GIS を援用した北海道沿岸都市における
積雪期の津波災害時避難に関する地理学的研究

北海道大学大学院文学研究科教授　　橋本　雄一

Ⅰ　はじめに

20 世紀後半の欧米における大都市の変化は、Klaassen *et al.* eds.(1979)や Hall(1984)など多くの研究で述べられるように、郊外における人口増加と、都心部における人口減少を特徴とする郊外化として説明されてきた。日本の大都市でも、1960 年代の高度成長期から同様の変化がみられ、多くの報告がなされている。さらに 1990 年代後半より、東京をはじめとして、この傾向とは逆に人口密度が低い都心部で人口が増加する「人口の都心回帰」現象がみられるようになった（矢部,2003；宮澤・阿部；香川，2007；橋本，2008)。

このように、日本の地理学分野では、人口や土地利用を指標とした詳細な空間分析から都市内部構造の変容について数多くの研究を蓄積してきた。しかし、この構造変容が、災害に対する社会的脆弱性（vulnerability）に、どのような影響をもたらすのかを研究したものは稀である。地理学分野の災害研究では、阪神・淡路大震災の分析を行った碓井(1999)や、2004 年のスマトラ沖地震の際のプーケット島における津波被害を分析した春山・林（2011）などが、開発と災害に対する社会的脆弱性との関係を論じているものの、都市全体の時系列的変化や構造変容など、都市地理学の成果は活用されていない。

しかし、都市の内部構造に関して蓄積されてきた詳細な研究成果を発展させ、災害に対する社会的脆弱性に結びつけて議論することは、今後の都市開発と防災対策とのバランスのとれた地域計画に必須と考えられる。例えば、臨海都市では、津波の危険性が高い海岸近くの低地で開発もしくは再開発が進んでいる場合があり、その地域での人口増加は防災上の問題を増幅させている。さらに積雪寒冷地の冬季環境は、この問題を深刻にしている。冬季に津波が発生した場合、多くの住民が標高の高い場所へ避難することになるが、その経路は積雪で道幅がきわめて狭くなっているため混雑し、迅速な移動は困難になることが予想される。また、積雪寒冷地は冬季に路面凍結で道が滑るため、緩やかな坂道でも高齢者には移動が難しくなる。さらに、大量の積雪により公園などオープンスペースへは避難できなくなり、数少ない屋内避難施設だけでは避難者を収容しきれないことが考えられる。このような問題への対応として、都市に関する詳細な空間分析を行い、都市内部構造と災害に対する社会的脆弱性との関係について考察することが重要となる。

そこで本研究は、積雪寒冷地における臨海都市において、ジオマイクロデータ（個々の建築物などの地物データや GPS による行動履歴など高精細な時空間データ）と GIS（地理情報システム）を援用した冬季災害時避難の分析を行うことにより、都市の構造変容と災害に対する社会的脆弱性との関係を明らかにすることを目的とする。なお、災害としては津波災害を取り上げ、積雪期と非積雪期の環境の違いに注目して地理学的考察を行う。

この目的達成のための方法は以下の通りである。まず、第 2 章では北海道太平洋岸における津波想定地域の人口推定を行い、最も大きな津波の影響を受ける都市を、研究対象地

域として選定する。次に、第 3 章では研究対象地域の津波想定地域における建物立地の空間特性を、都市計画基礎調査の建物別データを用いて分析する。その際には、避難場所の避難圏域として、ネットワークボロノイ領域分割を利用して避難圏域を設定し、圏域ごとの分析を行う。さらに、第 4 章では同じ避難圏域を用いて、国勢調査小地域データによる人口特性の分析を行う。ここでは、避難圏域の他に、道路距離を考慮した避難場所到達圏をネットワークバッファで設定し、その到達圏ごとの分析も行う。なお、この到達圏の面積を、積雪期や非積雪期の環境に応じて設定することで、両時期における避難の比較分析を行う。第 5 章では、実際の避難経路の移動を疑似的に再現し、衛星測位によって 1 秒ごとの移動ログを収集して分析することで、避難行動の空間データ化を行う。さらに、この調査を積雪期と非積雪期とで行い、結果を比較する。最後に、これら分析を総括し、都市の構造変容と災害に対する社会的脆弱性との関係について考察を行う。

Ⅱ　北海道太平洋岸における津波想定地域の人口推定

1　津波想定地域における人口の推定方法

本研究では、まず GIS を用いて津波想定地域に居住する人口の推定を行う。推定方法は以下の通りである（図 1）。まず、総務省が作成した国勢調査小地域データ（2010 年）と、北海道が作成した太平洋沿岸市町村の津波想定データを GIS 読み込む。なお、国勢調査小地域データには、小地域ごとの 5 歳年齢階級別人口などの情報が付加されている。また、津波想定結果データは、2012 年 6 月 28 日に北海道が公開した太平洋沿岸地域における津波到達域の最大想定高を示したデータであり、データの空間的単位は 10mメッシュと 50mメッシュが混合したものである。津波想定では、構造物効果を考慮した推定値と考慮しない推定値を比較して大きい方の値が採用されている。本研究では、この津波想定データを GIS に読み込んだ後、津波浸水高ごとにディソルブ処理して境界線を単純化し、計算にかかる負荷を減少させる。

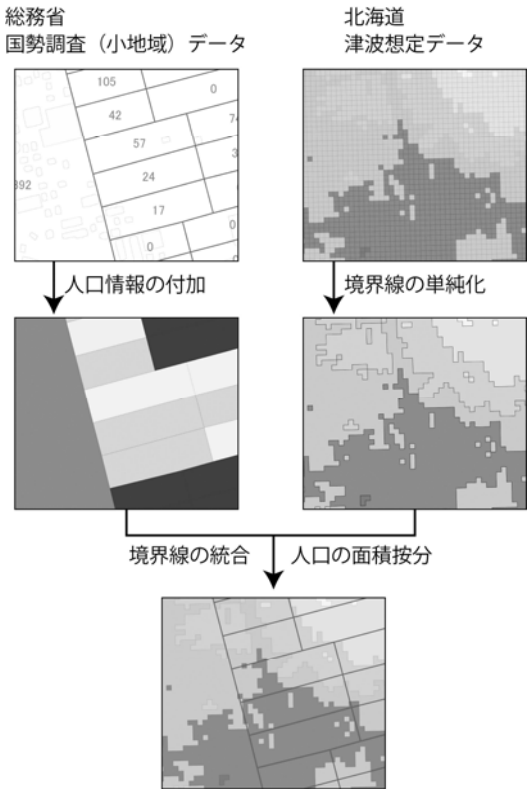


図１　津波想定地域における人口推定の方法

最後に、この津波シミュレーション結果（ディソルブ後）と国勢調査小地域データを GIS 上でオーバーレイ（重ね併せ）を行い、新しい空間単位（境界線）を生成する。これによって、1m間隔の津波浸水高ごとに人口を算出することができる。なお、この操作では、国勢調査の人口を、新たしく生成される空間単位に面積按分することで人口の推定を行う。

２　津波想定地域における人口の推定結果

太平洋沿岸の 2010 年における津波想定地域の人口を、前述した方法により推定すると 439,179 人となる。同様の方法で、北海道から 2009 年に発表された日本海沿岸の津波浸水結果 GIS データと、2010 年に発表されたオホーツク海沿岸の津波浸水結果 GIS データを用いて津波想定地域の人口を推定すると両データあわせて 20,717 人となり、北海道全域の合計値は 459,896 人となる。2010 年現在の国勢調査において北海道の人口は 5,507,456 人であるため、津波想定地域の人口は、北海道の全人口に占める割合は 8.35%となる。ここで、海に面していない札幌市の人口 1,913,545 人を引いた 3,593,911 人を母数とすると、津波想定地域の人口が占める割合は 12.80%となり、ほぼ 8 人に 1 人が津波の想定される地域に分布していることがわかる。

まず、北海道の太平洋沿岸に位置する市町村の津波想定地域の人口をみると（図 2）、釧路市が最多の 129,132 人であり、続いて、函館市の 59,450 人、苫小牧市の 58,106 人、登別市の 34,461 人、北斗市の 27,095 人、室蘭市の 22,636 人となる。

次に、津波浸水高別に人口の推計を行うと（図 3)、最多は 2.0～3.0ｍの 70,207 人であり、続いて 1.0～2.0ｍの 69,226 人、3.0～4.0ｍの 57,238 人、4.0～5.0ｍの 52,227 人となる。2.0～3.0ｍの人口が津波想定地域の全人口に占める割合は 15.91%であり、1.0～5.0ｍの範囲では 56.41%となる。この津波浸水高別人口推計値の累積比率をみると（図 4)、2.0ｍ未満で 31.69%と、津波想定地域の人口の 3 分の 1 程度になる。また、4.0ｍ未満で 60.57%と 3 分の 2 程度になり、6.0ｍ未満で 80.42%，10ｍ未満で 98.57%となる。この結果から、仮に建物 1 階分の高さを 3.5ｍとすると、強固なビルの 3 階以上に避難すれば約 8 割の人口が津波被害を逃れられる可能性がある。

さらに、市町村の中で津内想定地域の人口が最も多い釧路市、函館市、苫小牧市を取り上げ、津波浸水高ごとに人口の推定を行う（図 5)。津波想定地域の人口が最も多い釧路市では、人口の最も多い津波高は 4.0～5.0ｍであるが、函館市では、それより低い 2.0～3.0ｍの地域で最も人口が多い。また、苫小牧市では、函館市よりさらに低い 1.0～2.0ｍの地域で津波想定域の人口は最多となる。このように、地域において人口の多い津波高が異なるため、それに対応した対策を取る必要がある。

最後に、釧路市について、津波高ごと人口の変化をみる（図 6)。2000 年の国勢調査小地域データを使用し、同様の推定を行った上で 2010 年の結果と比較すると、人口増加がみられるのは 3.0～4.0ｍと 0.5～1.0ｍの地域であり、それぞれ 1,841 人と 413 人が増加している。なお、この人口変化により、3.0～4.0ｍの人口が津波想定地域の人口全体に占める割合は 10.90%から 13.14%に上昇している。このように、多くの人口が分布する津波高の地域と較べて津波高

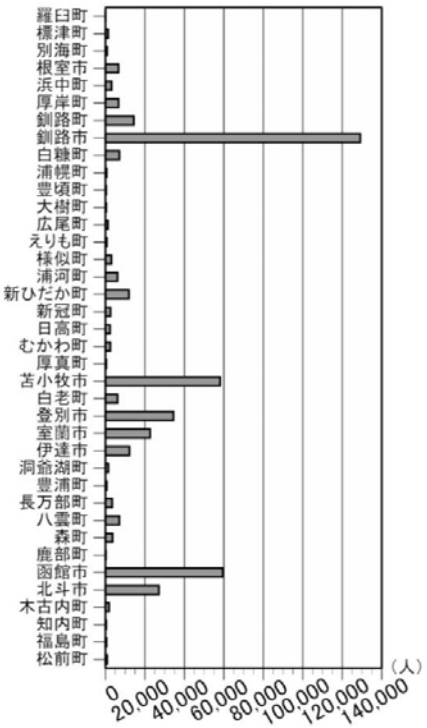


図 2　市町村別推定人口（2010 年）

の低い地域で人口が増えているのは、釧路市において人口の多い海岸部の市街地より内陸部で開発が行われたためと考えられる。

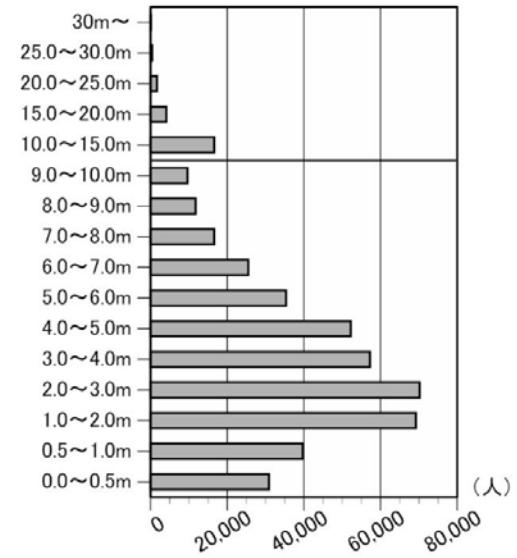


図 3　津波高別推定人口（2010 年）

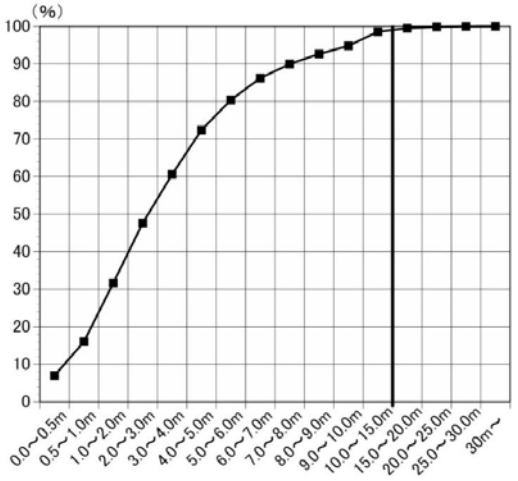


図 4　津波高別推定人口の累積比率（2010 年）

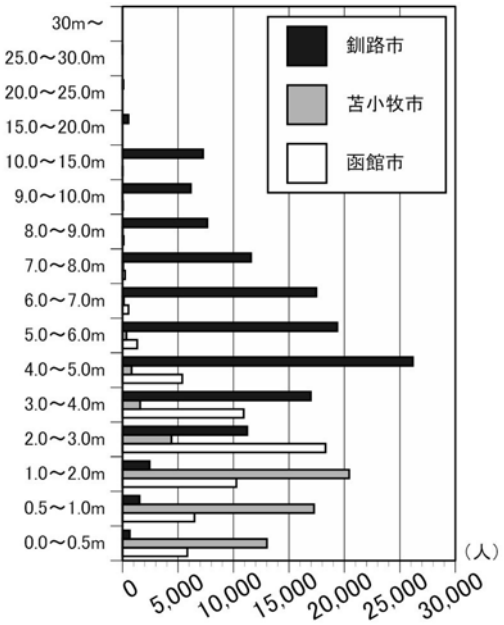


図 5　釧路市・函館市・苫小牧市における津波高別人口（2010 年）

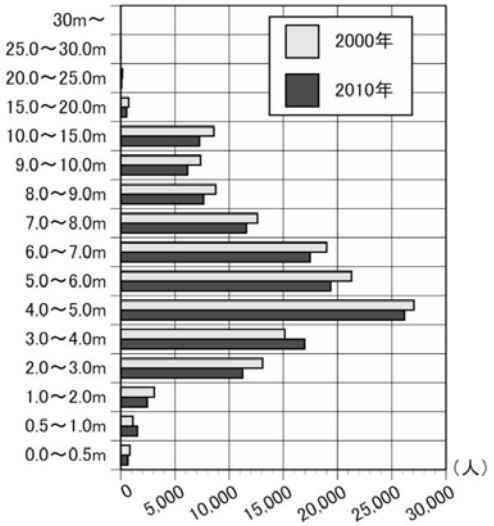


図 6　釧路市における津波高別人口の変化（2000～2010 年）

Ⅲ　釧路市の津波想定地域における建物立地の空間特性

１　釧路市の概観と津波想定

ここから本研究は、津波想定地域に最も多くの人口が分布する釧路市を研究対象地域とする。釧路市は、北海道の東北部に位置する港湾都市であり、2010 年度国勢調査では人口 181,169 人である。当市の面積は 1,363km^2 であり、市内には阿寒川と釧路川、および 1921 年に釧路川を分岐させて造成した新釧路川が流れている。釧路市は、2005 年 10 月に旧釧路市、旧阿寒町、旧音別町が合併し、現在は白糠町を挟んで旧釧路市および旧阿寒町（阿寒地区）と旧音別町（音別地区）とが東西に分かれている（図 7）。図 2 は旧釧路市の 7 地区を示しており、本研究では、新釧路川より西側の大楽毛地区と鳥取地区を市街地西部、釧路川より東側の橋南地区と春採地区を市街地東部、2 つの河川に挟まれた残りの 4 地区を市街地中心部と呼ぶ。また、釧路駅より南側にある橋北地区の東部で、建物密度が高い地区を都心部とする。

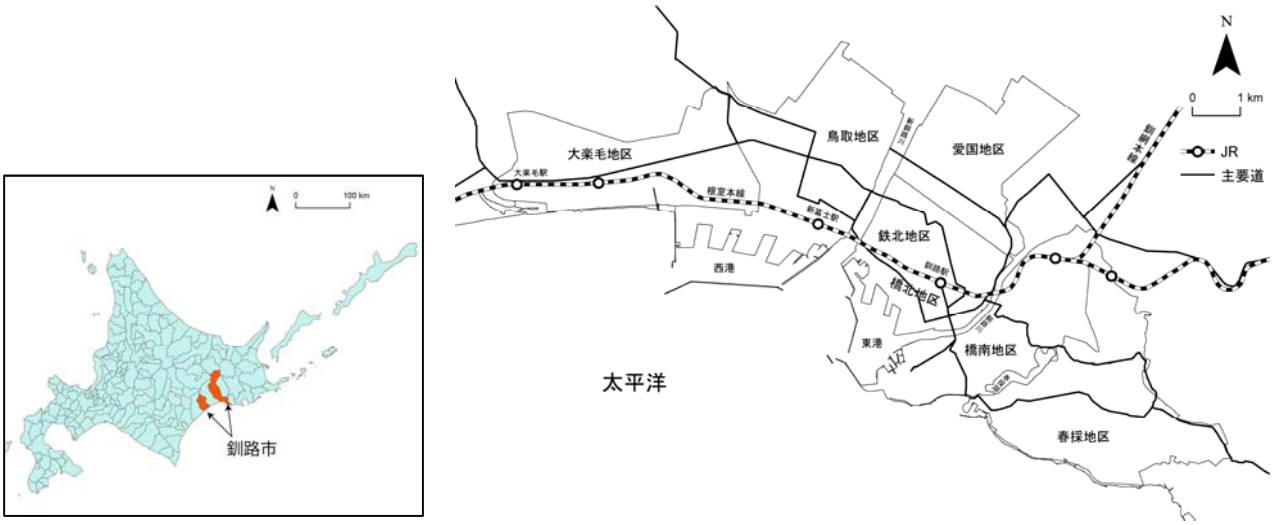


図 7　釧路市の位置と市街地区分

釧路市の月別平均気温を気象庁の 30 年平年値（1981～2010 年）でみると、最低気温は 12 月から 3 月まで 4 か月連続で氷点下となり、1 月が-5.4℃と最も低い。降雪日数が 1 日以上の月は、11 月が 3.7 日、12 月が 11.1 日、1 月から 3 月にかけて 16 日以上となる。しかし、日最深積雪 10cm 以上の日数の平均値は 1 月が 15 日、2 月が 17 日となるだけで、12 月や 1 月は 10 日以下である。このように、釧路市の積雪は多くないが、気温が低く降雪日数も多いため、長い間、雪が残り、この雪が道路上の圧雪となって避難行動の障害になることが予想される。

釧路市付近で起こったマグニチュード 7 以上の大規模な地震としては、以下のようなものがあげられる。震源が非常に深かった 1993 年の釧路沖地震を除き、他の地震では、すべて津波が発生している。このように釧路市は多くの人口が居住する都市でありながら。プレート境界性の津波発生を伴う地震の多発地帯に位置している。この地震の特徴は、都市

の近くに震源があり、津波が襲来するまでの時間が短いことである。また、市街地の後背には標高の低い釧路湿原が広がっていることから、津波が内陸の奥深くにまで到達する可能性がある。そのため釧路市の住民は，津波発生時に避難のための長距離移動が必要になることから、防災対策の必要性は非常に高いと考えられる。

ここで 2012 年 6 月に北海道から公表された津波想定を GIS で可視化し、旧釧路市の部分を図 8 に示す。これをみると、釧路市の海岸付近で想定される津波高は 10m を越えており、その範囲は市街地西部では JR よりも北側にまで及んでいる。また、市街地東部の春採湖周辺も 10m以上の津波が想定されている。新富士駅から新大楽毛駅にかけての JR より北側や、釧路川の河口は 7～10m が想定され、釧路駅周辺や北側の地域は 5～7m の想定となっている。市街地北側の内陸部の釧路湿原付近は 5m未満の津波高となり、市の境界を越えて 3m未満の津波高の地域が広がっている。

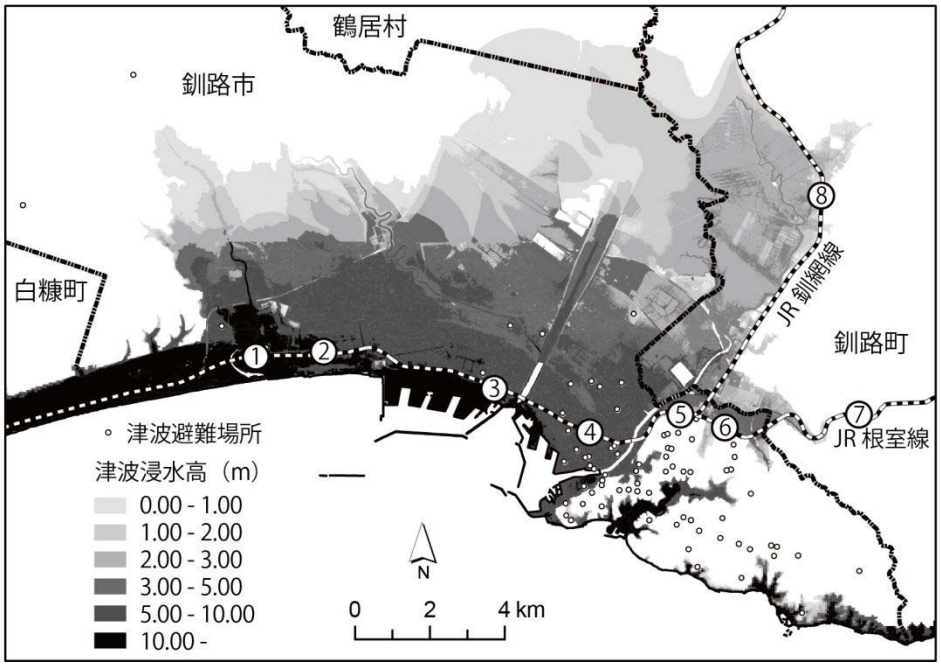


図 8　釧路市の津波想定

【JR 駅】①：大楽毛，②：新大楽毛，③：新富士，④：釧路，⑤：東釧路，⑥：武佐，⑦：別保，⑧：遠矢

2　都市計画基礎調査データによる津波高と住宅立地の分析

まず、都市計画基礎調査データを用いて、津波想定地域に立地している建物の建築面積を、想定される津波高ごとに集計する。なお、釧路市の津波想定地域における建築面積の合計は、2002 年が 8,861,230m^2、2010 年が 9,410,807m^2 であり、増加率は 9.03%である。また、延床面積の合計は、2002 年が 15,612,782m^2、2010 年が 16,347,197m^2 であり、増加率は 8.99%である。この延床面積を津波高ごとに集計すると、最も多いのは津波高 4.0～5.0m の地域であり、7.0～8.0m の地域でも同程度に高い値がみられる。また、2002 年から 2010 年にかけて面積が増加しているのは、津波高 3.0～4.0m、4.0～5.0m の地域であり、増加率は 3.0～4.0m が最も高い。延床面積でみても、釧路市では海岸部にある市街

地より内陸部で建物が増加しつつあることがわかる。

ここで、建物用途ごとに分析を行う。津波想定地域における建物用途別延床面積をみると（図 9)、2010 年に面積が最も大きいのは、建築面積と同じく「専用住宅」(戸建て住宅）であり、その延床面積は 4,768,657m^2 である。これに次ぐのは「共同住宅」(マンション、アパートなど）の 2,681,117m^2 であり、「業務施設」の 1,151,091m^2 が続く。2002 年から 2010 年にかけての変化をみると、最も面積の増加が大きいのは「専用住宅」で 495,683m^2（11.60%）の増加であり、これに「共同住宅」の 287,686m^2 (12.02%),「専用店舗施設」の 244,800m^2（34.07%）が続く。このように、釧路市の津波想定地域では住宅関係の建物が多く立地し、近年増加する傾向にある。

この住宅関係の建物用途を取り上げ、津波高との関係をみる。なお、「一般店舗併用住宅」、「事務所併用住宅」、「飲食店併用住宅」、「作業所併用住宅」は合計して「併用住宅」とする。津波想定地域において全延床面積に占める各用途の比率をみると、2002 年には「専用住宅」が 27.37%、「共同住宅」が 15.33%、「併用住宅」が 6.58%で合計 49.27%, 2010 年には「専用住宅」が 29.17%、「共同住宅」が 16.40%、「併用住宅」が 5.72%で合計 51.29%となる。このように延床面積をみると、住宅関係の建物は、釧路市における津波想定地域において半分程度を占めている。

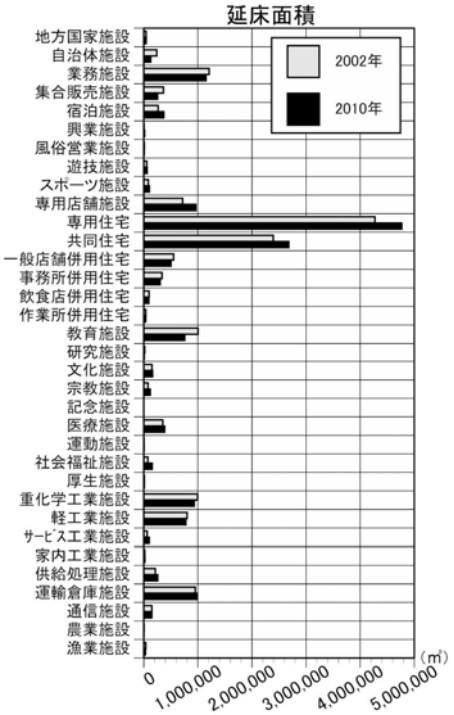


図 9　釧路市における建物の用途別面積

2010 年の建築面積と津波高との関係をみると、「専用住宅」は津波高 3.0～7.0mの範囲で面積が大きく、特に 4.0～5.0mの地域で高い値を示している。「共同住宅」は 4.0～7.0mの範囲で面積が大きく、特に 4.0～6.0mの地域で高い値を示している。また、「併用住宅」は 4.0～9.0mの範囲で面積が大きく、特に 4.0～6.0mの地域で高い値を示している。なお、いずれも 3.0m以下の範囲では面積が小さい。ここで 2002 年から 2010 年までの変化をみると、「専用住宅」と「共同住宅」は共に津波高 3.0～5.0mの範囲で面積の増加が大きく、2.0～3.0mや 5.0～9.0mの範囲でも増加がみられる。それに対して「併用住宅」は、ほとんどの津波高の地域で面積が減少している。この傾向は、延床面積をみると一層顕著である。このように、「共同住宅」は津波高の高い海岸部から内陸部にかけて立地し、この地域で近年増加する傾向になる。また、「専用住宅」は内陸部の津波想定地域に多く立地し、近年増加している。「併用住宅」も「共同住宅」と同じく海岸部から内陸部にかけて立地しているが、こちらは全体として減少している。

さらに、任意の年次における任意の用途を取り上げ、その面積の合計値を 100 として津波高別の配分比率をみる（図 10)。これにより、各用途の建物の津波高別集中度を検討することができる。まず、「専用住宅」の建築面積をみると、津波高 3.0～5.0mの地域で配

分比率は、2002 年の 32.03%から 2010 年の 34.87%に上昇している。延床面積でも、2002 年の 33.40%から 2010 年の 36.27%に上昇しており、当該地域への集中度が高まっていることがわかる。次に、「共同住宅」の津波高 3.0～5.0mの地域における配分比率は、建築面積で 2002 年の 28.70%から 2010 年の 31.27%、延床面積で 2002 年の 25.88%から 2010 年の 28.46%に上昇している。一方、「共同住宅」の面積が大きい 5.0～7.0mの地域では、建築面積で 2002 年の 34.18%から 2010 年の 33.31%、延床面積で 2002 年の 35.87%から 2010 年の 34.85%に下降している。さらに、「併用住宅」をみると配分比率の変化は、ほとんどみられないが、3.0～5.0mの地域で若干上がっている。以上のように、住宅関係の建物は津波高 3.0～5.0mの地域で集中度が上昇していることから、津波高の比較的低い内陸部において開発が進んでいると考えられる。

３　ネットワークボロノイ領域分割による避難圏域の設定

（１）空間データにおけるネットワークボロノイ領域の生成方法

ここから、本研究は全避難場所の中で任意の避難場所を最近隣とする範囲を、その避難場所の避難圏域とし、都市計画基礎調査データを用いて圏域ごとの建物立地について分析を行う。この避難圏域を設定するために、本研究ではネットワークボロノイ領域を用いる。

ここで、従来から利用されてきた平面ボロノイ領域と比較して、ネットワークボロノイ領域について説明する。ボロノイ領域とは、平面空間上に複数の母点が配置されている時、任意の母点と、その近隣の母点とで、空間を分割することにより作成される領域である（図 11)。一般的なボロノイ領域の場合には、母点数とボロノイ領域数が一致する。ボロノイ領域の境界線を「ボロノイ境界」と呼び、このボロノイ境界の交点が「ボロノイ点」である。任意の 3 母点を中心として外接円を描いた時,その円の内部に他の母点が存在しない場合、それらの円の中心がボロノイ点となる。この平面上に生成されるボロノイ領域が、「平面ボロノイ領域」である。

これに対してネットワークボロノイ領域は、平面空間の代わりに連結した線分の集合であるネットワーク空間を前提としたものである。例えば、住民による市街地での歩行行動は、直線距離よりも道路距離を仮定したネットワーク空間での分析が現実的である。そのため、その歩行の圏域などを分析する際には、ネットワークボロノイ領域の利用が有効となる。しかし、従来のネットワークボロノイ領域に関する手法は、ネットワーク上の地点情報の分布状況や、分布間の相互関係を分析するものが主であり、ネットワークから外れた場所に位置するポイントがある場合、それを分割結果に反映させることが困難であった。

これらの手法に対し、本研究で行うネットワークボロノイ領域は、任意の母点と到達距離が最短になるノードを基点とした平面ボロノイ領域を、母点に属する領域とすることで生成される（図 10)。この手法は、ネットワーク空間上における線の分割ではなく、ネットワークに基づく平面空間の分割であるため、他の空間データとの重ね合わせなどの分析が可能となる（相馬・橋本，2005)。

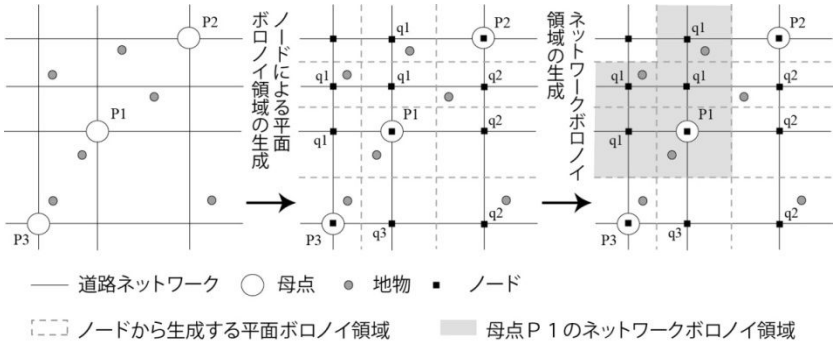


図 10　ネットワークボロノイ領域の生成

避難場所を母点，道路網をネットワークとした事例を示すと（図 11)、平面ボロノイ領域が河川などを考慮しない単純な空間分割を行っているのに対し、ネットワークボロノイ領域は「河川を橋でしか通行できない」といった条件を付加した空間分割を行うことができるので、現実的な分析を行うことができる。

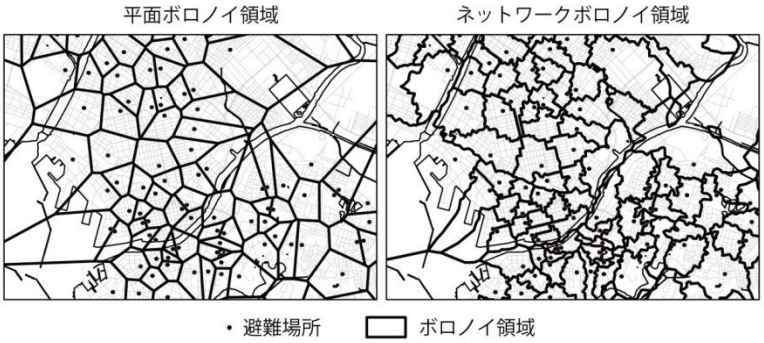


図 11　平面ボロノイ領域とネットワークボロノイ領域の比較

（２）釧路市の避難場所を母点としたネットワークボロノイ領域

2013 年 2 月現在、釧路市の災害避難場所としては、指定避難施設と、これに含まれない津波緊急一時避難施設をあわせて 192 の施設指定されている。そのうち指定避難施設は 181 あり、これらは 31 の津波緊急一時避難施設を含む。また、指定避難施設に含まれない津波緊急一時避難施設として協定先ホテル及び商業施設等が 11 カ所指定されている。（協定先ホテル及び商業施設以外の施設として、旧桂恋小学校と市営住宅「かいこう 22」の 2 カ所が津波緊急一時避難施設に指定されている）なお、津波緊急一時避難施設以外の指定避難施設の中では、72 の施設が津波想定地域の外に立地している。そのため、釧路市では 31 の津波緊急一時避難施設を含む 103 の指定避難施設と、協定先ホテル及び商業施設等である 11 の津波緊急一時避難施設の合計 114 施設が、津波発生時の避難場所となる。

この 114 の避難場所を母点としてネットワークボロノイ領域の生成を行うと（図 12)、避難場所の分布密度が高い釧路駅周辺では個々の領域の面積が小さく、分布密度が低い市街地西部では領域の面積が広くなっている。また、市街地東部の丘陵地では、低地にある避難場所が使えないため、個々の領域は都心部に較べて大きくなっている。

4　避難圏域ごとの建物の立地特性

2010 年の都市計画基礎調査を用いて、津波想定地域に立地している建物の延床面積を避難圏域ごとに集計すると、市街地東部から西部にかけて避難圏域ごとの延床面積は大きくなっている（図 13）。西部では、建築面積と同じく＜鳥取小学校＞で 2,021,911m^2、＜釧路公立大学＞で 1,688,979m^2、＜新陽小学校＞で 1,558,241m^2 と広い避難圏域で大きな値がみられる。なお、釧路川西岸の避難圏域の方が東岸に比べて延床面積は大きく、＜市役所＞の 295,467m^2、＜総合福祉センター＞の 224,969m^2、＜フィッシャーマンズワーフ MOO＞の 213,354m^2 が特に高い値を示す。また、市街地中心部の海岸付近は、＜中央小学校＞の 631,471m^2、＜消防本部＞の 224,306m^2 というように市街地中心部の中でも高い延床面積を示す。

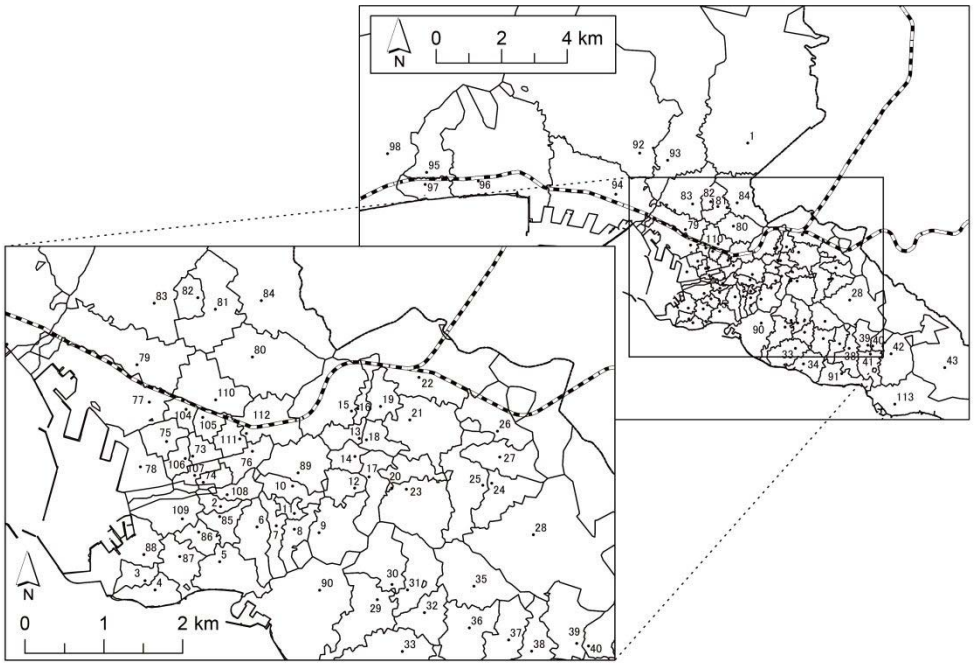


図 12　釧路市の津波避難場所

2013 年 2 月現在．図では旧釧路市部分のみを表示．【指定避難施設】1：釧路公立大学，2：図書館，3：大成寺，4：定光寺，5：宮本会館，6：富士見会館，7：療育センター，8：千歳会館，9：幣舞中学校，10：北海道教育大学釧路校，11：鶴ケ岱児童センター，12：工業高等学校，13：釧路短期大学，14：緑ケ岡コミュニティ消防センター，15：緑ケ岡会館，16：第 1 福ちゃん保育園，17：湖陵高等学校，18：中高年齢労働者福祉センター（サンライフ釧路），19：清明小学校，20：緑ケ岡南会館，21：青陵中学校，22：貝塚会館，23：釧路ひばり幼稚園，24：湖畔小学校，25：武佐児童センター，26：武佐会館，27：武佐老人福祉センター（平成荘），28：武修館高等学校，29：望洋児童センター，30：春採中学校，31：春中前町内会館，32：桜が丘小学校，33：はまなす会館，34：興津小学校，35：青雲台体育館，36：桜ケ岡中央会館，37：朝陽小学校，38：桜が丘中学校，39：教育大学附属小学校，40：教育大学附属中学校，41：白樺ふれあい交流センター，42：東雲小学校，43：釧路広域連合清掃工場，44：山花小中学校，45：農業者トレーニングセンター，46：釧路空港ビル，47：阿寒町行政センター，48：旭町寿の家，49：橋南センター，50：阿寒小学校，51：スポーツセンター，52：保健・福祉サービス複合施設，53：公民館，54：北会館，55：阿寒中学校，56：サイクリングターミナル赤いベレー，57：タンチョウの家，58：布伏内コミュニティセンター，59：仁々志別小学校，60：仁々志別多目的センター，61：中徹別小学校，62：徹別多目的センター，63：西徹別多目的研修集会所，64：上徹別福祉会館，65：阿寒湖まりも館，66：マリモ幼稚園，67：阿寒湖温泉子供交流館，68：阿寒湖小学校，69：阿寒湖畔トレーニングセンター，70：阿寒湖中学校，71：体験学習センター，72：尺別中央会館．　【津波・指定避難施設】73：市役所，74：フィッシャーマンズワーフ MOO，75：釧路地方合同庁舎，76：総合福祉センター，77：中央小学校，78：消防本部，79：北中学校，80：共栄小学校，81：共栄中学校，82：柳町スピードスケート場，83：青葉小学校，84：光陽小学校，85：生涯学習センター，86：釧路小学校，87：旧東栄小学校，88：米町児童センター，89：城山小学校，90：春採生活館，91：東部地区コミュニティセンター，92：鳥取小学校，93：鳥取中学校，94：新陽小学校，95：大楽毛小学校，96：高等技術専門学院，97：職業能力開発促進センター，98：工業高等専門学校，99：音別町行政センター，100：音別町コミュニティセンター，101：音別町福祉保健センター，102：文化会館，103：直別生活館．　【津波一時避難施設】104：釧路ロイヤルイン，105：釧路東急イン，106：釧路プリンスホテル，107：釧路全日空ホテル，108：釧路キャッスルホテル，109：釧路シーサイドホテル，110：ラスティングホテル，111：ヤマダ電機，112：ビッグハウス旭町店，113：旧桂恋小学校，114：市営住宅「かいこう 22」．

延床面積に関して、避難圏域ごとに 2002 年から 2010 年までの変化をみると（図 14)、都心部を取り囲む地域、市街地西部、市街地東部の内陸部など多くの圏域で増加がみられる。都心部を取り囲む地域では、当該期間内に共同住宅などが建設された＜春中前町内会館＞が 273.20%と大きな増加率を示し、続いて釧路川西岸の＜定光寺＞が 57.30%、＜釧路全日空ホテル＞が 23.80%、＜中央小学校＞が 17.80%と高い。また、西部では＜鳥取小学校＞の 18.60%など海岸部でも内陸部でも津波想定地域における延床面積が増加している。

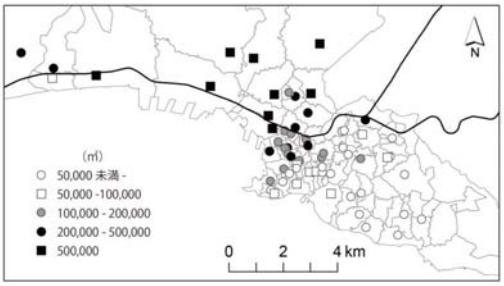


図 13　避難圏域ごとの延床面積
（2010 年）

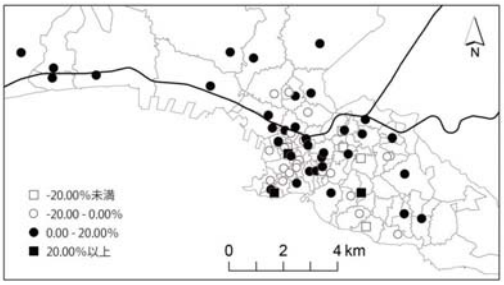


図 14　避難圏域ごとの延床面積の変化
（2000～2010 年）

5　避難圏域ごとの住宅の立地特性

ここで、釧路市の津波想定地域における建築で大きな面積比率を示す住宅関係の用途に注目する。まず、延床面積をみると（図 15)、「専用住宅」は市街地西部で大きな面積を示し、特に＜鳥取小学校＞の 969,608m^2、＜釧路公立大学＞の 963,968m^2 などが大きい。この「専用住宅」は市街地の東部や中心部の避難圏域で面積が小さいが、都心部を取り囲む地区の中には＜中央小学校西部＞（69,447m^2)，＜ラスティングホテル＞（60,021m^2)，＜釧路シーサイドホテル＞（52,457m^2）など大きな面積を示すものが含まれる。「共同住宅」は市街地の東部の沿岸部では面積が小さいものの、他の地区は高い値を示し、＜釧路ひばり幼稚園＞の 714,474m^2 や＜武修館高等学校＞の 612,254m^2 など市街地東部の内陸部に高い値がみられる。「併用住宅」は、建築面積と同じく「共同住宅」と同様の分布傾向を示すが、都心部で値が低く、それを取り囲む地区で高い値がみられる。

次に、2002 年から 2010 年にかけての延床面積の変化をみると（図 16)、「専用住宅」の建築面積は、市街地西部、市街地東部の丘陵地、市街地中心部の釧路駅北側と釧路川沿岸で面積が増加している。「共同住宅」も同様であるが、西部の内陸部や釧路駅北側で著しく増加率の高いことが特徴である。また、「併用住宅」は都心部に高い増加率を示す地区が集中している。

以上のことから、津波想定地域では「専用住宅」や「共同住宅」など住宅関係の建物が大きな面積を占めており、その面積は増加する傾向にあることがわかる。また、これら用途の津波高別面積をみると、「専用住宅」と「共同住宅」は津波高 4.0～6.0m程度の地域で大きな面積を示し、3.0～5.0m程度の範囲で増加が大きい。これは、釧路市の市街地の内陸部が住宅開発の中心となっていることによる。さらに、「専用住宅」は市街地西部、「共同住宅」は市街地中心部に多く、その増加をみると「専用住宅」は釧路川東岸、「共同住宅」は釧路駅北側、「併用住宅」は都心部で著しいことが明らかである。

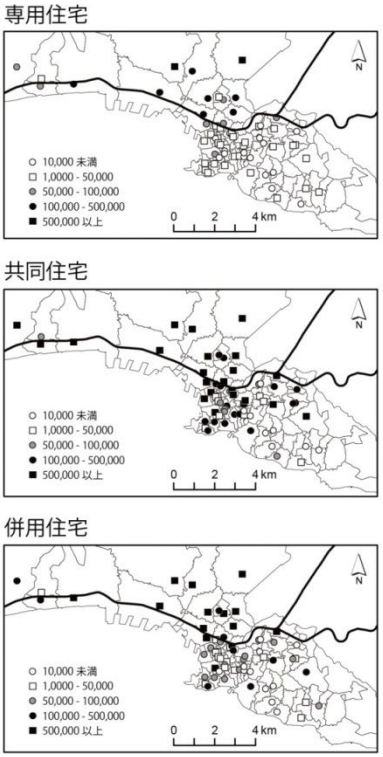


図 15　避難圏域ごとの用途別延床面積

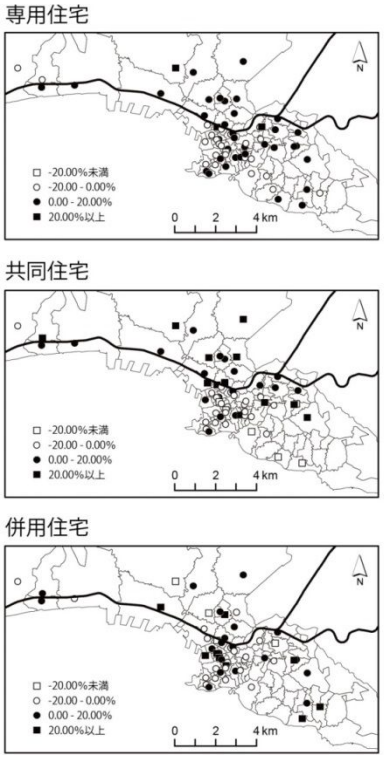


図 16　避難圏域ごとの用途別延床面積の変化

Ⅳ　釧路市の津波想定地域における避難場所到達圏ごと人口特性

1　津波想定地域における避難圏域ごとの人口特性

（1）避難圏域ごとの人口分布

前章では、釧路市の津波避難地域における建物立地を避難圏域ごとに分析した。本章では、国勢調査小地域データを用いて、避難圏域ごとの人口特性について分析する。2010 年の国勢調査で各避難圏域における津波想定地域の人口を推定すると（図 17）、標高が高く津波想定地域に含まれない市街地東部の丘陵地は推定値が低い。また、津波想定地域に含まれるが、もともとの人口が少ない都心部も推定値は低い。市街地中心部で釧路駅の北側や市街地西部は人口が多く、その中でも釧路駅北側には狭い圏域に多くの人口が分布している。また、都心部を取り囲む地域にあって比較的人口の多い＜中央小学校＞、＜釧路シーサイドホテル＞、＜ビッグハウス旭町店＞は津波想定地域に含まれる人口意率も高い。

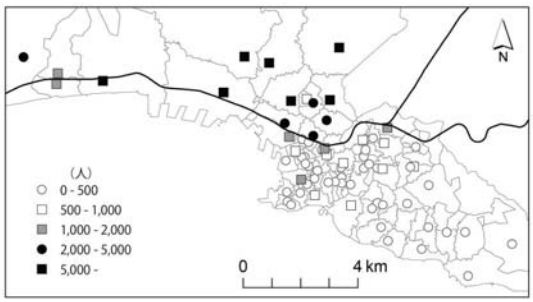


図 17　避難圏域における津波想定域の人口（2010 年）

なお、これ以降、本研究は、釧路市の内陸部や市街地東部の丘陵地にある津波想定地域を含まない避難圏域を分析の対象から外し、69 か所の指定避難場所と、11 か所の協定先ホテル及び商業施設などから構成される合計 80 の避難場所を分析対象とする。

避難圏域の津波想定域における 2000 年から 2010 年までの人口変化をみると（図 18)、釧路市の人口は大部分の地区で減少している。しかし、市街地西部で内陸にある＜鳥取小学校＞、市街地東部の丘陵地上にある＜湖陵高等学校＞、都心部西側の＜消防本部＞および＜釧路ロイヤルイン＞の 4 か所では人口が増えており、これらはいずれも高層の共同住宅が建設されたことによる。これらの圏域のうち＜湖陵高等学校＞以外は、津波想定地域の人口も増加している。なお、市街地東部の丘陵地にある＜青雲台体育館＞では、全体の人口は減少しているものの、津波想定地域の人口は増加しており、これは春採湖から奥に通じる谷間において住宅が建設されたためと思われる。

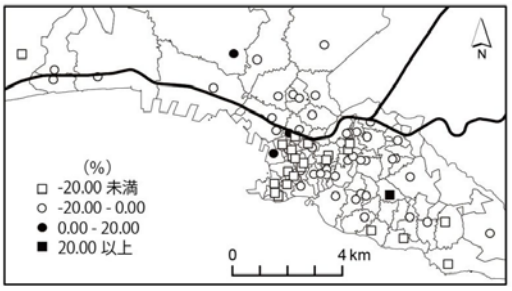


図 18　避難圏域における津波想定域における人口変化（2000～2010 年）

（２）避難圏域ごと避難者収容能力

次に、2010 年の避難圏域内人口と避難場所の収容能力との関係について考察を行うため、避難場所に収容できない人口（非収容人口）を算出する（図 19)。この非収容人口は、避難圏域内の津波想定地域の人口から避難場所の収容可能人数を引いて求める。この結果をみると、圏域内の津波想定地域における人口を、すべて収容できる避難場所は 80 か所の中で 25 か所あり、その比率は 31.25%である。逆に収容しきれない避難場所は 55 か所であり、68.75%を占める。そのうち、1,000 人以上の非収容人口が発生する避難場所は 16 か所で 20.00%を占め、その分布をみると＜釧路公立大学＞、＜鳥取小学校＞、＜青葉小学校＞など、特に市街地西部や釧路駅の北側の地区に多くの非収容人口が目立つ。なお、これらの地区ほどではないが、釧路駅の南側や市街地東部の海岸部でも、多くの非収容人口が発生している。このように、釧路市では津波想定地域の人口に対して避難場所の収容能力が不足しており、それは特に市街地西部で著しい。

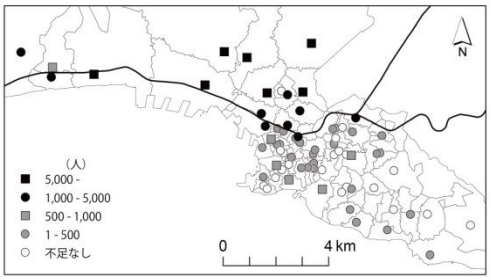


図 19　避難圏域の非収容人口（2010 年）

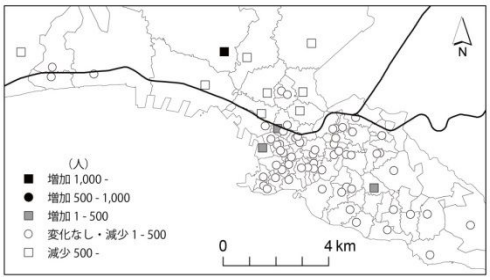


図 20　避難圏域における非収容人口の変化（2000～2010 年）

この非収容人口に関して 2000 年から 2010 年にかけての変化をみると（図 20)、市全体の人口減少に伴い、非収容人口も、ほとんどの地区で減少している。増加している地区は 5 か所で、そのうち 4 か所の増加数は僅かであが、＜鳥取小学校＞だけは 2,742 人と非収容人口が大幅に増加しており、圏域内人口の避難場所への収容がさらに困難になっている。

２　津波想定地域における避難場所到達圏ごとの人口特性

（１）避難場所到達圏の設定方法

本研究は、津波到来までの時間的制約による避難可能距離などを考慮して、より現実的な避難の分析を行うために、ネットワーク空間上のバッファ領域生成の技術を用いて避難場所への到達圏を設定し、その圏域についての分析を行う。この避難場所到達圏の設定方法は以下の通りである。まず、避難可能距離であるが、本研究では2011年12月26日に国土交通省都市局街路交通施設課および都市計画課が発表した『東日本大震災の津波被災現況調査結果（第3次報告）～津波からの避難実態調査結果(速報)～』を参考にして500ｍとする。しかし条件によって、この避難可能距離は異なる。特に、本研究が想定するような積雪寒冷地の冬季には、路面の圧雪などにより滑りやすくなっており、路側帯は除雪した雪の置き場になるため道路の幅員がきわめて狭くなる。そこで、内閣府発行の『津波避難ビル等に係るガイドライン』を基にした竹内（2008）を参考にして係数を定める。この研究によると冬季路面状況による速度低減の係数は0.833、道路幅員が3.0ｍ未満の場合は0.50とされている。そこで、路面の圧雪などで滑りやすくなっている場合の避難可能距離を、500ｍに0.833を乗じた416.50ｍとする。さらに、除雪した雪が置かれて道路の幅員が狭くなった場合の避難可能距離を、416.50ｍに0.50を乗じた208.25ｍとする。これ以降、本研究は、道路が滑りやすい状態を積雪1期、これに加えて道路の幅員が狭い状態を積雪2期と呼び、500ｍを非積雪期、416.50ｍを積雪1期、208.25mを積雪2期の避難可能距離とする。

本研究では、避難場所を中心として、これら避難可能距離のバッファを生成し、それぞれの時期における避難場所到達圏とする。通常、空間データにおいて任意の点からのバッファ領域は円形になるが､人は道路などのネットワーク上を移動することが常であるため、ネットワーク空間上で避難場所から一定距離にある範囲（以後、ネットワークバッファと呼ぶ）を到達圏とする方が現実的である。なお、このネットワークバッファを適用する際には、凹凸を滑らかにするように領域の修正を加える。

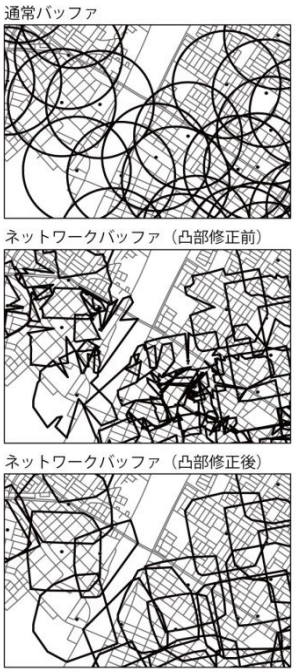
また、方法だと道路ネットワークの外側に避難場所がある場合には、領域内から道路がはみ出す部分ができるため、この道路沿線の人口の一部がバッファ領域に含まれない。そこで、本研究は、避難場所から 450ｍのネットワークバッファを生成し、その領域に対して 50ｍの通常のバッファを設定することで 500ｍの到達圏とする（図 21)。また、積雪 1 期の場合には 366.50ｍのネットワークバッファと 50ｍの通常バッファ､積雪 2 期の場合には 158.25ｍのネットワークバッファと 50ｍの通常バッファで到達圏を設定する。

本研究は､このようにして到達圏を設定するが、複数の避難場所が密に分布する地域で到達圏を設定すると、多くの部分で複数の到達圏が重なり合う。そこで、任意の地点から最短距離で避難場所に到達できるようにするため、ここでは、まず GIS でディゾルブ処理を用いて､各避難場所のネットワークバッファが繋がった状態の領域を生成する(図 22)。次に､これを避難圏域の境界線によって分割し､各避難場所への到達圏を設定する(図 23)。

（２）避難場所到達圏ごとの人口特性

まず、2010 年時点で、避難圏域内の津波想定域の人口に占める避難場所到達圏人口を求めると、非積雪期（500.00ｍ圏）では津波想定地域の人口の 30.03％、積雪 1 期（416.50ｍ圏）では 22.92％、積雪 2 期（208.25ｍ圏）では 5.83％が含まれる。このように釧路市

では非積雪期でも避難到達圏の外に約 7 割の人口が分布し、路面が凍結した状態だと 8 割近くの人口が、さらに道路幅員が狭くなった状態だと 9 割以上の人口が到達圏から外れる。



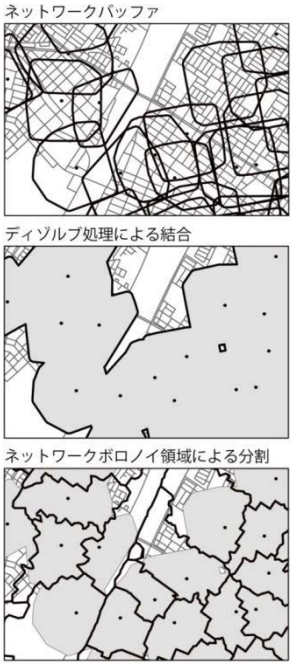


図 21 ネットワークバッファの生成　　図 22　避難場所到達圏の設定

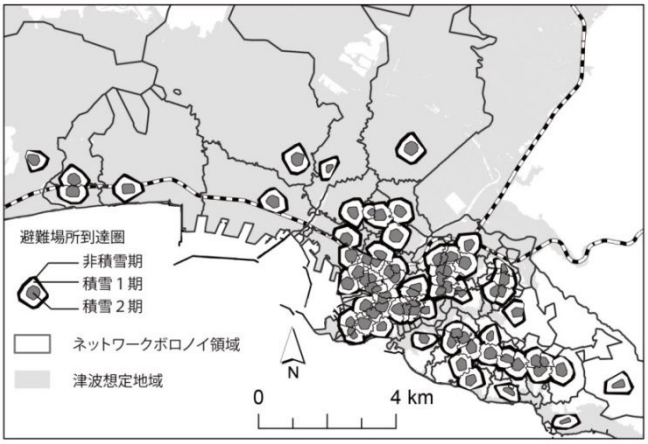


図 23　設定された避難場所到達圏

非積雪期：500.00m圏，積雪１期：416.50m圏，積雪２期：208.25m圏.

次に、2010 年時点において、避難圏域内の津波想定域の人口に占める避難場所到達圏人口の比率をみると（図 24)、非積雪期には 40.0%以上を占めるのが 80 地区中で 49 地区、うち 60.00%以上を占めるのが 41 地区、100.00%を占めるのが 17 地区である。これら高い比率を示す地区の大半は、市街地中心部にある面積が狭い地区である。また、20.00%未満の地区は 26 地区で、そのうち 0.00%を示すのは 7 地区である。このように非積雪期には、津波想定域人口の 6 割以上が到達圏に含まれる。

さらに積雪 1 期では、40.0%以上を占めるのが 40 地区、うち 60.00%以上を占めるのが 30 地区、100.00%を占めるのが 9 地区である。また、20.00%未満の地区は 28 地区で、そのうち 0.00%を示すのは 13 地区である。ここでも、高い比率を示す地区は、市街地中心部に集中している。また、積雪 2 期では、40.0%以上を占めるのが 9 地区、うち 60.00%以上を占めるのが 4 地区、100.00%を占める地区は存在しない。また、20.00%未満の地区は 44 地区で、そのうち 0.00%を示すのは 25 地区である。このように路面が凍結した状態、さらに道路幅員が狭くなった状態と条件が厳しくなるにつれ避難圏に含まれる人口の比率は低下する。ただし、都心部では積雪 2 期でも、＜大成寺＞で 90.97%、＜釧路プリンスホテル＞で 83.59%、＜釧路全日空ホテル＞で 76.72%、＜市役所＞で 76.02%と高い比率を示す地区がある。これは都心部においてネットワークボロノイで分割された地区が小さく、積雪 2 期の狭い避難到達圏でもその大部分を覆うことができるためである。

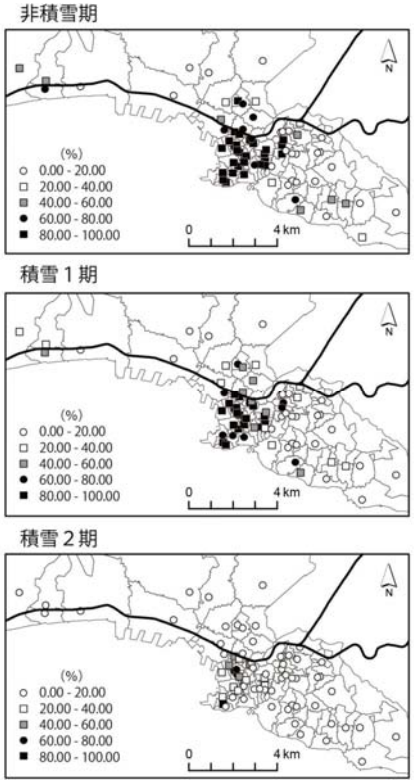


図 24　津波想定域における避難場所到達圏の人口比率

ここで 2010 年の避難場所到達圏の内側における 65 歳以上の高齢者比率を求めると（図 25）、すべての時期で都心部と市街地東部の地区が高い値を示す。市街地西部と都心部を取り巻く地区は、較的低いものの、20.00%以上の地区がほとんどである。また、2000 年から 2010 年にかけての避難場所到達圏内における高齢者の増減率を求めると、都心部で一部減少がみられるものの、ほとんどすべての地区で増加している。この傾向は、避難場所到達圏の外側も、ほぼ同様である（図 26）。

（３）避難場所到達圏ごと避難者収容能力

最後に、避難場所到達圏ごと避難者収容能力を分析するために、非収容人口を求めると（図 27）、非積雪期には圏域内の津波想定地域における全人口を収容できる避難場所は 80 か所の中で 35 か所あり、その比率は 43.75%である。逆に収容しきれない避難場所は 45 か所であり、56.25%を占める。そのうち、多くの非収容人口が発生する避難場所は市街地中心部や東部の内陸部に目立ち、特に釧路駅北側の地区に非収容人口が多い。

積雪 1 期には、圏域内の津波想定地域における人口を、すべて収容できる避難場所は 80 か所の中で 36 か所（45.00%）、収容しきれない避難場所は 44 か所（55.00%）である。この時期にも市街地中心部や東部の内陸部で非収容人口が多い。また、積雪 2 期には、圏域内の津波想定地域における人口を、すべて収容できる避難場所は 80 か所の中で 65 か所（81.25%）、収容しきれない避難場所は 15 か所（18.75%）である。そのうち、100 人以上の非収容人口が発生する避難場所は 5 か所で、釧路駅周辺に集中している。

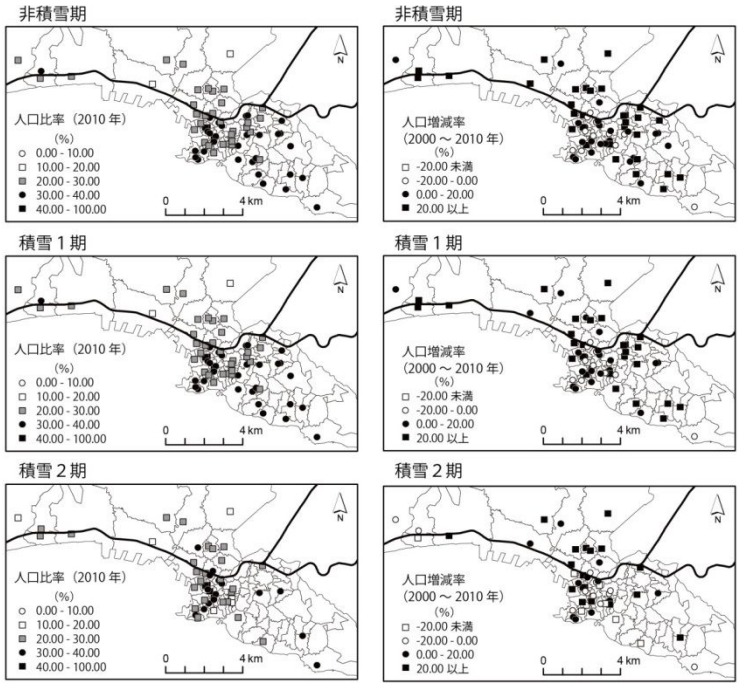


図 25　津波想定域における避難場所到達圏内の高齢者変化（2000～2010 年）

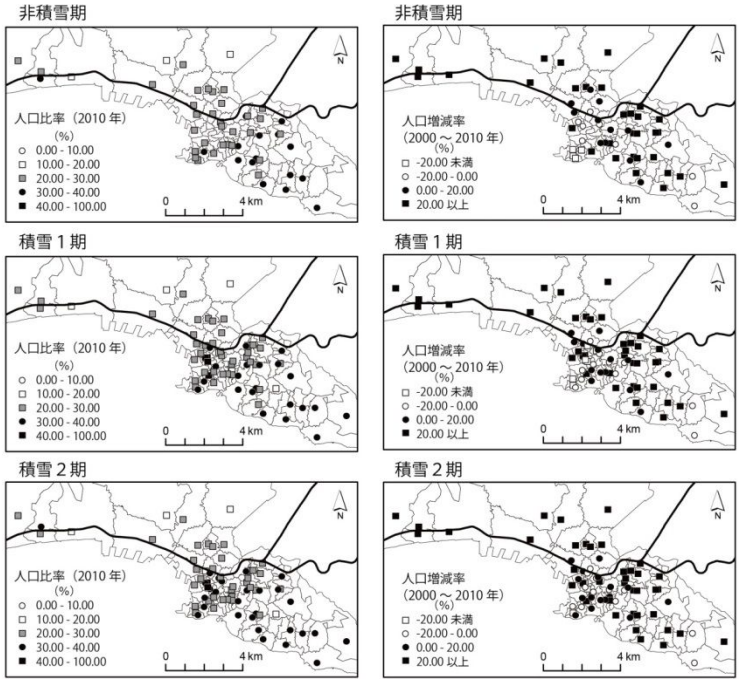


図 26　津波想定域における避難場所到達圏外の高齢者変化（2000～2010 年）

以上の分析から、都心部の西側などでは避難場所到達圏内で人口が増加しており、多くの非収容人口が発生していることがわかった。これら地区では、高齢者比率が高く、高齢者数も増加しているため、避難場所まで移動する多くの高齢者が、避難場所に入れない場合の生じる可能性がある。また、市街地東部や西部、都心部を取り囲む地区には、移動が困難になる積雪 2 期だけでなく、非積雪期でも多くの人口が到達範囲外に分布し、一部の地域では、この到達範囲外で人口が増加していることも明らかになった。なお、これらの地区でも、高齢者比率が高く、高齢者数も増加しているため、多くの高齢者が避難場所まで遠距離移動しなければならない状況にある。

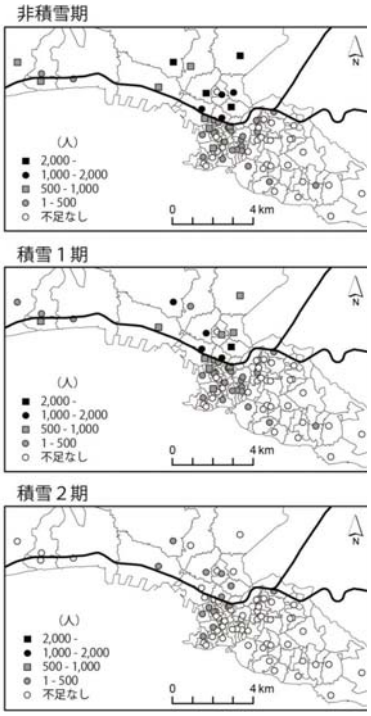


図 27　避難場所到達圏内の非収容人口（2010 年）

V　衛星測位による保育園の集団避難行動

これまでに、本研究は釧路市の津波発生時避難に関する課題を明らかにした。これは、特に保育園児など災害弱者の避難にとって深刻な問題となる。この問題への対応について、本研究は、釧路旭保育園、釧路市立双葉保育園、釧路ことぶき保育園、釧路共栄保育園、釧路さかえ保育園、釧路市立大楽毛保育園、釧路市立新富士保育園の 6 園で聞き取り調査を行った（図 28）。なお、聞き取り調査の実施日は 2012 年 9 月 18 日～10 月 30 日である。

この聞き取り調査で、上記の保育園は東日本大震災以降に避難先の変更を行ったことが明らかになった。これは、各保育園が、従来よりも安全な高さのある建物への避難を重視するようになったためである。そのため、2012 年 6 月に伝えられた釧路市子ども保健部からの指示で、各保育園は近隣の 4 階以上の建物を避難先として選定している（表 1)。

ここで、本研究は、大学生により保育園から新避難先までの疑似的な避難実験を行い、その移動を GPS ロガーで記録する。この調査は、非積雪期には 2012 年 9 月 17 日（月）～20 日（木)、積雪期には、2013 年 2 月 18 日（月）～21 日（木）に行った。使用した GPS ロガーは GARMIN 社 eTrex30J である。なお、移動中は、路面の状況、信号待ちの状態、歩行者の混雑度なども記録するために、すべての移動でビデオ撮影を行った。

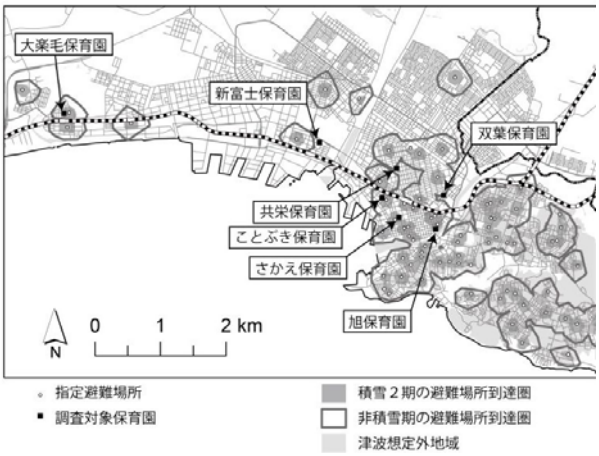


図 28　調査対象保育園

信号待ち時間なしの移動時間をみると（図 29)、9 経路のうち 7 経路が 5 分以内で避難場所に到達している。時間がかかっているのは、双葉保育園から共栄小学

校までの移動と、新富士保育園から新陽小学校までの移動であり（図 30）、これらは近隣に高い建物がないため、遠距離の避難場所に移動しなければならない。

なお、今回の実験では、いずれの経路もほとんど積雪期と非積雪期の差がみられなかった。しかし、積雪時に急で狭い坂や階段を上って避難する場合、雪置き場が移動経路上に作られたため非積雪期と異なる経路を選択しなければならない場合、大きな凹凸のある厚い氷が路面を覆って歩行が困難な場合などが、時期によって生じる可能性があるため、常に避難経路を迅速に移動できるように整備することが重要と考えられる。また、聞き取り調査では、避難の問題点として、人員が不足気味であり、緊急時の判断に不慣れであることが挙げられたため、避難訓練など日常的な用意が必要であると思われる。

表 1　旧避難先および新避難先

保育園	旧避難先	避難施設	階数	新避難先	避難施設	階数
大楽毛保育園	大楽毛小学校	津波指定避難施設	2	大楽毛小学校	津波指定避難施設	2
				優心病院(予定)	―(現在申請中)	5
新富士保育園	はしどい学園	―	2	新陽小学校	津波指定避難施設	2
双葉保育園	共栄小学校	津波指定避難施設	3	共栄小学校	津波指定避難施設	3
旭保育園	釧路市総合福祉センター	津波指定避難施設	4	市営住宅	―	9
共栄保育園	共栄小学校	津波指定避難施設	3	公営住宅いちい	―	5
				青葉小学校	津波指定避難施設	2
ことぶき保育園	中央小学校	津波指定避難施設	3	道営住宅	―	8
				ロイヤルイン釧路	津波指定避難施設	11
さかえ保育園	市役所	津波指定避難施設	5	北海道新聞釧路支店	―	5
	合同庁舎	津波指定避難施設	9	ロイヤルイン釧路	津波指定避難施設	11

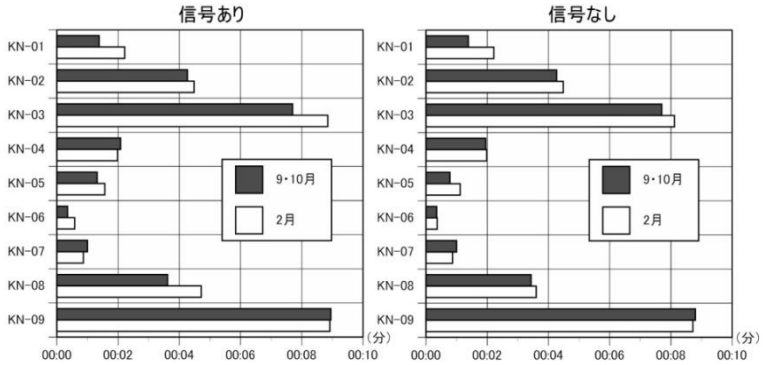


図 29　保育園から避難場所までの到達時間

KN-01：ことぶき保育園→中央小学校入口，KN-02：ことぶき保育園→道営住宅前，KN-03：双葉保育園→共栄小学校，KN-04：共栄保育園→公営住宅いちい，KN-05：さかえ保育園→北海道新聞釧路支店前，KN-06：旭保育園→釧路障害者福祉センター前，KN-07：旭保育園→市営住宅前，KN-08：大楽毛保育園→大楽毛優心病院前，KN-09：新富士保育園→新陽小学校正門.

図 30　GPS で測定された保育園からの避難移動における歩行速度

Ⅵ　おわりに

本研究は、積雪寒冷地における臨海都市において、ジオマイクロデータとGISを援用して冬季災害時避難の分析を行うことにより、都市の構造変容と災害に対する社会的脆弱性との関係について地理学的考察を行った。なお、災害としては津波災害を取り上げ、積雪期と非積雪期の環境の違いに注目した。

結果は次の通りである。まず、都心部の西側などでは避難場所到達圏内で人口が増加しており、多くの非収容人口が発生していた。これら地区では、高齢者比率が高く、高齢者数も増加しているため、避難場所まで移動する多くの高齢者が、避難場所に入れない場合の生じる可能性がある。そのため津波災害時避難において、収容能力不足の解消や高齢者への対応改善など多くの課題を残している。また、市街地東部や西部、都心部を取り囲む地区には、移動が困難になる積雪2期だけでなく、非積雪期でも多くの人口が到達範囲外に分布し、一部の地域では、この到達範囲外で人口が増加していた。なお、これらの地区でも、高齢者比率が高く、高齢者数も増加しているため、多くの高齢者が避難場所まで遠距離移動しなければならない状況にある。このように長距離避難を行わなければならない人口が多数存在することを想定し、自動車避難の可能性も含めた検討が必要である。

このような課題は、特に保育園児など災害弱者の避難にとって深刻な問題となるため、本研究は、その対策について保育園での聞き取り調査を行った。その結果、保育園では東日本大震災以降に避難先の変更を、近隣の4階以上の建物に変更していることがわかった。保育園から新避難先までの疑似的な避難実験を行った結果、ほとんどの経路が5分以内の移動であり、積雪期と非積雪期の移動時間の差は僅かであった。しかし、積雪時に歩行困難となる状況が生じる可能性があるため、常に避難経路を迅速に移動できるように整備することが重要と考えられた。また、人員不足や、緊急時の判断への不慣れなどが避難時の問題となる可能性があるため、避難訓練など日常的な用意が必要と思われた。

このように本研究は、都市における建物や人口などの分布および変化が津波発生時の避難に与える影響を考察し、都市内部の構造変容と災害に対する社会的脆弱性との関係を明らかにした。また、積雪寒冷地の都市防災に関し、保育園を事例にして積雪期の防災計画の課題や対応について検討した。さらに、本研究では、ネットワークボロノイ領域分割およびネットワークバッファ領域生成という高度情報活用社会に向けた防災分野でのジオマイクロデータの活用に関する2つの分析手法を開発した。加えて本研究は、実際の避難経路の移動を疑似的に再現し、その空間データ化を行うことで、避難行動時の具体的な問題点を明らかにする手法を検討した。なお今後は、東日本大震災などの大規模な災害の発生を想定し、いくつもの都市を含む広い地域において、上記の考察を行うことが課題である。

謝辞

本研究を行うにあたり、北海道総務部危機対策局危機対策課からは津波想定に関する資料を頂戴し、同課の高見芳彦様からは、この想定に関してお教えいただきました。また、釧路市総務部総務課からは防災に関する資料を頂戴し、同課の佐々木信裕様からは市の防災計画についてお話しいただきました。同市総合政策部都市計画課からは都市計画基礎調査データをご提供いただきました。さらに、訪問させていただいた保育園の方々には、聞き取り調査にご協力いただきました。本研究の分析で用いたネット

ワークボロノイ領域分割とネットワークバッファ生成に関しては、株式会社マプコンにご協力いただき、同社製PC-MAPPINGの技術をご提供いただきました。さらに、保育園の調査やGPSデータの収集・加工では、北海道大学文学部の最上龍之介様ご協力いただきました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

香川貴志 (2007)：札幌市中央区における分譲マンション供給の特徴―バブル期前後の比較考察を中心として―.人文地理，59,57-72.

相馬絵美，橋本雄一（2005)：ネットワークボロノイを用いた都市内避難場所の圏域分析．地理情報システム学会講演論文集，14，443-448.

竹内慎一（2008)：積雪寒冷期を考慮した津波避難対策の検討について．北海道建築指導センターCENTER REPORT，166，2-5.

橋本雄一 (2008)：札幌市における建物用途の時空間構造と居住空間の都心再集中．地学雑誌，11 7 (2)，491-505.

春山成子，林香織（2011)：漁村から国際的リゾートに変化した地域での災害―プーケット津波災害―．春山成子編『災害軽減と土地利用』古今書院，81-113.

宮澤 仁，阿部 隆 (2005) ：1990年代後半の東京都心部における人口回復と住民構成の変化―国勢調査小地域集計結果の分析から―．地理学評論，78，893-912

矢部直人 (2003)：1990年代後半の東京都心部における人口回帰現象―港区における住民アンケート調査の分析を中心にして―．人文地理，55，277-292.

Hall, P. (1984): *The World Cities (Third Edition)*. PalgraveMacmillan.

Klaassen, L. H., Molle, W. T. M. and Paelinck J. H. P. eds. (1979):*Dynamics of Urban Development*. St.Martin's Press.