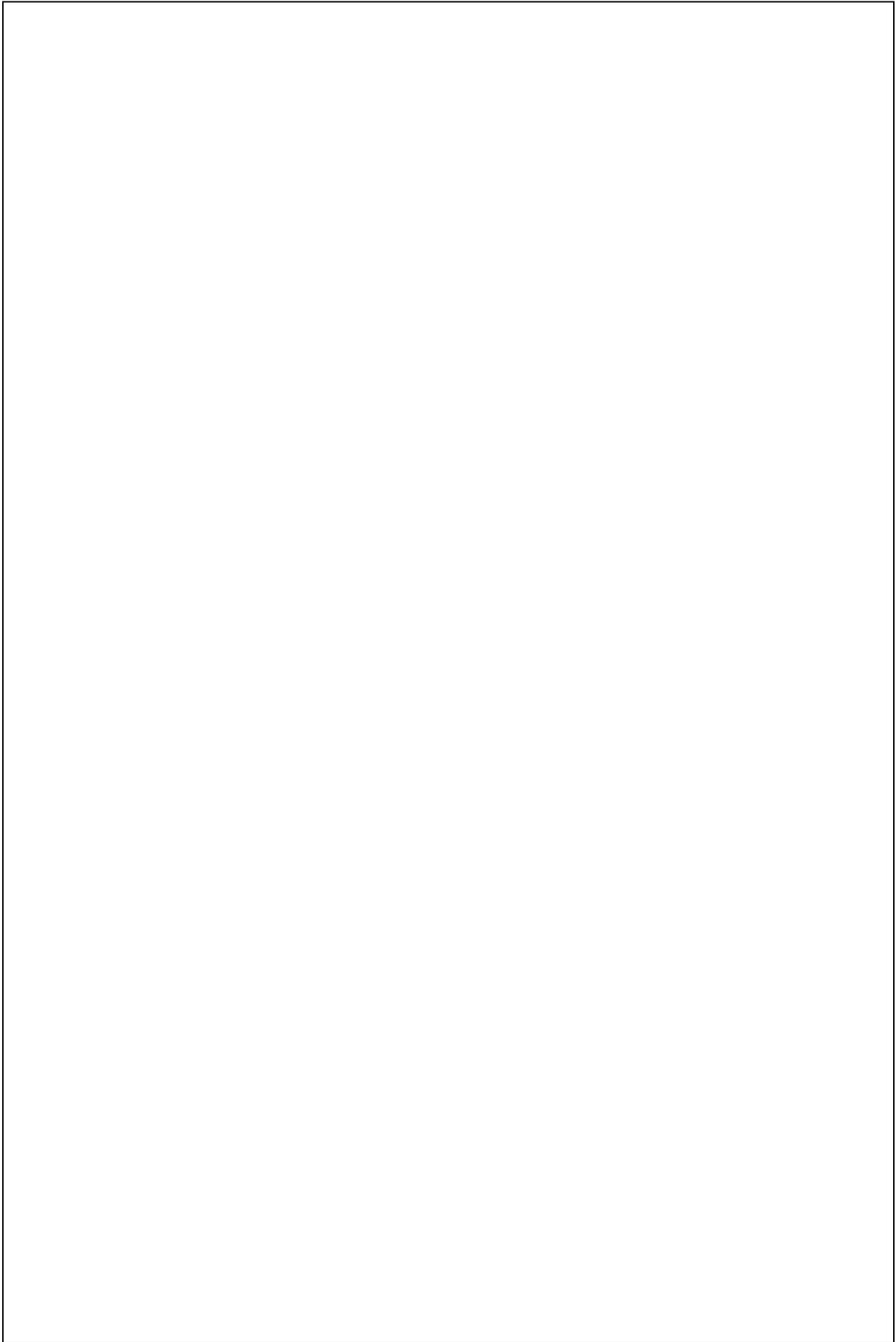


災害総合シナリオ・シミュレータ 活用事例集

群馬大学
災害社会工学研究室
特定非営利活動法人
社会技術研究所
株式会社
アイ・ディー・エー

applications of comprehensive disaster scenario simulator





— 目 次 —

1. シミュレータの概要

- シミュレーションモデルの概要…………… 1
- シミュレーションシステムの概要…………… 3
- シナリオ設定項目と入出力データ…………… 5

2. 情報伝達計画

- 屋外拡声器の導入計画…………… 7
- 戸別受信機の導入計画…………… 9
- 広報車の導入計画…………… 11
- マスメディアとの連携計画…………… 13

3. 避難計画

- 避難施設の整備計画…………… 15
- 避難路の整備計画（新規整備）…………… 17
- 避難路の整備計画（補修・補強）…………… 19
- 避難誘導計画…………… 21
- 家屋倒壊・道路閉塞を考慮した避難計画…………… 23

4. 保全対象別の避難計画

- 平常時の住民行動を考慮した避難計画…………… 25
- 住民の災害意識を考慮した避難計画…………… 27
- 寒冷地の冬期を対象とした避難計画…………… 29
- 自動車を利用した避難計画…………… 31
- 観光客などを考慮した避難計画…………… 33

5. ハード整備計画

- 堤防の導入計画…………… 35
- 湾口防波堤の導入計画…………… 37

6. 防災教育の推進

- 自主防災組織の評価…………… 39
- 個人の避難行動シナリオの評価…………… 41

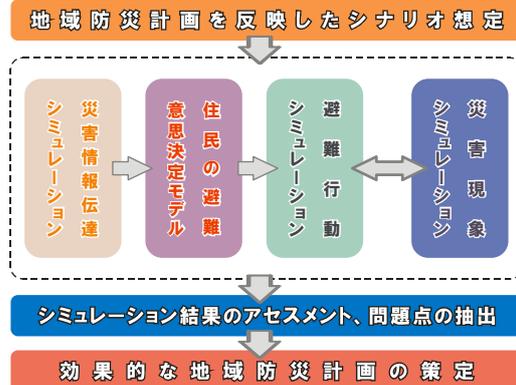
1. シミュレータの概要

シミュレーションモデルの概要

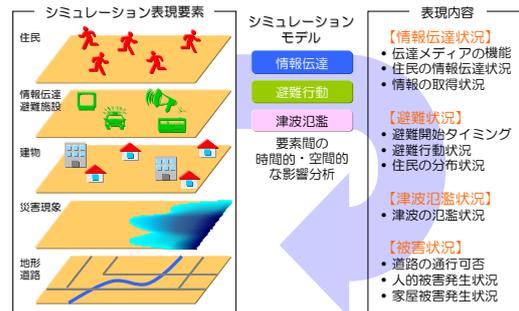
シミュレータの目的と特徴

災害による人的被害を「ゼロ」に抑えるためには、効果的な災害情報の伝達により、迅速に災害情報を伝達する効果的な情報伝達戦略を検討すること、そして、安全な場所まで迅速かつ効率的に住民を移動させるための的確な避難誘導計画を検討するなど、実効性のある危機管理計画の策定が不可欠である。本システムは、このような問題に対応するため、想定したシナリオに基づき、地域住民への災害情報の伝達状況や住民の避難状況、災害の発生に伴う被害の発生状況を総合的に表現することにより、効果的な地域防災の戦略策定を支援することを目的としている。

本システムは、災害情報の伝達状況、住民の避難状況、そして災害現象を表現する要素技術により構成されており、災害時における一連の地域の状況を総合的に表現することができる。また、時間の経過とともに変化する避難者の分布と災害の発生状況を解析することで、人的被害や経済被害額を予測したり、各種結果を視覚的に表示したりすることが可能である。



【シミュレータの流れ】

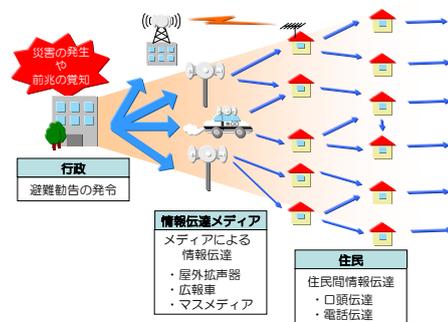


【シミュレータの構成】

要素技術の概要

■ 情報伝達シミュレーションモデル¹

情報伝達シミュレーションは、津波警報や避難勧告等の災害情報がマスメディアや防災行政無線の屋外拡声器、そして、広報車といった情報伝達メディアにより住民に対して発進される様子、また情報を受けた住民が口頭や電話による伝達行動を行うことにより災害情報が地域全体に広まって行く様子を表現する。

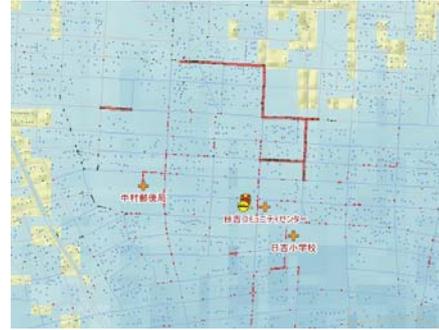


【情報伝達シミュレーション】

¹片田敏孝, 及川康, 田中隆司: 災害時における住民への情報伝達シミュレーションモデルの開発, 土木学会論文集, No.625/IV-44, pp. 1-13, 1999.

■ 避難行動シミュレーションモデル

避難行動シミュレーションは、災害時において住民が自宅から避難場所まで避難する様子を表現するシミュレーションモデルである。このモデルでは、住民個人ごとに避難速度、避難開始時刻、避難先を任意に設定することが可能であり、各住民が自宅などの初期位置から避難先に向けて避難する様子が表現される。



【避難行動の計算状況】

■ 災害現象シミュレーションモデル

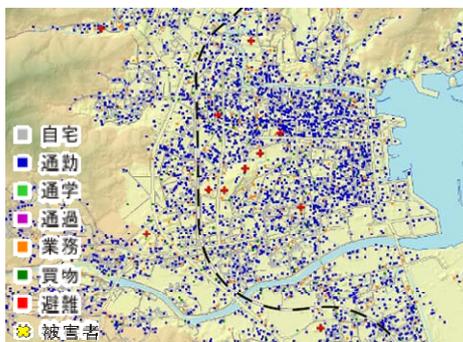
災害現象シミュレーションモデルは、災害による被害の発生状況を求めるために用いられる。津波や洪水など、行政や住民による社会的な対応から影響を受けない災害については、情報伝達シミュレーションや避難行動シミュレーションとは、独立して計算する構成を採っている。災害現象シミュレーションモデルから得るべき情報は、災害の影響範囲やその大きさであり、事前に計算されたものを外カシナリオとして用いる。

Clock モデル（時刻を考慮した住民分布再現モデル）

平常時における各住民の分布状況を再現し、任意の時刻に災害が発生した場合の人的被害を予測することができる本シミュレータの基盤となるシミュレーションモデルである。災害による人的被害の規模は、災害が発生した時点での住民の分布状況に大きく依存することから、現実的な被害を想定するためには「災害が発生する時刻」が特に重要となる。

■ Clock モデルの機能

- 国勢調査などの情報から対象地域の性別年齢別人口構成や世帯構成、そして外部地域からの流入人口や外部への流出人口などを再現する。
- 平常時における住民の行動（通勤、通学、業務、買い物など）を表現することによって、一日の住民分布の変化を表現する。
- 個人は、年齢や性別、家族、自宅、勤務先などの属性を持つ。住民が行う種々の意思決定においては、これらの情報を反映することが可能である。



午前十時の様子
(就業者や就学中の住民が地域全体に分布している)



午後十時の様子
(多くの住民が在宅中となっている)

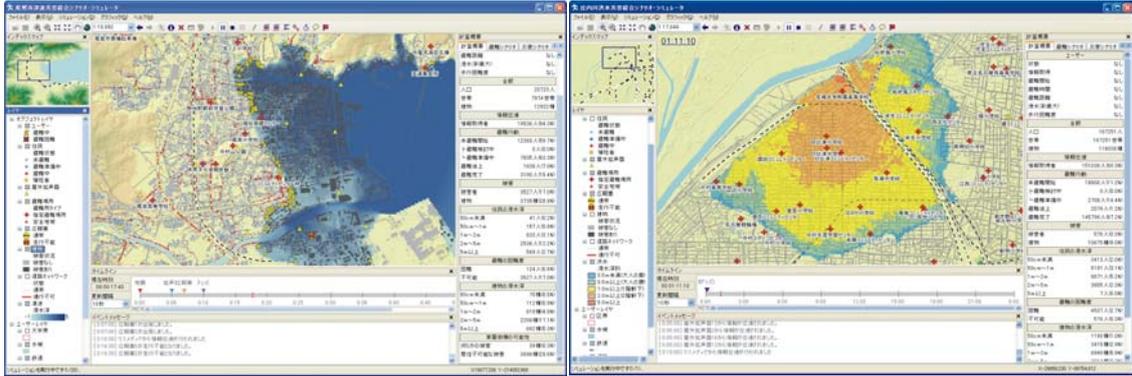
1. シミュレータの概要

シミュレーションシステムの概要

危機管理ツールとしての活用

■危機管理システムとしての活用

津波や洪水を対象とした避難計画、施設整備計画の有効性を検討する危機管理システムを構築するなど、地域の危機管理を支援するシミュレーションツールとして活用可能



津波を対象とした危機管理システム
(三重県尾鷲市)

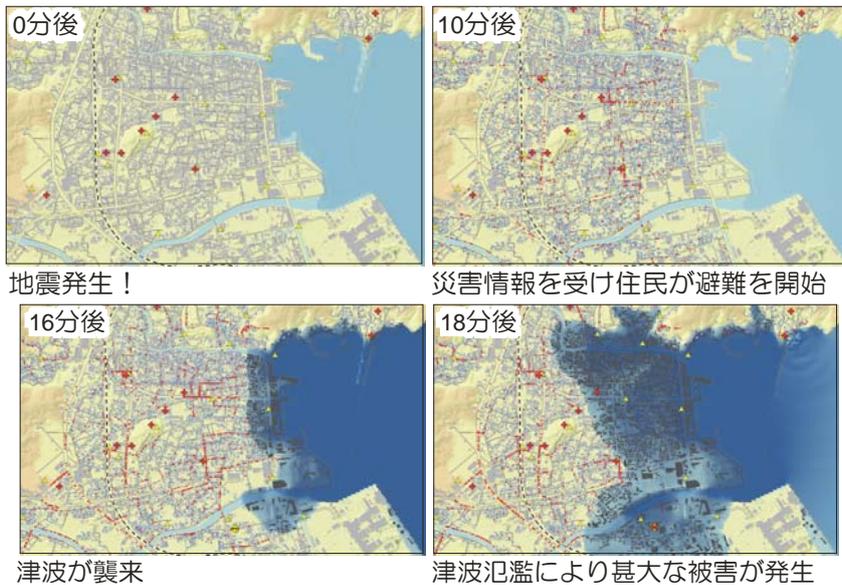
洪水を対象とした危機管理システム
(名古屋市庄内川)

【活用例】

- ・ 災害時の被害推計
- ・ 地域防災計画の評価・検討
- ・ 情報伝達／避難施設の整備検討 など

■災害時の状況を視覚的に表現

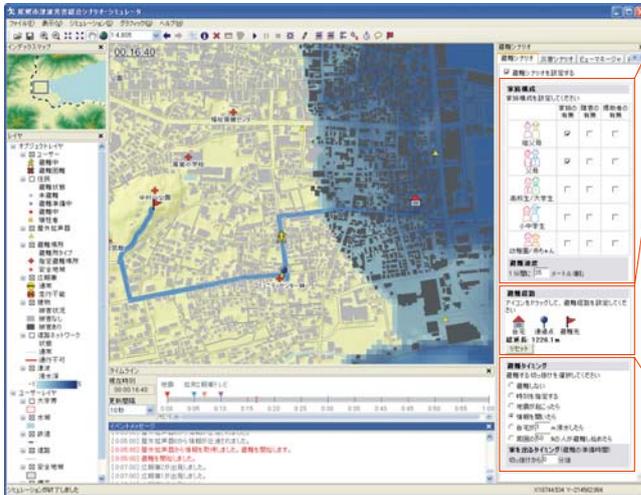
刻々と変化する避難状況や被災状況を視覚的に表現することが可能



災害教育ツールとしての活用

■個人レベルの避難行動評価システムとして活用

家族構成や避難経路、避難タイミングから個人の避難行動シナリオを評価する。



- 1 家族構成の設定
家族の構成や障害の有無、援助者の有無を指定します。
- 2 避難経路の設定
自宅、避難先、通過点を指定して、避難経路を設定します。

- 3 避難タイミング
「地震が起こったら」、「避難情報を聞いたら」、「周囲の人たちが避難したら」などの避難のきっかけと避難の開始タイミングを設定します。

■インターネットを利用したハザードマップとして活用

選択されたシナリオによって結果が変化する動的なハザードマップとして活用する。



- ・尾鷲市動く津波ハザードマップ (<http://dsei.ce.gunma-u.ac.jp/simulator/owase/>)
- ・釜石市動く津波ハザードマップ (<http://dsei.ce.gunma-u.ac.jp/simulator/kamaishi/>)

■シミュレータを利用した講演会の実施

災害総合シナリオ・シミュレータや動くハザードマップを防災講演会や住民説明会、また学校での防災教育用の教材として利用するなど、リスク・コミュニケーションツールとしても活用できる。



【シミュレータを利用した防災講演会の様子】

1. シミュレータの概要

シナリオ設定項目と入出力データ

シナリオ設定項目

地域特性や防災計画、想定するシナリオにあわせて各種項目を設定する。

分類	設定項目
住民	【基本シナリオ】年齢性別人口、世帯構成、住宅分布 【情報伝達シナリオ】住民間の情報伝達行動、電話利用の有無 【避難シナリオ】避難率、避難タイミング、避難経路、避難速度
防災行政無線	配置、放送タイミング、聴取率、音声到達範囲
広報車	巡回ルート、出動タイミング、移動速度、聴取率、音声到達範囲
マスメディア	放送タイミング、視聴率
避難場所	位置、収容人数、指定避難場所
災害現象	災害種別（地震・津波・洪水など）、発災タイミング
個人の避難行動	家族構成、避難速度、自宅の位置、避難先、避難経路、避難するきっかけ、避難タイミング

シミュレーションの構築に必要な入力データ

シミュレータの構築に必要なデータは、以下の通りである。

分類	データ項目	主な参照資料
住民	世帯 個人	・国勢調査結果 ・住民台帳 ※個人データが参照できない場合は、統計情報から仮想的な住民を作成する。
地形・空間	建物 道路	・デジタルマップ ・都市計画図（紙） ・住宅地図（紙）
	地形（標高）	・レーザープロファイラ（航空測量データ） ・数値地図 50m（国土地理院発行）
災害	津波 洪水	氾濫解析結果など ・浸水深、流速 （精度は 50m メッシュ以下が望ましい）
防災施設	防災行政無線 戸別受信機 広報車、避難場所	・地域防災計画書 ・ハザードマップ など

シミュレーションからの出力データ

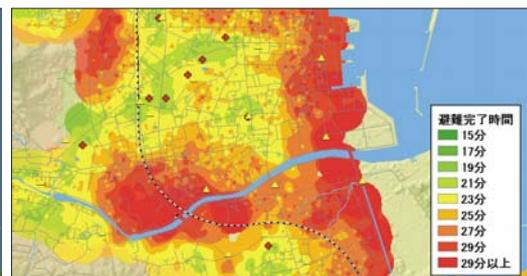
シミュレーション結果として出力される主な情報は、以下の通りである。シミュレータでは、各時刻における人的被害の状況や、各シナリオに基づく計算結果を取得できる。

分類	出力情報
情報伝達状況	情報取得率、情報取得タイミング※、 情報取得ステップ数※、情報取得回数※
避難状況	避難率、避難開始タイミング※、 避難完了タイミング※、避難所要時間※
被災状況	人的被害者数 経済被害額
その他	浸水深ごとの避難者数、浸水深ごとの避難途上者数、 浸水深ごとの建物数

※ 世帯ごとの情報とともに地域全体の集計結果も出力される。



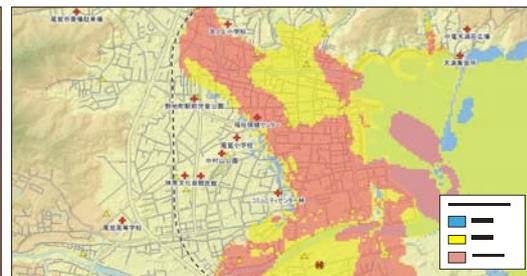
情報取得時間分布



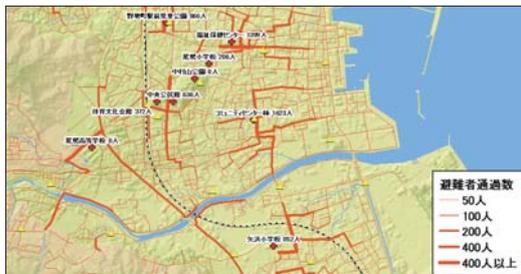
避難完了時間分布



最大浸水深



歩行困難度



避難者数分布



被害者分布

【シミュレーション結果の出力例】

2. 情報伝達計画

屋外拡声器の導入計画

キーワード：防災行政無線、屋外拡声器、情報伝達タイミング

概要

地域住民の迅速な避難を実現させるためには、適切な屋外拡声器の配置や設置箇所数、伝達タイミングなどを考慮した津波避難計画の検討が重要である。

設定項目と出力結果

■ 主な操作変数、設定シナリオ

分類	操作パラメータ	説明
情報伝達	配置・設置箇所数	拡声器の設置数と設置箇所を設定する。
	音声到達範囲	拡声器の音声が届く範囲を設定する。
	聴取率	拡声器の聴取率を設定する。
	伝達タイミング	拡声器による情報伝達タイミングを設定する。

■ 出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
情報伝達	配置・設置箇所数	屋外拡声器による情報伝達状況を評価する。
	音声到達範囲、聴取率、タイミング	
避難	避難所要時間	屋外拡声器による避難状況への影響を把握する。
	避難者数	一時的に被害を凌ぐための避難を検討する。
人的被害	犠牲者数	屋外拡声器による人的被害の影響を把握する。

計算例

対象地区は、人口2万程度であり、津波の想定浸水域は広範囲に及んでいる。このような地域では、屋外拡声器の配置や設置箇所数、伝達タイミング、さらに音声到達範囲や聴取率によって、津波避難状況が大きく異なることが想定される。

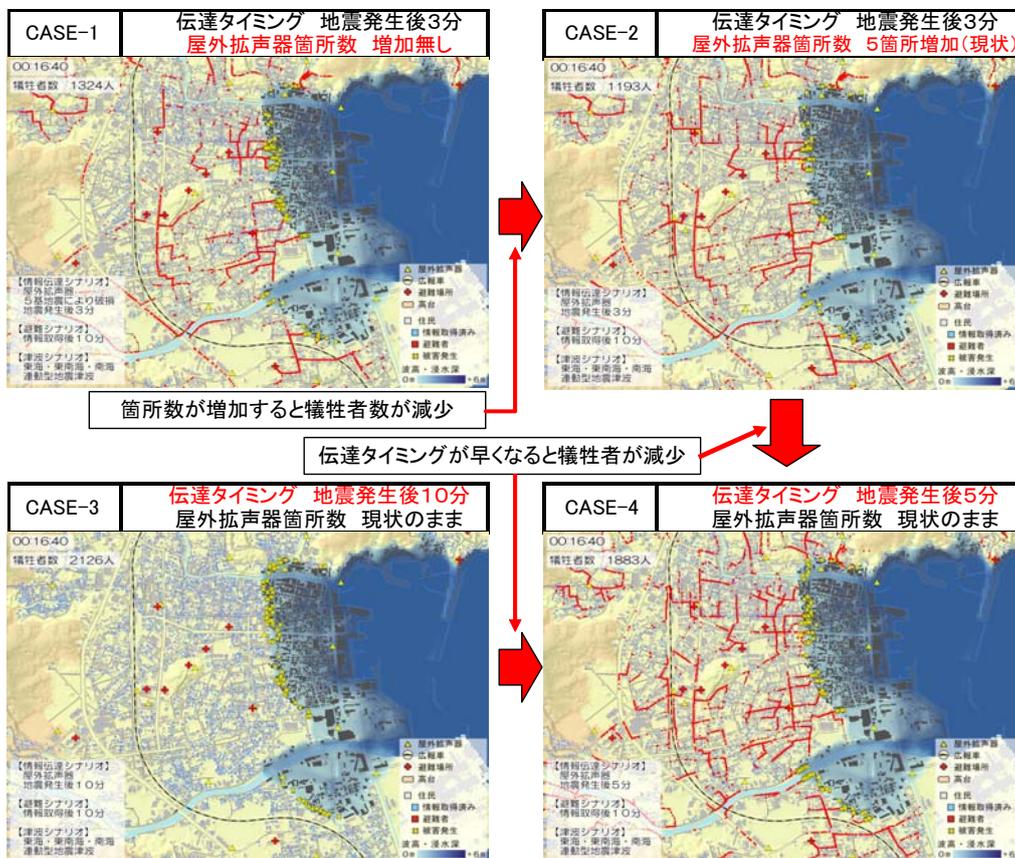


【対象地域概略図】

屋外拡声器の設置箇所数、伝達タイミングによる影響について、以下の4ケースにより被害低減効果を確認した。

【屋外拡声器の設置箇所数・伝達タイミングの違いによるの影響検討ケース】

ケース名	屋外拡声器 設置箇所数	伝達タイミング	避難タイミング	犠牲者数
CASE-1	増減無し	地震発生後3分	情報取得後10分	4253人
CASE-2	5箇所増加(現状)	地震発生後3分	同上	3545人
CASE-3	現状	地震発生後10分	同上	6345人
CASE-4	現状	地震発生後5分	同上	4964人



想定津波を発生させたシミュレーションを実施した結果、屋外拡声器の適正な計画は人的被害の低減に効果があることが把握された。

本事例で示した導入効果分析に加えて、屋外拡声器の整備計画の検討として以下の分析も必要である。

- ・ 屋外拡声器の適正配置による効果分析
- ・ 屋外拡声器の音声到達範囲、聴衆率による効果分析

2. 情報伝達計画

戸別受信機の導入計画

キーワード：防災行政無線、戸別受信機

概要

地域住民の迅速な避難を実現させるためには、適切な戸別受信機の配置や配布率、伝達タイミングなどを考慮した津波避難計画の検討が重要である。

設定項目と出力結果

■主な操作変数、設定シナリオ

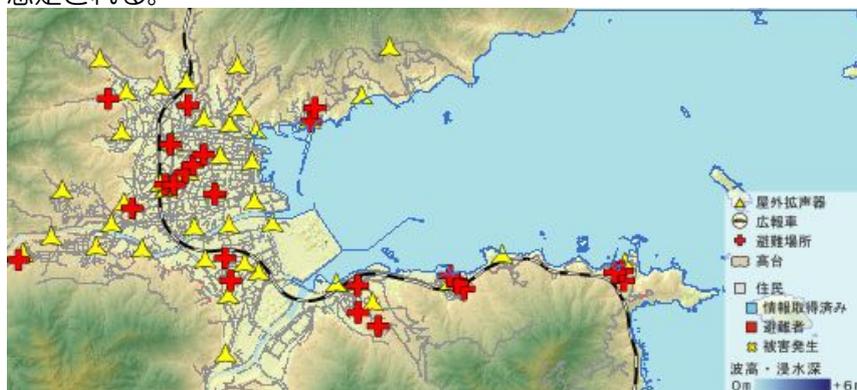
分類	操作パラメータ	説明
情報伝達	配置・配布率	戸別受信機の配布率や配置を設定する。
	聴取率	戸別受信機の聴取率を設定する。
	伝達タイミング	戸別受信機による情報伝達タイミングを設定する。

■出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
情報伝達	配置・配布率 聴取率、タイミング	戸別受信機による情報伝達状況を評価する。
	避難所要時間	戸別受信機による避難状況への影響を把握する。
避難	避難者数	一時的に被害を凌ぐための避難を検討する。
	犠牲者数	戸別受信機による人的被害の影響を把握する。

計算例

対象地区は、人口2万程度の比較的広範囲の地域である。このような地域では、戸別受信機の配置や配布率、伝達タイミング、さらに聴取率によって、津波避難状況が大きく異なることが想定される。

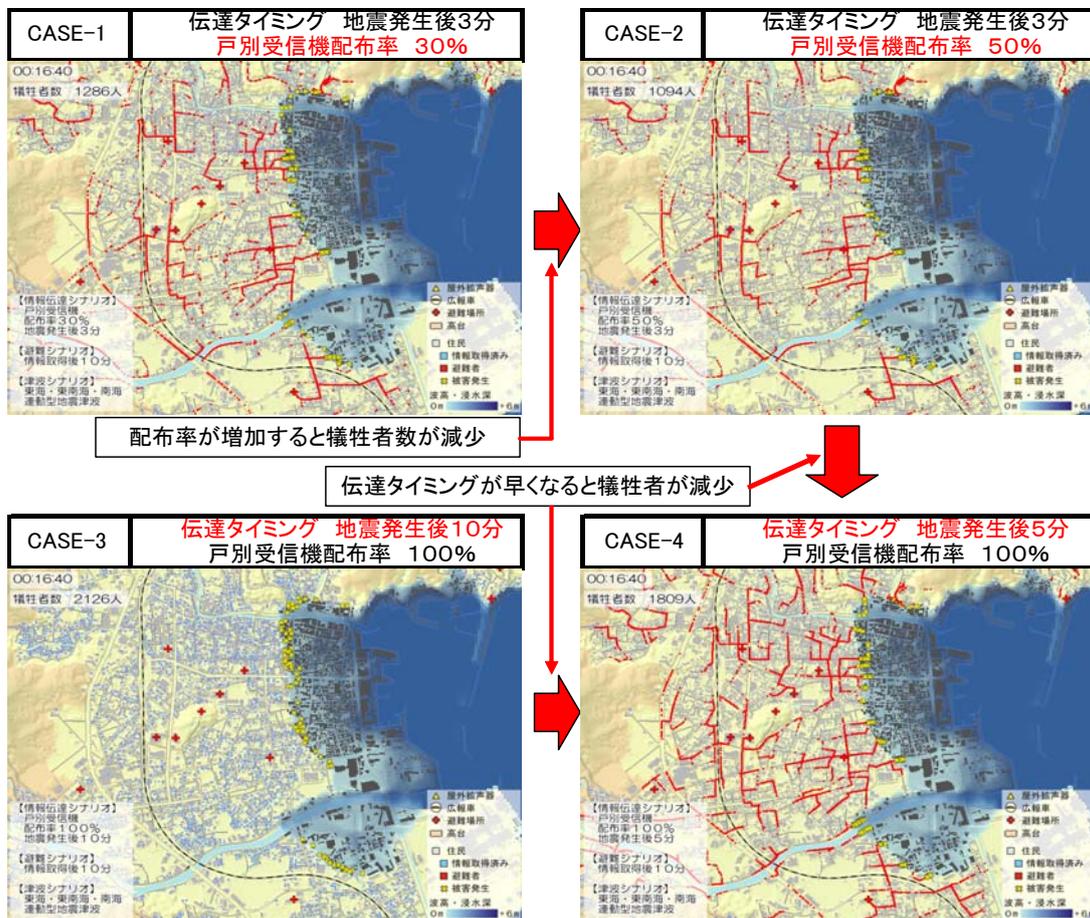


【対象地域概略図】

戸別受信機の配置や配布率、伝達タイミングによる影響について、以下の4ケースにより被害低減効果を確認した。

【戸別受信機の配布率・伝達タイミングの違いによるの影響検討ケース】

ケース名	戸別受信機 配布率	伝達タイミング	避難タイミング	犠牲者数
CASE-1	30%	地震発生後3分	情報取得後10分	3709人
CASE-2	50%	地震発生後3分	同上	3197人
CASE-3	100%	地震発生後10分	同上	6387人
CASE-4	100%	地震発生後5分	同上	4536人



想定津波を発生させたシミュレーションを実施した結果、戸別受信機の適正な計画は人的被害の低減に効果があることが把握された。

本事例で示した導入効果分析に加えて、戸別受信機の整備計画の検討として以下の分析も必要である。

- ・戸別受信機の聴衆率による効果分析

2. 情報伝達計画

広報車の導入計画

キーワード：広報車、情報伝達、巡回経路、情報取得率

概要

広報車からの情報伝達が効果的に行われるための、配置、台数、巡回路、発進タイミングについて検討する。

設定項目と出力結果

■ 主な操作変数、設定シナリオ

分類	操作パラメータ	説明
情報伝達	配置・台数	広報車の台数と、配置場所を設定する。
	発進タイミング	広報車が出発するタイミングを設定する。
	巡回経路	広報車が通るルートを設定する。

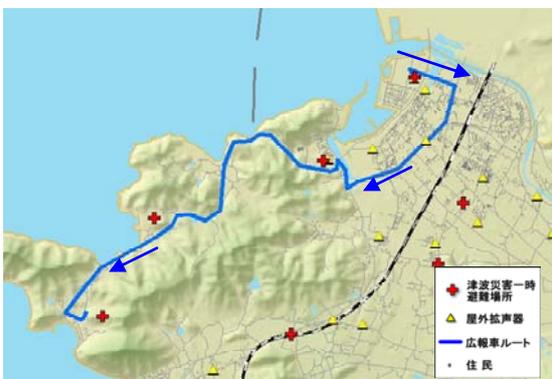
■ 出力結果の検討項目

分類	出力結果	説明
情報伝達	伝達率、タイミング	広報車からの情報伝達状況を評価する。
避難	タイミング	避難タイミングの効果を評価する。
人的被害	犠牲者数	広報車の情報伝達による人的被害の影響を把握する。

計算例

対象地区は災害情報の情報提供手段として屋外拡声器と広報車の配置をしている。整備状況と広報車のルートを【図-1】に示す。

■STEP1 現状の把握として屋外拡声器および広報車による情報伝達状況をシミュレーションにより評価した。



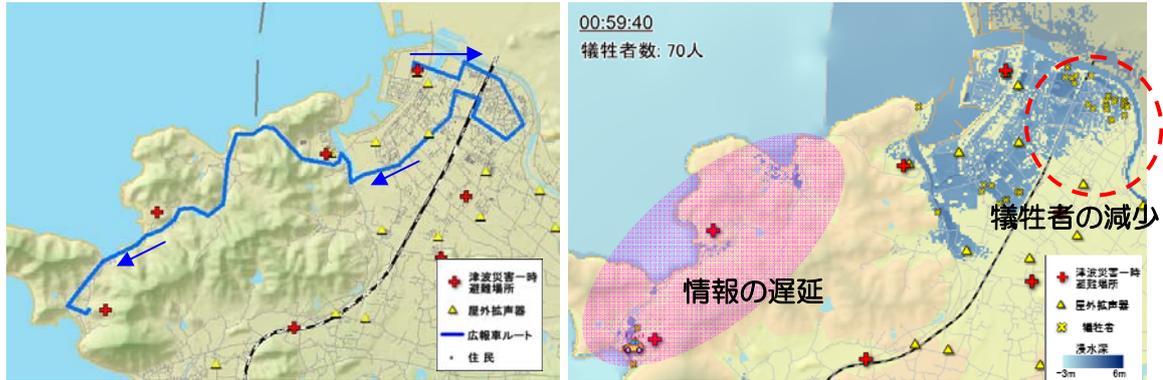
【図-1】巡回経路の概要



【シミュレーション結果】

避難情報を取得出来ない住民が多く存在する地域が存在し、そこでは多くの犠牲者が発生する危険性があることが分かった。

■STEP2 【図-2】のように巡回経路を変更し、シミュレーションを実施した。



【図-2】巡回経路の概要

【シミュレーション結果】

広報車の経路変更により、犠牲者を大幅に減少できた。しかし、巡回経路の変更により広報車の到達が遅れる地域が生じ、情報伝達が遅れるという弊害があることが分かった。

■STEP3 情報伝達の遅延の対策として、【図-3】のように広報車を2台配置するシナリオを設定した。



【図-3】巡回経路の概要

【シミュレーション結果】

STEP3のシナリオでは、犠牲者数及び情報取得率の数値を維持したままで、情報取得時間のみを減らすことができることが分かった。

■まとめ

ケース	情報取得率 (%)	情報取得時間 (分)	犠牲者数 (人)
STEP1 (現状)	78.0	7.2	586
STEP2 (経路変更)	93.8	8.6	63
STEP3 (広報車2台)	93.7	8.2	62

シミュレーション結果より、広報車の巡回経路、配置、台数を適切に検討することで、大幅に犠牲者を減らせる結果となった。本事例での検討以外に加えて、実際には、以下のような検討も必要である。

- ・ 道路閉塞時の迂回経路の検討
- ・ 発進タイミングの検討

2. 情報伝達計画

マスメディアとの連携計画

キーワード：マスメディア、テレビ・ラジオ、情報伝達タイミング

概要

災害発生時に、住民の迅速な避難を促すためには、マスメディアとの連携による迅速かつ確実な避難情報の伝達・提供が重要である。

対象となる設定項目と出力結果

■主な操作パラメータ、設定シナリオ

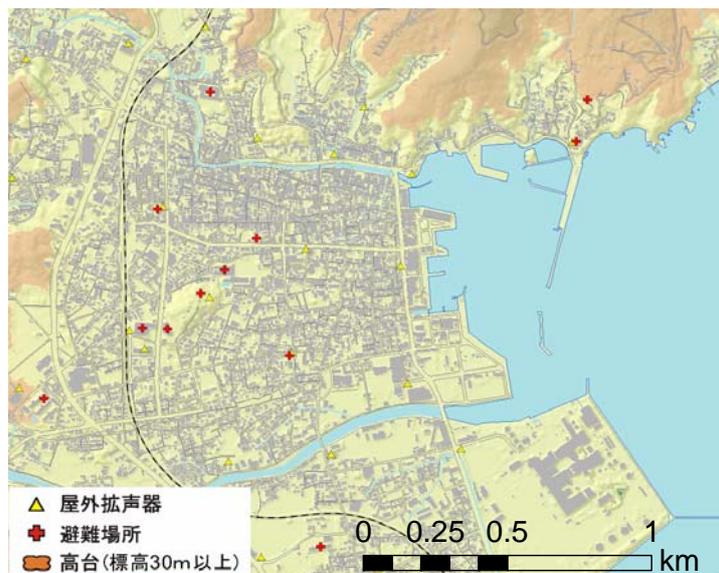
分類	操作パラメータ	説明
情報伝達	情報伝達タイミング	災害発生後の情報伝達タイミングを設定する。
	聴取率	マスメディアからの情報取得率を設定する。

■出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
情報伝達	伝達率、タイミング	マスメディアからの情報伝達状況を把握する。
人的被害	犠牲者数	マスメディアからの情報伝達による人的被害への影響を把握する。

計算例

対象地区は、想定される地震の発生 15 分後に、最大 5 メートルの津波が来襲することが想定されている。

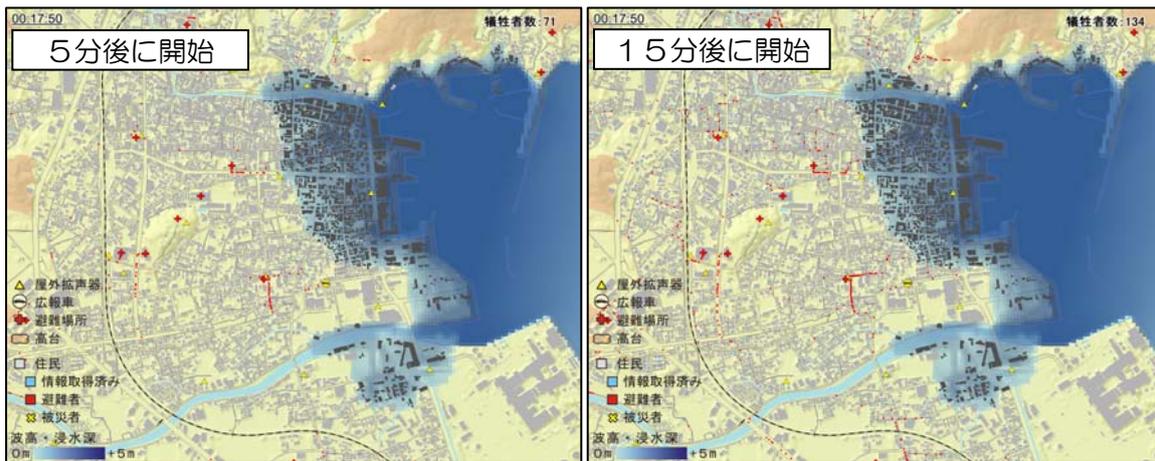


【対象地域概略図】

マスメディアからの情報伝達の開始が早いほど住民の迅速な避難が行われ、犠牲者数が減少することがわかった。

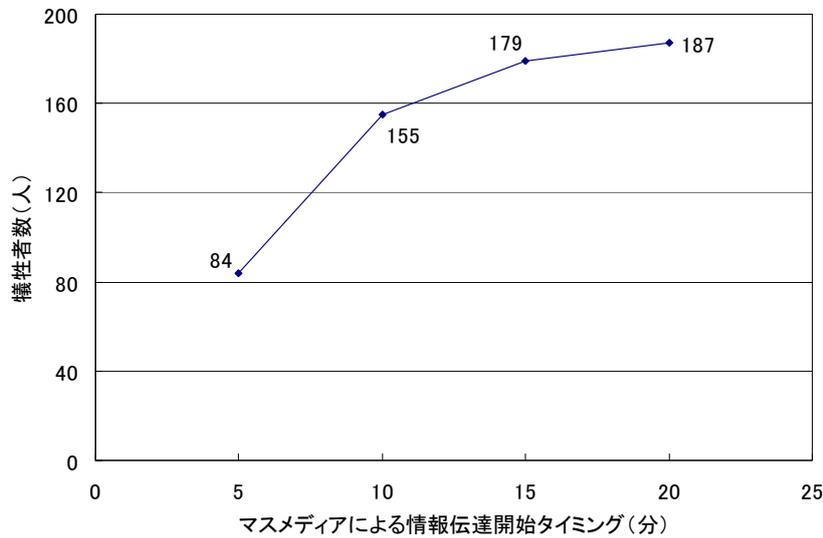
【シミュレーション結果の比較】

マスメディアからの情報伝達開始タイミング	防災行政無線・広報車による情報伝達開始タイミング	住民の避難開始タイミング	犠牲者数
地震発生5分後	地震発生5分後	情報取得5分後	84人
地震発生15分後	地震発生5分後	情報取得5分後	179人



【津波第一波到達時における避難状況及び被災状況】

（マスメディアからの情報伝達が早いほど、住民の避難完了時間が短く、犠牲者数も少ない。）



【シナリオごとの犠牲者数】

大規模な地震の発生時には、防災行政無線や広報車による避難情報の伝達が遅滞する恐れがある。災害発生時には、マスメディアとの連携により、テレビ・ラジオからの迅速な避難情報の伝達・提供が重要である。

3. 避難計画

避難施設の整備計画

キーワード：避難所、配置計画

概要

効果的な避難施設の整備を行うためには、整備箇所の検討が重要となる。また、対象となる避難人口を考慮した、施設の規模や援助物資の検討も必要となる。

対象となる設定項目と出力結果

■主な操作パラメータ、設定シナリオ

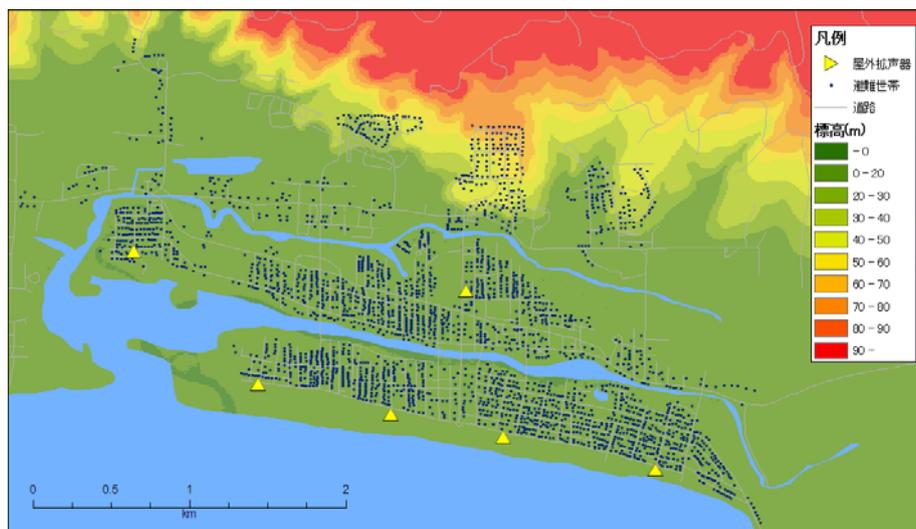
分類	操作パラメータ	説明
避難	配置	候補地として挙げられる施設や場所を設定する。
	収容人数	対象施設の収容人数を設定する。

■出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
避難	避難所要時間	避難路の制約による避難状況への影響を把握する。
	避難者数	避難者数から避難場所の規模や物資を検討する。
人的被害	犠牲者数	避難施設の整備状況による被害への影響を把握する。

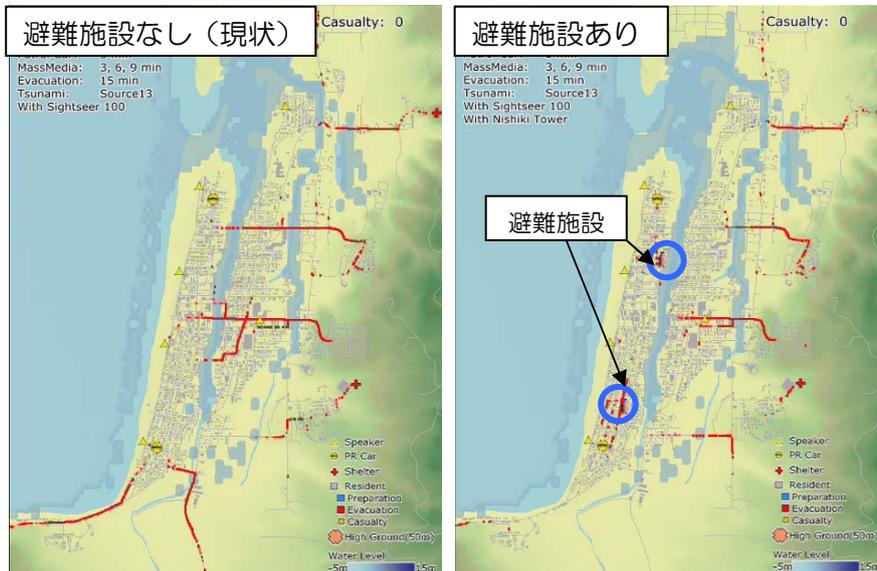
計算例

対象地区は、15メートルを超える巨大津波が想定されていることに加えて、海岸沿いの地域から高台までの距離が長く、避難に時間を要するとうい問題を抱えている。



【対象地域概略図】

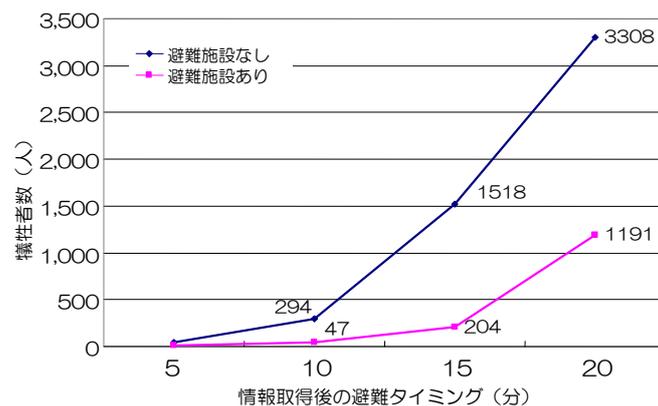
避難に時間を要する沿岸部に避難施設を2箇所整備した場合の被害低減効果を把握した。まず、住民の避難状況を見ると、避難施設の整備によって平均避難時間が19分から12分に短縮されることがわかった。



【地震発生から30分後の避難状況】

〔避難施設がない場合は、避難施設が整備された場合と比較して避難途中である人が多い。〕

想定津波を発生させたシミュレーションを実施した結果、避難施設の整備は人的被害の低減に大きな効果があることが確認された。また、この被害低減効果は、住民の避難タイミングが遅れた場合ほど顕著となることがわかった。



【シナリオごとの犠牲者数】

本事例で示した導入効果分析に加えて、避難施設の整備計画の検討として以下の分析も必要である。

- ・ 他の避難施設整備候補地との比較分析
- ・ 避難施設ごとの避難対象者数、収容人数の把握

3. 避難計画

避難路の整備計画（新規計画）

キーワード：避難路、橋梁、避難所要時間

概要

効果的な道路、橋梁や避難階段といった避難路の整備を行うためには、整備箇所を慎重に検討する必要がある。また、対象となる避難者の分布や交通容量などを考慮した検討も重要である。

対象となる設定項目と出力結果

■ 主な操作パラメータ、設定シナリオ

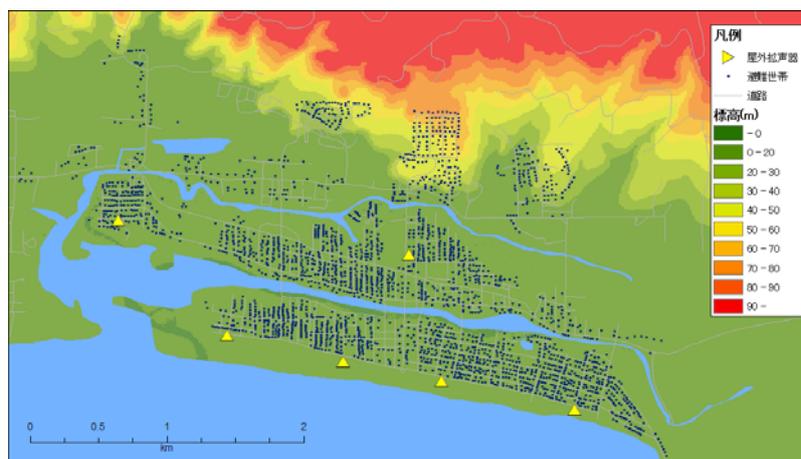
分類	操作パラメータ	説明
道路	配置	新規に道路、橋梁、避難階段を設ける場所を設定する。
	交通容量	幅員、車線数、交通制約を設定する。

■ 出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
避難	避難所要時間	避難路の制約による避難状況への影響を把握する。
人的被害	犠牲者数	避難路の交通制約による被害への影響を把握する。

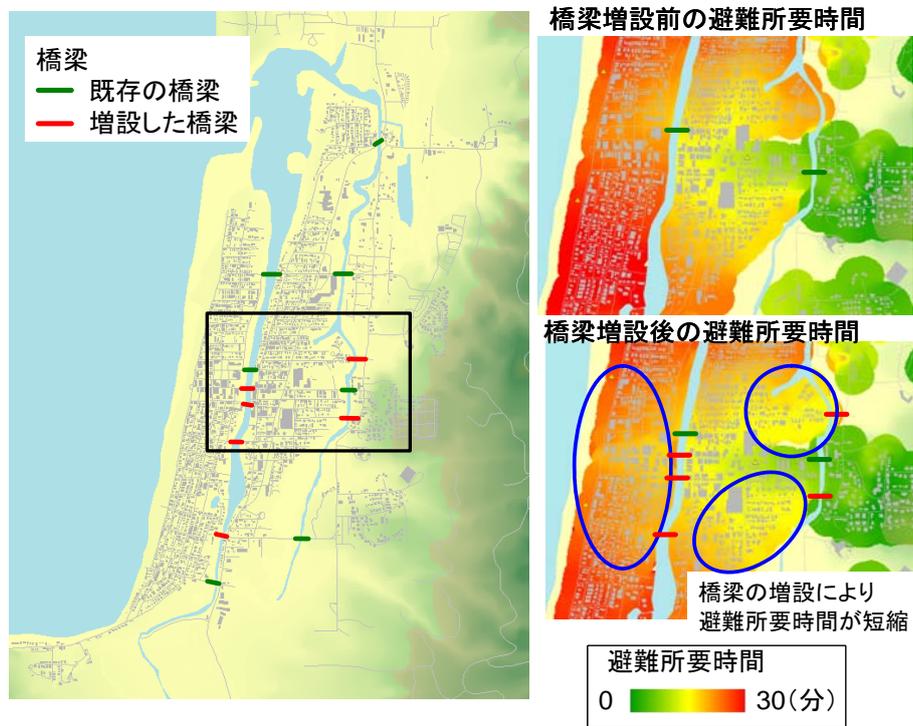
計算例

対象地区は、15メートルを超える巨大津波が想定されていることに加えて、避難の際には、橋を通り2つの河川を超える必要があり、避難の際には経路が限定されている。



【対象地域概略図】

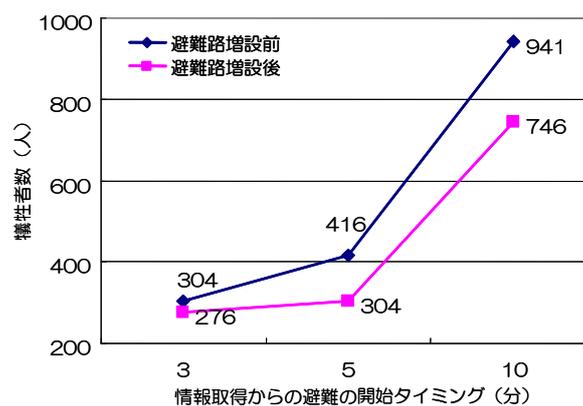
海岸線と平行に流れる 2 つの河川にかかる橋のうち、避難路として新規橋梁を 6 箇所を設置した場合の避難所要時間と犠牲者数を把握した。



【新規避難路の配置図と避難所要時間】

〔 避難路を増設したことによって、避難経路が短くなり、所要時間が短縮された。 〕

想定津波を発生させたシミュレーションを実施した場合の犠牲者数をみると、避難路の整備により、人的被害が減少したことが確認できた。



【シナリオごとの犠牲者数】

本事例で示した導入効果分析に加えて、避難路の整備計画の検討として以下の分析も必要である。

- ・ 他の避難路整備候補地との比較分析

3. 避難計画

避難路の整備計画（補修補強計画）

キーワード：避難路、橋梁、避難所要時間

概要

大きな揺れを伴うことも考えられる津波災害時においては、地震によって道路の閉塞、落橋などの避難路への被害も発生することが想定される。したがって、的確な住民避難を実現するためには、有事にも機能する避難路を確保しておくことが重要となる。

対象となる設定項目と出力結果

■ 主な操作パラメータ、設定シナリオ

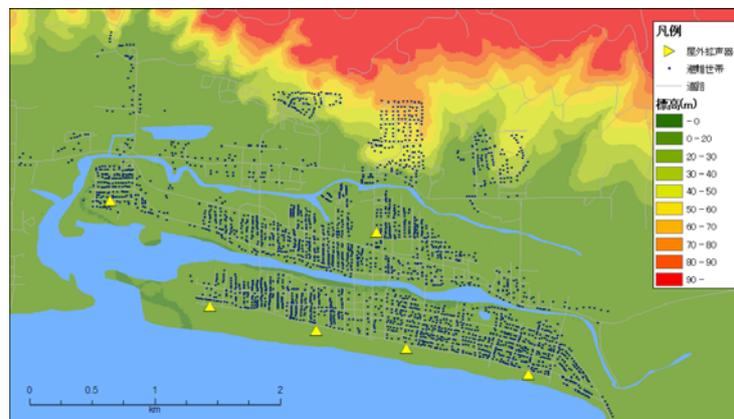
分類	操作パラメータ	説明
道路	配置	道路、橋梁、避難階段などの避難路に制限を設ける場所を設定する。
	交通容量	幅員、車線数、交通制約を設定する。

■ 出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
避難	避難所要時間	避難路の制約による避難状況への影響を把握する。
人的被害	犠牲者数	避難路の交通制約による被害への影響を把握する。

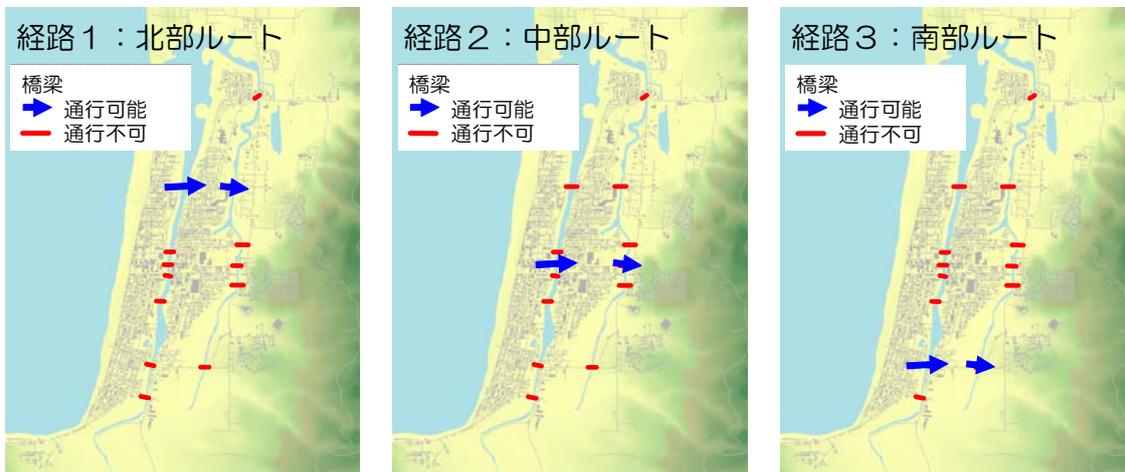
計算例

対象地区は、15メートルを超える巨大津波が想定されていることに加えて、避難の際には、橋を通り2つの河川を越える必要があり、避難の際には経路が限定されている。



【対象地域概略図】

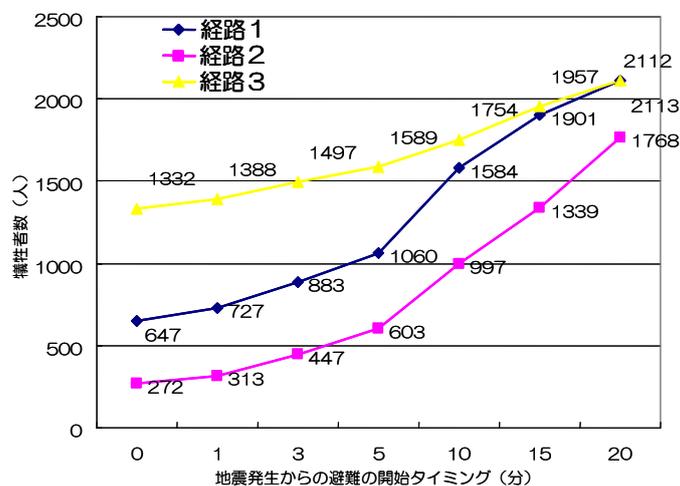
地震による落橋を想定した検討を行う。海岸部から、陸部へ向かう経路を3本設定し、設定した各経路のみしか通行できない場合での避難完了時間、犠牲者数を把握した。



【避難経路の設定図】

〔 避難路を限定した各経路について避難完了時間
 犠牲者数を把握することで、補修補強箇所を検討 〕

想定津波を発生させたシミュレーションを実施した場合の犠牲者数をみると、経路2が最も犠牲者数が少なくなっている。避難完了時間についても同様のことが言え、避難経路2が正常に機能するような避難路の整備が最も効果的といえる。



【シナリオごとの犠牲者数】

	避難完了時間の平均(分)
経路1	28.45
経路2	25.66
経路3	39.73

【シナリオごとの避難完了時間】

3. 避難計画

避難誘導計画

キーワード：避難誘導、避難所、指定避難場所

概要

適切な住民避難を実現するためには、避難場所の配置だけではなく、避難先の指定や避難経路の指示など避難誘導を検討することも重要となる。

対象となる設定項目と出力結果

■主な操作パラメータ、設定シナリオ

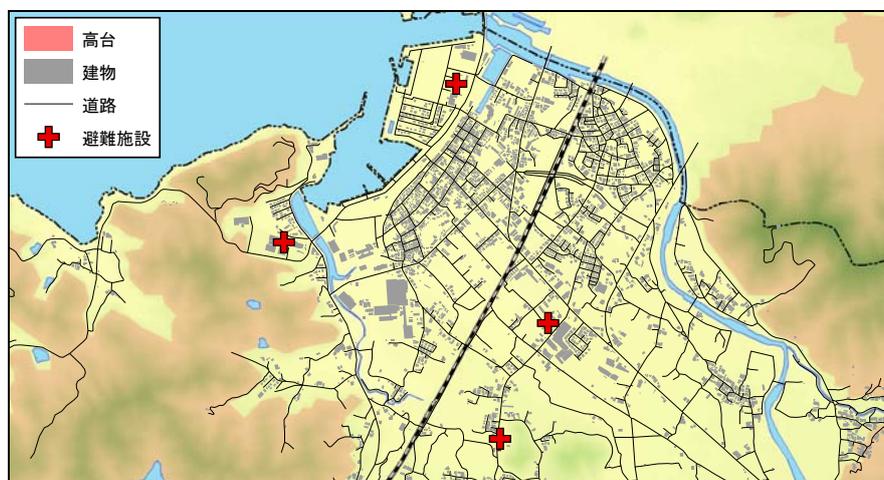
分類	操作パラメータ	説明
避難	配置	候補地として挙げられる施設や場所を設定する。
	収容人数	対象施設の収容人数を設定する。
	指定避難場所	地域ごとに避難先を設定する
	道路の通行規制	道路の通行禁止や一方通行などの通行規制を設定する。

■出力結果の検討項目

分類	出力結果	説明
避難	避難所要時間	避難誘導による避難状況への影響を把握する。
	避難者数	避難者数から避難場所の規模や物資を検討する。
人的被害	犠牲者数	避難施設の整備状況による被害への影響を把握する。

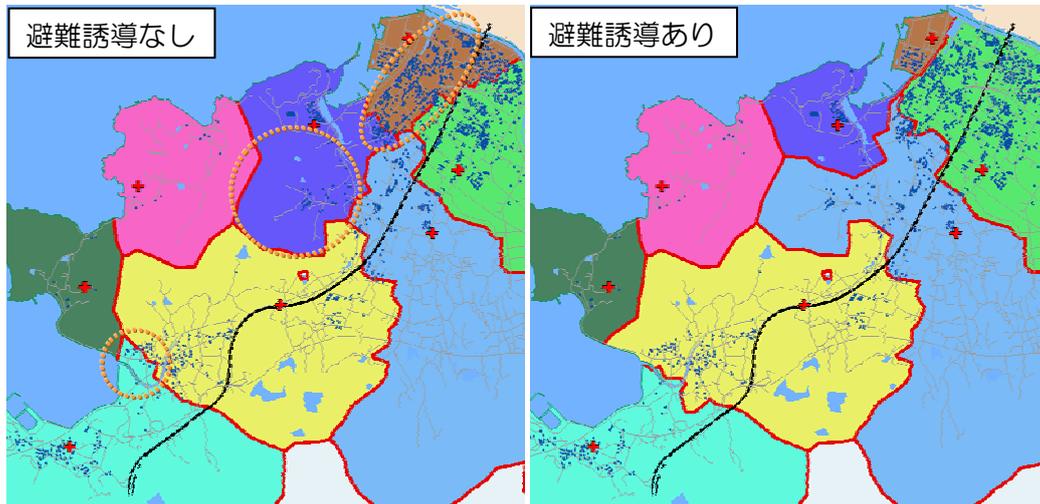
計算例

対象地区は、内陸部まで津波による浸水が予想されているため、避難場所は沿岸付近の高い建物、または内陸部の施設となっている。



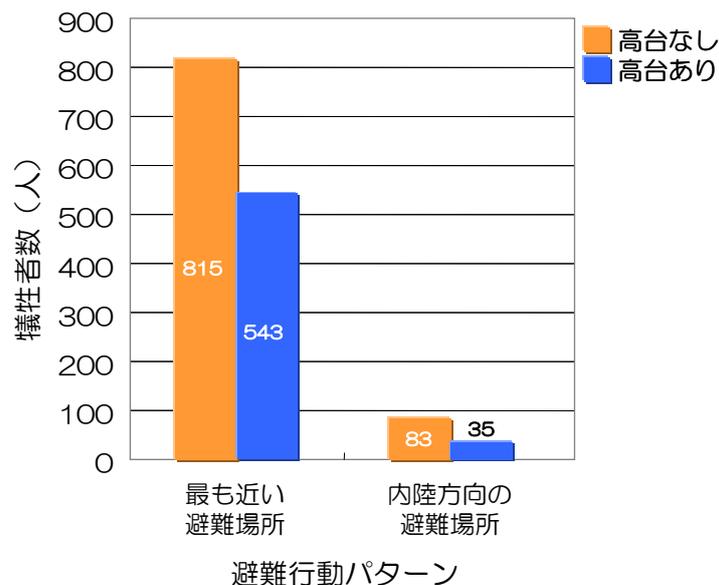
【対象地域概略図】

避難場所を指定しない状況を想定し、自宅から最も近い避難場所に住民を避難させた場合、自宅の位置によっては内陸から沿岸に向かって避難する住民が見られ、その途中で被害にあう状況が発生した。そこで、地域ごとの避難場所の指定や避難路の規制を行うことによって、沿岸に向かって避難する住民が発生しないような避難誘導計画を策定した。



【避難場所ごとの対象範囲】
※丸枠内の地域の避難先を変更した。

最寄の避難場所に避難した場合（上図左）、通行規制をかけて内陸方向に避難するようにした場合（上図右）のシミュレーションを実施した結果、発生する犠牲者数が815人から83人と大幅に減少する結果となった。また、避難施設だけではなく、高台も含めて避難する計画を導入した場合、更に犠牲者を減らすことが可能であることがわかった。



【シナリオごとの犠牲者数】

3. 避難計画

家屋倒壊・道路閉塞を考慮した避難計画

キーワード：地震、家屋倒壊、道路閉塞、閉塞危険度、避難困難者

概要

地震時の家屋倒壊と道路閉塞は、倒壊による直接の犠牲者を把握することに加えて、その後の住民避難を考える上でも非常に重要な検討事項となる。

対象となる設定項目と出力結果

■主な操作パラメータ、設定シナリオ

分類	操作パラメータ	説明
道路	幅員	道路の閉塞危険度に影響する幅員を設定する。
建物	分布	家屋の分布を設定する。
	建築年度	建築年度によって耐震性能が決定される。
避難	避難所配置	候補地として挙げられる施設や場所を設定する。

■出力結果の検討項目

分類	出力結果	説明
避難	避難所要時間	道路閉塞による避難状況への影響を把握する。
	避難困難者	道路閉塞によって避難困難となった人を把握する。
人的被害	犠牲者数	避難施設の整備状況による被害への影響を把握する。

計算例

対象地区は、古い形式の建物が密集していることに加えて、狭い街路が多く、家屋倒壊や道路閉塞が発生する可能性が高い。



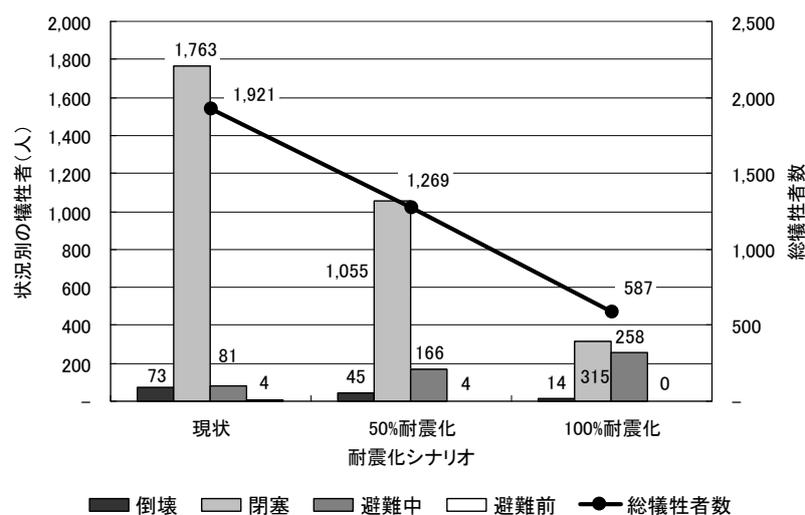
【対象地域概略図】

震度 6 弱の地震を想定した場合の家屋倒壊と道路閉塞の予測を行った。下の図は、10 回のシミュレーションを実施して、各道路のリンクの閉塞した回数を集計したものである。その結果、道路の幅員が小さく、建物が密集している地域の道路が閉塞する可能性が高いことを把握することができた。



【道路リンク毎の閉塞回数】

耐震化されていない家屋形式の建物を現状の状態から 50%耐震化した場合、100%耐震化した場合に変化させ、地震後の津波の発生と地域住民の避難までを考慮したシミュレーションを実施した。その結果、家屋の耐震化を促進することによって、家屋倒壊による直接の犠牲者が減るだけでなく、閉塞によって避難困難となる状態での犠牲者が減ることがわかり、全体では現状で予測される 1,921 人から、587 人まで大幅に犠牲者を減少させることが可能であることがわかった。



【シナリオごとの犠牲者数】

4. 保全対象別の避難計画

平常時の住民行動を考慮した避難計画

キーワード：発災時刻、平常時、住民行動、住民分布

概要

平常時からの都市の活動状況を考慮することによって、より現実的な被害想定や実効性のある避難計画を策定することが可能となる。

対象となる設定項目と出力結果

■ 主な操作パラメータ、設定シナリオ

分類	操作パラメータ	説明
災害	発生時刻	夜間や昼間など災害の発生するタイミングを設定する。 Clock モデルによって、指定時刻に応じた住民の活動状況が表現される（1.シミュレータの概要を参照）。

■ 出力結果の検討項目

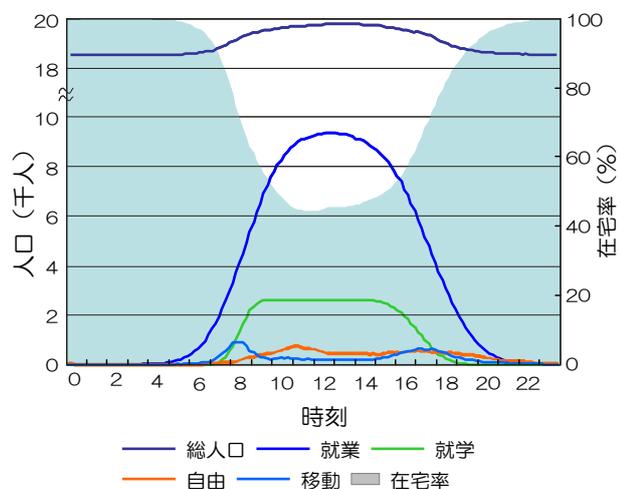
分類	出力結果	説明
住民	分布など	災害発生時における人口や住民分布を把握する。
避難	避難所要時間	時刻や住民分布による避難状況への影響を把握する。
	避難者数	避難者数から避難場所の規模や物資を検討する。
人的被害	犠牲者数	時刻や住民分布による被害への影響を把握する。

計算例

対象地区は、リアス式海岸に面した人口約 2 万人の地域である。Clock モデルを利用することによって、下図のような時刻ごとの人口推移が得られた。

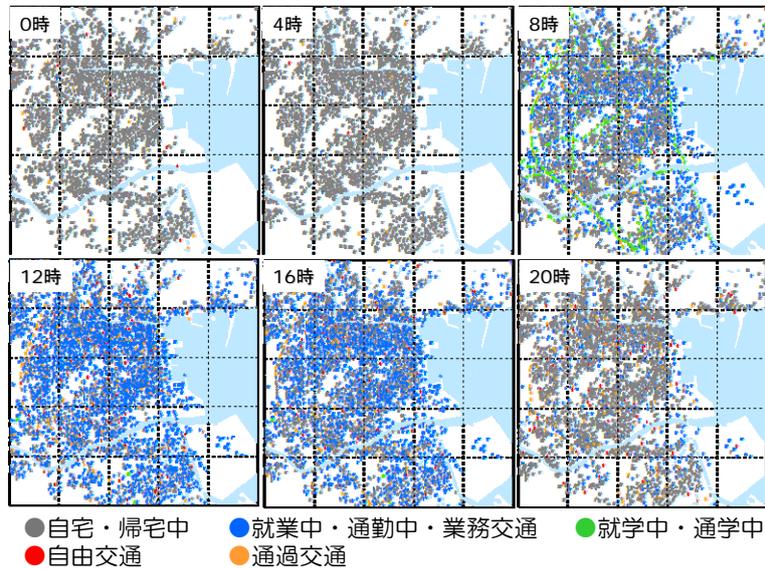


【対象地区】



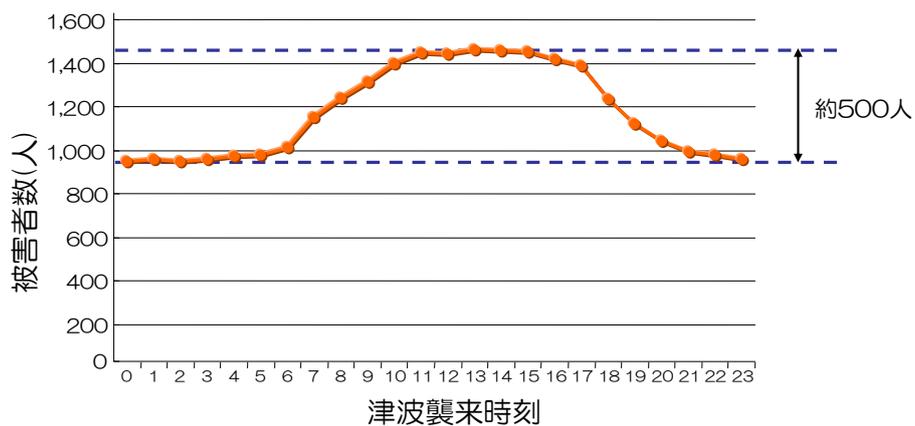
【Clock モデルによる時刻ごとの人口】

時刻ごとの住民の分布状況を把握するため、各住民の位置を対象地域の地図上に布置したものが下図である。この結果によると、午前零時や午前 4 時などにおいて多くの住民がまだ自宅に留まっている状況、午前 8 時には就業者や就学者が通勤・通学を行っている状況、正午や午後 4 時においては、地域の広い範囲に就業者が存在している状況などを把握できる。



【時刻ごとの住民の分布状況】

時刻別の津波による被害を想定するため、各正時に地震が発生し、津波が襲来した場合を想定したシミュレーションを実施した。この結果、対象地域においては夜間に津波が襲来した場合よりも昼間に襲来した場合の方が500人程度多い犠牲者が発生する恐れがあることがわかった。



【津波襲来時刻ごとの犠牲者数】

本事例で示したような時間帯別の住民分布を得ることによって、在宅人数を考慮した地震時の被害や帰宅困難者の推計、また、時間帯別の避難誘導対策の検討などが可能となる。

4. 保全対象別の避難計画

住民の災害意識を考慮した避難計画

キーワード：住民意識、意思決定、正常化の偏見、防災教育

概要

避難情報を受け取った全ての住民が避難するとは限らない。実際には、住民自身の災害意識などに基づき避難を判断している。したがって、より現実的な避難計画を検討するためには、住民の意識状態についても考慮する必要がある。

対象となる設定項目と出力結果

■ 主な操作パラメータ、設定シナリオ

分類	操作パラメータ	説明
住民	避難の意思決定要因	平時における災害意識、居住地などの個人指標

■ 出力結果の検討項目

分類	出力結果	説明
避難	避難率	住民の災害意識による避難率への影響を把握する。
人的被害	犠牲者数	住民の災害意識による被害への影響を把握する。

計算例

対象地区は、リアス式海岸に面した人口約 2 万人の地域である。この地域の住民を対象として避難の意思決定モデルを構築し、それを利用したシナリオ分析を実施した。また、防波堤の有無を考慮したシミュレーションを実施し、それぞれの結果を比較した。



【対象地区】

【避難の意思決定モデルでの考慮する項目】

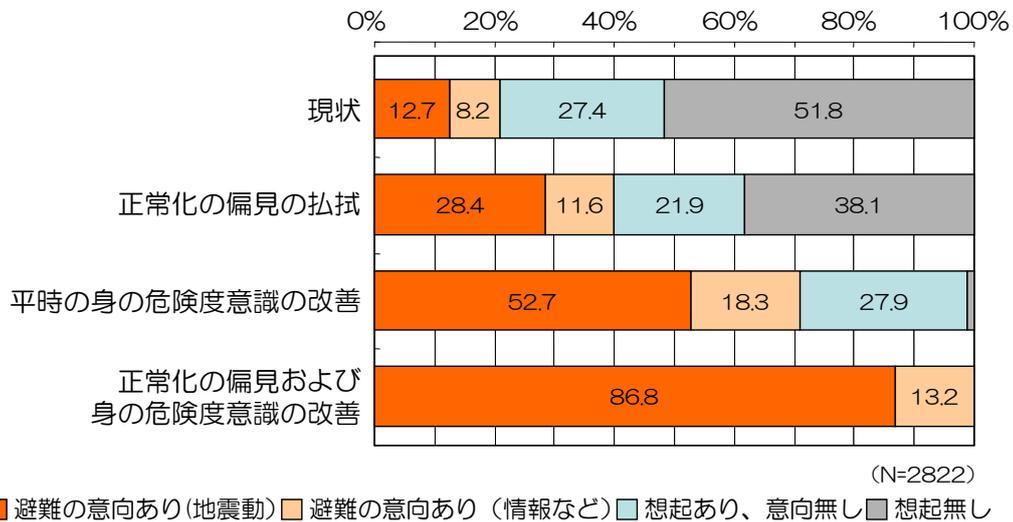
- ・ 体感震度
- ・ 平時の津波による身の危険度意識
- ・ 正常性バイアス指標
- ・ 自宅危険度
- ・ 事前対策状況

【予測する避難意向】

- ・ 地震動を感じた時点で避難開始
- ・ 避難情報を得た時点で避難開始
- ・ 避難しない

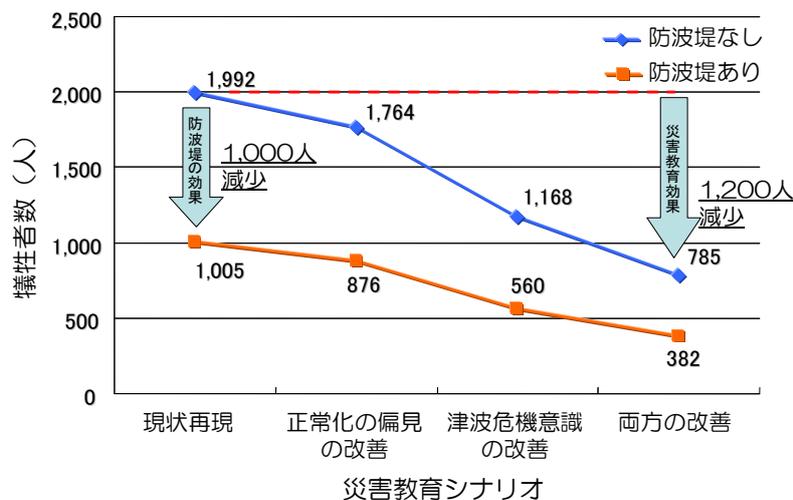
まず、地域住民に対して災害教育を実施し、平時における意識が向上した場合の避難率

の変化について把握した。これによると、現状では避難率が2割程度であるのに対して、正常化の偏見を払拭することによって4割程度の避難率、危険度意識を改善することによって、7割程度の避難率が得られる結果となった。なお、両方とも改善できた場合は、全住民が避難するという結果となった。



■ 避難の意向あり(地震動) ■ 避難の意向あり(情報など) ■ 想起あり、意向無し ■ 想起無し
【住民の意識シナリオ別の避難状況】

住民の意識と堤防の有無のシナリオを組み合わせた計算結果を以下に示す。これによると、住民の意識を現状とした場合の犠牲者数が約二千人なのに対して、防波堤を考慮した場合の犠牲者数は約千人となった（防波堤の効果）。また、住民の意識が最も良い状態となった場合のシナリオでは、堤防がない状態でも現状から千二百人程度の犠牲者の減少が見込まれるという結果を得た（災害教育の効果）。この結果から、今回の状況においては、適切な災害教育を実施することによって、防波堤の整備と同等の減災効果を得ることが可能であることがわかった。



【シナリオごとの犠牲者数】

4. 保全対象別の避難計画

寒冷地の冬期を対象とした避難計画

キーワード：寒冷地、冬期、避難階段、積雪

概要

寒冷地においては、冬季以外を対象とした一般的な避難計画に加えて、積雪や路面凍結の影響による避難障害などを考慮した、冬時の避難計画の検討が重要となる。

設定項目と出力結果

■主な操作変数、設定シナリオ

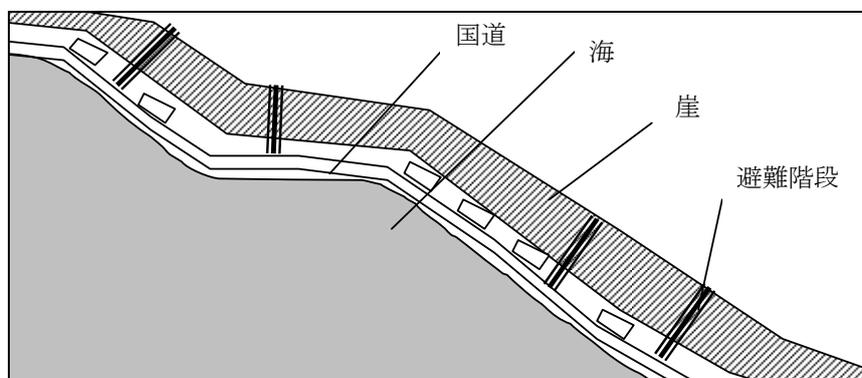
分類	操作パラメータ	説明
情報伝達	広報車の巡回経路	積雪等の影響を考慮して広報車の巡回経路を設定する。
避難	避難路	積雪等の影響を考慮して避難路の制約を表現する。

■出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
情報伝達	伝達率、タイミング	広報車等の制約を考慮した情報伝達状況を評価する。
避難	避難所要時間	避難路の制約による避難状況への影響を把握する。
	避難者数	一時避難を凌ぐための物資を検討する。
人的被害	犠牲者数	避難路の制約による人的被害の影響を把握する。

計算例

対象地区は、海岸に面した国道沿いの地域である。また、この地域の背後には、急峻な崖が迫っており、津波避難時に高台に上がることが困難となっている。このような状況から、この地区には津波等の災害時の避難に備えた避難階段が設置されているが、冬期の場合、降雪による積雪・吹き溜まりにより、避難階段は使用できない状況が想定される。



【対象地域概略図】

積雪により避難階段が使用できない場合の影響について、以下の2ケースを確認することにより現状を把握した。なお、対象地区では、各世帯に戸別受信機が配布されているため、避難情報等が迅速に伝達され全住民が地震発生後5分で避難を開始する状況を設定した。

【積雪により避難階段が使用できない場合の影響検討ケース】

ケース名	季節	避難タイミング	避難階段の使用	犠牲者数
CASE-1	夏期	地震発生後5分	可	0人
CASE-2	冬期	地震発生後5分	不可	91人

CASE-1 夏期の場合



CASE-2 冬期の場合



シミュレーション結果より、積雪により避難路が制約されることによって犠牲者が大幅に増大する恐れがあることがわかった。この結果から冬期の避難路確保、除雪計画が必要であることが確認された。

対策として、十分な避難路の整備体制を確保することが困難である場合は、さらに各避難階段別の影響分析を実施し、優先的・重点的に整備すべき避難階段を把握する方法も考えられる。

4. 保全対象別の避難計画

自動車を利用した避難分析

キーワード：自動車、洪水、避難困難

概要

洪水時の避難には、原則自動車を利用しないことが望まれるが、避難場所の制約から長距離を避難しなくてはならない場合や、災害弱者を援助する場合など、自動車が利用された場合の避難を検討しておく必要もある。

対象となる設定項目と出力結果

■ 主な操作パラメータ、設定シナリオ

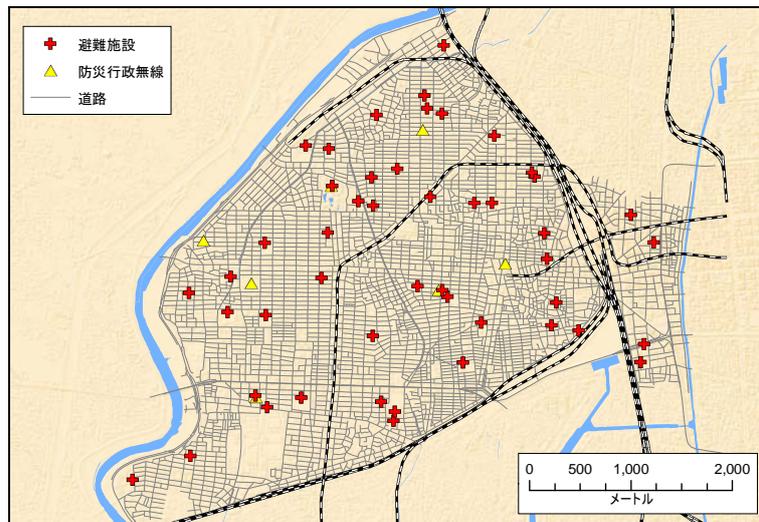
分類	操作パラメータ	説明
住民	避難手段	自動車を利用して避難する人の割合
道路	通行規制	浸水状況などに応じた各道路の通行可否状況

■ 出力結果の検討項目

分類	出力項目	説明
避難	避難所要時間	避難路の制約による避難状況への影響を把握する。
	避難者数	避難者数から避難場所の規模や物資を検討する。
	走行不能車	浸水によって走行不能となった自動車の数
人的被害	要救助者数	自動車の走行が不能となり、救助が必要となった避難者の数

計算例

対象地区は、大規模な河川に面した人口 13 万人の都市である。平坦な地形から河川が氾濫した場合には、地域全体が浸水する恐れがある。



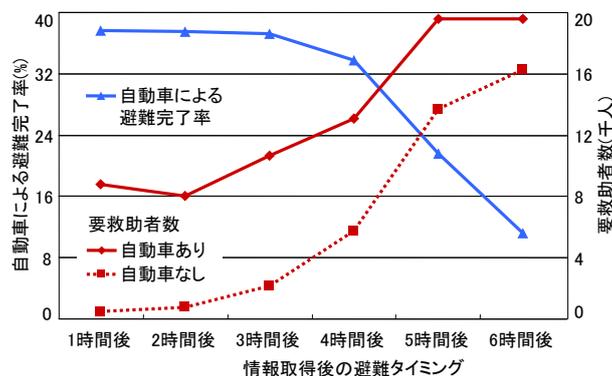
【対象地域】

浸水により自動車が走行不能となる状況を表現するため、走行限界水深を設けた。この値は、避難経路の選択時に参照される歩行者、自動車別の道路リンクごとの通行可否状態の判定にも利用され、浸水状況に応じた動的な経路選択が行われる様子を表現する。また、走行中のリンクが走行限界水深に達した場合には、その自動車は走行不能とすることとした。なお、走行限界水深は 30cm に設定している。



【浸水による道路ネットワークの制約の表現】

情報取得後の避難タイミングを変化させた複数のシミュレーションを実施した。これらの結果から自動車によって避難場所までたどり着くことができた世帯の割合と避難途中で要救助者となった数を下図にまとめる。またこの図には、比較のために自動車を利用しない場合の結果を併記している。この結果から、避難タイミングが遅れるにつれて自動車による避難完了率は下がっており、情報取得後 1 時間の避難タイミングでも 40%弱、情報取得後 6 時間では 10%程度の世帯しか避難を完了することができない結果となった。次に、避難途上の要救助者の変化について見ると、情報取得から 1 時間後の避難で、自動車を利用しない場合の要救助者が 500 人程度なのに対して、自動車を利用した場合は約 9 千人と 17 倍以上多い結果となった。



【避難完了率と要救助者数】

本事例での分析に加えて、多数の避難者が車を利用することによる渋滞の影響などについても検討する必要がある。

4. 保全対象別の避難計画

観光客などを考慮した避難計画

キーワード：観光客、避難開始タイミング

概要

観光地を持つ自治体では、避難計画を立てる上で地理や地形に不案内な観光客の避難を考慮する必要がある。また、交通量の多い幹線道路を有する自治体では地域外からの通過交通などの避難についての検討も必要である。そのような地域外住民を対象とした情報伝達の方法や避難場所の検討も重要である。

対象となる設定項目と出力結果

■ 主な操作パラメータ、設定シナリオ

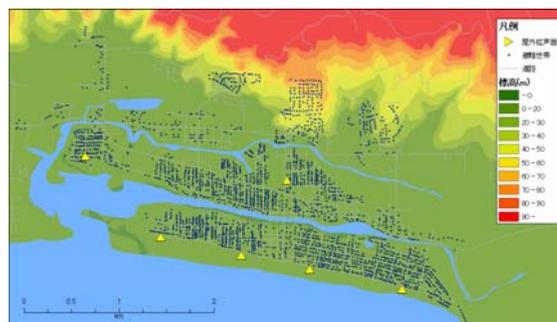
分類	操作パラメータ	説明
観光客	配置	観光客、通過交通を配置する。
情報	配置	観光客、通過交通を対象とした情報伝達設備を設定する。
避難	配置	観光客、通過交通を対象とした避難施設を設定する。
	交通手段	対象とする住民の交通手段を設定する。

■ 出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
情報	情報取得時間	地域外住民の情報伝達状況を把握する。
避難	避難所要時間	地域外住民の避難状況を把握する。
人的被害	犠牲者数	地域外住民を対象とした災害対策による被害への影響を把握する。

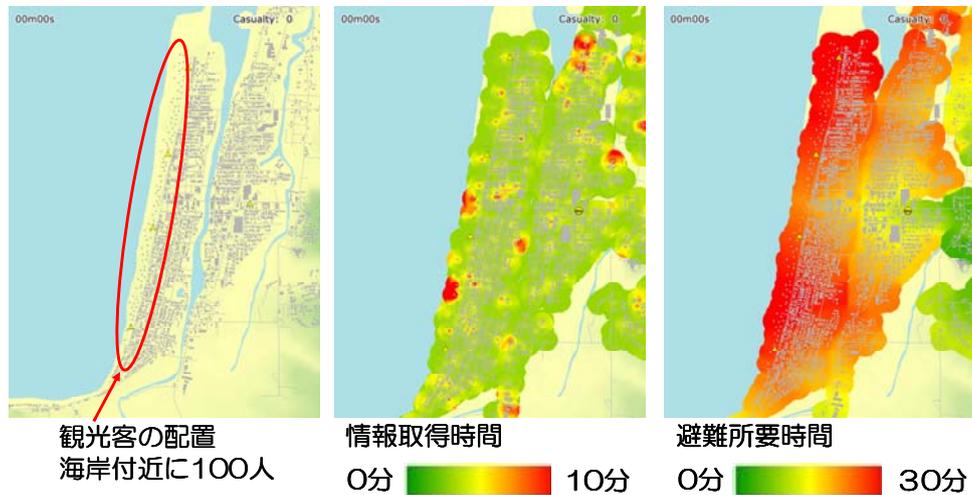
計算例

対象地区は、〇メートルを超える巨大津波が想定されている地域で、夏季には海岸に観光客が多数訪れるリゾート地となっている。



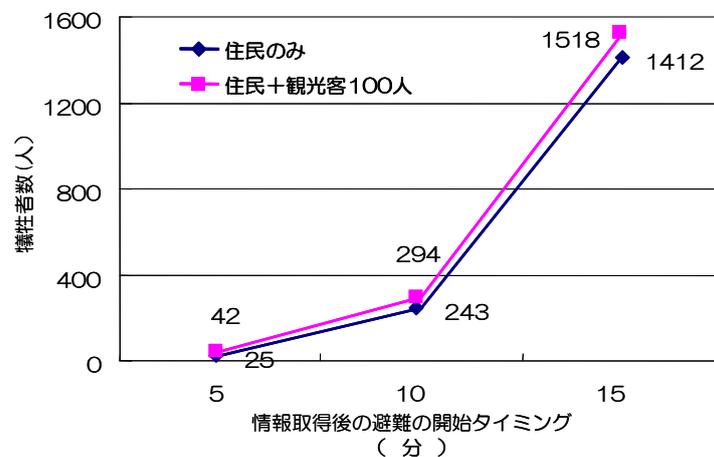
【対象地域概略図】

海岸の砂浜に観光客を 100 人配置した場合での情報取得時間、避難完了時間、犠牲者数を把握した。情報伝達は海岸沿いに備えた屋外拡声器によって比較的円滑に行われているが、避難所要時間は沿岸部で、約 30 分となっている。



【観光客を配置したシミュレーション結果】

想定津波を発生させたシミュレーションを実施した結果、多くの犠牲者を出す結果となった。避難の開始タイミングによっては、観光客として設定した全員が犠牲者となる結果もみられた。



【シナリオごとの犠牲者数】

本事例では、観光客を配置した場合でのシミュレーション事例を示した。この検討結果から問題点を抽出し、以下の分析を実施し最適な対策を図る必要がある。

- 情報伝達設備の導入計画
- 避難場所の整備計画
- 避難路の整備計画
- 避難誘導計画
- ハード整備計画 など

5. ハード整備計画

堤防の導入計画

キーワード：堤防、津波、高潮、洪水

概要

海岸保全施設（堤防）の整備により浸水規模がどのように変化するのか、また海岸保全施設が機能不全に陥った場合には浸水被害がどの程度拡大するのかを定量的に評価することにより、効果的なハード整備が可能となる。

対象となる設定項目と出力結果

■主な操作パラメータ、設定シナリオ

分類	操作パラメータ	説明
ハード整備	配置	堤防の位置を設定する。
	天端高	堤防の天端高を設定する。

■出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
津波・高潮 ・洪水	浸水深・浸水範囲	堤防の整備による浸水規模の変化を把握する。
人的被害	犠牲者数	堤防の整備状況による人的被害への影響を把握する。
経済被害	被害額	堤防の整備状況による経済被害への影響を把握する。

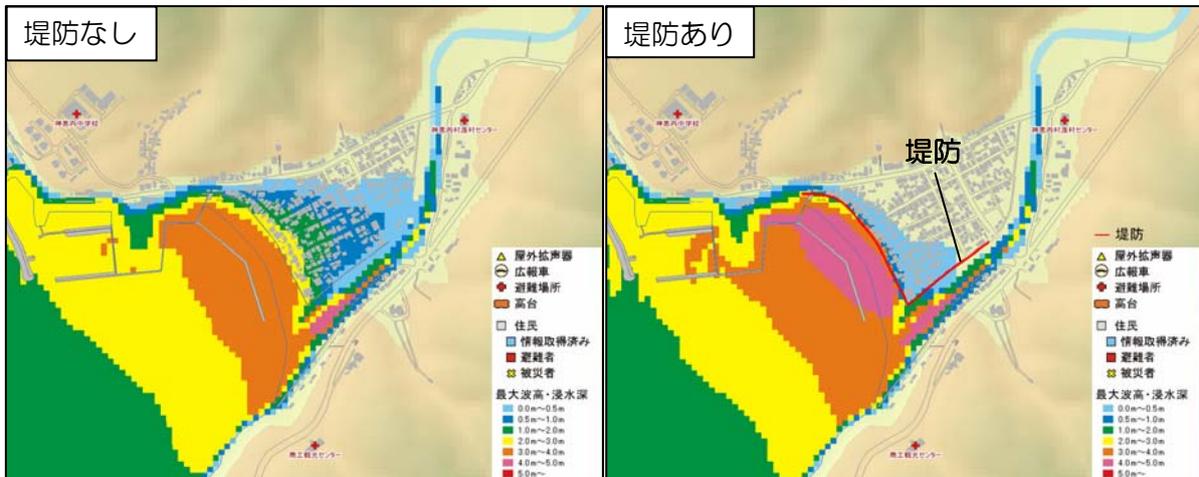
計算例

対象地区は、5メートルを超える津波が来襲すると集落の大部分が浸水する可能性が高い。



【対象地域概略図】

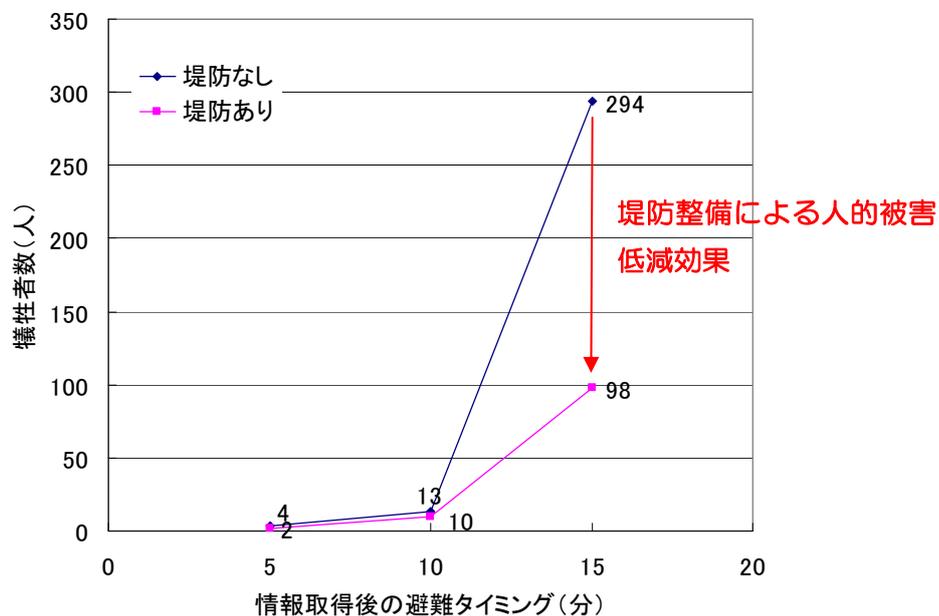
沿岸部に天端高 5m の堤防を整備した場合の被害低減効果を評価した。堤防の整備に伴い、市街地における津波の最大浸水深及び浸水範囲が減少することが確認された。



【津波による最大浸水深の分布】

〔 防波堤がない場合は、防波堤が整備された場合と比較して浸水被害が大きい。 〕

想定津波を発生させたシミュレーションを実施した結果、堤防の整備は津波による被害の低減に十分な効果があることがわかった。また、人的被害低減効果は、住民の避難タイミングが遅れた場合ほど顕著となることがわかった。



【シナリオごとの犠牲者数】

新規に堤防を整備する計画がある場合には、浸水被害の軽減に効果的な配置及び天端高とする必要がある。シミュレータでは、様々な堤防天端高における浸水被害程度を比較することにより、適切な堤防の配置及び天端高を評価することが可能である。

5. ハード整備計画

湾口防波堤の導入計画

キーワード：防波堤、防潮堤、津波、高潮

概要

海岸保全施設（湾口防波堤、沖合防波堤）の整備により浸水規模がどのように変化するか、また海岸保全施設が機能不全に陥った場合には浸水被害がどの程度拡大するのかを定量的に評価することにより、効果的なハード整備が可能となる。

対象となる設定項目と出力結果

■ 主な操作パラメータ、設定シナリオ

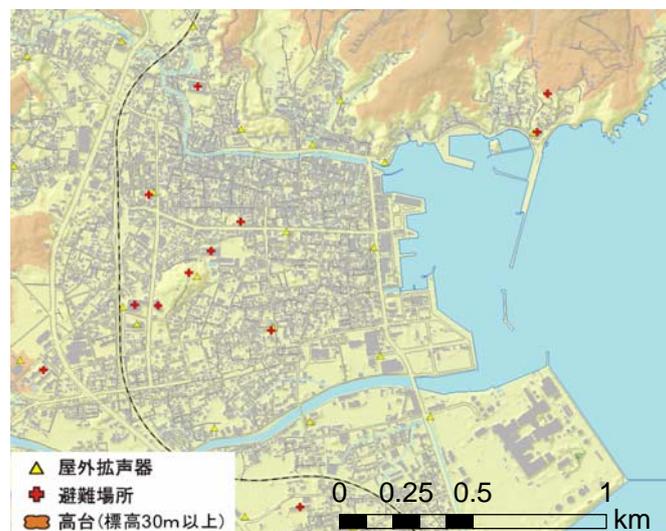
分類	操作パラメータ	説明
ハード整備	配置	湾口防波堤の位置を設定する。
	天端高	湾口防波堤の天端高を設定する。

■ 出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
津波・高潮	浸水深・浸水範囲	湾口防波堤の整備による浸水規模の変化を把握する。
人的被害	犠牲者数	湾口防波堤の整備による人的被害への影響を把握する。
経済被害	被害額	湾口防波堤の整備による経済被害への影響を把握する。

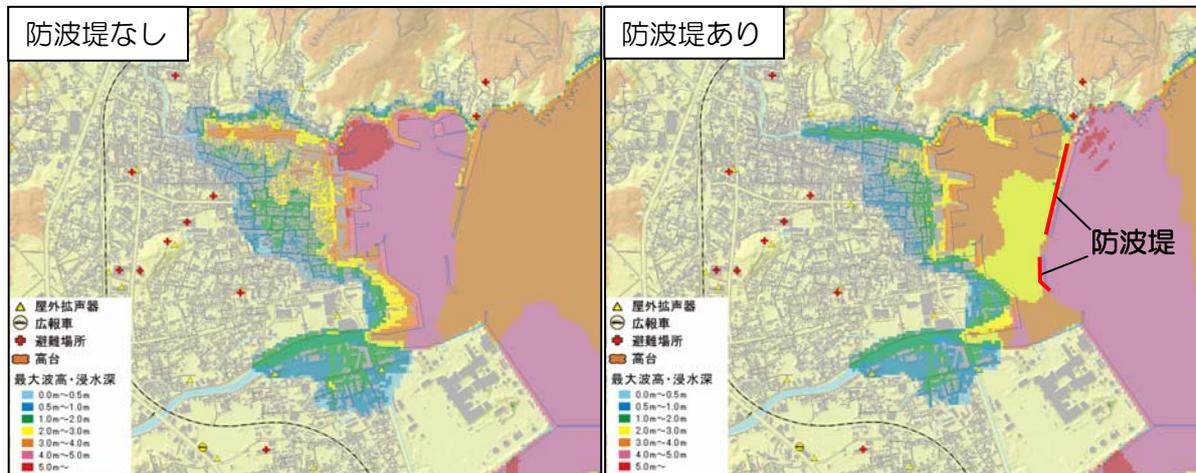
計算例

対象地区は、想定される地震の発生 15 分後に、最大 5メートルの津波が来襲することが想定されている。



【対象地域概略図】

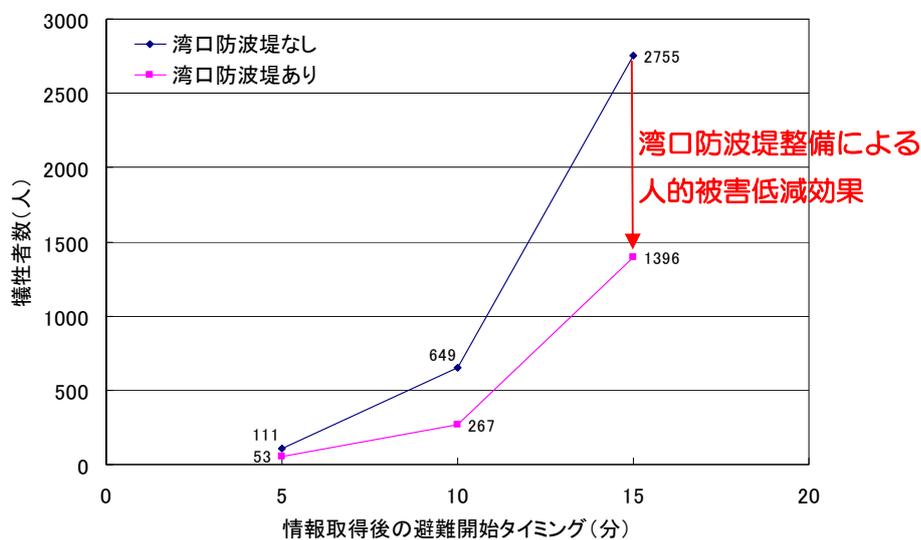
沖合に天端高 3.0m の防波堤を整備した場合における津波被害の低減効果を評価した。沖合防波堤を整備することにより、市街地における津波の最大浸水深及び浸水範囲が減少することがわかった。また、港内における津波高が 1m 以上低下することがわかった。



【津波による最大浸水深の分布】

〔湾口防波堤がない場合は、湾口防波堤が整備された場合と比較して浸水被害が大きい。〕

想定津波を発生させたシミュレーションを実施した結果、湾口・沖合防波堤の整備は津波による被害の低減に十分な効果があることが把握された。また、人的被害の低減効果は、住民の避難タイミングが遅れた場合ほど顕著となることがわかった。



【シナリオごとの犠牲者数】

大規模な津波が発生する際には、巨大地震に伴い強い地震動が発生する可能性が高い。その場合、地震動により、津波来襲前に海岸保全施設が機能不全に陥ってしまうことが考えられる。したがって、既に海岸保全施設を整備した地域においても、海岸保全施設が機能する場合と機能しない場合のそれぞれについて被害想定を行うことが必要である。

6. 防災教育の推進

自主防災組織の評価

キーワード：自主防災組織、防災教育、避難誘導

概要

災害発生時、行政からの情報を取得したとしても自発的に避難するという決断をすることができない住民が多くみられる。そのような状況のなかで、迅速な避難行動を実現するためには、近所どうして声を掛け合うなど、地域住民の取り組みが重要である。本事例では、避難を促進するための地域住民の取り組み事例として、率先避難者の効果を検討する。

対象となる設定項目と出力結果

■主な操作パラメータ、設定シナリオ

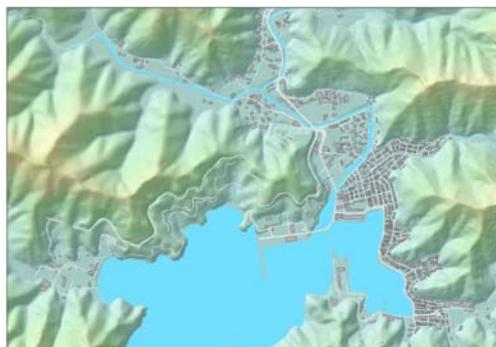
分類	操作パラメータ	説明
避難	配置	率先避難者の経路を設定する。
	出発タイミング	率先避難者が出発するタイミングを設定する。
	避難タイミング	率先避難者からの情報を取得した住民が避難を開始するタイミングを設定する

■出力結果の検討項目

分類	操作パラメータ	説明
情報	情報取得時間	率先避難者による情報伝達状況への影響を把握する。
避難	避難開始時間	率先避難者による避難開始状況への影響を把握する。
人的被害	犠牲者数	率先避難者による被害への影響を把握する。

計算例

対象地区は、6メートルを超える巨大津波が想定されており、発生から約20分で第一波が襲来するために、避難時間が限られている地域である。



【対象地域概略図】

対象地域での代表的な避難経路をもとに、率先避難者を下図のように配置し、地震が発生してから1分後に周囲の住民に声を掛けながら避難を開始する状況を設定した。マスメディアや屋外拡声器から情報を取得した場合には、任意の避難タイミングで避難を開始するが、率先避難者から情報を取得した避難者は、取得後1分で避難行動を開始するものとする。

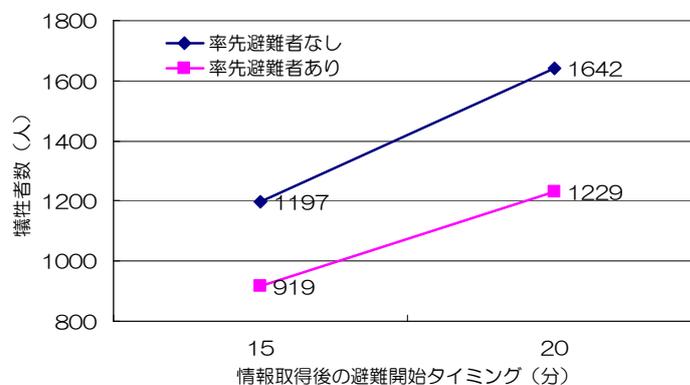


【率先避難者の配置図】

【地震発生から4分後の避難状況】

〔マスメディアや屋外拡声器から情報が伝達される前に避難を開始している様子が確認できる。〕

想定津波を発生させたシミュレーションを実施した結果、率先避難者を配置することで住民の迅速な避難行動が促され、人的被害の低減に十分な効果があることが確認された。率先避難者の経路や人数の変更による効果を分析することで、より効果的な避難計画の検討が可能である。



【シナリオごとの犠牲者数】

6. 防災教育の推進

個人の避難行動シナリオの評価

キーワード：避難シナリオ、避難経路、家族構成

概要

住民個人の自宅の位置や家族構成、避難経路、避難タイミングのシナリオについて設定することで、シミュレーションで表現される状況が利用者自身の問題であるということを明確に認識することができる効果的な防災教育ツールとして活用できる。

設定項目と出力結果

■ 主な操作変数、設定シナリオ

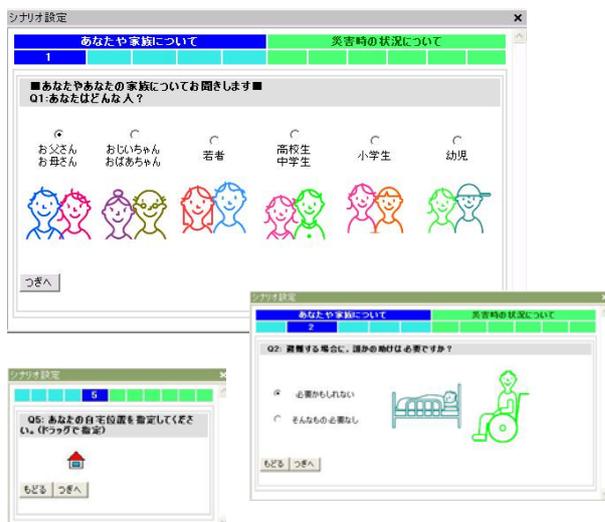
分類	操作パラメータ	説明
避難	家族構成	家族の構成に応じて、避難速度が設定される。
	避難経路	避難開始地点、避難先、通過地点を指定し、避難経路を設定する。
	避難タイミング	避難を決断するきっかけ、避難開始タイミングを設定する。

■ 出力結果の検討項目

分類	結果	説明
避難	避難の成功・失敗	利用者自身の避難行動を、評価する。

計算例

海岸近くに住む家族を例に避難行動を評価する。まず、家族構成、自宅の位置、避難先を指定し、次に避難のタイミングの設定をする。



【個人属性の設定ウィンドウ】

シナリオ設定の概要

① 個人属性

- 家族構成
- 避難困難者または避難困難な家族の有無
- 自宅位置

選択した家族構成、避難困難者の有無に応じて避難速度が決まる。

自宅の位置は、避難開始地点、または一時帰宅する場合には、通過地点となる



【災害発生状況設定ウィンドウ】

② 災害発生時の状況

- 避難開始地点（自宅、外出先など）
- 避難先
- 通過地点の有無、位置
- 避難を開始するきっかけ
- 避難開始のタイミング

自宅から指定避難場所に避難するシナリオを右のように設定し、シミュレーションを実施した。

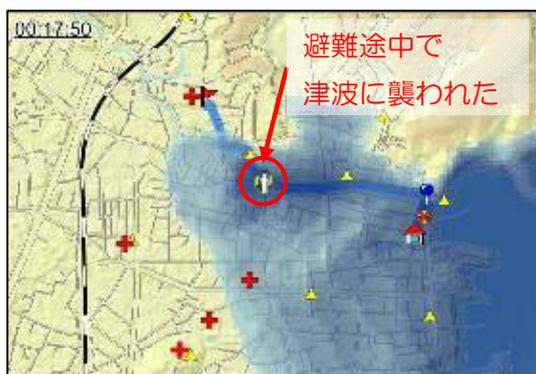
＜避難タイミングの設定＞

避難するきっかけ：情報を聞いたら

家を出るタイミング：きっかけから 10 分後



【避難経路の設定】



【シミュレーション実行例】



【結果の評価とアドバイス】

シミュレーションの結果、避難途中で、津波に襲われてしまった。この結果を評価し、適切な避難行動が行えるようなアドバイスが表示される。

このほかにも、本ツールを利用して以下のような検討を行うことが可能である。

- ・ 介護者による災害弱者の救助計画
- ・ 世帯員が離れている状況を想定した、家族の避難計画など

群馬大学 災害社会工学研究室

〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1
群馬大学 工学部 建設工学科 災害社会工学研究室
TEL: 0277-30-1652 FAX: 0277-30-1601
URL: <http://www.ce.gunma-u.ac.jp/regpln/>
e-mail: kuwasawa@ce.gunma-u.ac.jp (担当: 桑沢)

特定非営利活動法人 社会技術研究所

〒370-0862 群馬県高崎市片岡町 1-12-16 フロンティアビル 2F
TEL: 027-310-3170 FAX: 027-325-7370
e-mail: ishii@npo-ist.or.jp (担当: 石井)

株式会社 アイ・ディー・エー

〒370-0862 群馬県高崎市片岡町三丁目 1 番 6 号
TEL: 027-325-2110 FAX: 027-345-6639
e-mail: ishii@ida-web.jp (担当: 石井)