

# ネットワークボロノイ領域分割を用いた積雪都市における避難場所収容能力の時空間分析

寺山ふみ\*・橋本雄一\*\*

## Spatio-temporal Analysis of Shelter Capacity in Heavy Snow City using Network Voronoi Diagrams

Fumi TERAYAMA\*, Yuichi HASHIMOTO \*\*

**Abstract:** This study aims at development of the spatio-temporal analysis method for solving a relation between capability of shelters and population in an earthquake disaster. First, using the network voronoi diagrams, this study determined the evacuation area for each shelter and calculated the excess and deficiency of shelter capacity. Second, this study calculated the shortage of shelter capacity which the change in population distribution caused from 1975 to 2007. Finally, the method which this research presented was able to show clearly the mismatch of fixed social capital, such as shelters, and changeable distribution of population in the heavy snow city.

**Keywords:** ネットワークボロノイ (Network Voronoi Diagrams), 人口の都心回帰 (Recentralization of population), 避難場所 (shelter)

### 1. はじめに

1995年1月の阪神・淡路大震災を契機に、日本における防災計画は大きく見直されることとなり、近年では各自治体の定める地域防災計画において、地域特性を踏まえた被害想定に基づく対応が進められている（橋本雄一編, 2009）。札幌市は、1998年に大規模災害に対応した新たな地域防災計画を策定し、さらに2008年には、これを大きく修正して、地域特性を踏まえた地震防災対策の推進に関する提言を行っている（札幌市, 2008）。

札幌市の地域特性として挙げられるのは、冬季の積雪や寒冷な気候と、180万以上の人団規模の2点である。積雪・寒冷期に地震が発生した場合、避難場所として使用できるのは屋内スペースを有する施設だけであり、積雪により公園など屋外スペースが

使用できなくなる。このとき配置された屋内避難場所に多くの避難者が集中することから、多くの住民を避難場所に収容できない可能性が川村・相馬（2002）により指摘されている。特に、「人口の都心回帰」現象が進行しつつある札幌市の都心部では（沼田, 2006）、1990年代後半から人口増加が著しいにもかかわらず、屋内避難場所の数は変化していないため、収容できない住民は増加する傾向にある。こうした人口の流動性と避難場所配置の固定性との関係から、都心部における避難場所の不足は重要な問題となっている。

そこで本研究は、札幌市都心部を対象地域として、地震災害時における避難施設収容能力と人口分布と対応関係を検討するための時空間分析を提案する。また、この方法により、公園などオープンスペースが使用できない積雪期における、常住人口に対する避難場所の充足状況を解明する。

### 2. 研究方法

本研究は、札幌市都心部を分析対象地域とし（図

\* 正会員 ESRI ジャパン株式会社

〒102-0093 東京都千代田区平河町 2-7-1

Tel : 03-3222-3941

\*\* 正会員 北海道大学大学院文学研究科  
(Hokkaido University)

1). 札幌市で最初に避難場所の指定が行われた 1975 年と、「都心の人口回帰」現象の生起後である 2007 年との比較を行う。

積雪期には、公園や大学などのオープンスペースを利用する一時避難場所や広域避難場所は使用不可能とし、屋内施設である収容避難場所のみを使用可能として分析する。また、地震発生後に、避難者が居住する地区から最も近い避難場所へ、道路を徒歩で移動して避難すると仮定する。空間内の任意の母点に対する道路距離上の最近接領域を表現できるネットワークボロノイ領域によって各避難場所の避難圏域を設定する。ネットワークボロノイ領域は、平面空間上で生成される通常のボロノイ領域とは異なり、連結した道路ネットワーク空間を前提として、任意の母点と道路距離が最短となるノード上の点に基づいて空間を分割する(図 2)。そのため、ボロノイ領域における直線距離上の最近接領域とは異なり、大規模な敷地を有する施設や、河川や線路等の障害を迂回しなければならない場合を考慮できる(相馬・橋本, 2006)。

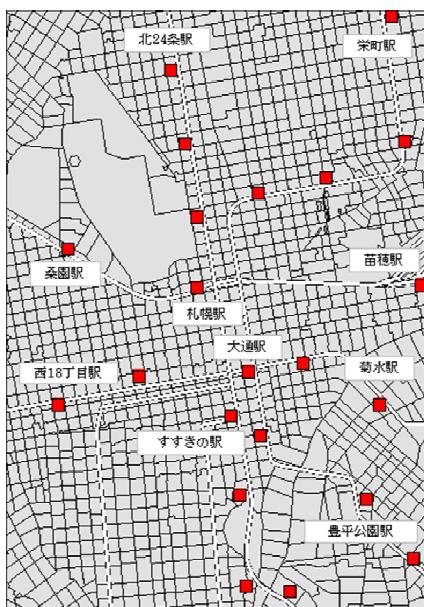


図 1 研究対象地域

生成された避難圏域内に含まれる人口を算出し、これを各避難場所に対する避難人口とする。この避難人口と、避難場所の収容可能人員との差を過剰避難人口として、その発生状況により、地域的な充足

関係の差を表現する。さらに、1975 年と 2007 年のデータをオーバーレイし、各条丁目の中心に位置する代表ポイントデータと空間結合することで、2 つの年次の人口情報と所属する避難圏域情報を有するデータを作成し、避難者の各居住地区について、時間の経過に伴う過剰避難人口発生の状況変化を明らかにする。

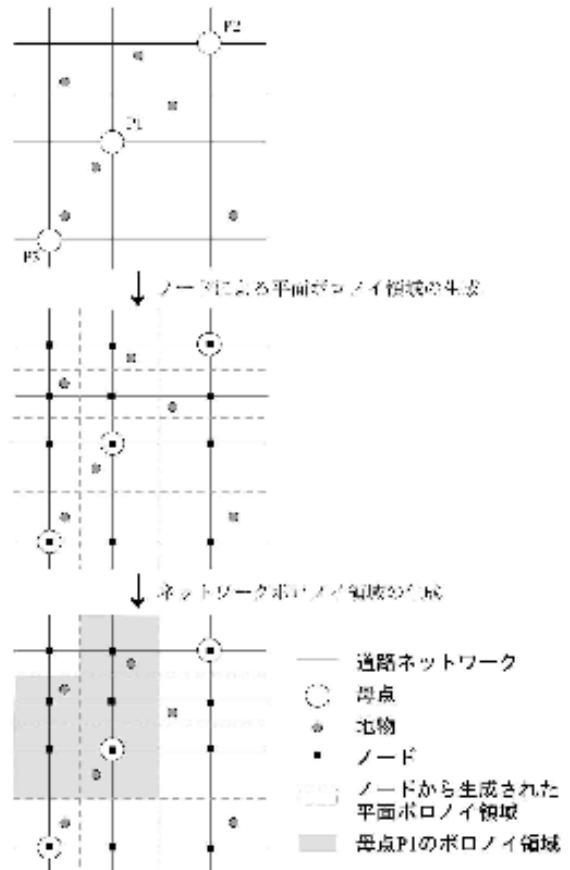


図 2 ネットワークボロノイ領域の生成

なお、本研究で用いる人口データは、住民基本台帳人口の町名・条丁目別人口(1975 年 4 月, 2007 年 4 月)、避難場所の種類・収容可能人員データには札幌市防災会議事務局資料を用いることとする。

### 3. 積雪期における避難場所収容能力の分析

分析対象地域における人口は、オフィス等の商業施設の増加に伴い、1975 年から著しく減少した。しかし、都心地区へのアクセス性を重視して、桑園駅周辺や都心周辺部の駅を中心に共同住宅が集積し、1990 年代半ばから都心のオフィス街を取り囲むよ

うに人口が増加している。

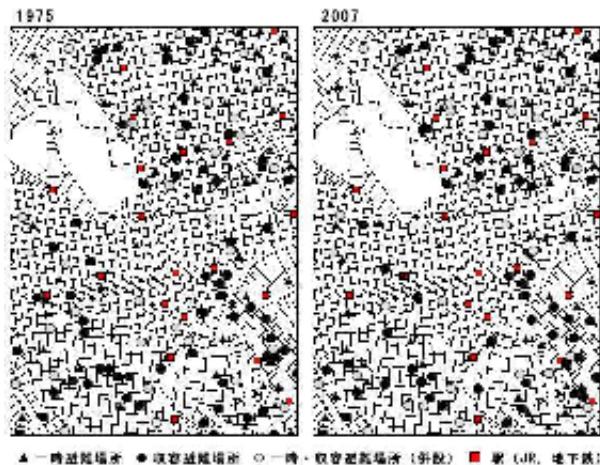


図3 対象地域における避難場所分布

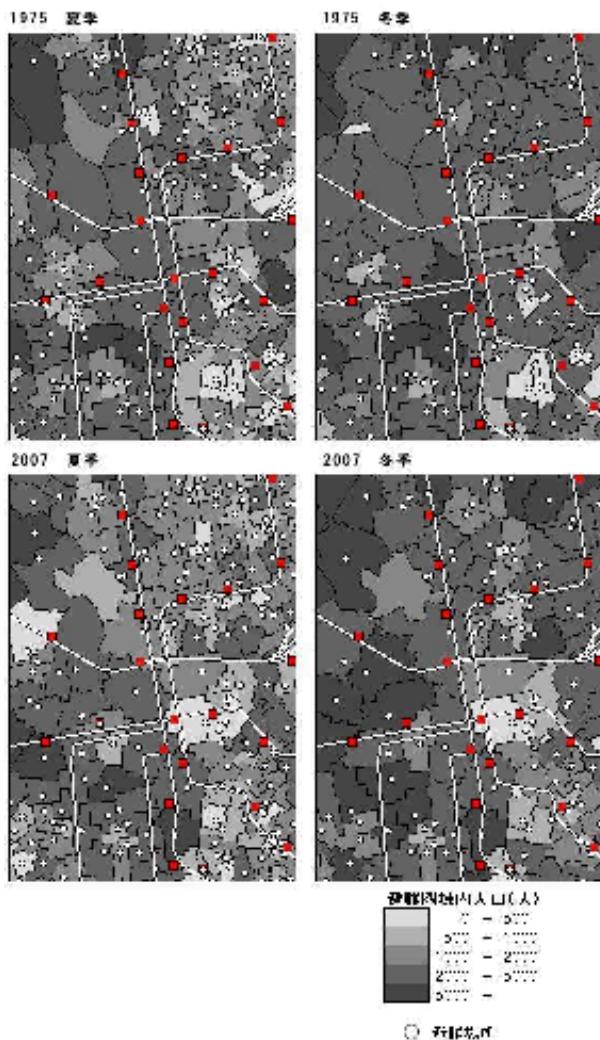


図4 夏季および冬季の避難圏域内人口の変化

図3は、分析対象地域内の避難場所の分布を示し

ている。1975年から2007年までに当市の人口はほぼ2倍になっているが、避難場所の配置数は両年で大きな変化はみられない。さらに、都心部では近年の人口増加とは逆に、収容避難場所の平均収容可能人員数が190人から182人と減少している。

ネットワークボロノイ領域により設定された避難圏域をみると、夏季と比べて冬季における避難圏域の方が、面積の大きいことが分かる。これは積雪期には収容避難場所しか使えなくなることにより、避難者の移動距離や移動時間も長くなる。また、圏域ごとの避難人口も積雪期には多くなり、近年のマンション建設地では1万人を越える場合がみられる（図4）。この積雪期には、対象地域全体で大幅に収容能力の低下により、ほとんどの避難圏域で5,000人以上の過剰避難人口が発生する。（図5）。

（図5）この積雪期には、対象地域全体で大幅に収容能力の低下により、ほとんどの避難圏域で5,000人以上の過剰避難人口が発生する。（図5）。

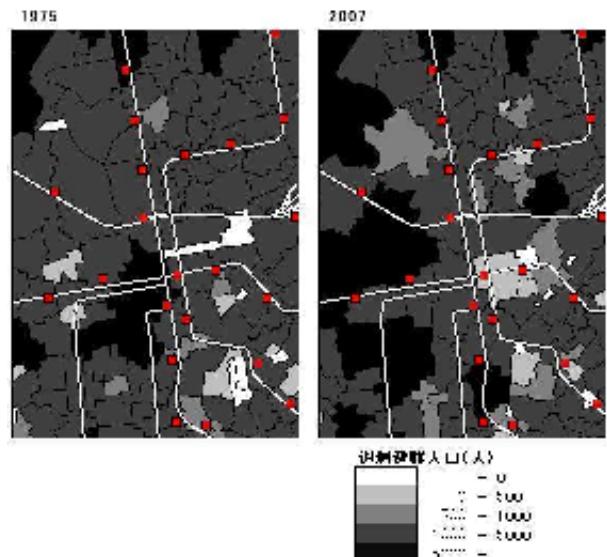


図5 都心部で発生する冬季の過剰避難人口

#### 4. 避難場所収容能力の変化

次に、積雪期について、1975年から2007年にかけての過剰避難人口発生状況変化をみる。ここでは、この状況変化を収容能力の増減、圏域内人口の増減という2指標の組み合わせにより地区分類することで分析する（表1）。

分析の結果、全地区は6タイプに分類でき、その中で、収容可能人員が減少せずに、避難人口が減少した地区（類型2・4）は全体の29.9%となり、過剰避難人口の増加はみられない。また、収容可能人員

も避難人口も減少した地区（類型 6）では、93.6%の地区で過剰避難人口の増加がみられなかった。逆に、避難人口が増加した地区（類型 1・3・5）は全体の41.4%を占めており、1 地区以外すべて過剰避難人口が増加している。なお、過剰避難人口が拡大した地区をみると（図 6）、都心を取り囲む地区で、JR や地下鉄沿線の駅周辺が該当する。このことから、積雪期においては、避難先である収容避難場所の規模の拡大・縮小に関わらず、上記地区における人口増加が収容避難場所の収容力不足を深刻化していることがわかる。

表 1 避難場所の類型

類型	地区数	過剰避難人口発生（2007）	過剰避難人口増加
1：収容可能人員満額・避難人口増	239	229	233
2：収容可能人員満額・避難人口減	152	157	0
3：収容可能人員縮小・避難人口増	102	102	162
4：収容可能人員縮小・避難人口減	223	225	0
5：収容可能人員減・避難人口増	179	179	173
6：収容可能人員減・避難人口減	391	346	23
計	1,251	1,216	542

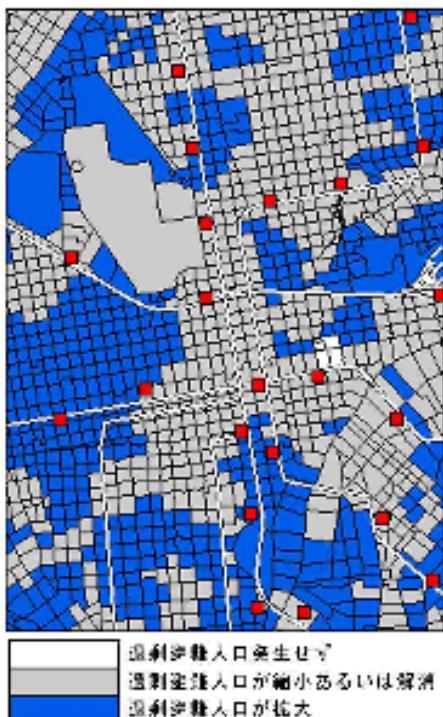


図 6 冬季の過剰避難人口の変化

#### 4. おわりに

本研究は、札幌市の積雪期地震災害時における避難施設収容能力と人口分布と対応関係を検討するための時空間分析を提案し、避難圏域設定の手法としてネットワークボロノイ領域分割を用いた。それにより、収容避難場所の収容可能人員と避難者の人口分布との関係から、避難場所の充足関係と人口分布の経年変化に伴う充足関係変化を明らかにした。

その結果、人口の集積する都心とその周辺部において、積雪期における収容避難場所の能力は、増加する人口に対応しておらず、そのズレは避難場所が指定された当時から現在にかけて大きくなってきていることが明らかとなった。これは、避難場所という空間的に固定された社会資本に対して、居住者が極めて短期間にその分布を変えることにより、空間的分布にみられるミスマッチが拡大したものと考えられ、本研究が提案した研究方法は当該事象の解明に有効と考えられた。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、札幌市市民まちづくり局都市計画部都市計画課からは都市計画基礎調査に関する貴重な資料をいただきました。また、株式会社マップコンには PC-Mapping 用空間的按分計算プログラムなどでご協力いただきました。ここに記して厚く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 川村真也, 相馬絵美 (2002) : 地域防災計画の策定における GIS の活用に関する研究—札幌市中心部を事例として—, 北海道地理, 76, 9–23.
- 札幌市 (2008) : 『第 3 次地震被害想定』札幌市危機管理対策室.
- 相馬絵美, 橋本雄一 (2006) : 空間データにおけるネットワークボロノイ領域の分析方法, 北海道地理, 81, 19–37.
- 沼田尚也 (2002) : 札幌市における人口分布の変化, 北海道地理, 81, 45–50.
- 橋本雄一編 (2009) : 『地理空間情報の基本と活用』古今書院.