

釧路市低平地における避難条件の変化が 津波避難可能範囲に及ぼす影響の検討

齊藤 剛彦¹・清水 俊明²・宮森 保紀³

¹正会員 北見工業大学助教 工学部社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)
E-mail:saitota@mail.kitami-it.ac.jp

²正会員 日本工営株式会社 交通運輸事業部 (〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2)
E-mail:a7905@n-koei.co.jp

³正会員 北見工業大学准教授 工学部社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)
E-mail:miyamoya@mail.kitami-it.ac.jp

本研究では、釧路市の低平地を対象に、現地調査により避難可能構造物の選定を行い、既存構造物を利用した津波避難の可能性について、避難の条件を複数設定してその影響を検討した。積雪寒冷地における冬季の津波避難を想定したところ、歩行速度と収容人数が減少したことにより大幅に避難可能範囲が縮小した。また、早期避難と構造物の収容力の確保を想定したところ、避難時間と収容人数が増加したことにより避難可能範囲が大幅に拡大した。そこで、避難開始時間を地震直後から津波襲来の直前まで変化させたところ、カバー率の低下の傾向は地区によって異なることが分かった。避難訓練などにより避難開始時間が早まることが期待されるが、地区によっては早期避難だけでは解決できない可能性がある。

Key Words : tsunami evacuation, field survey, evacuation conditions, Kushiro City, GIS

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震を契機に、各地で津波想定の見直しが進められている。中央防災会議は東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会¹⁾にて、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討することを挙げている。この報告を踏まえ、北海道に大きな被害をもたらすと考えられる千島海溝沿いを震源とする地震、津波については、日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会²⁾にて想定すべき最大クラスの地震・津波断層モデルの設定方針、同モデルによる津波・地震動の推計等の検討が行われている。

これに先立ち、北海道防災会議³⁾より2012年6月にM9クラスの地震による津波浸水深予測図が公表され、北海道の各自治体はこれを基に対策を進めている。例えば、釧路市⁴⁾では、北海道防災会議の津波想定に基づき、2013年8月にハザードマップを更新した。この中で釧路市⁴⁾は「最大クラスの津波の場合、海に面した平野部の市街地全域が浸水すると考えられ、多数の住民が津波到達時間までに避難対象地域の外に避難することが難しい状況になることを受け、避難対象地域内に津波緊急避難

施設を配置することとし、その施設の浸水深さに対する高さ的な安全性や構造的な安全性を確認します。また、原則として、避難対象地域のどこからでも1km以内に緊急避難場所又は津波緊急避難施設があるように配置します。」としている。この方針のもと、津波に対する避難先として、情報機器や食料等を備蓄し、津波が引いた後の避難にも活用する緊急避難場所及び津波緊急避難施設、また、津波をやり過ごすために緊急に避難する津波避難ビルを指定し、その数を大幅に増やしている。しかし、釧路市によって指定された避難施設以外にも、想定浸水深より高い構造物が存在しており、これらも津波避難ビルとして併せて活用することで、より避難の可能性が高まると考えられる。

こうした中、著者らは釧路市を対象として津波避難に関する検討を続けてきた。宮森ら⁵⁾は釧路市における巨大大津波に対する津波避難の基礎的検討として、公表された津波浸水深予測図を基に、釧路市の一部地域を対象に避難に利用可能な構造物の調査を行っている。またそれらの避難可能構造物を利用した際の避難の可能性を検討している。また、齊藤ら⁶⁾では、宮森らでの検討を旧釧路市の低平地に広げ、現地調査により避難可能構造物の選

定を行い、既存構造物を利用した津波避難の可能性について検討している。さらに、地震動による構造物の被害に着目し一部の避難可能構造物が地震動により被害を受け、津波避難に活用できないとした場合、避難可能性に与える影響を検討している。

これらの検討で用いた避難可能範囲は歩行速度、避難に使用できる時間などを設定し、算出しているが、東日本大震災における津波避難の調査結果⁷⁾が報告され、東日本大震災の実例に基づく検討ができるようになった。さらに、これらの要素は季節変化や住民の避難意識によって異なると考えられる。

そこで、本研究では、釧路市低平地における既存構造物を利用した津波避難について、まず、東日本大震災の実例に基づき避難の可能性を検討する。さらに、季節変化や住民に避難意識による、避難に係わる条件を変化させることで、津波避難の可能性に与える影響を検討する。これらの分析・検討を行うことで、釧路市低平地における潜在的な津波避難の可能性を明らかにする。

2. 避難可能範囲の検討方法

本研究における避難可能範囲は各構造物の避難可能距離を算出し、各構造物を中心、避難可能距離を半径とする円を地図上に示すことで求められる。各構造物に対する避難可能距離の算出方法には、歩行速度に基づく距離と構造物の収容力に基づく距離があり、参考文献8), 9)を参考に決定した。

まず、歩行速度に基づく避難可能距離については次の式(1)を用いて算出した。

$$L_1 = P_1 \times (T - t_1 - H/P_2) / 1.5 \quad (1)$$

ここで、

L_1 : 構造物に対する避難可能距離(m)

P_1 : 歩行速度(m/s)

T : 津波到達予想時間(s)

t_1 : 避難開始までにかかる時間(s)

H : 最大浸水深(m)

P_2 : 階段昇降速度(m/s)

避難可能距離 L_1 は歩行速度 P_1 に避難に用いることのできる時間を乗じ、1.5 で除したものである。避難に用いることのできる時間は、津波到達予想時間 T から避難開始までにかかる時間 t_1 と階段を浸水の及ばない高さまで上る時間（最大浸水深 H / 階段昇降速度 P_2 ）を減じたものである。1.5 は国土交通省⁷⁾を参考に直線距離を実際に避難する距離へと簡易的に変換したものである。

次に、構造物の収容力に基づく避難可能距離について

は次の式(2)を用いて算出した。

$$L_2 = \sqrt{\frac{C/D}{\pi}} \quad (2)$$

ここで、

L_2 : 収容力を考慮した構造物への避難可能距離(m)

C : 収容可能人数 (人) = 構造物面積(m²) × 避難可能階数 / 一人当たりの面積 (m²/人)

D : 地区人口密度 (人/m²)

避難可能距離 L_2 は収容力を考慮した避難可能距離であるため、構造物の収容力によって数値が異なる。 C/D は構造物に収容可能な地域面積であり、これを円形の面積へ変換し、円の半径としたものが避難可能距離 L_2 である。

避難可能距離 L_1 , L_2 のうち、値の小さい方を「避難可能距離」と定義する。

3. 対象地域における基本ケースの避難可能範囲

(1) 対象地域

本研究の対象地区は、釧路市の旧釧路市のうち、大楽毛地区、鳥取地区、愛国地区、鉄北地区、橋北地区とする。対象地区の地図¹⁰⁾を図-1に示す。

旧釧路市の地理的特徴として、南側は太平洋に面しており、北側の内陸部には広大な釧路湿原が広がっている。対象地区の東西は高台となっており、東側の高台は標高約 20m 以上で住宅地が広がり、西側の高台は小高い山のようになっている。東西の高台を除くと沿岸部から内陸部まで起伏が少なく、標高 5m 程度の低平地となっている。本研究の対象地区は南北に約 4km、東西に約 12km の低平地である。

対象地区の津波想定³⁾では、地震発生から 30 分後に津波第 1 波が来襲し、最大想定浸水深は海岸近くでは 10m 以上、内陸部でも 5m 以上で、浸水範囲は対象地区の外側の釧路湿原にまで及ぶ。避難対象者は約 12 万人である⁴⁾。したがって、津波到達前に徒歩で浸水範囲外や高台に避難することが困難と考えられる地区である。

(2) 避難可能構造物

著者らは 2012 年から 2013 年に現地調査を行った。現地調査では、構造物の高さを測定するためのレーザー距離計 Nikon LASER1000AS、構造物の状況と位置を記録するための GPS 機能付きデジタルカメラは CASIO EX-H20G 及び Panasonic DMC-TZ40 の 2 機種を用いて、調査対象地区における構造物の高さ・状況・位置を調べるとともに、屋上の状況、外階段などにより外部からの避難が可能かどうかを可能な範囲で調査を行った。元データ



図-1 対象地区の地図¹⁰⁾

として紙媒体で保存した構造物1棟ごとの調査記録は、全て統合しGIS上でデータベース化している。

避難先として構造物を選定する際に選定基準を設けるために、北海道防災会議³⁾で公表されている津波浸水深のGISデータから、各町の最大浸水深の値を選定基準とした。そのため、同じ地区においても、選定基準は違う値をとることとなる。調査により得られた構造物の高さデータと選定基準を比較したうえで、調査した全ての構造物を対象として避難先となり得るか選定する。その結果、対象地区で津波避難に活用できる構造物として、717棟を選定した。

(3) 基本ケースの避難可能範囲

避難可能構造物717棟に2章の方法から避難可能距離を算出し、避難可能範囲を示す。

本論文での基本となる避難可能距離を算出する際のパラメーターは以下のように設定する。

L_1 のパラメーターのうち、歩行速度 P_1 については参考文献7)を参考に、東日本大震災時の平均歩行速度0.62m/sとした。

避難開始までにかかる時間 t_1 は歩行速度 P_1 と同様に国土交通省⁷⁾の調査より東日本大震災における平均時間である22分(1320秒)を用いる。

津波到達予想時間 T については北海道防災会議による最大想定津波の第1波到達予測時間³⁾である32分から地震の揺れが収まるまでの時間を考慮し30分とした。

最大浸水深 H は構造物の選定にも用いた北海道防災会議³⁾のGISデータから読み取る。

階段昇降速度 P_2 は参考文献11)より0.21m/sとした。

P_1 や t_1 は4章で述べるケースによって設定し、 T 、 H 、 P_2 は全てのケースで同じ値を用いる。

L_2 のパラメーターについて、収容人数 C については、基盤地図情報¹²⁾で得られた構造物の面積に対して、避難場所として利用可能と考えられる階数(屋上含む)を乗じ、一人当たりの面積として3m²を除いた値を用いている。これは、構造物の床面積には、柱や壁など、実際には使用できないスペースを含んでいることを考慮して設定した。

また、地域人口密度 D については基盤地図情報における各地区の面積と釧路市統計書¹³⁾における各地区の人口から算出している。

C を算出する際の一人当たりの面積は4章のケースによって設定する。その他は固定である。

図-2に基本ケースの避難可能範囲、表-1に基本ケースのカバー率を示す。各ケースの避難可能範囲図において、橙色の円が避難可能範囲となっており、避難可能範囲の中心の赤い点が本研究の現地調査で選定した避難可能構造物である。黒線は各地区の区切り線となっている。また、カバー率は「避難可能範囲に覆われた面積/地区面積」としている。

図-2より、全域において避難可能範囲に覆われない面積(以下、避難困難地域とする)が多い結果となった。

図-2で5地区の最も西側の地区が大楽毛地区である。沿岸であり東西に広がる郊外地の大楽毛地区においてはカバー率が14%と最も低い結果となった。これは、大楽毛地区が最も面積の広い地区である反面、現地調査に

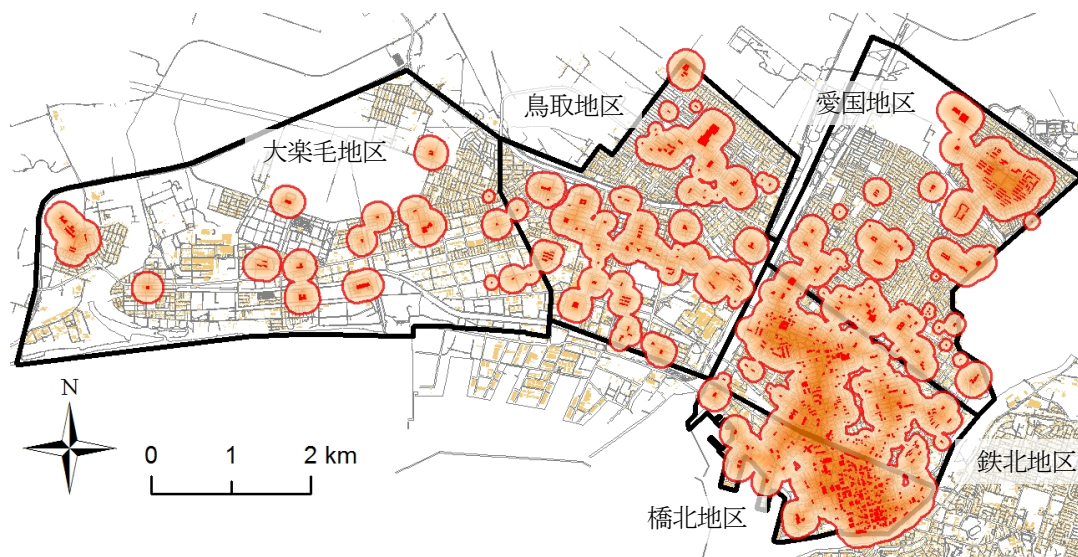


図-2 基本ケースの避難可能範囲

表-1 基本ケースの避難可能範囲による地域面積のカバー率

	大楽毛地区	鳥取地区	愛国地区	鉄北地区	橋北地区	全域
地区人口	17,556 人	30,176 人	38,735 人	21,589 人	5,413 人	113,469 人
地区面積	15.9 km ²	8.7 km ²	8.8 km ²	4.4 km ²	2.6 km ²	40.5 km ²
人口密度	1104 人/km ²	3470 人/km ²	4392 人/km ²	4904 人/km ²	2042 人/km ²	1104 人/km ²
選定構造物	24 棟	96 棟	135 棟	217 棟	245 棟	717 棟
基本ケース カバー率	14%	47%	43%	80%	85%	39%

より選定できた避難可能構造物が 24 棟と最も少ないためだと考えられる。大楽毛地区は人口密度が最も低く、病院や学校など収容力の大きな構造物の割合も高いため、個々の避難可能範囲は大きなものとなるが、構造物の全体数が少ないためカバー率は非常に低い値となった。地区を細かく見ると、阿寒川の西側である北西部には学校施設や公営住宅が立ち並んでいるが、南西部は水産団地という水産物の加工工場が多く高い構造物は見当たらない。地区の北部は主に空き地、原野となっており、避難可能構造物は学校施設が 1 棟のみである。地区の中央部や東部には共同住宅や学校施設、商業施設が数棟あるものの、棟数は非常に少なく、現状では歩行による避難は非常に困難な地区である。

図-2 で 5 地区の中央にあたる鳥取地区は選定した構造物の棟数が 2 番目に少ない地区であり、カバー率は 47% という結果となった。鳥取地区の北部には病院施設や大型ショッピングセンター、住宅地などが存在しており、主に住宅地が避難困難地域となっている。鳥取地区の南部では工場や商業ビルが存在し、国道 38 号線沿いは近隣商業地域¹⁴⁾であるため商業ビルが集中的に立ち並んでおり、沿岸部側は主に工場地であるが一部住宅地と

なっている。当地区では全域において住宅地となっている箇所が避難困難地域となっているが、避難可能構造物も全域に分布しているため、全域において避難可能構造物の有効利用を行うことで避難の可能性を向上させることに期待できる。

図-2 で北東部にあたる愛国地区について説明する。愛国地区におけるカバー率は 43% という結果となった。愛国地区の南部には商業施設が多数存在し、北東部には第 1 種中高層住宅専用地域¹⁴⁾に道営・市営住宅が 40 棟以上密集している。しかし、北西部は主に原野と戸建て住宅であり、高い構造物はほぼ存在しない。このように愛国地区における避難困難地域は主に住宅地、原野となっている。

図-2 で愛国地区の南に位置する鉄北地区ではカバー率は 80% となった。鉄北地区は最も人口密度の高い地区であり、現地調査により選定した避難可能構造物の棟数が 217 棟と多く、全域に商業ビルや高層の共同住宅が分布している。釧路圏都市計画図¹⁴⁾によると、当地区は第一種住宅地域、近隣商業地域、第 2 種中高層住宅専用地域などが混在している。そのため、多様な構造物が地区全域に万遍なく広がっており、カバー率が高い結果と

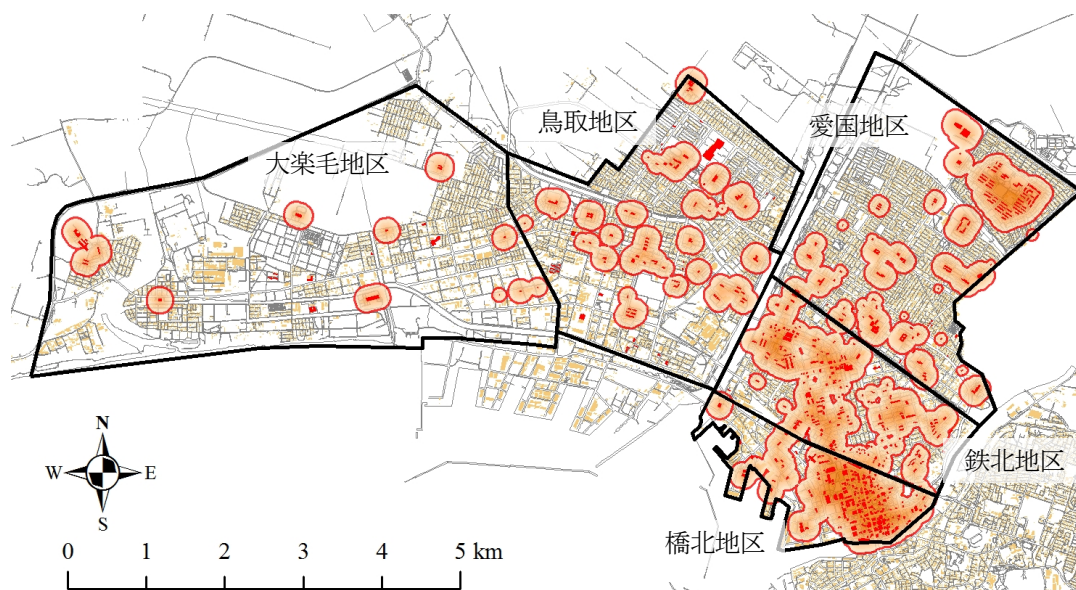


図-3 ケース 1 の避難可能範囲

表-2 基本ケースおよびケース 1 の避難可能範囲のカバー率

	大楽毛地区	鳥取地区	愛国地区	鉄北地区	橋北地区	全域
地区人口	17,556 人	30,176 人	38,735 人	21,589 人	5,413 人	113,469 人
地区面積	15.9 km ²	8.7 km ²	8.8 km ²	4.4 km ²	2.6 km ²	40.5 km ²
選定構造物	24 棟	96 棟	135 棟	217 棟	245 棟	717 棟
基本ケース カバー率	14%	47%	43%	80%	85%	39%
ケース 1 カバー率	7% (-7%)	28% (-19%)	34% (-9%)	66% (-14%)	73% (-12%)	28% (-11%)

なった。

図-2 で鉄北地区の南であり沿岸部に位置している橋北地区ではカバー率が 85%という結果となった。理由としては、全地区の中で最も面積が狭い地区にも関わらず東部は中心市街地であり高層ビルが多いため避難可能構造物が 245 棟と最も多いためである。しかし、西部は工業地域¹⁴⁾であり、高層の構造物が少ないため、一部に避難困難地域が生じている。

4. 避難条件の変化が避難可能範囲に及ぼす影響

(1) ケース 1：冬季の津波避難

釧路市のような積雪寒冷地における冬季では避難路の積雪や氷点下による路面凍結が予想されるため、冬季の想定も行うことが必要である。竹内ら¹⁵⁾では冬季において歩行速度が路面乾燥時の 83.3%になるとしている。そのため、本ケースでは冬季環境下における歩行速度として基本ケースの 0.62m/s に 0.833 を乗じた値として 0.52m/s を用いる。また、積雪下では構造物の屋上が積

雪により使用できないことや外気温が氷点下となるため長期間の滞在は困難であることが考えられる。そのため、本ケースでは現地調査において選定した構造物のうち屋上の使用を可能としているものすべての屋上への避難を不可とする。これら二つの要素変化を設定した悪条件であるケース 1 と基本ケースを比較し、避難可能範囲にどの程度影響を与えるか検討する。

図-3 はケース 1 の冬季を想定し設定した要素を用いた避難可能範囲であり、表-2 は基本ケースとケース 1 のカバー率である。基本ケースと比較すると、ケース 1 は全体として避難可能範囲が縮小している。特に鳥取地区において-19%と大きくカバー率が低下している。これは、冬季には屋上への避難を不可としたことにより、屋上のみ避難可能としていた構造物が避難不可となったためである。全避難可能構造物 717 棟のうち、冬季の条件を設定したことにより使用不可となったものが 182 棟であり、使用可であったものが 535 棟という結果となった。大楽毛地区についてはカバー率の低下は 7%であるが、避難可能面積としては大きく減少している。大楽毛、鳥取両地区のように市街地から離れた地区では構造物の数も少

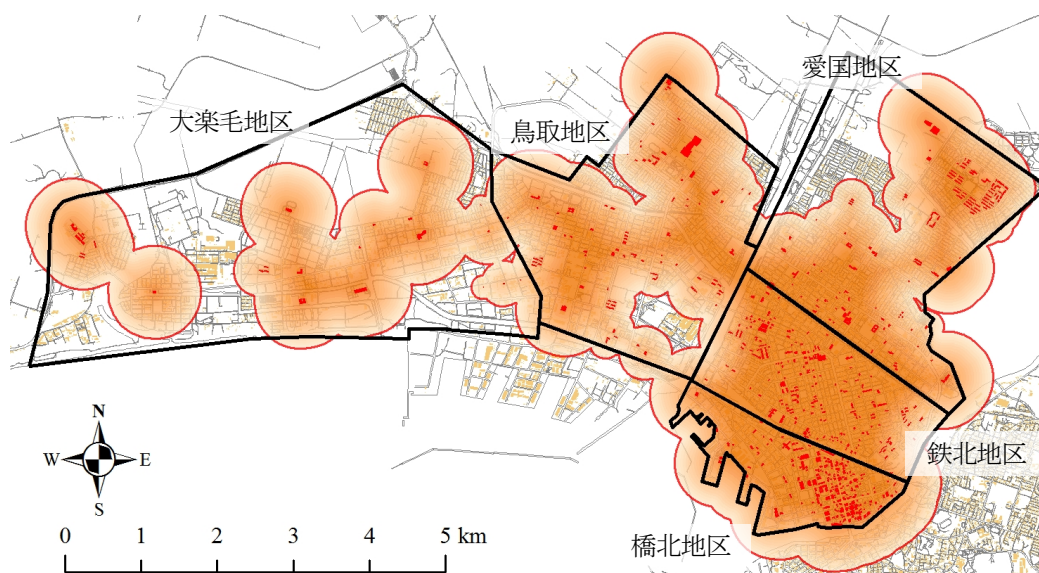


図-4 ケース 2 の避難可能範囲

表-3 基本ケースおよびケース 2 の避難可能範囲のカバー率

	大楽毛地区	鳥取地区	愛国地区	鉄北地区	橋北地区	全域
地区人口	17,556 人	30,176 人	38,735 人	21,589 人	5,413 人	113,469 人
地区面積	15.9 km ²	8.7 km ²	8.8 km ²	4.4 km ²	2.6 km ²	40.5 km ²
選定構造物	24 棟	96 棟	135 棟	217 棟	245 棟	717 棟
基本ケース カバー率	14%	47%	43%	80%	85%	39%
ケース 2 カバー率	59% (+45%)	92% (+45%)	79% (+36%)	100% (+20%)	100% (+15%)	78% (+39%)

なく、屋上しか避難できない構造物も多い。屋上の他にも避難が可能な階数を有する構造物についても、収容人数が減少し、避難可能範囲が縮小している。全体をみると、屋上の無い構造物についても避難可能範囲が縮小しているが、これは歩行速度の低下により縮小した結果である。対象地域全域のカバー率は 28% となった。

このように積雪寒冷地における冬季の津波避難に関しては他の季節と比較すると困難になることが予測される。また冬季だけでなく、避難がより困難になる条件として地盤の液状化や津波波力による構造物の倒壊なども挙げられる。

(2) ケース 2：早期及び人命最優先の津波避難

津波避難を行う際、津波が襲来するまでに津波避難の開始・完了を行わなければならない。そのため、住民の早期避難が望まれる。東日本大震災において平均避難開始時間は 22 分とされているが、早期避難が行われた例としては北海道南西沖地震が挙げられ、平均避難時間は 5.3 分であった¹⁶⁾。本ケースでは早期避難を想定した平均避難時間としてこの 5.3 分(318 秒)を用いる。また、基

本ケースでは避難場所の一人当たりの面積として 3m²を設定している。しかし、人命最優先と考えれば避難場所における滞在時間が長くとも、逃げ込めるならばより多くの人を収容すべきである。よって、基本ケースにおいて余裕をもって設定した 3m²からより多く人を収容する条件とし 1m²と設定する。本ケースでは好条件である早期の避難開始と収容力の向上の二つを設定し、基本ケースと比較し津波避難の可能性にどのような影響を与えるか検討する。

図-4 にケース 2 の早期及び人命最優先の津波避難を考慮した津波避難可能範囲、表-3 に基本ケース及びケース 2 のカバー率を示す。基本ケースとケース 2 を比較すると、対象地域全域の避難可能範囲が拡大している。対象地域全域ではカバー率が+39%、特に大楽毛地区、鳥取地区、愛国地区ではそれぞれ+45%、+45%、+36%と大きく増加していることがわかる。構造物の数が少なく、元のカバー率が低かった地区のカバー率が特に増加している。これは避難時間を増加させたことにより L_1 が大きくなったこと、収容人数を増加させたことにより L_2 が大きくなったこと、それぞれが相互に作用している結

果であり、対象地域全域のカバー率は 78%と拡大した。このように L_1 と L_2 がともに大きくなるような対策を促すことで津波避難の可能性を向上させることができる。そのためには行政だけでなく、住民の自助活動によって津波避難に対する意識を向上、改善することが求められる。

5. 避難開始時間の変化による影響

実際の避難時において避難者の行動にはばらつきが生じる。特に大きく変化する要素として避難を開始する時間が挙げられる。東日本大震災の津波避難時には津波への警戒度によって避難を開始する時間に大きな差が生じている⁷⁾。釧路市においても東日本大震災以降、津波ハザードマップの更新⁴⁾や避難訓練¹⁷⁾など行政による巨大津波対策だけでなく、町内会や地元企業が主催した避難訓練¹⁸⁾のように住民の自主的な取り組みも行われ、住民の危機意識の向上が図られている。これらの活動から避難を開始するまでの時間が短くなり、早期に避難を開始できることが考えられる。しかし、この時間の変動によって避難の可能性がどのように変化するか、また避難の可能性に大きな差が生じる避難開始時間の見極めが必要である。そこで、避難を開始する時間の変化により避難可能範囲のカバー率にどのような変化が生じるか、避難可能性の大きな分かれ目となる時間帯の検討を行う。以上から、避難時間を一定とするのではなく、幅を持たせて検討することで、市民全体が目指すべき避難開始時間、また避難の早期化だけでは解決できない問題を明らかにする。

具体的に用いる地震発生後、避難を開始するまでの時間 t_1 としては 0 分から津波襲来が予測される 30 分の 5 分前である 25 分後まで、5 分刻みで 6 つの時間($t_1=0s, 300s, 600s, 900s, 1200s, 1500s$)を設定し、津波避難の可能性の変化について検討する。

また、一人当たりの面積を $1m^2$ として、その他のパラメーターは基本ケースの値を用いた。

図-5 から図-10 に避難開始までの時間が 0 分から 25 分まで 5 分刻みとした 6 ケースの避難可能範囲、表-4 に避難開始時間の変化によるカバー率、図-11 に避難開始時間の変化によるカバー率の変化をグラフで表示したものを示す。さらに、地区ごとに避難可能範囲に避難時間が与える影響を分析するため、表-5 に L_1 によって避難可能距離が決定した構造物の割合を示す。

大楽毛地区は住宅地や工業団地、未利用地などの利用状況にばらつきが大きい地区である。全 5 地区のなかでも最もカバー率が低い地区であり、カバー率の低下は直線的な傾向にある。地震後より工業団地や未利用地にお

いてカバー率が低下し、25 分後の避難ではカバー率が 7%まで低下する。この地区に関しては揺れが収まった直後に避難を行ったとしてもカバー率が 71%と最も低い値であり、歩行のみによる避難は難しい地区である。

鳥取地区は工業団地や住宅地、商業ビルなどが存在する地区である。揺れが収まった後、速やかな避難を行うことでカバー率は 95%となりおおむね徒歩による避難が可能である。なお、図-5 において、鳥取地区南東部の空白域は大規模な工場があり、現地調査ができなかった範囲である。しかし、10 分後からカバー率が 90%を下回り、工業団地、住宅地において空白域が生じ始め、避難開始が 25 分後となると後述する愛国地区と同程度の 32%まで低下する。そのため、当地区に関しては早期避難の必要性が特に高い。

愛国地区は主に住宅地や公営住宅からなる地区であり、揺れが収まった直後の避難でカバー率が 82%となり、徒歩による避難もある程度期待できるが、徒歩のみでは住民全員の避難は難しい。愛国地区は鳥取地区よりも避難構造物数が多いものの構造物の所在に偏りが大きい。新釧路川付近に住宅地が広がっており、避難構造物が少ないのが現状であり、新釧路川周辺の津波避難施設の設置、もしくは自動車を用いた内陸への避難が望まれる。

鉄北地区は商業ビルや高層の共同住宅が多数存在する地区であり、地震後から 10 分後までの避難でカバー率が 100%となっている。しかし、15 分後から新釧路川沿いの住宅地において空白域が生じ始め、25 分後には 71%まで低下し、徒歩のみによる避難が難しくなる。そのため、当地区は早期に避難が開始されることで住民全員の避難が可能であると考えられる。

橋北地区の東部は釧路市の中心市街地であり商業ビルが集積している。しかし、沿岸部周辺には構造物が少ない傾向がある。当地区は鉄北地区と同じ傾向であり、10 分後まではカバー率が 100%であり、15 分後から沿岸部が空白域になり始め、25 分後では 71%まで低下する。こちらの地区は沿岸部の早期避難が特に重要であり、地震後速やかな避難を行うことで住民全員の避難が達成できると考えられる。

各地区を比較すると、大楽毛地区におけるカバー率の低下傾向は他地区とは異なり、地震後から 25 分後まで線形である。これは大楽毛地区において選定されている構造物に収容力の大きなものが多いこと、また人口密度が低いことによる影響である。大楽毛地区は表-5 からわかるように他地区と比較して避難開始時間が影響する避難可能距離 L_1 で決定される構造物が多いため、避難開始時間の変化に直接的な影響を受けている。

その他の地区に関しては地震直後の避難では避難可能距離が L_1 で決まる数が少なく、避難開始時間が遅くなるにつれ $L_1 < L_2$ となり L_1 で決まる構造物が多いため、



図-5 避難開始までの時間 0 分

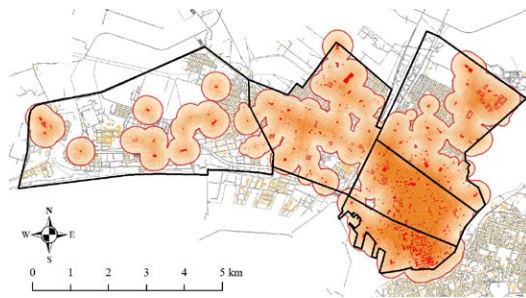


図-8 避難開始までの時間 15 分



図-6 避難開始までの時間 5 分



図-9 避難開始までの時間 20 分



図-7 避難開始までの時間 10 分



図-10 避難開始までの時間 25 分

表-4 避難開始時間の変化によるカバー率の変化

避難を開始する までの時間	避難可能範囲による地区面積のカバー率					
	大楽毛地区	鳥取地区	愛国地区	鉄北地区	橋北地区	全域
0 分	71%	95%	82%	100%	100%	83%
5 分	60%	92%	79%	100%	100%	78%
10 分	49%	89%	77%	100%	100%	73%
15 分	36%	82%	72%	97%	99%	65%
20 分	21%	67%	59%	94%	92%	51%
25 分	7%	32%	33%	71%	71%	29%

カバー率の低下が大きくなる。

橋北、鉄北地区に関しては 15 分後以降、カバー率が大幅に低下するため、15 分以内に避難を開始することが重要である。鳥取、愛国地区に関しては地震後からカバー率が緩やかに低下し始めるため、可能な限り早期に避難すると同時に、空白域が生じている地域における津波避難ビルの整備、自動車を用いた釧路外環状道路、北

海道横断自動車道への限定的な避難などが望まれる。大楽毛地区に関しては地震後からカバー率が低いことに加え、低下率も大きい徒歩のみによる避難は難しく、避難施設の整備や自動車による国道を用いた内陸への避難が必要である。

このように釧路市内において津波避難可能範囲に関する検討を行った結果として、市という単位でなく地区に

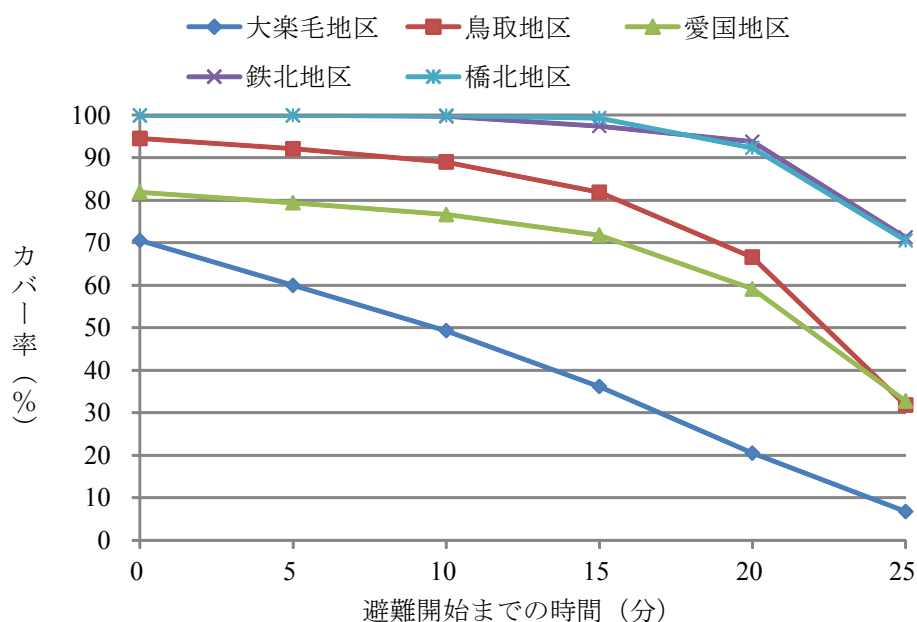


図-11 避難開始時間の変化によるカバー率の変化

表-5 L_1 によって避難可能距離が決定する割合

避難を開始する までの時間	L_1 の割合					
	大楽毛	鳥取	愛国	鉄北	橋北	全域
0分	33%	4%	4%	1%	17%	9%
5分	42%	8%	8%	3%	24%	13%
10分	46%	15%	14%	8%	37%	21%
15分	67%	29%	38%	19%	52%	37%
20分	88%	56%	66%	36%	78%	60%
25分	100%	98%	93%	82%	99%	93%

よって避難の可能性が大幅に変化するということが明らかとなった。このことから、各地区の特性を十分に考慮した津波避難対策を検討すべきである。そのためには、住民自身が自分の住んでいる地域の現状を把握し、発災時に自分が行うべき行動をとれるような取り組みを続けることが望ましい。

6. まとめ

本研究では既往の研究に加え、これまで作成してきた避難可能範囲に関して影響する要素を現実的にあり得る範囲で変化させ、避難可能範囲を作成した。避難に関する基本ケースを東日本大震災の実例を基に設定したうえで、積雪寒冷地の冬季を考慮したケース1と、早期に避難を開始し構造物に既往の3倍の人を収容できるケース2で避難可能範囲を作成した。その結果、ケース1では歩行速度と収容人数が減少したことにより大幅に避難可

能範囲が縮小した。ケース2では、避難時間と収容人数が増加したことにより避難可能範囲が大幅に拡大した。このことより、冬季の津波避難に対する備えや、普段から早期に避難する訓練の実施などを行うことで地域全体の避難可能性を向上させることが必要である。

さらに、津波避難を開始する時間が変化することにより避難可能範囲のカバー率にどのような影響を与えるか検討を行った。その結果、橋北、鉄北地区に関しては地震後15分以内に避難を開始することで徒歩による避難がおおむね可能であるという結果となった。鳥取、愛国地区に関しては徒歩避難を可能な限り早期に開始すること、また徒歩避難が難しい空白域に関しては避難施設の整備が必要である。大楽毛地区に関しては早期に避難を開始しても徒歩による避難は困難であり、自動車を用いるなど徒歩避難以外の避難方法を検討する必要がある。

釧路市においても避難訓練の実施など住民の意識向上により早期避難が期待されるが、地区によっては早期避

難だけでは解決できない可能性がある。また、カバー率が大きく低下する避難開始時間が地区によって異なることが示され、対象地域の避難開始時間のひとつの目安になり得ると考える。

謝辞：川田工業株式会社の内海晃太氏には北見工業大学大学院社会環境工学専攻在学時に現地調査や、データ整理にご協力いただきました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内閣府：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会，<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/index.html>，2011，2015年8月17日閲覧。
- 2) 内閣府：日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会，http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/model/index.html，2015，2015年8月17日閲覧。
- 3) 北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会：北海道太平洋沿岸に係る津波浸水予測図について，<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/bsb/tunami/index.htm>，2012，2015年9月3日閲覧。
- 4) 釧路市：釧路市津波避難計画，30pp，2013。
- 5) 宮森保紀，内海晃太，清水俊明，山崎新太郎，大塚久哲：釧路市における既存構造物への津波避難に関する基礎的検討，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.69，No. 4（地震工学論文集第 32 巻），pp.I_919-I_931，2013。
- 6) 齊藤剛彦，村本穂乃佳，清水俊明，宮森保紀：釧路市における既存中高層建築物の地震動被害を考慮した津波避難に関する検討，地域安全学会論文集 No.24-16，pp.151-159，2014。
- 7) 国土交通省都市局街路交通施設課：津波避難を想定した避難路，避難施設の配置及び避難誘導について（第 3 版），2013。
- 8) 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。
- 9) 大塚久哲，箆島隆司，梶田幸秀，山崎智彦：立地条件を考慮した東北地方太平洋沿岸地域の津波避難支援，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.68 No.4(地震工学論文集第 31-b 巻)，pp.I_1081-1090，2012。
- 10) Google：Google earth，<http://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>，2015年9月3日閲覧。
- 11) 足立啓，小松和郎，荒木兵一朗：障害者を考慮した住宅団地の研究(その 1)歩行行動から見た障壁の分析，日本建築学会大会学術講演梗概集計画系 55(建築計画・農村計画)，pp.1233-1234，1980。
- 12) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス，<http://fgd.gsi.go.jp/download/>，2012年10月11日閲覧。
- 13) 釧路市：平成 23 年釧路市統計書，2012。
- 14) 釧路市：都市計画図 25000 分の 1，http://www.city.kushiro.lg.jp/machi/t_keikaku/toshikeikaku/toshikeikaku/page00005.html，2014，2015年9月3日閲覧。
- 15) 竹内慎一，南慎一，高橋章弘：積雪寒冷期を考慮した津波避難対策の検討，日本建築学会北海道支部研究報告集 No.81，2008。
- 16) 東京大学社会情報研究所：1993 年北海道南西沖地震における住民の対応と災害情報の伝達—巨大津波と避難行動—，1994。
- 17) 釧路市：平成 26 年度釧路市防災総合訓練の実施結果，<http://www.city.kushiro.lg.jp/bousaikyu/bousai/saigai/sonaeru/page0010.html>，2014，2015年9月3日閲覧。
- 18) 北海道新聞：北海道新聞地方版（釧路・根室）2014 年 6 月 24 日，2014。

(2015.9.11 受付)

STUDY ON THE EFFECTS OF THE DIFFERENCES IN EVACUATION CONDITIONS ON TSUNAMI EVACUATION RANGE IN KUSHIRO LOW-LYING AREA

Takehiko SAITO, Toshiaki SHIMIZU and Yasunori MIYAMORI

This study discusses evacuation planning from tsunami disasters due to the difference in evacuation conditions at the low-lying area in Kushiro City. A series of surveys and GIS analyses were carried out in previous studies. In snowy and cold district in winter, the tsunami evacuation range decreases because of the decrease of walking speed and impossible to stay outdoors. if it is possible that the early evacuation and more people take in temporary refuges, the evacuation range increases significantly. Therefore, we estimate the effects of escape time on the evacuation range. The result shows that it is difficult to evacuate by the early evacuation only in some areas. Therefore, temporary refuges need to be constructed in such area.