

# 一般ボロノイ図を応用した緊急避難場所アクセス圏の分析

山本裕貴・奥貫圭一

## Application of generalized Voronoi diagrams to the accessible area analysis of emergency evacuation sites

Hiroki YAMAMOTO and Kei-ichi OKUNUKI

**Abstract:** In this paper, generalized Voronoi diagrams are applied to the analysis of accessible areas of emergency evacuation sites for residents in case of floods. For the analysis, the ordinary Voronoi diagrams, the network Voronoi diagrams and the second-order Voronoi diagrams are drawn to delimitate the residents' accessible area of each site. These diagrams help residents to know visually which of the sites is the nearest from them, and the network Voronoi diagrams help them to know the sites which they do not have to cross any bridges. The alternative sites for residents are also known through the second-order Voronoi diagrams.

**Keywords:** 水害 (Flood), 緊急避難場所 (Emergency evacuation site), 一般ボロノイ図 (Generalized Voronoi diagram), 浜松市 (Hamamatsu city)

### 1. はじめに

本論文では、水害時に、どこに住民がどこの緊急避難場所へ向かうのかを、一般ボロノイ図を応用して視覚的に捉え、そのアクセス圏を分析する。近年日本各地で豪雨被害が頻発し、豪雨時は「自らの命は自らが守る」という意識が各地の住民に根づくとともに、避難行動の重要性が広く認知されるようになった。住民の自助努力と避難行動を支えるため、市町村長は、「居住者等が災害から命を守るために緊急的に避難する施設又は場所」として、災害の種類ごとに「指定緊急避難場所」（以下、緊急避難場所）を必要に応じて定めることになっている（災害対策基本法第49条の4）。緊急避難場所の情報は自治体の提供するハザードマ

ップ等で提示されており、どこが緊急避難場所に指定されているのかを住民は知ることができる。しかし、緊急避難場所までの経路（以下、避難経路）の安全性に着目してみると、大きな課題が残されていることがわかる。

柿本ほか(2007)は、住民が河川増水時の避難経路の安全性に不安を抱えている実態を報告している。これに対して政府は、「避難勧告等に関するガイドライン」(内閣府, 2019)の「1.2.3 居住者・施設管理者等に対して求める避難行動等」の中で、住民に対して、「激しい降雨時には、河川に近づかない」、「小さい川や側溝が勢いよく流れている場合は、その上を渡らない」といったことを促している。であるならば、避難経路上の河川に関わる情報が住民へ提供されていくことが必要であろう。ところが、そうしたものは未だ多くなく、そればかりか、自治体が避難経路の安全性を確認する作業も未だ十分とは言えない状況である（佐々木ほか, 2018）。

---

奥貫圭一

〒464-8601 愛知県名古屋市中千種区不老町 D2-2 (510)

名古屋大学大学院環境学研究科地理学教室

Phone: 052-789-2236(代表)

E-mail: kei.okunuki@nagoya-u.jp

そこで本論文では、避難経路の安全性を確認するための一つの手段として、一般ボロノイ図と総称される各種圏域図の活用を試みる。とくに、一般ボロノイ図のうちオーダ $n$ のボロノイ図と呼ばれる圏域図を応用すれば、住民にとって最近隣の緊急避難場所だけでなく、代替候補となるいくつかの緊急避難場所への避難可能性をも検討することができるはずである。以下では、たびたび氾濫警戒情報が発せられる2本の河川（馬込川・芳川）が低地部を流れている静岡県浜松市を事例として検討していくことにする。

## 2. 緊急避難場所アクセス圏の分析

ここではまず、洪水を想定し、天竜区を除く浜松市の各指定緊急避難場所155ヶ所について、その最近隣勢力圏をアクセス圏（その避難場所へ集まる住民の圏域）とみなして分析を試みる。

### 2.1 制約付き平面ボロノイ図による緊急避難場所アクセス圏

図-1は、緊急避難場所を母点とする最近隣勢力圏図すなわち平面ボロノイ図を描いたものである。これを見ると、馬込川より西に位置している緊急避難場所のアクセス圏の多くが馬込川の東側へ大きく及んでいることがわかる。そこで、住民が河川を渡って緊急避難場所へアクセスすることはできないと想定し、馬込川・芳川の2つの河川を予め境界線と考え、この境界線で制約された平面上で緊急避難場所を母点とするボロノイ図を描きなおしたものが図-2である。

### 2.2 ネットワークボロノイ領域による緊急避難場所アクセス圏

2.1節では、緊急避難場所までの距離を直線距離で測った上でアクセス圏を画定した。しかし、住民は道路に沿って避難するので、距離を道路距離で測る方が現実的に即している（相馬・橋本，2006）。図-3は、距離を道路距離で測り、緊急避難場所のボロノイ図（ネットワークボロノイ図）を描いたものである。ここで、道路ネットワーク

のデータには、国土地理院による「数値地図（国土基本情報）オンライン」を用いた。また、ネットワークボロノイ領域の算出にはSANET（佐藤ほか，2009）を利用した。図-4は、平面ボロノイ図の場合と同様に、住民が避難する際に橋（河川）を渡ることはない想定した場合の緊急避難場所のネットワークボロノイ図である。この図を描くにあたっては、橋に該当するリンクを道路ネットワークから削除した上でネットワークボロノイ領域を求めた。

### 2.3 各緊急避難場所アクセス圏の人口

ここまで描いた4つのボロノイ図の場合について、各緊急避難場所のアクセス圏人口を推計した。その推計にあたっては、2015年国勢調査小地域データを用い、これと各アクセス圏との重なり部分に対して面積按分して推計人口を算出した。その結果、河川を考慮することで、考慮しない場合に対して、アクセス圏人口が60%ほど減った箇所や一方で94%増加した箇所があることがわかった。

## 3. オーダ $n$ のボロノイ図の応用

前節では、住民にとって最も近い地点にある緊急避難場所だけを考えて分析を行った。しかし実際には、住民が代替の緊急避難場所への避難を考えなければならないこともあるだろう。そこでここでは、オーダ $n$ のボロノイ図を応用して、2番目に近い緊急避難場所を提示することを考える。

### 3.1 オーダ $n$ のボロノイ図

いま、ある点 $p$ があり、そこから最も近い施設と2番目に近い施設の両地点の組み合わせが地点 $p_i$ と地点 $p_j$ であるとする。このような条件を満たすすべての点の集合を、母点 $p_i$ と $p_j$ のオーダ2のボロノイ領域 $V(p_i, p_j)$ と呼ぶ。すなわち、

$$V(p_i, p_j) = \{p \mid d(p, p_i) \leq d(p, p_k), d(p, p_j) \leq d(p, p_k), i \neq k, j \neq k, k = 1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

であり、これを描いたものがオーダ2のボロノイ図である。同様に、オーダ $n$ のボロノイ図では、 $n$ 番目に近い施設までを考える（岡部・鈴木，1992）。



図-1 緊急避難場所を母点とする平面ボロノイ図

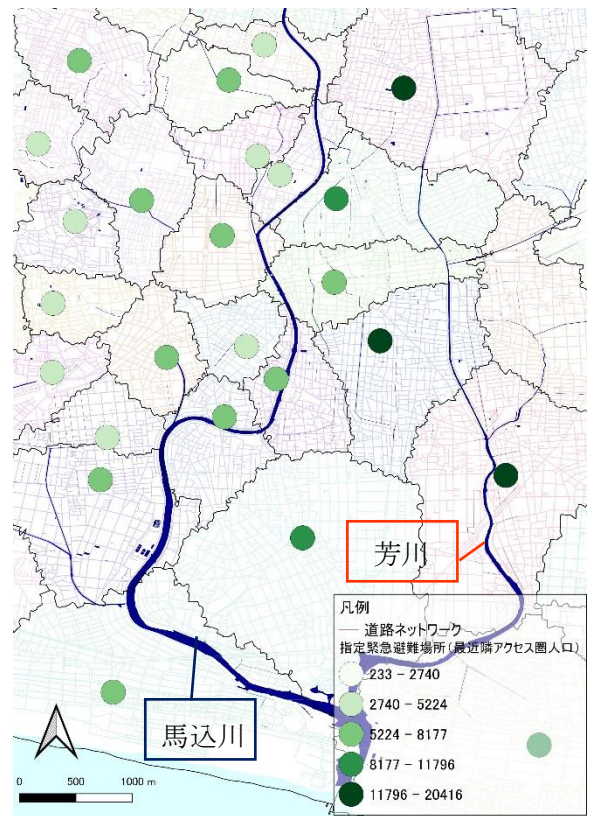


図-3 道路ネットワーク上のボロノイ図



図-2 馬込川と芳川を境界線とする平面上のボロノイ図

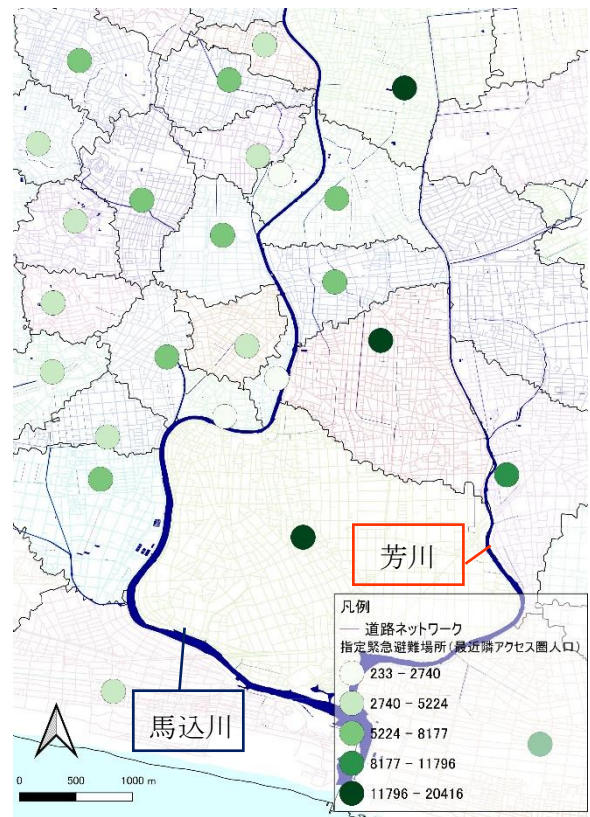


図-4 馬込川と芳川に架かる橋を除いた道路ネットワーク上のボロノイ図



### 3.1 オーダ $n$ のボロノイ図によるアクセス圏分析

ここでは、馬込川・芳川の2つの河川が流れる浜松市南区の緊急避難場所のうち6箇所をとりあげ、これらを母点とするオーダ2のボロノイ図を描画する。図-5は平面上、図-6は道路ネットワーク上で、それぞれ描いたオーダ2のボロノイ図である。これを図-2、図-4と見比べてみると、河川の制約を考えたとき、最近隣あるいは2番目に近い緊急避難場所のうち、いずれか1箇所だけがアクセス可能であるような領域(図-5の黄色部分)が広範囲にわたることがわかる。さらに、どちらにもアクセスできない領域(図-5の赤色部分)が存在することもわかる。

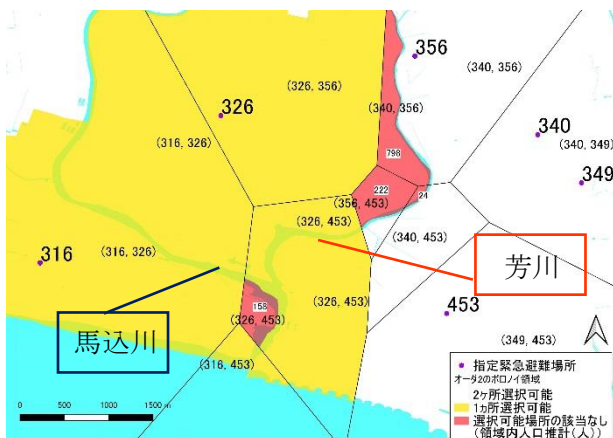


図-5 緊急避難場所を母点とする  
平面上のオーダ2のボロノイ図

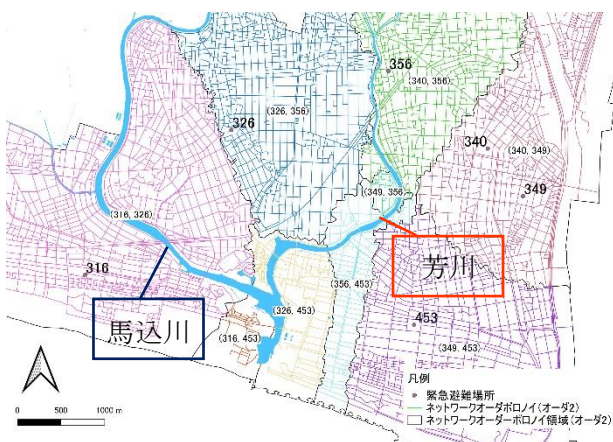


図-6 緊急避難場所を母点とする  
道路ネットワーク上のオーダ2のボロノイ図

### 4. おわりに

本論文では、指定緊急避難場所へ住民がアクセスするときの経路に着目し、その安全性を確認するための一つの手段として、ネットワークボロノイ図やオーダ $n$ のボロノイ図などの一般ボロノイ図を用いた視覚化を試みた。とくに、オーダ $n$ のボロノイ図を応用して、住民にとって最近隣の緊急避難場所だけでなく、代替候補となる緊急避難場所への避難可能性をも検討することができ、これによって、実際にアクセスできる緊急避難場所のアクセス圏を視覚的に示した。

### 参考文献

- 岡部篤行, 鈴木敦夫, 1992. 「最適配置の数理」, 朝倉書店.
- 柿本竜治, 山田文彦, 山本幸, 2007. 水害リスクコミュニケーションによる地域防災力向上のための実践的研究, 日本都市計画学会都市計画論文集, 42(3), 625-630.
- 佐々木健, 斎藤直也, 勝又英明, 2018. 緊急避難場所・避難所の指定の実態と広域災害時の寺院利用の可能性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 83(747), 877-884.
- 佐藤俊明, 奥貫圭一, 岡部篤行, 岡部佳世, 塩出志乃, 2009. ネットワーク空間上における空間的解析ツールの開発, 地理情報システム学会講演論文集, 18, 493-496.
- 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, 29-37.
- 内閣府 「指定緊急避難所の指定に関する手引き」 (2017年3月作成) <http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/pdf/shiteitebiki.pdf>, 2019年8月24日閲覧.
- 内閣府 「避難勧告等に関するガイドライン」 (2019年3月29日改定) [http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/pdf/guideline\\_kaitei.pdf](http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/pdf/guideline_kaitei.pdf), 2019年8月24日閲覧.