

津波による最大リスク評価手法の開発と 防災対策の実証的展開

Development of Tsunami Maximum Risk Assessment Method and Empirical Deployment of Disaster Prevention Measures

戸松 誠¹、川村 壮²、堤 拓哉³、飯泉 元気⁴、石井 旭⁵、
川上 源太郎⁶、佐藤 創⁷、橋本 雄一⁸、塩崎 大輔⁹、田中 規夫¹⁰

Makoto Tomatsu¹, Takeshi Kawamura², Takuya Tsutsumi³, Genki Iizumi⁴, Akira Ishii⁵,
Gentaro Kawakami⁶, Hajime Sato⁷, Yuichi Hashimoto⁸, Daisuke Shiozaki⁹, Norio Tanaka¹⁰

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部
北方建築総合研究所

Northern Regional Building Research Institute
Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

¹ 北方建築総合研究所地域研究部環境防災グループ研究主幹 ²同研究職員 ³ 北方建築総合研究所地域研究部地域システムグループ研究主幹 ⁴ 北方建築総合研究所建築研究部建築システムグループ研究職員 ⁵ 前北方建築総合研究所 ⁶ 地質研究所 ⁷ 林業試験場 ⁸ 北海道大学 ⁹ 北海道大学大学院 ¹⁰ 埼玉大学

¹ Senior Research Manager of Prevention and Environment Group ² Researcher of Prevention and Environment Group ³ Senior Research Manager of Regional System Group ⁴ Researcher of Building Engineering System Group ⁵ Former Northern Regional Building Research Institute ⁶ Geological Survey of Hokkaido ⁷ Forestry Research Institute ⁸ Hokkaido University ⁹ Graduate School of Humanities and Human Science, Hokkaido Univ. ¹⁰ Saitama University (all above)

概要 Abstract

津波による最大リスク評価手法の開発と防災対策の実証的展開 Development of Tsunami Maximum Risk Assessment Method and Empirical Deployment of Disaster Prevention Measures

戸松 誠¹、川村 壮²、堤 拓哉³、飯泉 元気⁴、石井 旭⁵、
川上 源太郎⁶、佐藤 創⁷、橋本 雄一⁸、塩崎 大輔⁹、田中 規夫¹⁰
Makoto Tomatsu¹, Takeshi Kawamura², Takuya Tsutsumi³, Genki Iizumi⁴, Akira Ishii⁵,
Gentarou Kawakami, Hajime Sato, Yuichi Hashimoto, Daisuke Shiozaki, Norio Tanaka

キーワード : 津波、最大リスク、海岸防災林、避難速度、防災庁舎

Keywords : *Tsunami, Maximum Risk Assessment, Coastal Disaster Prevention Forest,
Evacuation Speed, Disaster prevention Building*

1. 研究概要

1) 研究の背景

- ・道の津波被害想定は、国レベルでマクロ的に被害を評価する南海トラフの手法を流用しており、地域的な諸条件を詳細に評価することができない。
- ・避難経路を考慮せず直線距離での避難を想定しているため、道路密度が小さい地域では避難距離の誤差が大きくなるなど被害想定精度が低く、市町村レベルでは適用できない。
- ・市町村の津波避難計画においては人的被害の低減が重要であり、生存を左右する最悪条件や地域特性を十分踏まえる必要がある。また津波防災地域づくり推進計画の観点から、年齢構成や土地利用計画、海岸保全施設等の整備に要する時間経過など、リスクの経時変化を踏まえて対策の効果を評価する必要がある。

2) 研究の目的

北海道における津波による死傷リスクを低減するため、積雪寒冷や暗夜条件などによる最大リスク評価手法並びに都市・地域の人口や土地利用の経年変化を考慮した津波防災対策効果の評価手法を開発する。また津波防災対策の実施を支援するために防災対策案を定量的に評価する手法を開発し、具体の市町村で津波避難計画や津波防災地域づくり計画を作成するなどにより実証的に展開する。

2. 研究内容

1) 北海道の環境条件を考慮した津波リスク評価手法の開発 (H29~R1 年度)

- ・ねらい：発災時の避難経路の使用可否の評価、実測に基づく屋外歩行速度を踏まえて津波避難の可能性を評価する。また避難場所や津波避難ビルの妥当性を評価し、高精度な死傷リスク評価手法を開発する。
- ・試験項目等：避難経路の使用可能性評価、避難速度の測定、避難場所の妥当性評価(北大)

¹ 北方建築総合研究所地域研究部環境防災グループ研究主幹 ²同研究職員 ³ 北方建築総合研究所地域研究部地域システムグループ研究主幹 ⁴ 北方建築総合研究所建築研究部建築システムグループ研究職員 ⁵ 前北方建築総合研究所 ⁶ 地質研究所 ⁷ 林業試験場

⁸ 北海道大学 ⁹ 北海道大学大学院 ¹⁰ 埼玉大学

¹ Senior Research Manager of Prevention and Environment Group ² Researcher of Prevention and Environment Group ³ Senior Research Manager of Regional System Group ⁴ Researcher of Building Engineering System Group ⁵ Former Northern Regional Building Research Institute ⁶ Geological Survey of Hokkaido ⁷ Forestry Research Institute ⁸ Hokkaido University ⁹ Graduate School of Humanities and Human Science, Hokkaido Univ ¹⁰ Saitama University(all above)

2) 時間的変化を考慮した防災対策効果の評価手法の開発 (H29~R1 年度)

- ・ねらい：市街地の再編や地域内年齢構成などの経年変化を考慮した防災対策効果の予測手法を開発する。
- ・試験項目等：地域レベルでの人口変動予測、市街地再編による地域の変遷設定、海岸保全施設等の整備による浸水域の変化の予測（埼玉大）、現時点と時間経過後のリスク比較

3) 津波対策決定プロセスを支援する防災計画の定量的評価手法の開発 (H29~R1 年度)

- ・ねらい：複数の防災対策案について、AHP などの意思決定手法を適用し地域住民や自治体が対策コストや安全性、利便性、地域産業への影響などの条件から対策を定量的に評価する手法を開発する。
- ・試験項目等：防災対策にともなうコスト・安全性・利便性・地域産業への影響等の評価、AHP を適用した防災まちづくり案の評価、津波対策決定プロセスの提案

4) 地域における計画策定を通じた実証的展開 (H29 ~R1 年度)

- ・ねらい：1) ~ 3) の成果を用い、具体の市町村を選定し、当該地域で課題を整理し津波防災地域づくり推進計画) 及び津波避難計画等の津波防災対策へ展開を図り評価手法を検証する。
- ・試験項目等：地域における課題整理、評価の実施、津波避難計画及び防災まちづくり案の検討

3. 研究成果

新たに開発した避難経路の使用可否の評価手法により、避難場所の妥当性を評価し、積雪寒冷期の避難実験から避難速度が高齢者でも平均 1.0m/sec となることを明らかにし（表 1）、昼夜や避難開始時間の違いなど複数の避難条件下におけるリスク評価を高い精度ですることが可能となったことで（図 1）、人的被害を最小限にする避難行動を示した。神恵内村の例では夜間に避難行動を呼びかけるケースで 122 人の死者数となるが、全員が迅速に避難可能となった場合では 7 人と大きく減少した。また、海岸防災林であるクロマツ林、グイマツ林等の施業体系図に沿った津波減勢効果の時間的変化を数値シミュレーションにより明らかにし（図 2）防災林の施業体系による効果の違いを評価した結果、グイマツ、クロマツ、カシワの順に効果が小さくなった。時系列変化はそれほど、大きくなく、樹種・津波高・林帯幅により減勢効果がほぼ決まった。防災対策を定量評価するため、「人的リスク低減」、「予算化」、「対策時間」、「関係者との調整」を評価基準として、AHP（絶対評価法）を適用し津波対策の優先度を数値で評価可能とした。研究成果を実証的に展開するため、評価自動車避難のシミュレーションを行い、自動車避難時における渋滞発生地区（赤色）を明示し（図 3）、渋滞を発生させない自動車台数を明らかにした。また、避難行動を可視化するシステムを開発し、防災教育に活用した。研究成果を実証するため神恵内村で建設される防災庁舎に対し、音等による避難誘導システムの提案を行った。

< 具体的データ >

表 1 積雪期の避難速度実験結果 (m/sec)

年代	平地		登坂	
	平均	被験者数	平均	被験者数
30代	1.6	3	0.9	2
40代	1.3	4	1.1	2
50代	1.3	6	1.0	4
60代	1.3	28	1.0	21
70代	1.2	13	0.9	10
80代	1.0	4	0.7	3
平均	1.3	58	0.9	42

南海トラフの被害想定手法:0.74(m/sec)

道の津波避難計画策定指針(冬期):0.86(m/sec)

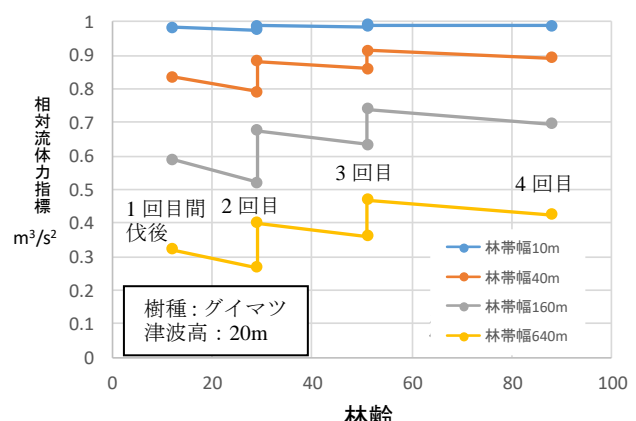


図2 海岸防災林による津波減勢効果の時系列変化

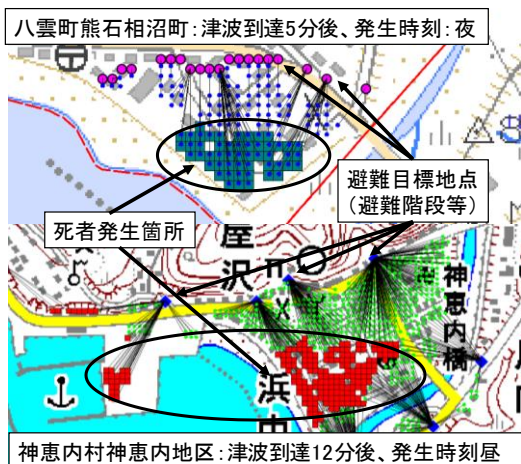


図1 人的リスク評価結果（呼びかけ避難開始時） 図3 自動車避難による渋滞シミュレーション

4. 今後の見通し

- ・実証地区である神恵内村及び八雲町熊石地区において、リスク評価結果を用いて明らかとなった避難困難地域や避難条件の違いを記載した避難計画として令和2年度中に避難計画が作成される。また、神恵内村防災庁舎の建設に当たり音等による避難誘導システムを提案するなどし、建設中の防災庁舎に防災スピーカーが設置されるなど研究成果が活用されている。
- ・研究成果の説明会を協力機関と連携し開催するなど次年度職員研究奨励事業で普及展開を図る予定である。
- ・津波対策決定プロセスを支援する防災計画の定量的評価手法の開発に関して実証地域では、優先度評価を用いることなく実施する津波対策が既に決まっており、評価手法の検証が不十分であると認識している。今後、成果の普及段階で新たに津波対策を検討する市町村において実証をしていく予定である。

目 次

1. 研究の目的	1
(1) 背景.....	1
(2) 目的.....	1
(3) 概要.....	1
2. 北海道の環境条件を考慮した津波リスク評価手法の開発.....	1
(1) リスク評価手法の概要.....	1
(2) 避難経路の使用可能性評価	2
(3) 積雪条件下における避難実験による避難速度	3
3. 時間的変化を考慮した防災対策効果の評価手法の開発	7
(1) 時間的変化が防災対策に与える影響.....	7
(2) 人口の経年変化による人的リスクの変化	7
(3) 海岸保全施設等の整備による津波の勢いの変化の予測.....	8
4. 津波対策決定プロセスを支援する防災計画の定量的評価手法の開発	9
(1) 概要.....	9
(2) 津波対策の階層構造	9
(3) 評価方法	10
5. 地域における計画策定を通じた実証的展開	10
(1) 実証地域	10
(2) 津波遡上データを援用した避難訓練可視化システムの開発	10
(3) 神恵内村での実証的展開.....	12
(4) 八雲町熊石での実証的展開	14
(5) 厚岸町での実証的展開.....	14
(6) 釧路市音別での実証的展開	15
6. まとめ.....	17

1. 研究の目的

(1) 背景

津波による被害想定手法は、南海トラフで発生する地震に対して、内閣府より公表されるなど実用化のレベルに達しつつある。しかし、この手法はマクロ的な被害想定が目的であるため、基盤の目で構成される避難経路や避難階段の有無を考慮しないなど、道路密度が小さい地域では避難距離の誤差が大きくなるため被害想定精度が低く、市町村レベルでは適用できないといった問題がある。また、積雪寒冷条件下での避難となる北海道では、積雪条件下における避難速度の課題など、地域性を踏まえた被害想定手法が必要である。

市町村の津波避難計画においては人的被害の低減が重要であり、生存を左右する最悪条件や地域特性を十分踏まえる必要がある。また津波防災地域づくり推進計画の観点から、年齢構成や土地利用計画、海岸保全施設等の整備に要する時間経過など、リスクの経時変化を踏まえて対策の効果を評価する必要がある。

(2) 目的

北海道における津波による死傷リスクを低減するため、積雪寒冷や暗夜条件などによる最大リスク評価手法並びに都市・地域の人口や土地利用の経年変化を考慮した津波防災対策効果の評価手法を開発する。また津波防災対策の決定を支援するために防災対策案を定量的に評価する手法を開発し、具体のモデル市町村で津波避難計画や津波防災地域づくり計画を作成するなど、具体の地域で実証的に展開する。

(3) 概要

本研究の概要は次のとおりである。

①北海道の環境条件を考慮した津波リスク評価手法の開発

発災時の避難経路の使用可否の評価、実測に基づく屋外歩行速度を踏まえて津波避難の可能性を評価する。また避難場所や津波避難ビルの妥当性を評価し、高精度な死傷リスク評価手法を開発する。

②時間的変化を考慮した防災対策効果の評価手法の開発

市街地の再編や地域内年齢構成、海岸保全施設等の経年変化を考慮した防災対策効果の予測手法を開発する。

③津波対策決定プロセスを支援する防災計画の定量的評価手法の開発

複数の防災対策案について、AHPなどの意思決定手法を適用し地域住民や自治体が対策コストや安全

性、利便性、地域産業への影響などの条件から津波対策を定量的に評価する手法を開発する。

④地域における計画策定を通じた実証的展開

具体の市町村を選定し、当該地域で課題を整理し、津波防災地域づくり推進計画及び津波避難計画等の津波防災対策へ展開を図り評価手法を検証する。

2. 北海道の環境条件を考慮した津波リスク評価手法の開発

(1) リスク評価手法の概要

津波による人的リスクの評価手法は、内閣府が南海トラフの地震被害想定に用いた手法¹⁾を基本として、北海道の地域性を考慮し行う。人的被害の予測の流れを図1に示す。

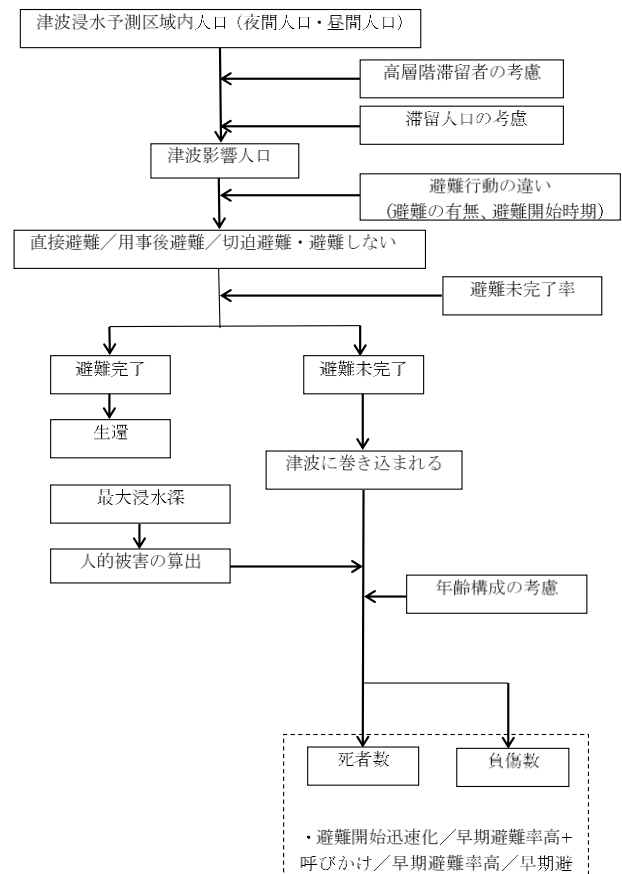


図1 人的リスク評価の流れ

人的リスクの評価において、本研究では道内の3地域（神恵内村、八雲町熊石、厚岸町）をモデルとして、南海トラフの被害想定手法に関する以下の項目について検討を行った。

①避難完了に関する避難先の判定

南海トラフ:最大浸水深 30cm 未満のメッシュ
本研究:避難経路の使用可能性評価に基づく避難先

② 避難行動に関する避難速度

南海トラフ：避難速度を 0.74m/sec とし計算
 本研究：積雪期の避難訓練による実測値

なお、想定地震としては、北海道が公表している津波浸水予測のデータを用いる。次に示す道の報告書から想定震源域を抜粋し図 2、3 に示す。

・太平洋沿岸：平成 24 年 6 月 28 日に公表された太平洋沿岸の津波浸水予測図²⁾

・日本海沿岸：平成 29 年 2 月に公表された日本海沿岸の津波浸水想定区域図³⁾

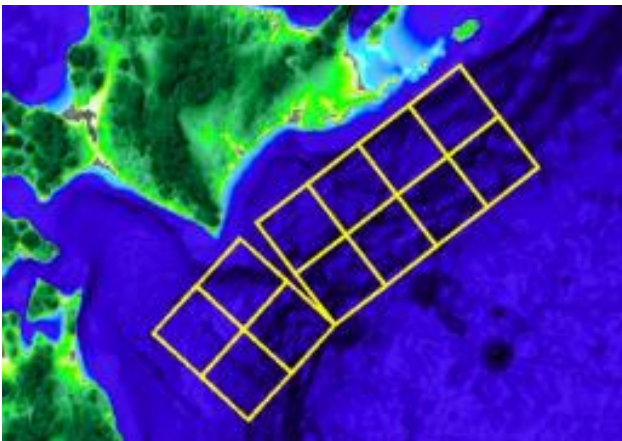


図 2 太平洋沿岸の震源域

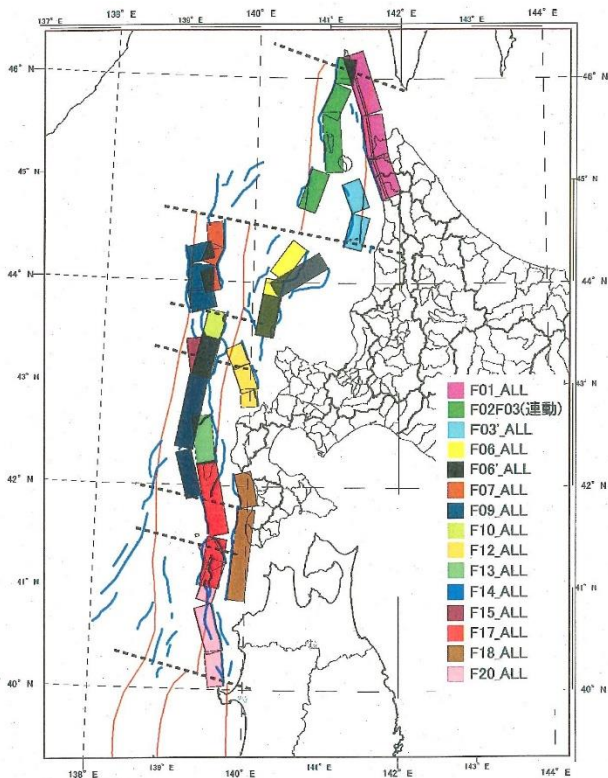


図 3 日本海沿岸の震源域

(2) 避難経路の使用可能性評価

1) 避難経路の現地確認

モデルとなる町村において、避難計画等に指定されている高台に通じる避難階段、避難路の全てに加え、一部町内会や個人で設置している避難階段について現地確認を行った。確認した項目を表 1 に示す。

表 1 現地確認項目

項目	細項目	説明
地形条件		避難経路が位置する地形条件を記載した。
地質条件		基本的に 1/5 万地質図幅による地質区分・岩相を記載した。
作工物の施工状況	形状	主に階段かスロープか、両者の組み合わせからなるのか判るように記載した。
	材質・舗装	階段の場合、用いられている材料を、スロープの場合、舗装の有無が判るよう記載した。
	フェンス・手すり	設置の有無、設置されている場合は用いられている材料を記載した。
	斜面对策工	避難経路が急傾斜地に設置されている場合、施工されている斜面对策工の種類を記載した。
避難地点の状況		避難経路の到達地点の状況を記載した。
歩行時間		調査者らによる避難経路の始点から終点までの歩行時間を実測して記載した。
到達標高		基本的に地形図から読み取った標高を記載し、現地に標高値が明示されている場合、その標高値も示した。また始点が変わりにくいルートでは、歩行時間を計測する際の始点の標高を合わせて記載した。
その他		その他に特記すべき項目。

確認した経路は神恵内村が 29 経路、八雲町熊石が 52 経路、厚岸町が 44 経路である。避難経路の例として神恵内中心部における結果を図 4 と表 2 に示す。



「電子地形図 25000 (国土地理院) を加工して作成」

図 4 調査位置

2) 使用可否の判定

現地確認による地形特性および北海道が実施した急傾斜地崩壊危険度の判定結果にもとづいて、強震動による避難経路の【破損可能性】、避難経路の始点までの【到達可能性】、避難経路自体の【バリアフリー度】を、高・中・低の 3 段階に定性的に区分した。なお、【バリアフリー度】は、高齢者・障がい者が避難困難 (介助も困難)、介助があれば、高齢者・障

がい者でも概ね避難可、高齢者・障がい者でも概ね避難が可の順とした。これら3つの項目における区分に基づいて、まず【夏季の昼間時の使用可否】を判定した。具体的には各項目の3段階の判定の良い方から順に2点、1点、0点を割り振り、合計が5点以上の場合を総合判定A、5点未満3点以上をB、3点未満を総合Cとした。次に【積雪時の使用可能性】、夜間の使用可能性について、作工物の性状や照明の有無などに基づいて同じく定性的に高:A・中:B・低:Cの3段階で判定した。これらの判定結果については、リスク評価の際の想定に沿って使用する

表2 避難経路の現地確認結果の例

No	地点	種別	地形条件	地質条件	施工状況				避難地点	到達標高	歩行時間	備考
					形状	材質・舗装	フェンス・手すり	対策工等				
KAM-01	横溝	避難路	段丘肩に椅子型崩壊(厚い土層?)が南側に隣接	中新世尾根内層安山岩質火砕岩および段丘	階段+スロープ	コンクリート及びアスファルト	金属製柵	斜面フレーム工	段丘上の宅地・畑地	20	1分51秒	学校グラウンド高盛土
KAM-02	長屋沢	避難路	谷地形	中新世尾根内層安山岩質火砕岩+谷底堆積物	生活路	アスファルト	なし	東側斜面下部土留め擁壁	沢に沿う宅地	50		石垣多い最上部高い治山ダム
KAM-03	横溝	避難路	段丘崖	中新世尾根内層安山岩質火砕岩および段丘	仮設階段+スロープ	刈払路	木製柵	斜面フレーム工	段丘上まで刈払いされておらず、段丘崖上部の看板まで	25	3分45秒	表流水染み出し、足場悪い

表3 判定結果の例

No	破損可能性	到達可能性	バリアフリー度	判定(夏季・昼間)	積雪時使用可能性	夜間使用可能性	防寒性
	低:2、中:1、高:0	高:2、中:(徒歩なら可):1、低:0	高:2、中:1、低:0	A:使用可能(5点以上)、B:条件付きで使用可能(3-4点)、C:使用不可(3点未満)	可:A、中:B、困難:C	可:A、中:B、困難:C	高:A、中:B、低:C
KAM-01	2	1	1	B	B	B	A
KAM-02	2	1	2	A	A	B	B
KAM-03	1	1	0	C	C	C	C

3)地形判読に基づく低地域の避難経路のリスク判定
モデル地域のうち、神恵内村と八雲町熊石では軟弱地盤からなる低地域はほとんど見られない。一方、厚岸町湖南地区は泥炭が発達する低地が生活域となっており、また港湾では埋め立て地も広がっている。そこで現在の地形、旧版地形図、および地質研究所による過去の地質調査データ等を踏まえて、泥炭地盤、粘土・砂地盤、埋め立て地盤からなる箇所を推定し、図5のとおりGISデータ化した。

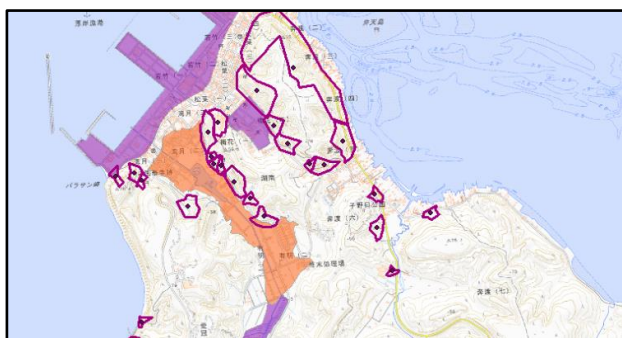


図5 避難経路のリスク判定

結果を選択した。さらに到達地点(避難場所)の【防寒性】についても、避難場所の建物等の状況に基づいて定性的に高・中・低の3段階で判定しており、避難後のリスク評価に用いた。

なお、既存の急傾斜地崩壊危険度判定結果で用いられている震源断層モデルは、津波の波源として想定すべき断層モデルとは異なっているケースを含む。しかし、現時点ではそれぞれの断層モデルが異なっている場合でも、最も崩壊危険度が高い結果を用い安全側(最大リスク)での評価を行った。避難経路に対する判定結果の例を表2及び表3に示す。

なお、図中の紫は砂・粘土地盤および埋め立て地盤で強震動+液状化のリスク、オレンジは泥炭地で強震動のリスクが高い。枠で囲っているのは強震動による急傾斜地崩壊危険箇所である。

(3) 積雪条件下における避難実験による避難速度

1)実験の目的

津波によるリスク評価をする際に重要なパラメータとして避難速度の設定がある。特に北海道では積雪期における避難速度をどのようにするのが重要な課題である。北海道の津波避難計画策定指針によれば、参考値として冬期バリアフリー区間における歩道融雪設備工事事業完了報告(青森河川国道事務所)で報告されている0.86m/secを冬季の歩行速度としている。このようなことから、ここでは積雪期に地域住民を対象として避難訓練を行うことで積雪期の避難速度の計測を行った。

2)実験の概要

避難実験は平成30、31年にかけて積雪期に神恵内

村で1回、八雲町熊石地区で2回の訓練を実施した。避難者にはGPSを所持してもらい避難速度を計測した。避難実験を行った地域及び参加者数等を表4に示す。また、非積雪期の比較対象とするため、令和元年の秋に同様の実験を神恵内村で行った。なお、住民には事前に避難開始時間をしらせており、防災無線の避難指示により避難を開始することとした。

表4 実験日時

日時	対象地域	参加者	備考
H30.1.17 9:00～	神恵内村 神恵内地区	52名	屋内
H30.1.23 9:30	八雲町熊石 相沼地区	18名	高台
	八雲町熊石 関内地区	9名	屋内
H31.2.6 9:00～	八雲町熊石 折戸地区	24名	屋内
R1.10.8	神恵内村 赤石地区	16名	片マヒ、妊婦 避難階段

実験は、前日までにGPSを配布し、取り扱いや実験時の注意事項を説明した。説明した内容は次のとおりである。

- ①避難30分前にロガーのスイッチを入れる
- ②避難5分前にロガーを身につける
- ③サイレンがなってから、防寒着を着るなどの避難行動を開始する。事前に準備はしない。

避難完了後に次の項目のアンケート調査を実施し測定値との関係を見ることとした。

- ①避難訓練時の同行者数
- ②家を出るまでにかかったと思われる時間
- ③避難路の路面状況
- ④避難時の急ぎ具合

各地の避難先であるが、神恵内村神恵内地区は、急勾配の坂を上った先にある中学校が避難先であり、八雲町熊石相沼地区は、集落に隣接している山の上、同関内地区は避難路が緩勾配で浸水域外となる旧小学校、同折戸地区は、緩勾配で浸水域外となる旧中学校、神恵内村赤石地区は避難階段となっている。

GPSはHOLUX M-241を使用し、1秒間隔で避難時の位置を測定した。避難時のGPS記録の例と避難行動の最中の写真を図6～11及び写真1～6に示す。

なお、R1年10月に神恵内村赤石地区で実施した避難訓練では、役場職員に片マヒ及び妊婦の疑似体

験ができる装具を着用し避難速度を計測した。

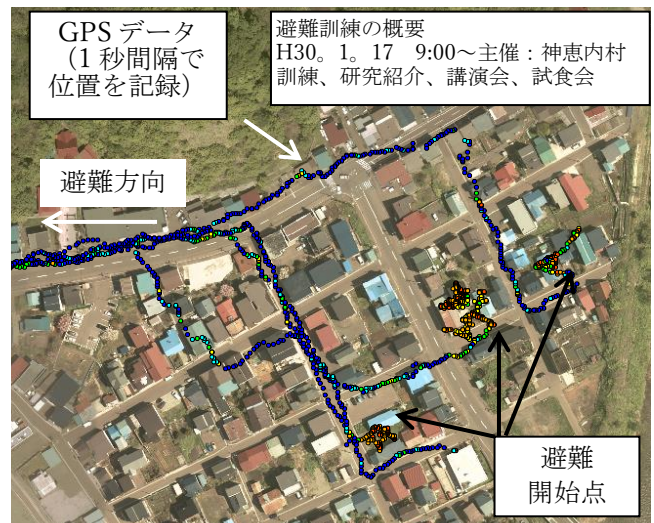


図6 GPSによる記録例



図7 神恵内地区の避難軌跡



写真1 神恵内地区の避難行動

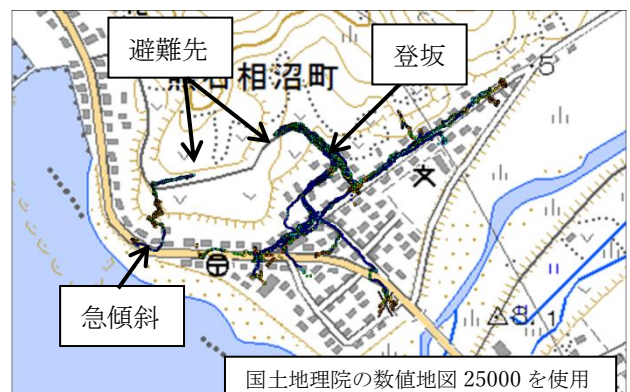


図8 相沼地区の避難軌跡



写真 2 相沼地区の避難行動



写真 4 折戸地区の避難行動

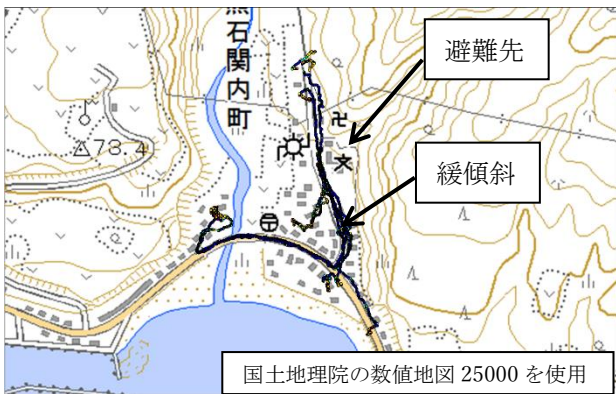


図 9 関内地区の避難軌跡

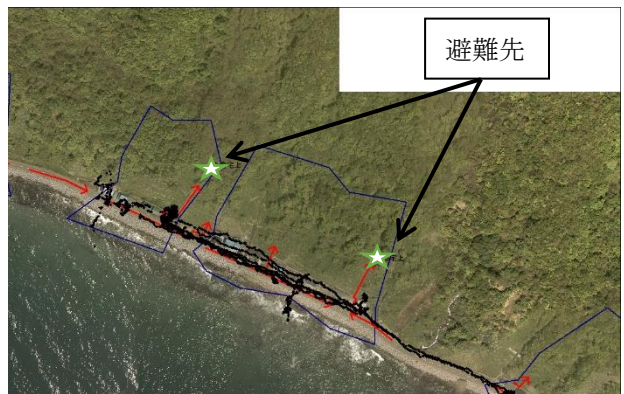


図 1 1 赤石地区の避難軌跡



写真 3 関内地区の避難行動



写真 5 赤石地区の避難行動

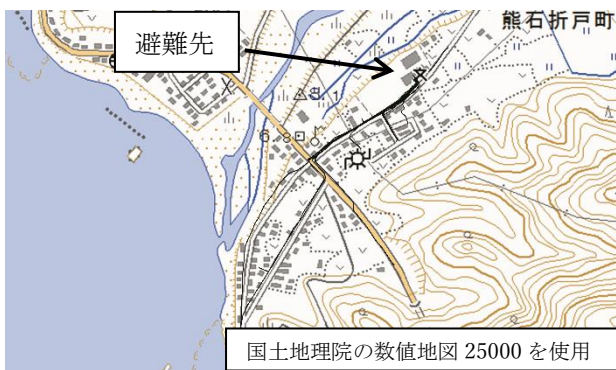


図 1 0 折戸地区の避難軌跡



写真 6 片マヒの装具による避難行動

2)実験結果

積雪期の避難実験の結果から、避難路の状況に応じて平地・緩傾斜・登坂・急傾斜に分類し、各地区の平均避難速度をそれぞれ表5に示す。また、データ数の多い平地と登坂について、年代別に平均避難速度を表6～7に示す。

表5 各地区における避難速度 (m/sec)

	平均速度	被験者数
神恵内平地	1.3	23
神恵内登坂	1.0	26
熊石関内緩傾斜平均	1.0	9
熊石相沼急傾斜	0.5	2
熊石相沼平地	1.2	17
熊石相沼登坂	0.9	17
熊石折戸平地	1.2	15

表6 平地の避難速度 (m/sec)

	平均速度	被験者数
30代平地	1.6	3
40代平地	1.3	4
50代平地	1.3	6
60代平地	1.3	28
70代平地	1.2	13
80代平地	1.0	4
平地平均	1.3	58

表7 登坂時の避難速度 (m/sec)

	平均速度	被験者数
30代登坂	0.9	2
40代登坂	1.1	2
50代登坂	1.0	4
60代登坂	1.0	21
70代登坂	0.9	10
80代登坂	0.7	3
登坂平均	0.9	42

実験の結果、傾斜の低いほど、年齢の低いほど避難速度は速くなった。避難先を事前に認識しスムーズに避難するという理想的な条件下における積雪期の避難速度を設定することが可能となった。この避難速度については、避難訓練等により理想的な避難行動を身につけることによる効果を評価する場合に用いることが有効である。

3)人的リスク評価の結果

これまでの検討結果を踏まえ、南海トラフ地震の被害想定手法の改良を試みる。避難目標地点を浸水

深30cm未満のメッシュから、避難路の評価結果を用い使用可能と判断された避難経路上の浸水深30cm未満のメッシュとし、安全側を見て避難速度を全体の平均値である1.3m/secとして人的被害が生じるメッシュを特定して、人的リスクの評価を行った。避難先までの距離は、直線距離の1.5倍とし、地上面から浸水深さの高さまでは津波避難ビル等のガイドラインで示されている老人の階段昇降速度0.21m/secとした。他の条件については、南海トラフの地震被害想定手法の条件に準じ、避難者の行動については表8に示す避難パターン別避難行動の割合を、夜間の避難速度は昼間80%の条件を用いる。

このようにして計算した神恵内村のリスク評価結果を南海トラフの地震被害想定手法と比較する。なお、神恵内村では6種類の想定地震があるが、ここでは神恵内(本港)における津波最大遡上高が最大(21.07m)となるモデル及び第1波の到達時間が最も早いモデルでの夜間時の結果を比較し表9に示す。

また、神恵内地区周辺において津波高が最大となる地震に対する昼間の用事後避難時のケースでの人的被害の発生場所の違いを図12に比較して示す。

表8 避難パターン別避難行動の割合

	避難行動別の比率		
	避難する すぐに避難 する(直接 避難)	避難するがすぐに は避難しない(用 事後避難)	切迫避難あ るいは避難 しない
全員が発災後すぐに避難を開始した場合(避難開始迅速化)	100%	0%	0%
早期避難者比率が高く、さらに津波情報の伝達や避難の呼びかけが効果的に行われた場合(早期避難率高+呼びかけ)	70%	30%	0%
早期避難者比率が高い場合(早期避難率高)	70%	20%	10%
早期避難者率が低い場合(早期避難率低)	20%	50%	30%

※避難開始時間は、昼間発災時は、直接避難者で発災5分後、用事後避難者で15分後、夜間はそれぞれプラス5分となる。

表9 人的リスク評価結果 (人)

	南海トラフ		本手法	
	最大	最早	最大	最早
要避難者数	550	381	550	381
迅速化	14	204	14	7
呼びかけ	237	272	152	122
避難率高	237	272	162	122
避難率低	543	364	413	313

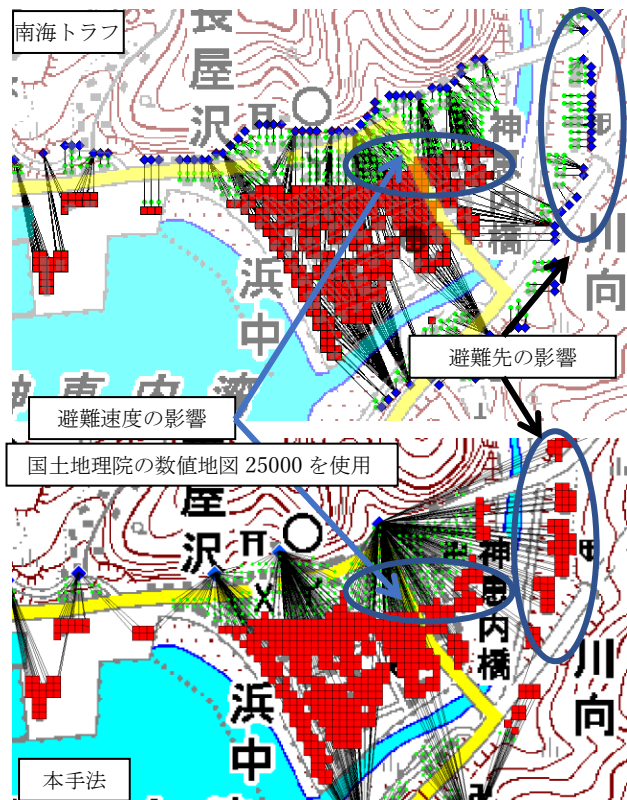


図 1 2 手法の違いによる人的被害発生箇所

これによると避難速度及び避難先の設定方法の違いにより人的被害の発生する場所が異なることがわかる。また本手法では避難先が特定されることから避難先ごとの避難者数の推計も可能となる。

3 時間的変化を考慮した防災対策効果の評価手法の開発

(1) 時間的変化が防災対策に与える影響

津波防災対策を検討する際、その対策は、海岸保全施設の整備、防災教育の実施など、その効果が発揮されるには一定の時間を要する。一方、地震の発生間隔は一般的に数十年～数百年の間隔となるが、この間に市町村の人口や海岸保全施設の一つである海岸林は、その形態が大きく変わる。市町村が津波対策を行う場合は、この時間変化を考慮して、対策を決定することが必要である。このようなことから、ここでは、人口の変化と海岸防災林の時間変化が津波対策に与える影響を評価し、防災対策を検討する際の基礎資料を作成する。

(2) 人口の経年変化による人的リスクの変化

1) 人口変化の推計

国土交通省が公表している国土数値情報には GIS データとして将来推計人口が公表されている。人的リスクの基本データとして、この国土数値情報 500m

メッシュ別将来推計人口 (H29 国政局推計) を用いる。本データの内容は、2010 年の国勢調査に基づき、2050 年までの 500m メッシュ別の将来人口の試算を行っている。なお、総人口、0-14 歳人口、15-64 歳人口、65 歳以上人口、75 歳以上人口それぞれについてデータを作成している。

津波の人的リスクの評価の基本単位は、津波浸水予測データと同じメッシュ単位を利用しており、10m メッシュ又は 50m 単位で計算を行っている。このため、次の方法で 500m メッシュ別将来推計人口から 10m 又は 50m メッシュ単位の人口を推計する。

- ①各 500m メッシュの人口変化率を 2050 年まで計算
- ②10m 又は 50m メッシュの人口に当該メッシュが含まれる①の人口変化率を用いて将来人口を推計。

このようにして、2050 年までの人的被害の推計を行った。

計算例として厚岸町白浜地区と厚岸町真広地区の夜間に津波が発生した場合の結果を表 10、11 に示す。

表10 厚岸町白浜地区の人的被害将来推計(人)

	浸水域人口	迅速	呼びかけ	避難率高	避難率低
2012年	747	0	6	81	241
2020年	705	0	6	77	228
2025年	660	0	6	72	214
2030年	609	0	5	67	198
2035年	557	0	5	61	181
2040年	508	0	5	56	166
2045年	454	0	4	50	148
2050年	405	0	4	44	132

表11 厚岸町真広地区の人的被害将来推計(人)

	浸水域人口	迅速	呼びかけ	避難率高	避難率低
2012年	64	0	3	9	26
2020年	57	0	3	8	23
2025年	50	0	3	7	20
2030年	42	0	2	6	17
2035年	34	0	2	5	13
2040年	27	0	1	4	11
2045年	14	0	0	2	5
2050年	11	0	0	1	4

ここで、津波防災対策の減災目標を人的被害 0 とした場合、この結果から、人口減少の激しい真広地区では避難行動の改善で避難を呼びかけるパターン

で人的被害が 0 となるのに対し、人口減少が比較的緩やかな白浜地区では避難行動の改善のみでは人的被害を 0 にすることが困難であり、発災後の速やかな避難、津波の浸水を防ぐハード対策、避難ビル等の避難場所の整備、宅地の非浸水域への誘導を行うなど複数の対策の検討が必要となる。

(3) 海岸保全施設等の整備による津波の勢いの変化の予測

1) 概要

海岸防災林は植栽直後には苗木が小さいため、ほとんど津波減勢効果はないと考えられるが、時間とともに樹木が大きくなり成長し、効果を発揮するようになる。地域の防災対策を検討する上で、効果の時系列変化を把握する必要があるため、北海道の海岸林で主要なクロマツ、グイマツ、カシワの海岸林の津波減勢効果の時系列変化を定量化することを試みた。

2) 検討方法

図 1 3 に示した地形、林帯を仮定し水深 150m を造波境界とし、汀線での津波高を 5、10、20m となるように周期 1800 秒の正弦波を発生させた。津波の伝播は一次元非線形方程式を用いた。詳細は五十嵐ほか (2018) ⁴⁾ を参照のこと。森林の時系列変化はこれまで林業試験場で開発した密度管理図に基づき、施業体系 (図 1 4 ~ 1 6) に基づいた。

黒線は密度、茶線は幹、緑線は樹高と枝下高、赤線は胸高直径/2 を示す。成長の良さを示す地位指数は順に 12 (30 年生時樹高)、6 (30 年生時樹高)、6 (30 年生時樹高) を仮定した。

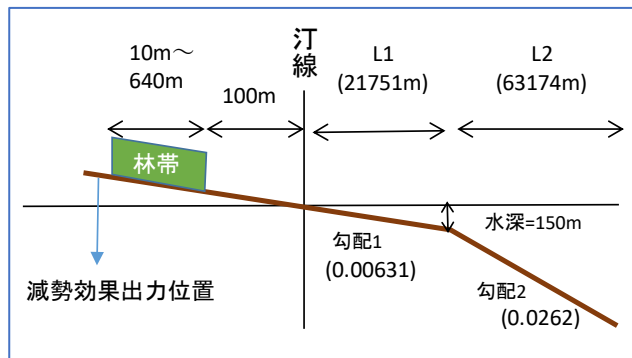


図 1 3 計算に用いた地形と林帯の断面図

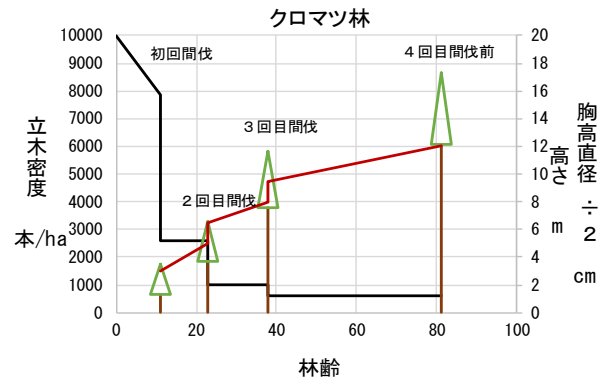


図 1 4 クロマツ海岸林の施業体系図

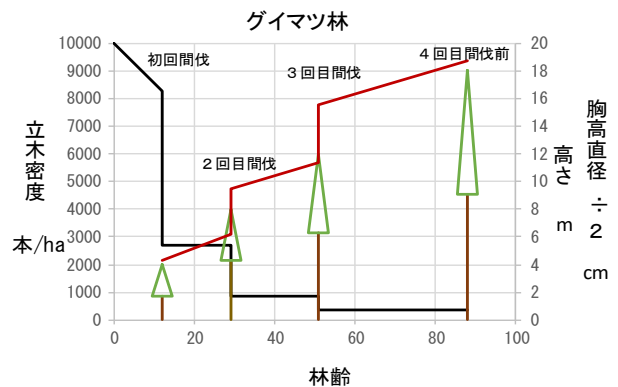


図 1 5 グイマツ海岸林の施業体系図

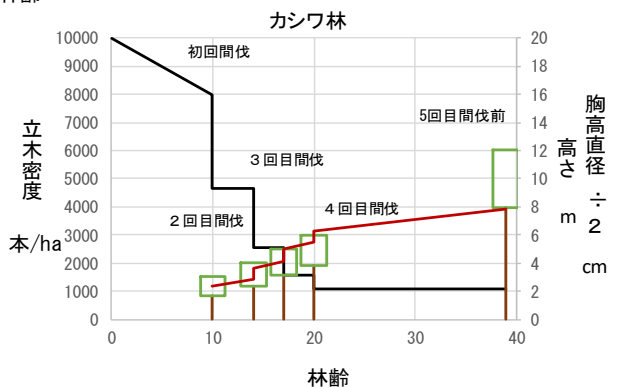


図 1 6 カシワ海岸林の施業体系図

3) 結果と考察

クロマツとグイマツでは、間伐後から次の間伐前にかけて減勢効果が大きくなり、間伐後に小さくなるというサイクルを繰り返しつつ、徐々に減勢効果が小さくなる傾向が見られる (図 1 7)。立木密度が高く、枝葉の量が多い場合に減勢効果が高くなっていると考えられる。カシワではやや不規則な変化を示した。クロマツ、グイマツでは樹木の被害は全て根返りであったのに対し、カシワでは時間とともに根返りから幹折れに変化する傾向がある。根返り被害では樹木の抵抗が減少するものの被害後も減勢

効果が発揮されるが、幹折れでは残存部分のみ抵抗を發揮する。また、時間とともに被害を受けにくくなる一方、枝下高が上がり抵抗となる枝葉の量が減る。これらの要因により、カシワでは複雑な変化を示したものと考えられる。減勢効果はグイマツ、ク

ロマツ、カシワの順に小さくなる。林帯幅が広いほど、津波高が低いほど減勢効果は大きい。

地域の防災計画を考える上では時系列変化はそれほど大きくなく、樹種、津波高、林帯幅により減勢効果はほぼ決まると結論付けられる。

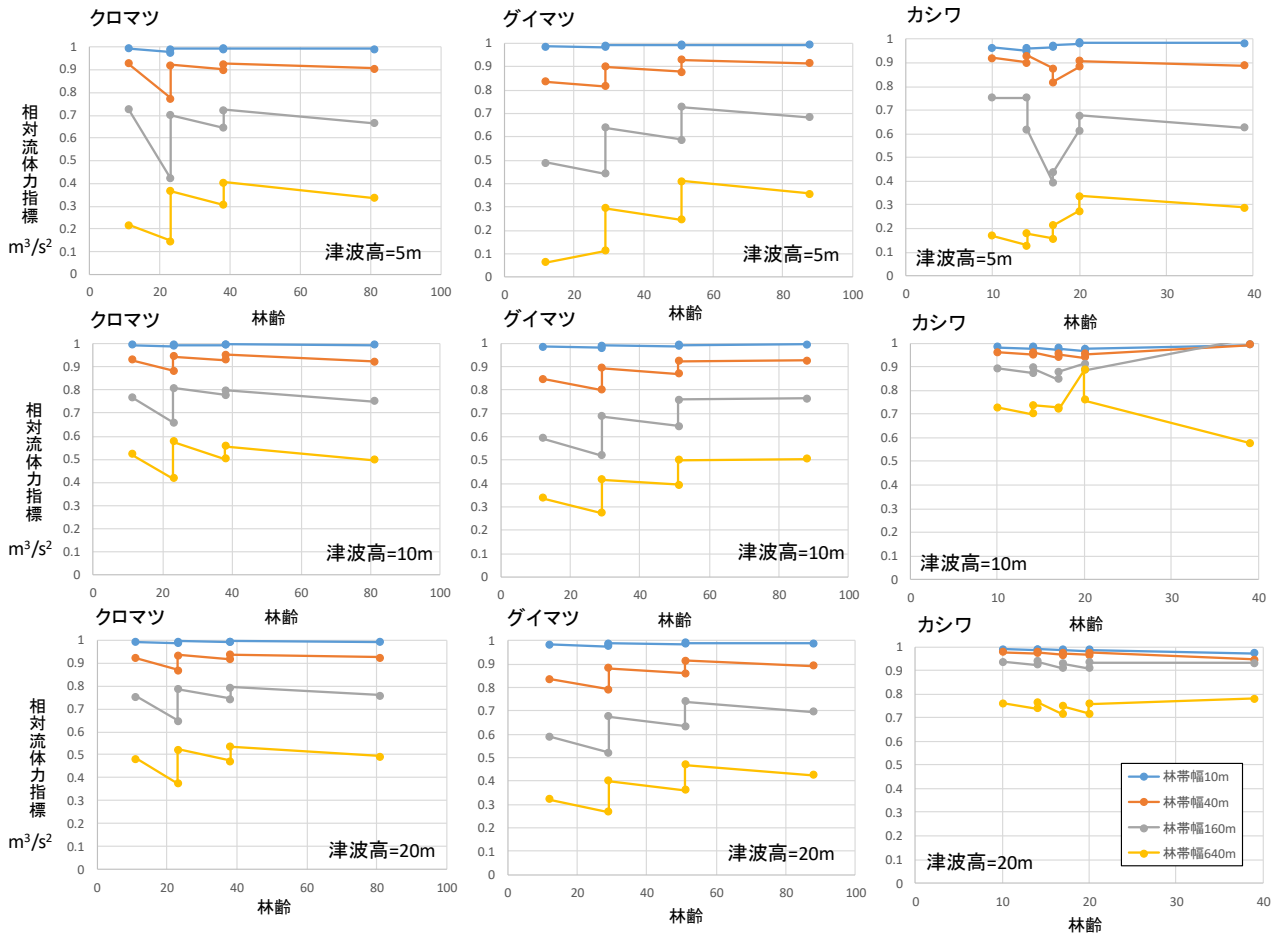


図 1 7 3 樹種の海岸防災林の相対流体力指標の時系列変化

*流体力指標=水深×流速² で示される流れの勢いを示す指標。

*相対流体力指標=図 13 の減勢効果出力位置での林帯がある場合の流体力指標/林帯が無い場合の流体力指標

4 津波対策決定プロセスを支援する防災計画の定量的評価手法の開発

(1) 概要

津波対策は、防潮堤や海岸防災林などの構造物により津波の浸水を防ぐ方法や速やかな避難体制の構築、浸水域外への移転など多様な手段が考えられる。市町村は、このような複数の対策から、地域の実情や必要な予算などの多くの条件を考慮して対策を決定する必要がある。それぞれの対策を実施するためには、様々な評価基準があり、このような評価基準における意思決定手法として AHP (Analytic Hierarchy Process : 階層分析法) を用いることができる。AHP を用いて問題を解決するためには、まず問題の要素

を「総合目的」－「評価基準」－「代替案」の関係でとらえ階層構造を作り上げ、評価基準を一对比較し、代替案の総合評価を行うことで津波対策を決定する。

(2) 津波対策の階層構造

ここでは、津波対策を決定することが目的であることから、代替案として津波対策を置く。この津波対策を評価する基準は、「人的リスク低減」、「予算化」、「対策時間」、「関係者との調整」とする。図 1 8 に優先度評価の階層図を示す。

なお、ここでの津波対策の項目は、表 1 2 に示す平成 2 6 年 3 月に中央防災会議が公表した「大規模地震防災・減災対策大綱」の (2) 津波対策に記載

されている項目から、市町村が検討可能な対策を選択するものとする。

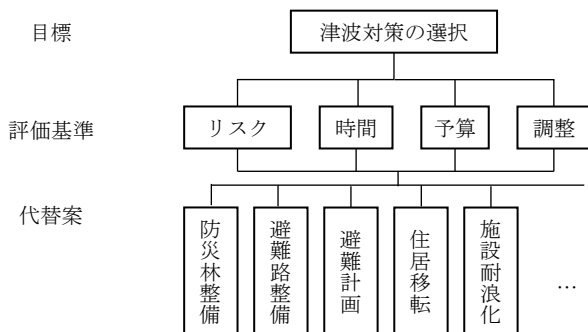


図 1 8 津波対策の階層構造

表 1 2 津波対策の項目（代替案）

津波につよい地域構造の構築	避難の確保
水門・陸閘の操作体制、海岸防災林の整備、交通インフラを活用した二線堤の整備、建築物の耐浪化、施設配置の見直し、避難路・避難階段・避難場所の整備、住居の移転土地利用計画の策定、津波災害特別警戒区域の指定	津波ハザードマップの作成・見直し・周知、海拔表示や誘導標識等の現地表示、施設への助言又は勧告、津波避難計画の策定、避難支援体制の確立（退避ルールの確立・避難誘導従事者の安全確保）、自動車避難による避難計画、津波の危険性や避難路・緊急避難場所等に関する情報の周知、来訪者に対する避難環境を整備するとともに誘導体制の強化、避難場所等の再点検・安全確認

(3) 評価方法

各評価基準の項目の重要度を一対比較し、各評価基準の重み係数を求める。次に代替案同士を比較するのであるが、ここでは絶対評価法⁵⁾を用いる。この場合、各代替案である津波対策の各項目を評価基準で比較することとなる。ここでは、各評価基準に関する絶対低評価水準を表 1 3 のとおり設定した。なお、各評価基準は、表 1 4 に示す評価水準とし、表の上から 0.648、0.230、0.122 とした。

表 1 3 各評価基準の評価水準

リスク低減	時間	予算化	調整
かなり大きい	1年以内	容易	不要
大きい	4年以内	可能	内部
若干	それ以上	困難	外部

表 1 4 評価水準のペア水準（リスク低減の例）

	かなり大きい	大きい	若干
かなり大きい	1	3	5
大きい	1/3	1	2
若干	1/5	1/2	1

この評価水準で、津波対策を評価することで、代替案の評価値が決定される。次に各評価基準の重み係数を順じ掛け合わせることで、検討している津波対策の優先度を評価することが可能となる。

5 地域における計画策定を通じた実証的展開

(1) 実証地域

本研究では、具体の市町村と連携し、上記の研究内容の検討を進めるとともに、地域の津波に対する課題の解決を実証的に進めることとした。この実証的展開を図る地域として、日本海側に位置する神恵内村及び八雲町熊石地区、太平洋側に位置する厚岸町及び釧路市音別地区と連携をして研究を進めた。なお、神恵内村と厚岸町とは連携協定を締結している。ここまで述べた研究内容以外で、各地域で検討した津波対策は次のとおりである。

神恵内村：津波避難ビルとしての役場庁舎の設計支援、避難訓練の実施による避難行動の可視化、避難階段の設計支援、避難計画の作成支援

八雲町熊石地区：避難訓練の実施による避難行動の可視化、避難計画の作成支援、住民を対象とした研修会の開催

厚岸町：小中学校の避難訓練の分析、自動車避難の検討

釧路市音別：海岸防災林の津波減衰効果の検討、海岸防災林の改良工事を活用した防災教育

また、これらの地域に共通で実施した避難訓練データを防災教育に活用するため、避難訓練可視化システムの開発を行った。

(2) 津波遡上データを援用した避難訓練可視化システムの開発

1) 可視化システムの目的

防災訓練や教育機関などで実施される学習指導の中では準備・実施時間が限られており、効率的に情報を収集し活用する手段が求められている。そこで避難訓練結果とともに災害関連情報を可視化するシステムを開発し、避難訓練の参加者に対して速やかに訓練結果をフィードバックし防災教育に活用する。

2) 避難訓練可視化システムの概要

本研究で開発する避難訓練可視化システムは、LAMP (CentOS、Apache、mysql、PHP) で構成される Web アプリケーションである。サーバは民間の VirtualPrivateServer (VPS) の利用し、インターネットを通して PC のブラウザで避難訓練結果を可視化できるように構築する (図 1 9)。

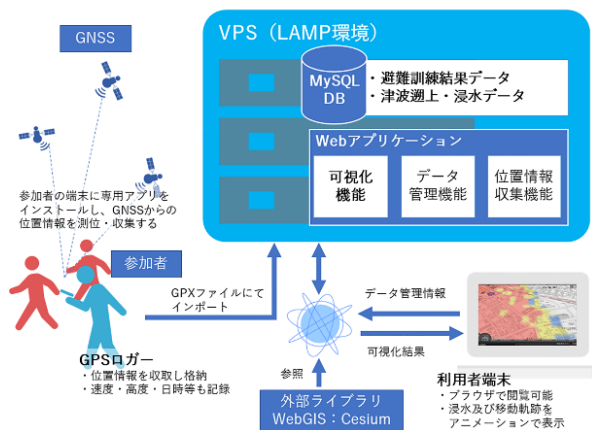


図19 避難訓練可視化システムの概要

地図及び避難訓練参加者の行動軌跡を表示する地図エンジンには Cesium.js を利用する。ブラウザ上に地図を表示するフリーのライブラリには OpenLayers や Leaflet が利用されることが多いが、この Cesium は先の2つのライブラリに対して時間属性を持つダイナミックデータを扱うことに秀でている。この強みを活かし避難軌跡及び災害関連情報を時間経過とともにアニメーション表示することによって、避難訓練結果をより直感的に把握することができるようにする。また Cesium は標準で地図の3D表示を可能としているため、参加者による多面的多角的な訓練結果の確認及び評価が期待できる。

3) 避難訓練の軌跡情報収集

軌跡情報の収集に関して、本システムでは2つの方法での収集が可能である。1つはGPSロガーによって収集された位置情報をGPX形式にてエクスポートし、それをシステムに取り込む方法である。もう1つは専用のスマートフォンアプリを利用することによって、スマートフォンが位置情報を収集し、直接サーバに送信する方法である(橋本・塩崎, 2019)。

4) 災害関連情報の利用

使用するデータは北海道総務部危機対策局危機対策課により作成された太平洋沿岸部及び日本海沿岸部における津波遡上に関する想定データ(以降、「津波遡上データ」と呼ぶ)である。このデータに対して10メートルメッシュ毎に位置情報及びID情報を加え、1cm、20cm、30cm、100cm、200cm、最大浸水深に達する時間を秒単位で付与しデータベースに格納する。可視化に際しては、システムがmysqlのジオメトリ演算関数を用いて対象範囲内の遡上データを読み出し、Cesiumが読み込むCZML形式のファイルを作成する。遡上データが記載されたCZMLファイルをCesiumが読み込むことによって、津波浸水

の様子を秒単位のアニメーションで再現することができる。軌跡情報及び災害関連情報をオーバーレイするベースマップには地理院地図を利用する。

5) 避難訓練結果の可視化

① 速度に応じた参加者の避難軌跡表示

本研究は北海道沿岸部の複数の自治体と協力し、避難訓練の基礎データを収集した。これらの結果を本システムによって可視化した結果を見ていく。まず2018年1月17日に北海道神恵内村で行われた訓練結果を可視化した(図20)。ここでは参加者をサークルで表示し、時間経過と共に避難する様子を津波の遡上の様子を合わせて表示した。サークルは参加者の速度によって色が変わるようにした。ここでは低速を青、中速を緑、高速を赤とした。避難を開始した参加者の表示は一律に赤となっており、避難速度が速いことがわかる。また特定の時間をクローズアップすることにより、素早く避難行動に移った参加者と、若干遅れて避難した参加者など、参加者毎の避難行動の差異を把握することができた。

そして津波浸水の様子を合わせて可視化することにより、参加者は避難所に向かってはいるものの、同時に浸水の開始地点に近づいていることなどを把握することができた。津波浸水の様子と避難行動を客観的に確認することによって、本システムは避難開始が遅れた際の避難行動を考える1つの契機を与えることができるのではないかと考える。



図20 神恵内村の避難訓練結果

② 3次元ラインデータを用いた軌跡情報及び速度の表示

2018年10月27日の北海道厚岸町及び2019年2月6日の北海道八雲町熊石地区で行われた避難訓練の可視化では、新たに避難軌跡を線形で表示する機能を付け加え、さらに色で示していた速度情報を3D地図のZ軸を利用して可視化した(図21、22)。奥野ほか(2015)はZ軸に歩行速度を表示し、夏季

と冬季の避難実験結果を同時描画することにより、季節による避難速度の違いなどを明らかにした。他者や過去の結果と比較する上でも有効な機能であると考えられる。

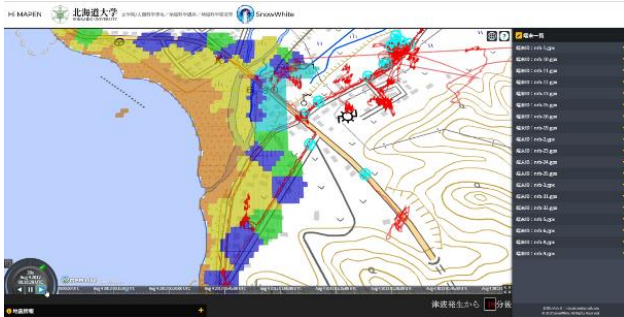


図 2 1 八雲町の避難訓練結果

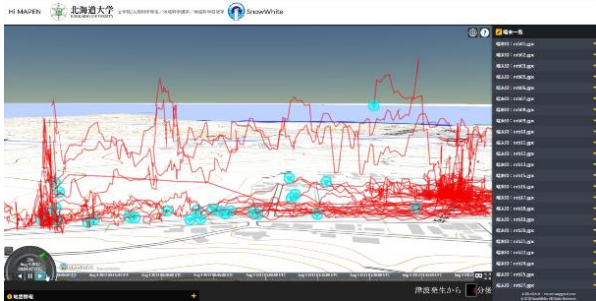


図 2 2 厚岸町の避難訓練結果

システムとしてはこれまで個別のデータとして表示されていた複数の位置情報が、ラインデータというひとまとまりのデータとなったことでブラウザにかかる負担を軽減することができ、より多くのデータを可視化することが可能となった。またラインデータを用いることにより軌跡の連続性が地図上に保たれ、参加者が自身の避難経路を地図とともに確認できるようになった。

そして速度を付け加えることにより、経路上のどのような場所で避難速度が落ちたかを確認し、参加者自身で対策を考えることも可能とした。

③広範囲な津波遡上データの可視化

2019年10月10日に神恵内村で行われた避難訓練の可視化では、より広範囲な津波情報のオーバーレイを行った(図2-3)。具体的にはこれまでの可視化は海岸線からの浸水情報を表示していたが、ここに沿岸部近海の津波遡上データを追加した。これにより陸域での浸水の様子だけでなく、津波が海域でどのように変化し、陸域に到達するかを確認することができた。このような津波の特徴を可視化することにより、避難行動だけではなく避難完了後の行動も

考えるための1つの資料となることが期待される。



図 2 3 海域の津波遡上データの可視化

4)可視化システムのもつめ

可視化システムに関しては、誰でもどこでもインターネットで素早く避難訓練結果を確認でき、避難訓練後の防災教育の現場や振り返りに活用できるものとなった。

軌跡の可視化に関しては、表示情報を増やすことによって、避難速度が遅くなる地点や滞留ポイントなどを確認することができるようになった。

避難訓練結果と津波遡上データとの地図上での合成に関しては、運営者や参加者が自分達の避難訓練が適切であったか検討できるようになった。また、システム上で避難開始を早めたり遅らせたりすることで、より適切な避難行動を考えるツールとしても有効であった。

最後に、より広範囲な津波遡上データの可視化に関しては、俯瞰して逃げる方角や避難完了までの時間を検討することができるようになった。

(3) 神恵内村での実証的展開

1) 役場庁舎の設計支援

神恵内村では村の中心部にある役場庁舎の耐震性が問題となったことから津波避難ビル機能を持たせた役場庁舎として浸水想定区域内に移転新築されることとなり、この役場庁舎の設計支援を行った。

最初に浸水域と土砂災害警戒区域から避難ビルとして適切な建設候補地を提示した。更に、津波避難ビルとして機能するために次の基本コンセプトを示した。

- 津波の衝撃力や漂流物を受け止めずに、いなすビロティ
 - 地中熱を利用した空調で冬季の避難時でも暖かさを確保
 - 人を滞留させないスムーズな避難経路の計画
- このようにして設計された庁舎を図2-4に示す。



図 2 4 神恵内庁舎のイメージ図

また、庁舎に設置する防災スピーカーに関して、建設予定地で複数スピーカーの鳴動試験を実施し設置するスピーカーの仕様を示した。さらに防災スピーカーが聞こえない場合を想定し、光による庁舎への誘導システムを提案している。光誘導システムは、避難行動の最中に津波到達までの残り時間から、冬期間の避難に適している役場近庁舎に避難するのか、近場の屋外避難場所に避難するのかを伝えることを想定している。誘導イメージを図 2 5 に示す。

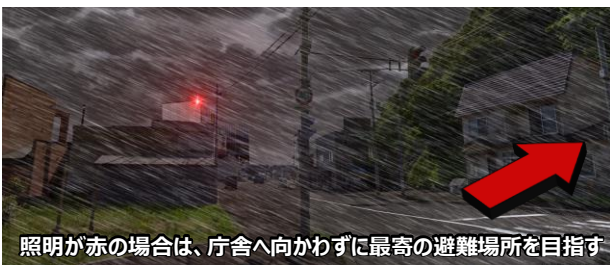


図 2 5 光による誘導システムのイメージ

図 2 6 に示した各地域の最寄りの避難場所を見ると避難行動の分岐点となる場所があることがわかる。本誘導システムは、避難行動時にその地点に到達している避難者に情報を提供することが目的である。

なお、光による誘導システムの実装は役場庁舎建設後に具体的検討を進めることになっている。



図 2 6 光誘導システムの情報提供位置

2)避難階段の設計支援

神恵内村では赤石地区に安価に設置できる仮設資材を活用した避難階段を新たに設置することとなった。本避難階段は、仮設資材の利用や、防風ネットの利用などにより安価でかつ風雪対策を施したものである。避難階段の設計にあたり、地震による急傾斜地崩壊危険度を評価し、設置位置を確定させるための情報を提供した。なお、図 2 7 に最終的な設置位置と急傾斜地崩壊危険度の図を、写真 7 に整備された避難階段を示す。避難階段は急傾斜地崩壊危険度が地域の中で低い位置に二箇所整備された。

3)避難計画の作成支援

これまでの研究成果を用い、神恵内村で想定されている津波における人的被害の評価と避難困難地域のマップを作成した。被害評価の結果の例を表 1 5 に作成した避難困難地域の例を図 2 8 に示す。

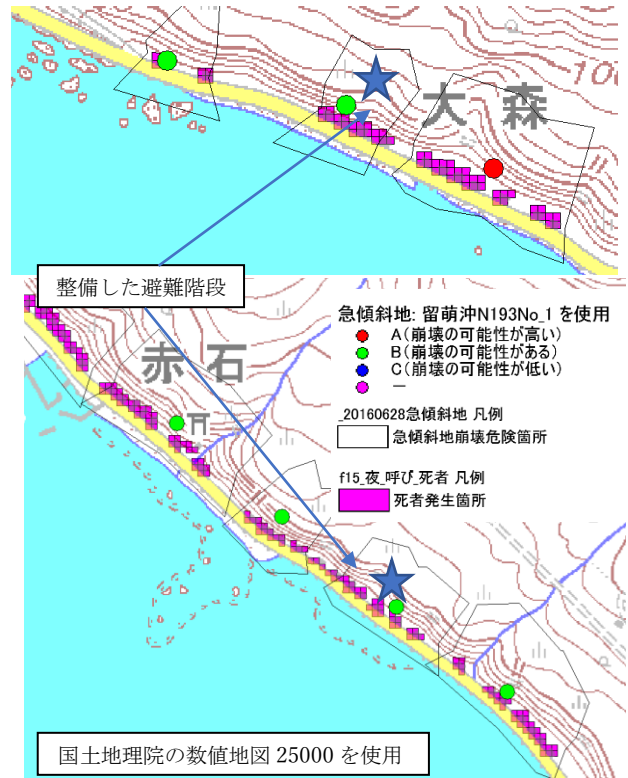


図 2 7 避難階段整備位置



写真7 整備された避難階段

表15 人的リスク評価結果の例 (人)

震源モデル	F14S12		F15	
	昼間	夜間	昼間	夜間
要避難者数	489	550	493	553
迅速化	6	14	6	13
呼びかけ	116	152	102	139
避難率高	130	162	121	154
避難率低	342	413	319	395



図28 避難困難地域の例(夜・用事後避難)

(4) 八雲町熊石での実証的展開

1) 避難計画作成支援

神恵内村と同様に避難計画作成のために想定地震に対する人的被害の評価及び避難困難地域のマップを作成した。被害評価の結果の例を表16に、作成した避難困難地域の例を図29に示す。

表16 人的リスク評価結果の例 (人)

震源モデル	F17		F18	
	昼間	夜間	昼間	夜間
要避難者数	1,096	1,050	1,281	1,276
迅速化	1	8	793	945
呼びかけ	319	308	889	1,004
避難率高	320	309	901	1,011
避難率低	853	812	1,084	1,122

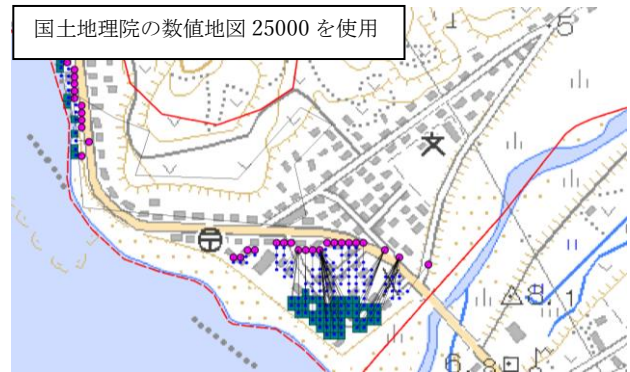


図29 避難困難地域の例(夜間・用事後避難)

2) 住民を対象とした研修会の開催

八雲町熊石地区では、避難訓練の結果や人的リスク評価の結果を住民に伝えるための研修会を3回開催した。開催した研修会の概要を表17に示す。

表17 研修会の概要

日時	H30.11.29	R1.11.8	R1.11.9
名称	八雲町熊石地区防災力向上研修会		関内町内会ふれあいサロンの会
概要	・熊石地域の津波浸水区域と津波防災対策 ・避難所運営ゲーム北海道版「Doは結ぐ」体験	・津波避難訓練の結果報告 ・集落孤立への対応に関する調査 ・意見交換会(WS)	・防災講話 ・防犯講話 ・健康講話

(5) 厚岸町での実証的展開

1) 小中学校の避難訓練の分析

厚岸町では、町南部の湖南地区での浸水被害が懸念されることから、地域の小中学校で避難訓練を実施している。H30.10.27に実施した厚岸小学校・厚岸中学校の避難訓練において、児童・生徒にGPSを所持してもらい避難速度を計測するとともに避難上の課題を整理した。表18に測定した避難速度を示す。

当該地域への津波到達時間は地震発生後 39 分であり、避難訓練の放送開始から避難完了まで 10 分以内で終わっていた。ただし避難行動の様子を詳細に観察すると、避難目標地点に近づくと先頭の色が遅くなりそれにつられて後続の避難者の速度が低下することや避難高台の階段周辺で、避難者の滞留が発生するなどの課題があった（写真 8）。

表 1 8 避難速度

	速度(m/sec)
小1～2平均避難速度(m/s)	2.0
小3～4平均避難速度(m/s)	2.3
小5～6平均避難速度(m/s)	2.5
中学生平均避難速度(m/s)	2.9



写真 8 避難階段付近の滞留

2)自動車避難の検討

厚岸町では津波到達まで時間があることや過去の避難行動から自動車避難が発生することが想定される。ここでは自動車避難の渋滞状況のシミュレーションを行った。使用したプログラムは構造計画研究所のマルチエージェントシミュレーター artisoc2.0 を用いた。マルチエージェント・シミュレーションとは個々のエージェントが独自のルールを持って行動し、相互作用した結果を分析する方法である。

厚岸町湖南地区を対象に、都市計画基礎調査の建物所在地に自動車を配置し、高台の避難目標地点に向けて 30(km/h)の速度で最短経路を通過するように設定した。そして自動車間の距離が一定以下となった場合に渋滞時の速度（10km/h）まで減速し、自動車の色が赤に変わるようにしてシミュレーションを行った。自動車が全住宅に 1 台ずつ配置し合計 335 台としたケースの渋滞発生状況を図 3 0 に示す。このケースでは全車が避難完了するまでに 20 分程度かかっている。避難開始までの時間ロスを見ると危険な状況であることがわかる。自動車避難をする

場合には、地域住民が協同して使用可能な台数を制限することなどによって避難状況がどう変化するか本手法でシミュレーションすることで自動車避難の実施方法を検討することが可能になる。

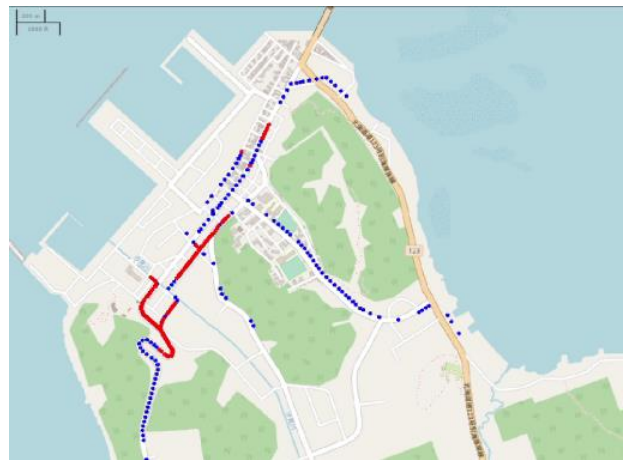


図 3 0 自動車避難シミュレーション

(6) 釧路市音別での実証的展開

1) 釧路市音別における海岸防災林の津波減勢効果

①方法

釧路市音別町には汀線－内陸方向の幅 100m、汀線方向の延長 1000mの海岸防災林が存在する。道と市では防災林の機能を高めるために林帯幅を拡張する計画（図 3 1）が進行していた。本研究では拡張工事に先立ち計画の効果を定量化し、計画の事前評価を行った。音別町市街地への L2 津波（北海道総務部危機対策局危機対策課、2012）の遡上について二次元長波方程式を用いて計算した。詳細は君和田ほか（2018）¹¹⁾を参照のこと。計算は「林帯無し」、「現況林帯有り」、「改良後林帯」の 3 ケースで行った。

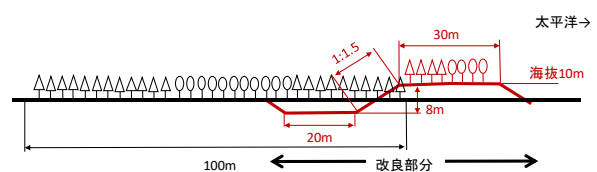


図 3 1 釧路市音別町の海岸防災林の改良計画。黒字が現況、赤字が改良後を示す。

②結果と考察

「林帯無し」の流体力指標を 100%とした相対流体力指標は「現況林帯有り」では 90%以上のエリアがほとんどを占め、津波減勢効果は小さかったが、「林帯改良後」では 60～90%のエリアが市街地の大半を占め効果が大きかった（図 3 2）。また、津波の「林帯無し」の到達時刻に比べた「現況林帯有り」の到

達時刻の遅れは 60 秒以下と小さかったが、「林帯改良後」では 60 秒以上のエリアが市街地中心部に広がり、避難時間の増大につながった。

以上の防災林改良工事の効果を事前に釧路総合振興局や釧路市音別町に伝えることで、計画が事業に結び付いて実証的展開が図られた。

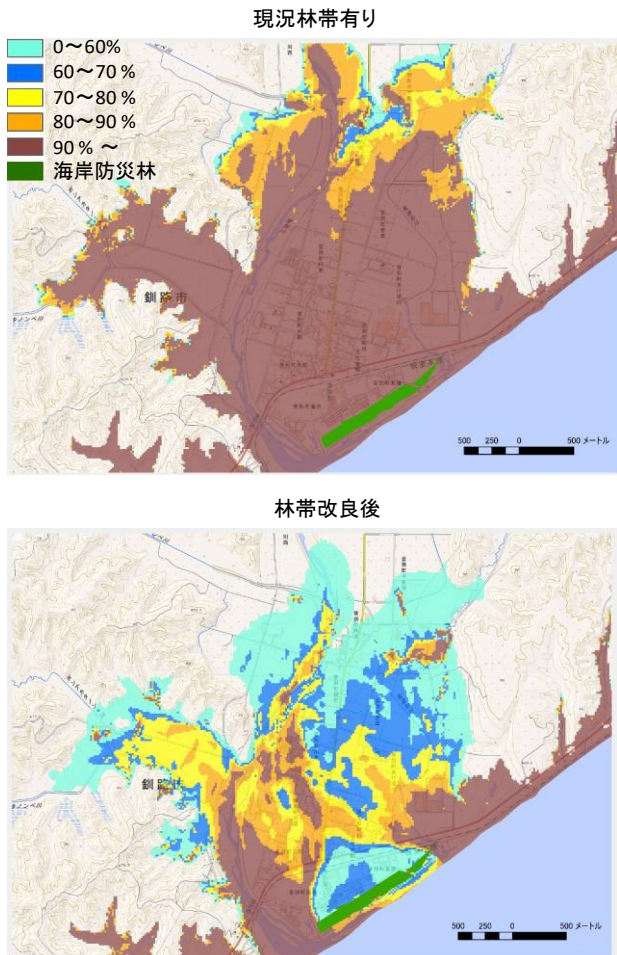


図 3 2 釧路市音別市街地での相対流体力指標分布

2) 釧路市音別における海岸防災林の改良工事を活用した防災教育

防災林の改良工事を地元住民の防災意識の啓発に結び付けるために、音別小学校 5、6 年生を対象に室内での森林、防災に関する授業、改良工事の盛土上への植樹体験を行った。室内授業および植樹体験は 2019 年 6 月 13 日に行った。参加者は 5 年生 12 名、6 年生 5 名の計 17 名であった。室内では 45 分間で①風や津波などを弱める森の働きについての説明をし、②模型実験により森が津波を弱めることを体験してもらい、③音別町の海岸林が津波を弱める働きについての説明を行った。授業終了後に海岸防災林の盛土上へ移動し、釧路総合振興局森林室音別事務所の職員による木育教室が紙芝居方式で行われた後、

一人 1 本ずつ植樹を行った。授業後に児童にはアンケートにより、担任の先生には聞き取りにより、防災や森林に対する教育の効果を確かめた。

参加児童へのアンケートでは、室内や野外での木育授業は「わかりやすかった」が多数を占め、それ以外も「ふつう」で、「わかりにくかった」という回答はゼロであった(図 3 3)。授業の前後では森林や津波防災に対する気持ちはいずれも「大きく変わった」という回答が多数を占め、それ以外も「少し変わった」で、「変わらなかった」という回答はゼロであった(図 3 4)。自由記載回答は、森林の津波減勢効果について初めて知った、森林の公益的機能について理解が深まり、森林を大切にし、増やすべきだとの回答が多かったが、津波規模が大きいことについての恐怖を感じた回答もあった。

担任の先生への聞き取りでは、室内授業はわかりやすく良かったが、外での紙芝居は小さくて見づらかった、色弱の児童にはわかりづらい図があった、津波実験装置は造波部分が改良されれば良い、来年度以降も続けてほしい、などのコメントがあった。

以上より、海岸防災林の改良工事を活用した津波防災教育には一定の効果があったと考えられ、地域防災力を高めるという意味で地域への実証的展開が図られたと言える。

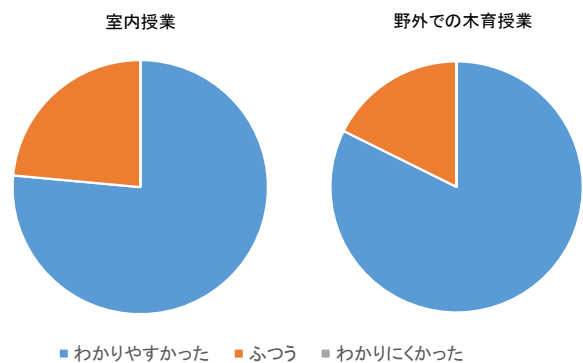


図 3 3 室内授業、野外授業のわかりやすさ

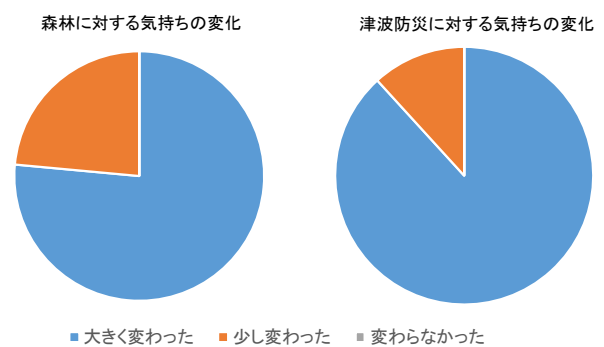


図 3 4 授業前後の津波防災に対する気持ちの変化

6 まとめ

本研究の成果は次のとおりである。

- ・避難路の安全性を定性的に評価する手法を開発した。
- ・積雪期避難実験から積雪期の避難速度を明らかにした。
- ・上記の結果を用いた人的リスクの評価法を提案し、地域の危険地域を特定した。
- ・2050年までの人口推計値を用いた人的リスクの経年変化を予測した。
- ・海岸保全施設等の整備による津波の勢いの変化予測を行った。
- ・AHPを用いて複数の津波防災対策の優先度評価手法を提案した。
- ・避難訓練の結果を可視化するシステムを開発した。
- ・神恵内村において、防災庁舎の設計及び避難階段の設置に研究成果を活用した。
- ・八雲町熊石地区では、住民向けの研修会を開催し研究成果の普及活動を行った。
- ・厚岸町では、小中学校の避難訓練における課題を整理するとともに、自動車避難のシミュレーションを行った。
- ・釧路市音別町では、海岸防災林の津波減衰効果を示すとともに、海岸防災林を防災教育のツールとして活用した。

今後は、これらの成果を踏まえ、道内市町村に普及展開をしていく予定である。これにより、市町村の津波避難対策の効果を評価できることになり、津波発生時の人的被害低減に資することが可能である。

[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：南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要、2012。8。29。
- 2) 北海道総務部機器対策局危機対策課：太平洋沿岸に係る津波浸水予測図作成業務、2012。6
- 3) 北海道：北海道日本海沿岸の津波浸水想定公表について、http://www.pref.hokkaido.lg.jp/kn/sbs/nihonkai_tsunami-sinnsuisoutei.htm、2017。2。
- 4) 五十嵐善哉・座波健仁・田中規夫・佐藤創・鳥田宏行（2018）クロマツ防潮林の間伐と成長段階に応じた津波減勢効果と樹木破壊割合の変化。土木学会論文集 B2、Vol. 74、No. 2、I_229-I_234。
- 5) 木下栄蔵：入門 AHP 決断と合意形成のテクニック、日科技連
- 6) 大越匡、米澤拓郎、山本慎一郎、中島円、神武直彦、栗田治、中澤仁、徳田英幸。EverCuate：ユーザ非同期参加型津波避難訓練システム。情報処理学会論文誌、2016、vo. 57、No10、p. 2143-2161。
- 7) 孫英英、矢守克也、鈴木進吾、李菓昕、杉山高志、千々和詩織、西野隆博、卜部兼慎：スマホ・アプリで津波避難の促進対策を考える：「逃げトレ」の開発と実装の試み。情報処理学会論文誌、2017、vol. 58、no. 1、p. 205-214。
- 8) 生富直孝、浅田拓海、Chawis Boonmee、有村幹治：避難訓練プロンプトデータを用いた地域防災教育支援ツールの構築。土木学会北海道支部論文報告集、2016、52、p. 265-270。
- 9) 橋本雄一、塩崎大輔：津波浸水想定データを援用した避難訓練可視化システムの開発と利活用。地理情報システム学会講演論文集、2019、28。
- 10) 奥野祐介、橋本雄一：積雪寒冷地における疑似的津波避難に関する移動軌跡データ分析。GIS-理論と応用、2015、23(1)、p. 11-20。
- 11) 君和田佑弥・田中規夫・佐藤創・座波健仁・五十嵐善哉（2018）既存海岸林の海側スペースに堤防と堀を導入するハイブリッドな津波減衰手法に関する研究。土木学会論文集 B1(水工学)、Vol. 74、No. 5、I_1243-1248。