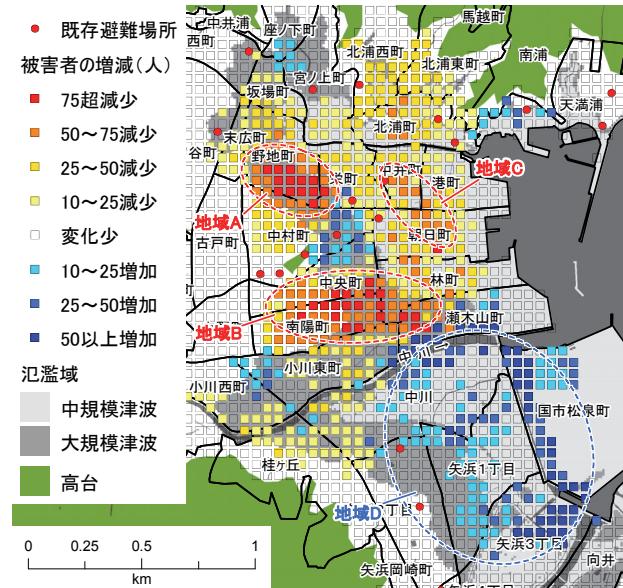


図-4 各評価地点の新規避難場所整備による被害者数の増減

(2) シミュレーションの分析ケースの設定

a) 分析ケース

本研究の分析方針に則り、津波規模と避難の開始タイミングを組み合わせた表-2に示す8つの分析ケースを設定した。図-3は、既存避難場所のみを考慮したシミュレーションによる各ケースの被害者数（式(1)のDに該当）と避難完了者数の推計結果である。この図から、避難の開始タイミングに大きく依存して被害が拡大すること、また津波の規模によって被害者が2倍から5倍程度に増加することが確認できる。

b) 新規避難場所整備の評価地点の設定

新規に避難場所を整備することによる被害者の低減効果を評価する地点は、本研究の分析方針に基づき網羅的な検討を実施するため、対象地域全域をカバーする50 m メッシュの各中心点から「道路から100 m以上離れている地点」、「標高40 m以上の高台」、「河川や海上の地点」を除いた2,641箇所とした（図-4参照）。

(3) 新規避難場所整備による被害者の低減効果

図-3に示す既存避難場所のみを考慮した場合の被害者

数に対して、新規避難場所を一箇所加えた場合の被害者数の増減について、前節で設定した2,641箇所それぞれの評価地点を対象に表-2に示す8つのケースを分析した。

a) 効果的な新規避難場所の整備地域

新規避難場所整備による各評価地点の被害者数の増減について、8ケースのシミュレーションによる平均値を求めた結果を図-4に示す。この図によると、氾濫域とその周辺において大きく値が変化する地域が存在していることが確認できる。特に、図-4に示した地域Aと地域Bにおいては、75人を超える比較的大きい低減人数が得られた評価地点が集中して分布している。また、低減人数は若干少ないものの、海岸に近い地域Cにおいても高い低減効果が得られている評価地点が分布している。

b) 内陸部に位置する評価地点における被害低減効果

図-5は、新規避難場所整備による効果が大きい上位評価地点について詳細を把握するため、被害者の低減人数が50人以上となった評価地点を抽出するとともに、図-4に示した地域別にグループ分けし、さらにこれらの評価地点に新規避難場所を整備することで被害を免れた住民（以下、改善者と呼ぶ）の居住地を示したものである。なお、地域BとCの中間に位置する評価地点については、中規模津波の氾濫域に含まれるものとグループC、それ以外をグループBに分類した。

図-5からグループA、Bの評価地点を見ると、いずれも氾濫域外、もしくは比較的氾濫タイミングが遅い氾濫域の先端部に位置しているのが分かる（図-2参照）。また、これらの評価地点による改善者と周辺の既存避難場所の分布とを合わせて見ると、改善者から最寄りの既存避難場所の多くは氾濫域内にあり、既存避難場所のみを対象とした場合、避難先にたどり着くまで氾濫域内を避難することになることが分かる（図-5青矢印）。次に、上位評価地点の分布を見ると、付近に既存避難場所が存在しないことに加えて、改善者から見て氾濫域から早く逃れることができる方向（図-5赤矢印）に位置していることが分かる。

以上の結果から、グループA、Bの評価地点に新規避難場所を整備することで得られた被害者の低減は、避難場所が整備されることで、より早く避難が完了する住民が増加したという緊急避難場所としての効果に加えて、避難場所の誘導効果によって、氾濫域から迅速に逃れる方向に避難した住民が増加したことによる影響も含まれていると考えられる。

c) 沿岸部の上位評価地点における被害低減効果

一方、図-5のグループCの評価地点は、グループA、Bよりも海岸に近い中井町や朝日町、林町に位置している。これらの地点は、両津波氾濫ケースの氾濫域内に位置しており、緊急避難場所としての効果が高いと考えられる地点である。また、これらの評価地点は、より既存避難

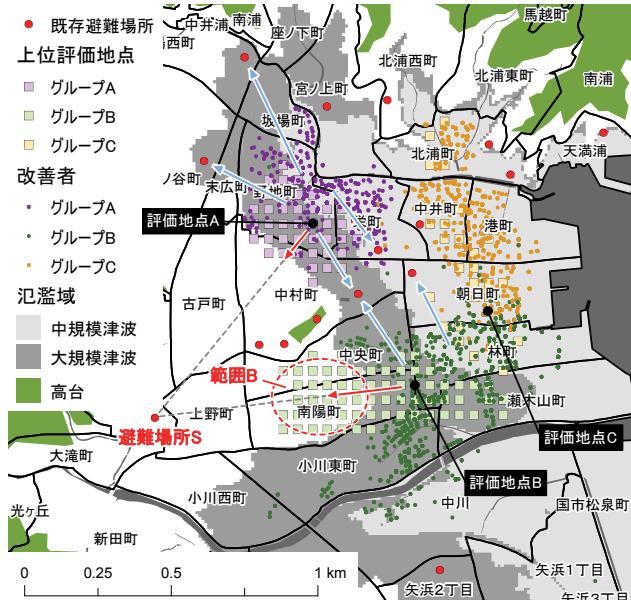


図-5 上位評価地点による改善者と既存避難場所の分布

場所までの距離が遠い海岸の直近ではなく、200~300 m程度内陸側に位置している点が特徴的である。この結果は、標高を考慮した避難先の選択規範から、より標高の高い内陸側の評価地点の方が多くの避難者が集まることが一つの要因である。また、海岸に近づくにつれて氾濫のタイミングが早まるため（図-2参照），避難を開始するタイミングが遅れるケースにおいて海岸に近い避難場所は、浸水により避難先として選択し得ないことが二つ目の要因として挙げられる。この二点目の要因は、海岸付近の避難場所が状況に依存して有効に機能しない場合があることを示すものである。なお、避難を開始するタイミング別の効果は、次節において詳細を分析している。

(4) 避難誘導による被害低減効果

a) 避難場所の誘導効果の検証

図-4に示した結果を単純に理解するならば、新規に避難場所を整備する場合、対象地域において最も人的被害の低減効果が期待される地域は、同図の地域Aと地域Bということになる。そして、両地域の大部分は大規模津波の氾濫域内に位置することから、この効果を得るためには津波避難タワー等の氾濫を前提とした避難施設の整備が求められる。しかし、前節において言及した様に、当該地域の新規避難場所整備による被害者の低減は、緊急避難場所としての効果に加えて、避難場所が持つ誘導効果によって氾濫域から逃れる方向への避難が促された結果であるとも考えられる。避難場所の誘導効果により人的被害の低減が図られていることは、図-5の特にグループBの上位評価地点の範囲が氾濫域外にまで及んでいることからも明らかである（図-5範囲B）。何故なら、範囲Bの新規避難場所整備による被害低減は、避難場所の有無に関わらず、氾濫域外となるその場所まで避難者

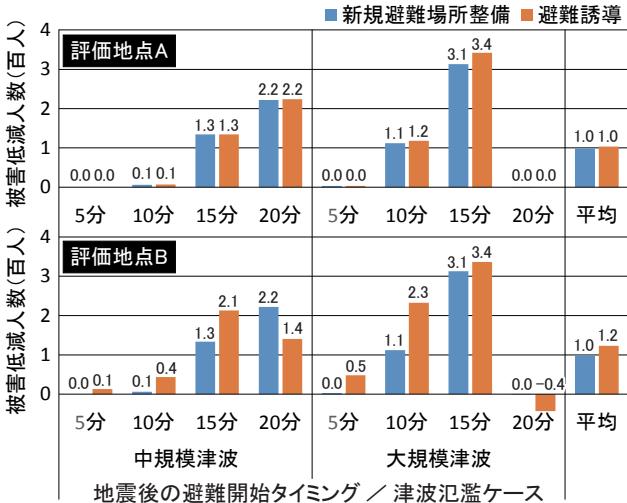


図-6 新規避難施設整備と避難誘導による被害者の低減人数

を誘導することでも得られるはずだからである。また、グループA, Bについては、被害者の低減人数が最大となる評価地点（図-5評価地点A, B）を中心に、ほとんどの上位評価地点が氾濫域内に位置しているものの、この分布は、緊急避難場所としての効果の高まりを意味するものではなく、評価地点が氾濫域内に位置することで、より多く氾濫域内の住民から最寄りの避難先として選択されること、つまり避難場所の誘導効果の影響を受ける住民が増加した結果であるとも考えられる。

グループA, Bの新規避難場所整備によりもたらされた被害低減に対する誘導効果の影響について検証するため、新規避難場所整備と避難誘導を直接的に表現した場合の被害者の低減人数を比較した結果を図-6に示す。まず、図-6の「新規避難場所整備」は、図-5に示す評価地点AとBの新規避難場所整備による被害者の低減人数を分析ケース別に示したものである。なお、グラフ右端の平均は、8ケースによる低減人数の平均値を示している。次に、図-6の「避難誘導」は、評価地点A（またはB）に新規避難場所を追加した場合、その避難場所が最寄りとなる住民のみを対象に、氾濫域から逃れる方向（図-5赤矢印）に位置する避難場所Sを避難先として指定することで、避難誘導を直接的に表現した場合の被害者の低減人数を示している。なお、「避難誘導」評価時においては、評価地点A（またはB）に新規避難場所を追加していない。この図からまず評価地点Aの結果を見ると、全てのケースにおいて「避難誘導」は「新規避難場所整備」と同等かそれ以上の被害者の低減人数となっていることが分かる。次に評価地点Bの結果を見ると、住民の避難タイミングが地震発生から20分後に遅れたケースにおいて、「避難誘導」による低減人数が「新規避難場所整備」よりも少なかつたり、何も対策を施さない場合よりも被害が増加したりしてしまったケースが存在するものの、それ以外のケースにおいては「新規避難場所整備」

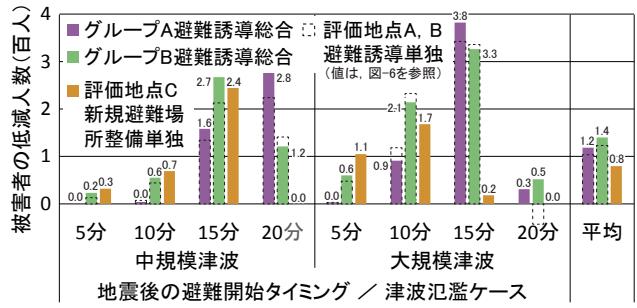


図-7 避難誘導の総合効果と新規避難場所整備による単独効果

よりも「避難誘導」の方が高い効果が得られている。

以上の結果から、最大の被害者の低減効果が得られた評価地点AとBにおける新規避難場所整備の被害低減効果は、住民の避難行動が遅れたケースにおいては緊急避難場所としての効果による影響が強まるものの、他のケースにおいては、避難誘導によても同等以上の効果を得ることができることが確認された。また、本検証から得られた結果は、新規避難場所整備の評価を網羅的に行う本研究の手法によって、避難誘導による効果が期待される地域を把握できることを示すものもある。ただし、実際の避難時において氾濫域を特定することは困難であることから、本分析から把握された地域A, Bについては、周辺地域と比較して氾濫のタイミングが遅く最寄りの既存避難場所へ避難するよりも危険の少ない地域として、周辺住民がはじめに向かうべき場所であると認識すべきである。そして、当該地域へ避難した後は、さらに危険性の少ない場所へ誘導することが求められる。

b) 避難誘導による被害低減効果の評価

前項では、評価地点A（またはB）の一地点のみに着目して避難誘導による効果を確認した。しかし、避難誘導は、通常まとまった範囲の住民を対象に実施することから、避難誘導による被害低減効果は複数の評価地点による影響を総合化して評価すべきである。

この考えに基づき、前項において「評価地点A（またはB）が最寄りの避難場所となる住民」に限定していた避難誘導の対象者について、「図-5のグループA（またはB）に属する評価地点のいずれかに新規避難場所を追加した場合に、その場所が最寄りの避難場所となる住民」に拡大した場合の被害低減効果を分析した結果が図-7の「グループA（またはB）避難誘導総合」である。比較のために、本図には図-6に示した評価地点AとBの単独の避難誘導による結果と、グループCで最大効果が得られた評価地点Cにおける新規避難場所整備の単独による結果を併記している。この結果を見ると、避難誘導による被害低減効果は、平均的には総合化した方が単独よりも高くなるものの、効果が最大となる評価地点単独の低減人数から極端な改善とはならず、単独による効果の方が高いケースも存在することが把握できる。また、沿岸

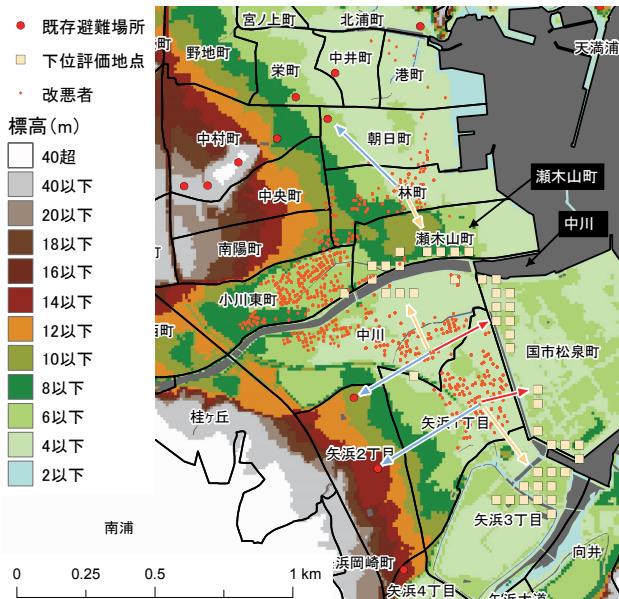


図-8 下位評価点と改悪者の分布

部における新規避難場所整備は、避難の開始が遅れるケースにおいては有効に機能しないものの、早期避難が実施された場合においては避難誘導よりも高い被害低減効果が得られる場合があることが把握できる。

(5) 新規避難場所整備による負の誘導効果

特に氾濫域内に避難場所を整備した場合、その影響により却って被害を受ける住民が発生するという負の効果が存在する。ここまでに示した被害者の低減人数は、改善者の規模とこの負の効果を相殺した結果であり、図-5等に示した上位評価地点の多くも負の効果を内包していることに注意する必要がある。ここで、海岸からの距離に関係なく自宅よりも高台にある最寄りの避難場所へ避難することを前提とした本分析において、特に負の効果が大きく、正の効果を上回ったのが、中川沿岸から南側の地域に多数存在する評価地点である(図-4地域D)。

a) 新規避難場所整備による負の効果の発生要因

図-8は、図-4において50人以上被害が増大した下位評価地点とその地点に避難場所が整備されることで逆に被害を受ける様になった住民(以降、改悪者と呼ぶ)の分布を示したものである。改悪者が分布する地域は、両津波氾濫ケースともに氾濫域内であり、最寄りとなる既存避難場所は内陸方向に位置している。このことから、既存避難場所のみを考慮した場合、住民は氾濫域から離れる方向(図-8青矢印)へ避難することになる。また、氾濫域が広く拡がる地域ではあるものの、北部の沿岸部(図-4地域C周辺)よりは氾濫までの時間的余裕があるのも特徴である(図-2参照)。

図-8から下位評価地点と改悪者の位置関係を見ると、内陸側から海岸に向かって避難した場合に加えて(図-8

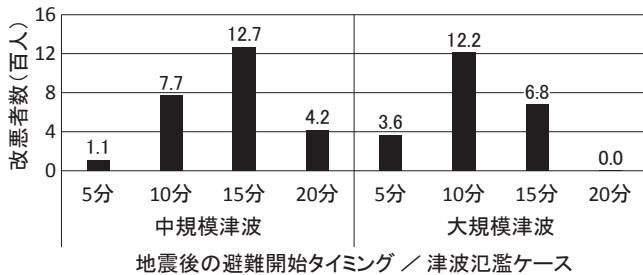


図-9 下位評価点によるケース別の改悪者の合計人数

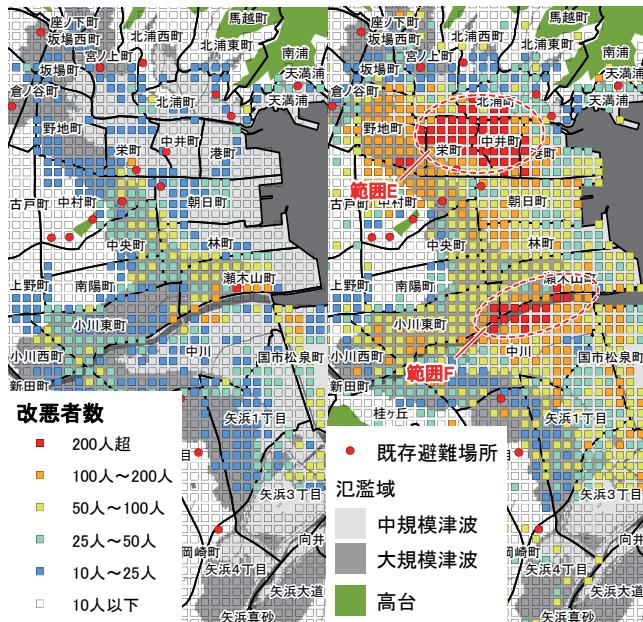


図-10 改悪者数(左:標高+距離考慮、右:距離のみ考慮)

赤矢印)，特に避難先が河川沿線等の比較的氾濫タイミングの早い地域の場合は、海岸に沿った南北方向の避難を行う場合においても被害が拡大することが分かる(図-8黄矢印)。シミュレーションでは、自宅よりも標高が高い避難場所のみを避難先としているものの、瀬木山町周辺や中川沿線から南部については、海岸付近の標高が高くなっているため、このような行動が表現されたものと考えられる。また、図-9は、図-8に示した下位評価地点における新規避難場所整備のケース別の改悪者の合計人数を示している。この図から、氾濫が大きく拡がる前の段階(中規模津波15分後まで、大規模津波10分後まで)においては、避難の開始が遅れるほど改悪者が増加することが確認できる。以上の結果は、氾濫域内における避難場所の整備によって、仮に海岸方向への避難や海岸に沿った避難が助長された場合、避難距離の短縮により助かる人以上に、氾濫に巻き込まれる人が増加する恐れがあることを示している。そして、その規模は、特に避難が遅れた状況において拡大する傾向があることを示している。

b) 負の誘導効果に対する避難者の行動規範の影響

図-10は、評価地点毎の新規避難場所整備による改悪者の人数を示している。本図左側は、これまでと同様に

避難者が標高と距離によって避難先を選択した場合の結果である。一方右側は、標高による避難先の絞り込みをせずに、純粋に最寄りの避難場所を選択した場合の結果である。両結果を比較すると、距離のみによって避難先を選択した場合、氾濫域内のほとんどの評価地点において改悪者の発生規模が増大することが分かる。そして、その傾向は、河川沿岸や低地等の氾濫のタイミングが早い地域（図-10範囲E、地域F）において顕著に見ることができる。この結果は、氾濫のタイミングを基準とした危険地域に避難場所を整備した場合、住民による避難先の選択如何によっては、大幅に被害を増大させる危険性があることを示している。なお、より氾濫タイミングの早い海岸部において改悪者が比較的少数に納まっているのは、氾濫前に避難場所にたどり着ける時間が短いため、改悪者を発生させる避難先としても機能する場面が限られることが要因である。

（6）シミュレーション分析結果のまとめ

尾鷲市市街地を対象としたシミュレーション分析の結果、地域全体の人的被害規模を評価指標とした新規避難場所の最適整備箇所は、氾濫のタイミングが早く高台までの距離が遠い沿岸部ではなく、氾濫域の先端部に近く付近に避難場所の存在しない地域となった。この結果は、検討対象地域においては、沿岸部に緊急避難できる場所を整備することよりも、氾濫域から逃れる適切な避難誘導を実施することによる効果の方が大きいことを示すものである。当該地域における津波避難支援策としては、いち早く氾濫域から逃れるための避難誘導計画の策定や計画遂行に向けた標識の設置、ハザードマップの整備等が優先されるべきである。

緊急的な避難場所としての機能を評価した場合、最も効果的な整備箇所は、北部沿岸の200～300 m程内陸側の地域（図-4地域C）であり、最大ケースでは200人を超える被害低減効果が得られた。ただし、特に氾濫域内を対象とした場合、避難場所の整備は、危険な避難行動を誘発し結果的に被害を拡大させる危険を伴う。さらに、この負の効果は、より氾濫が差し迫った事態において拡大する傾向があるため、避難が遅れがちになる等、避難場所が近傍に整備されることによる避難者心理に対する負の影響²³⁾と相まって、より深刻となる可能性がある。そして、特に距離的に近いという理由だけで氾濫方向や氾濫と垂直方向への避難が行われた場合、さらなる被害の拡大が生じることも確認された。以上の点から、氾濫域内の避難場所については、十分な検討の上に利用場面や対象者を定め住民に周知徹底を図ることが非常に重要であると言える。

本研究による検討結果を踏まえるならば、津波避難タワーの最も効果的な活用形態は、氾濫から効率的に逃れ

るための方向を示すシンボルとしての役割を主とし、避難途上において津波が目前に迫った場面においてのみ逃げこむ施設とすることである。ただし、津波避難タワーが有する誘導効果を防災教育や標識、誘導員等の本来の避難誘導対策に求めることができるのであれば、前段に示した注意点への対応が厳行されることを前提として、より氾濫域から逃れることが困難な地域において整備すべきである。

なお、図-5に示す改善者の分布からも明らかな様に、各対応による効果は独立しており、一つの対応によって全ての人的被害を無くすことは困難である。地域全体の被害を軽減していくためには、地域に応じた適切な対応を複合的に実施していく必要がある。

4. おわりに

本研究では、新規避難場所整備や避難誘導を対象とした津波避難支援策について、人口や既存避難場所の分布、地形等の地域特性に加えて、津波規模や住民の避難対応といった不確定要素を踏まえた上で、効果が期待される地域を評価する分析手法を開発した。そして、尾鷲市を対象とした適用分析の結果からは、氾濫域内の緊急避難場所の整備よりも、氾濫から迅速に逃れることを優先した避難誘導を促進することが人的被害低減に向けた効果的な対応になることを把握した。

沿岸部における津波避難場所の存在によって助かる命があることについては論をまたない²⁴⁾。しかし、このことは、人的被害の低減に向けて沿岸部の避難施設整備が最も効果的な対策であることを意味するわけではない。津波避難タワー等は、氾濫域外へ迅速に逃れることを優先した避難誘導によってもなお安全を確保することが困難な限られた地域や場面、そして要配慮者を対象とした対策として位置づけられるべきであり、一般の避難場所とは明確に異なる整備検討や運用が求められるものである。そして、周辺住民がその役割について十分な認識を持つことが非常に重要である。

また、図-10に示される様に、氾濫域内の多くの場所においては、避難場所整備による負の効果がもたらされる可能性がある。本研究では地域全体の被害者の低減人數を評価指標として用いたものの、たとえ一人であつたとしても犠牲者に転じる人を生じさせてしまう危険性を持つ対策を公共事業として実施すべきか否かについては、より議論を深める必要がある。そして、この様な懸念を払拭するためにも、適切な避難行動を促すことで負の影響を抑制する効果が期待される防災教育や避難誘導の推進が求められる。

本研究のシミュレーションによる具体的な結果は、対

象地域の人口や既存避難場所、道路の配置、そして津波の氾濫特性に大きく依存するものであることは言うまでもない。しかし、たとえ氾濫の可能性がある場所であつたとしても、避難場所として認識されていれば周辺住民が避難してくることは事実⁴⁾であり、避難先が氾濫域内にある以上、避難の途上において犠牲となる危険があることも当然といえる。この様な背景から、本分析で把握された氾濫域を踏ました避難誘導の重要性や氾濫域内における避難場所整備に関する留意点については、津波避難支援策を検討する上での普遍的な示唆として捉えられるものと考えている。今後は、他の地域における分析事例を増やすとともに、適切な避難誘導についてより具体的に検討するための手法を開発することが課題である。

謝辞：本研究の遂行に当たっては、尾鷲市防災危機管理室からの協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 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），2012.
- 2) 内閣府：報道発表資料 南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等（第二次報告）及び被害想定（第一次報告）について，2012.
- 3) 国土交通省中部地方整備局：第8回地震・津波災害に強いまちづくり検討委員会説明資料，2013.
- 4) 釜石市鵜住居地区防災センターにおける東日本大震災津波被災調査委員会：釜石市鵜住居地区防災センターにおける東日本大震災津波被災調査報告書，2014.
- 5) 東日本大震災第三者検証委員会：東日本大震災第三者委員会報告書－宮城県名取市閑上地区的検証－（概要版），2014.
- 6) 大川小学校事故検証委員会：大川小学校事故検証報告書，2014.
- 7) 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.
- 8) 藤岡正樹、石橋健一、梶秀樹、塙越功：津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価、日本建築学会計画系論文集, No.562, pp. 231-236, 2002.
- 9) 源貴志、成行義文、藤原 康寛、三神 厚：津波避難シミュレーションシステムの開発と地区の避難安全性評価への適用、土木学会地震工学論文集, Vol.30, pp.757-767, 2009.
- 10) 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・論文集, Vol.20, No.2, pp.345-354, 2003.
- 11) 大畠大志郎、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, 第612号, pp.87-91, 2007.
- 12) 細井教平、桑沢敬行、片田敏孝：人的被害に着目した津波防災施策の総合評価、土木計画学研究講演論文集, CD-R(95), Vol.35, 2007.
- 13) 片田敏孝、桑沢敬行：津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発、土木学会論文集D, Vol.62, No.3, pp.250-261, 2006.
- 14) 桑沢敬行、片田敏孝：震災状況下における津波被害の発生構造に関するシミュレーション分析、土木学会論文集 D, Vol.64, No.3, pp. 380-390, 2008.
- 15) 内閣府（防災担当）：もし、一日前に戻れたら・・・私たち（被災者）からみなさんに伝えたいこと 海沿いの高い建物に避難～冷静な判断で命助かる～，2013.
- 16) 熊谷兼太郎：2011年東北地方太平洋沖地震津波の避難行動への津波避難シミュレーションの適用性、国土技術政策総合研究所資料, 第742号, 2013.
- 17) 日本建築学会：建築設計資料集成【人間】，2003.
- 18) 須賀堯三、上阪恒雄、吉田高樹、浜口憲一郎、陳志軒：水害時の安全避難行動（水中歩行）に関する研究、水工学論文集, 39巻, pp.879-882, 1995.
- 19) 中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会：強振動と津波高さの検討に関する資料集, 2003.
- 20) 南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）津波断層モデル編－津波断層モデルと津波高・浸水域等について－，2012.
- 21) 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）：津波避難ビル等に係るガイドライン，2005.
- 22) 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【主な調査結果】，2012.
- 23) NPO法人環境防災総合政策研究機構：東北地方・太平洋沖地震、津波に関するアンケート調査分析速報, 2011.
- 24) 竹田厚：奥尻の教訓－避難場所を近くに：今後の津波防災対策への提言、防災科学技術, Vol.72, pp.1-9, 1994.

(2014. 8. 11 受付)

STUDY ON PROPER LOCATION IN CONSIDERATION OF GUIDANCE EFFECT OF TSUNAMI SHELTER

Noriyuki KUWASAWA, Kyohei HOSOI and Toshitaka KATADA

The purpose of this study is investigate evacuation measures against tsunami. Reduction of casualty by establishment of shelter were evaluated in every point of the region by the simulator. Based on the result, in the tsunami inundation zone, effective locations were found to be located inland rather than near the coast. Shelter on the coast, increases casualty by leading evacuees to hazardous area. On the other hand, shelter in the inland has a function as a guidance that indicates the direction to safe area. In conclusion, in the target area, it was found that the evacuation guidance is more effective than establishment of shelter.