

ボロノイ分割を活用した避難区分の考察

石川県金沢泉丘高等学校 2年
柿原 拓一朗 松本 遼 山谷 昂平

1. 導入

近年、大地震の代表である東日本大震災が発生し、多大なる被害をもたらした。このような災害は自然現象であるため、完璧に日時、場所等を予期することは非常に難しいことはよく知られていると思う。地震についての予期は火山の活動による周期、地震波などにより海外でも研究は行われている。実際、日本のある大学の教授が、観測される地震波により東日本大震災を予期していたというテレビ番組があった。この教授の地震波の観測による実験は非常に確率が高く、大地震が起きると予期していたにもかかわらず、そのような事は嘘に過ぎないといわれ注目されていなかった。近い将来、東日本大震災級の大地震、いわゆる南海トラフ沖地震や首都直下地震がおこる事はニュース等のあらゆる伝達媒体、メディアで広く見聞されていることと思われる。

そこで私たちは、災害に対する防災について目を向けた。一般的に防災は、設備を強化することや防災用品を揃える事だと思うが、この研究では、実際に起きたときに使われるであろう避難所について考えることにした。私たちが住んでいる石川県金沢市では、避難所は法律に基づいて指定されている。

そこで、私たちは、事前研究によりハニカム構造を調べ、何かに活用できないかと調べ、考えた。そして、私たちはボロノイ分割という方法で、よりよいハザードマップを作成できるのではないかと考えた。ちなみに、ハニカム構造とは同じ面積で周の長さが最も短い図形を隙間なく並べた構造、いわゆる正六角形を並べたものであり、ボロノイ分割とは二次元平面にいくつかの母点があり、どの母点に最も近いかによって平面を分割する方法である。最初、このボロノイ分割を行うときに単なる避難所と避難所との距離だけを用いて計算を行うこととした。そして、ボロノイ分割された地図と既存のハザードマップを比較し違いを見ることとした。

2. 研究目的

近年の大地震を代表する東日本大震災や我々が抱える森本・富樫断層のニュース等を見聞き、地震による被害は身近なものであると捉え、その中でも私たちは避難所について研究しようと考えた。避難時に重要なことは一秒でも早く自分の逃げるべき場所を見つけ、一秒でも早く避難所に到達することである。そこで今、自分がどこの避難所に行くべきかを、災害が起こるより先に知っておく必要がある。ボロノイ分割を避難所の分布に応用することによって一番近い避難所を決定することができる。それだけでなく既存のハザードマップとボロノイ分割した図を比べることにより、距離的に非効率な避難をしている場所を知ることができる。

私たちが考えた仮説としては、ボロノイ分割を活用したハザードマップを作成することによって、今まで使ってきたハザードマップよりも、より効率的に避難をすることができると考えた。この考えに至った理由は、既存のハザードマップでは距離などは考慮されずに小学校校区に基づいて避難区分が決まっている。その区分では、効率や現実性が考えられておらず、ボロノイ分割を利用することによって距離だけでも改善されるのではないかと、そして、以前よりも効率的に避難できる避難区分が決められると考えたからである。

3. 研究方法

私たちは避難区分の考察ということで、我々が住んでいる金沢市の避難所をもとに、ボロノイ分割することにした。金沢市には482個の避難所があることが分かった。避難所には種類があるが、私たちが扱ったのは、災害対策基本法第49条の7に基づく、「想定される災害の状況、人口の状況その他の状況を勘案」された指定避難所である。実際に指定避難所として利用されるのは、学校（小学校・中学校・高等学校・短大・大学）、公民館、市営体育館等であり、避難

所に求められる基準として、①耐震性、②津波浸水想定区域外、③土砂災害浸水想定区域外、④浸水想定区域外などが挙げられる。だが、全ての指定避難所が、条件を満たしている訳ではなく、浸水災害には不適でも、地震災害に適している施設は、地震の避難所としては使用できるため、指定避難所として指定されることがある。私たちはこの482個の指定避難所を母点とするボロノイ図をつくることを目標にした。まず自作のプログラムでボロノイ図を作ること考えたが、時間的にも私たちの情報処理能力的にも難しいと判断し、インターネットで見つけたソフトを使用することにした。そのソフトとは、グーグルマップ上で住所を入力すると、そのプロット点を母点とするボロノイ図を作成できるもので、私たちは482個の避難所の住所を入力し、金沢市のボロノイ図を作成した。作成したボロノイ図を見て、既存のハザードマップや道路と比較、考察を行った。

次に実際に避難所がどのように考えられて設置されているかなどの避難所事情を調べるために金沢市や石川県に問い合わせることとした。

4. 実験

EXCEL と Google map の連携ソフトに指定避難所の住所を入力し、石川県金沢市の指定避難所を母点とする地図をボロノイ分割した。そして、既存のハザードマップとボロノイ分割された地図とを分割された地域に着目して、比較・考察を行った。下図は金沢泉丘高校周辺のハザードマップである。(図1)



野町 防災マップ (図1)

5. 実験結果

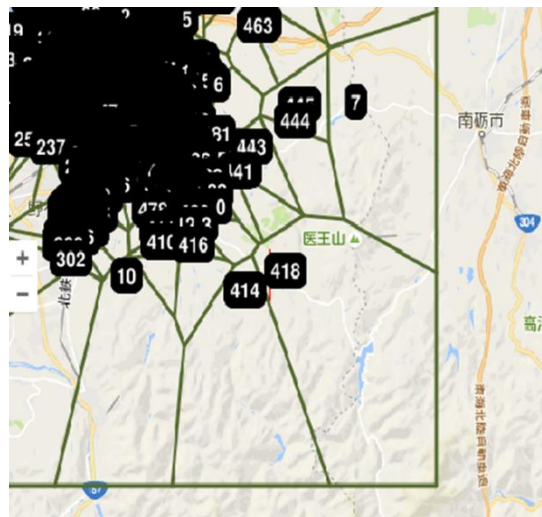
既存のハザードマップとボロノイ分割された

地図を比較した結果、いくつかの相違が見られた。

1つ目は、実際では考えられない不具合が見られた。例として、金沢市の端をソフトウェアがうまく計算できなかったり(図2)、2つの避難所が近すぎて1つのボロノイ領域の中に2つの避難所が入ってしまい、隣のボロノイ領域内に避難所がなかったりした(図3)。

2つ目は、小学校校区は道路や河川を基準に分割されていたが、ボロノイ分割は直線で区切られることで区分する線が小学校校区を分割している線とまったく異なっていることが見受けられた。

3つ目は、人口の多い町の中心部に近ければ近いほどボロノイ領域が小さいことが分かった。



(図2)



(図3)

6. 考察

① ボロノイ図に不具合が確認された件

私たちが使用したソフトが決して正確ではないことがうかがえる。やはりもっと正確なソフトを自作するべきだが、プログラミングの高度な技術が必要で、少し時間がかかると思われる。

② 実際に作成したボロノイ図を見て

人口が多い中心部ほど避難所も多く、ボロノイ領域の面積も小さいという傾向から、距離だけを考えると、地震が起きたとき都市部の方が郊外より、避難所が近いところにあるということが分かる。また明確な傾向ではないが、1つのボロノイ領域の中に川や幹線道路が通っている場所が比較的多く見られ、災害時には川や幹線道路を渡るのは、状況にもよるが時間がかかったり危険があったりするため問題があると思われる。とはいえ、明確な傾向はよく分からなかったといわざるを得ず、実際の避難によく用いられるハザードマップとの違いなどもよく分からなかった。だがハザードマップの形と異なる場所では、距離的な非効率な避難を強制される可能性がある、私たちは考えた。これについては以下でも述べるが、金沢市も同じような意見を持っているようだった。

③ 金沢市、石川県への問い合わせで分かったこと

金沢市では、62の校下(地区)毎に指定避難所を設けており、基本的に校区(地区)内の指定避難所に避難するよう呼びかけている。したがって、住む場所によっては、隣の校区(地区)の学校の方が近くても遠方の学校が避難所となっている場合があるようだ。つまり、場所によっては非効率な避難をする場合があるということである。こうしてみると一見、避難所どうしの垂直二等分線を引き距離を考慮したボロノイ分割は避難所位置問題で最適かと思われるかもしれないが、現段階では、ハザードマップはいろんな災害の種類、緊急時、道路・人口事情の想定がなされており、例えば洪水のときは川、火事の場合は火元、土砂崩れの場合は山、津波のときは低い場所や水辺を避けなければならないわけで、距離だけを考慮したボロノイ図では不十分ということになる。この点、ハザードマップは災害の種類によって細かく想定されており、ある程度道路や団体に逃げる学校の生

徒や工場の労働者のことも考えられているということだ。そこで私たちは、距離的に良いボロノイ図と数々の避難事情を組み合わせて考えるのが最適だと考えた。かなり細かく難しいと思われるが、より理想的な避難が実現できるだろう。

④ 距離だけを考慮したボロノイ図

私たちが作ったボロノイ図は、避難所どうしの距離だけを考慮した平面的な避難所勢力図である。だが実際は避難所の標高の差、収容人数、人口密度などまだまだ考えなければならないものがある。距離だけではやはり不十分であり、ボロノイ分割の改良が必要である。

7. 結論

距離だけを考慮したボロノイ図では不十分である。もちろん避難所は距離的に近い方がよいが、距離のみで指定避難所対象区域を選定せずに、さまざまな条件を考慮する必要がある。避難所を選定するときには人口、道路、高低差、災害の種類などを考慮しなければならない。そこで避難所の収容人数を考慮した重み付きボロノイ分割を考え、さらには道路事情を考慮した分割を考えるとよりよい結果が出ると考える。重み付きボロノイ分割には加法的重み付きボロノイ分割と乗法的重み付きボロノイ分割がある。加法的ボロノイ分割では各避難所に収容人数等をもとにした重みをつけることによって、距離を加法的に補正することができる。乗法的重み付きボロノイ分割でも同様に距離を乗法的に補正することができる。それによってボロノイ図における各母点間の垂直二等分線が、加法的に補正したものでは双曲線の一部に、乗法的に補正したものではアポロニウスの円の一部分となる。これらの分割によって避難所の収容人数や避難所の大きさを考慮した分割が可能になると考えられる。しかし、これらはユークリッド距離を前提としたものであるため、道路事情を考慮する場合は、マンハッタン距離やカールスルーエ距離で分割するほうがよりよい分析結果になると考えられる。

マンハッタン距離は2点間の距離を直交する座標軸に沿って測定することで一般のn次元空間において

$$d_1(x, y) = \sum_{k=1}^n |x_k - y_k|$$

で定義される。

特に平面 R^2 の上の2点

$$P_1 = (x_1, y_1) \quad P_2 = (x_2, y_2)$$

の間では次の式が成り立つ。

$$d_1(P_1, P_2) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$$

これはマンハッタンのような正方形のブロックに区分された都市で用いることができる。カールスルーエ距離は放射環状距離とも言われ、中心からの放射路と同心円の環状路を経路とする距離で最短距離は二点間の中心角 θ によって異なる。 θ が0以上2.0rad以下の場合は放射路と環状路であり、2.0以上 π rad以下の場合は中心点を経由する放射路である。 $\theta = 2.0$ radの場合は両経路が等距離となる。よって、カールスルーエ距離は同心円状の都市で用いることができる。これら二つの距離関数とユークリッド距離を用いることにより、道路事情を考慮したボロノイ分割はより実現可能なものになると考えられる。そして、これらを考慮したプログラムを作ることによって、よりよい避難区分の作成ができると考える。そのためには、私たち自身のプログラミング技術の向上が必要であり、今後の課題である。

8. 参考文献

・林幸雄(2007年)『ネットワーク科学の道具箱 つなかりに隠れた現象をひもとく』近代科学社

・岡部篤行、鈴木敦夫(2013年)『シリーズ【現代人の数理】3 最適配置の数理』朝倉書店
 ・杉原厚吉(2014年)『なわばりの数理モデル ボロノイ図からの数理工学入門』共立出版

・FRONT“Excel と Google Map の相互関係”
 2016.08.28

「http://wisteriahill.sakura.ne.jp/VBA_Excel_II/index.html

・距離空間 Wikipedia 2016.04.02

「<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%B7%9D%E9%9B%A2%E7%A9%BA%E9%96%93>」

9. 謝辞

金沢市役所危機管理課、石川県庁

10. グラフや表

前でのボロノイ分割についての説明が難しいと思われるので、この場で簡単に説明しようと思う。

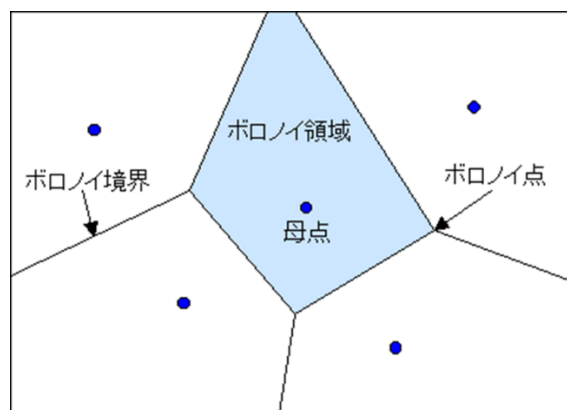
ボロノイ分割・・・いくつかの点が配置されている平面を、どの点に最も近いかによって分割すること。(図3)

距離空間内の有限部分集合 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ および距離関数 d に対して

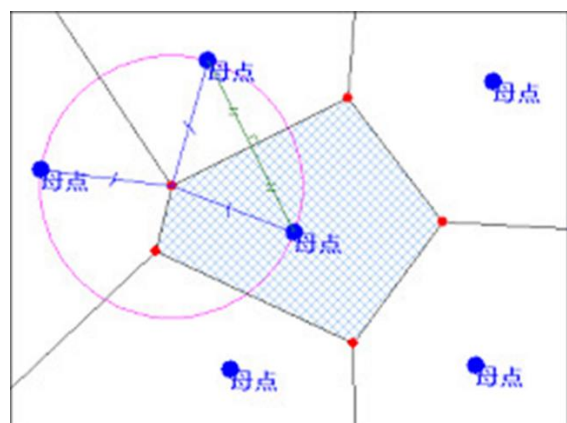
$$V(p_i) = \{P | d(p, p_i) \leq d(p, p_j), j \neq i\}$$

で構成される領域をボロノイ領域と呼ぶ。

ボロノイ図の作成方法・・・母点と母点をつないだ線分の垂直二等分線を繰り返しひくことによって作図する。(図4)



(図4)



(図5)