

# 水害リスクを考慮した新規避難所立地の最適化

長岡技術科学大学工学研究科 環境社会基盤工学 Guntevsuren Khulan  
指導教員 佐野可寸志

## 1. はじめに

日本の約7割を山地・丘陵地が占めており、残りの利用できる土地の大半が浸水される恐れがある水害リスクの高い国である。多くの都市は、天井川の形成等で海や河川の水位より低い土地に形成されているため、河川から水が溢れたり、堤防等が破壊されたりし、大きな被害が生じることとなる。近年においては、平成26年台風11号・台風12号・前線による豪雨や平成27年台風18号等で甚大な被害が発生している。

ここで、長岡市内においては、大きな被害をもたらしたのが令和元年10月の台風19号である。10月6日に南鳥島近海で発生した台風19号は、マリアナ諸島を西に進みながら、大型で猛烈な台風となり、13日未明に東北地方の東海上に抜けた。

台風の接近により、新潟県内では10月11日から13日にかけて暴風と大雨となった。最大瞬間風速は新潟市巻で31.9m/sを観測した。11日の00時から13日24時までの総降水量たるもとは、妙高市樽本で282.5ミリ、湯沢で271.0ミリを観測し、上越市・糸魚川市・妙高市では県内初の大雨特別警報が発表された。長岡市では、山沿いを中心に大雨があり、刈谷田川ダムでは10月12日00時から13日24時まで159.0ミリを観測した。

現在、長岡市には282ヶ所の既存の避難所が遠設されている。既存の避難所から離れている地域に居住している避難困難者が存在している。

## 1.2 目的

豪雨等の際、長岡市において避難困難者の避難時間を減らすために、避難所を新設し、新設された避難所に避難するようにしている。ここでは、新設される避難所の最適地を求めるためには、QGISを用い、Pythonでプログラムを組む。QGISで手作業算出するのに、時間がかか

るため、本研究では、既存の避難所の位置関係や周辺の人口等に考慮した、新設避難所の最適な配置を算出するプログラムの製作し、水害リスクを考慮した立地の最適化を目的とする。

## 1.3 使用データ

本研究では、PyQGISを用いてプログラムを組む。国勢調査結果である人口データ及び境界データについて、e-Statで公開されている2015年新潟県長岡市の5次メッシュ(250mメッシュ)統計及び境界データを加工して用いる。加えて、国土数値情報で公開されている平成24年度新潟県避難施設データ、平成24年度の洪水浸水想定区域のデータを用いる。さらに、OpenStreetMapで公開されている2021年新潟県長岡市の道路networkを用いる。

## 2. 最適地の求め方

### 2.1 研究フロー

研究フローを図-1に示す。

①長岡市の既存の避難所+新設する避難所でボロノイ多角形を形成する

②避難所が担当するポリゴンの浸水域内の人口×最短経路の算出

③避難所が担当するポリゴンの浸水域外の人口×最短経路の算出

④メッシュ別評価関数の計算

⑤最適メッシュの選定

図-1 研究のフロー

### 2.2 最適地の条件

長岡市は信濃川で2つに分けられているため、プログラムはその分けられている左側と右側といった2つの側それぞれで実行する。

最適地を求める際、新規避難所の配置条件は次の通りである。

- ・洪水浸水想定区域及び災害危険区域外
- ・森林地域外
- ・河川と重なっていない
- ・道路と重なっていない
- ・道路沿いにある

また、ボロノイ多角形を形成する際は、浸水域内の既存の避難所を除く。

### ① 長岡市の既存避難所+新設する避難所でボロノイ多角形を形成

ボロノイ多角形を形成するために、浸水域内の既存の避難所を除くと 183ヶ所の避難所が残る。また、新設する避難所は上記の条件で除いて残ったのが 169ヶ所の点であり、その 183ヶ所の既存の避難所と 169ヶ所の新設する避難所を一個ずつマージし、ボロノイ多角形を形成する。ボロノイ多角形における各ポリゴン内の人口は、それぞれのポリゴンを担当する避難所に避難すると仮定する。

### ② 避難所が担当するポリゴン内の浸水域内の人口×最短経路を算出

新設する避難所が担当するポリゴンを浸水域で交差し、浸水域内部分を求める。次に、人口データがあるメッシュで交差し、浸水域内人口を求める。浸水域内のそれぞれのメッシュはメッシュの面積の割合により、処理を行う。式は以下の通りである。

$$P_A = \left(\frac{Area}{A}\right) \times D \quad (1)$$

ここで、

- $P_A$  : 浸水域内人口 (人)
- $Area$  : 指定メッシュの面積 (\$area)
- $A$  : 250m メッシュの面積 ( $m^2$ )
- $D$  : 250m メッシュ内人口 (人) である。

その次に、最短経路を求めるために、浸水域内人口のメッシュごとに重心を作成する。次に、新設する避難所から各重心までの最短経路を求める。

その次に、浸水域内の人口×最短経路の算出する。式は以下に示す。

$$\sum_{j=1}^n P_{Aij} \times \varepsilon_A \times l_{Aij} \quad (2)$$

ここで、

- $n$  : ポリゴン内の浸水域内のメッシュ数
- $j$  : メッシュ番号
- $P_{Aij}$  : 浸水域内人口 (人)
- $\varepsilon_A$  : 浸水域内人口の避難率 (0.8)
- $l_{Aij}$  : メッシュの重心から新設する避難所までの最短経路 (m) である。

### ③ 避難所が担当するポリゴン内の浸水域外の人口×最短経路の算出

次に、新設する避難所が担当するポリゴンの浸水域外部分を求める。その次に、浸水域外人口を求める時は、浸水域内と同様な方法で式(3)を用いて求める。式(3)を次に示す。

$$P_B = \left(\frac{Area}{A}\right) \times D \quad (3)$$

ここで、

- $P_B$  : 浸水域内人口 (人)
- $Area$  : 指定メッシュの面積 (\$area)
- $A$  : 250m メッシュの面積 ( $m^2$ )
- $D$  : 250m メッシュ内人口 (人) である。

続いて、人口メッシュに重心を作成する。メッシュごとに重心を作成した後、新設する避難所から各重心までの最短経路を浸水域内と同様な方法で式(4)を用いて求める。式(4)は次の通りである。

$$\sum_{j=1}^n P_{Bij} \times \varepsilon_B \times l_{Bij} \quad (4)$$

ここで、

- $n$  : ポリゴン内の浸水域内のメッシュ数
- $j$  : メッシュ番号
- $P_{Bij}$  : 浸水域内人口 (人)
- $\varepsilon_B$  : 浸水域内人口の避難率 (0.8)
- $l_{Bij}$  : メッシュの重心から新設する避難所までの最短経路 (m) である。

#### ④ メッシュ別評価関数の計算

浸水域内と浸水域外の計算を出した後、最適地を求める。式を以下の式(2)である。

$$MIN \sum_{i=1}^k \left\{ \sum_{j=1}^n P_{A_{ij}} \times \varepsilon_A \times l_{A_{ij}} + \sum_{j=1}^m P_{B_{ij}} \times \varepsilon_B \times l_{B_{ij}} \right\}$$

ここで、 (3)

- $n$  : ポリゴン内の浸水域内メッシュ数
- $j$  : メッシュ番号
- $P_{A_{ij}}$  : 浸水域内の人口 (人)
- $\varepsilon_A$  : 浸水域内人口の避難率 (0.8)
- $l_{A_{ij}}$  : メッシュの重心から新設する避難所までの最短経路 (m)
- $m$  : ポリゴン内の浸水域外メッシュ数
- $i$  : 避難所番号
- $P_{B_{ij}}$  : 浸水域に重なっていないメッシュ内人口 (人)
- $\varepsilon_B$  : 浸水域外人口の避難率 (0.4)
- $l_{B_{ij}}$  : メッシュの重心から新設する避難所までの最短経路 (m) である。

なお、避難率 $\varepsilon$ は国土交通省「水害の被害指標分析の引用」により、浸水域内人口の80%、浸水域外人口の40%が避難すると原則し、算出する。上記の式(2)の算出結果が最小となる配置により、避難所が担当するポリゴン周辺の避難困難者の避難に要する時間を減らすことができると考えられる。

#### ⑤ 最適メッシュの選定

最適の避難所が可能性の169ヶ所の新設する避難所で回した結果、得た最適の避難所の位置を図-2に示す。図-2で、最適な位置を星印で、既存の避難所を緑の丸で、浸水域をピンク色の部分で示す。図-3は最適の位置を拡大したものである。図-3で、最適の位置を星印で、既存の避難所を緑の丸で、浸水域をピンク色の部分で、道路を赤い色の線で示す。

図-3より、最適の位置は人口が多いところに位置しており、また道路沿いに位置しているた

め、交通が便利であることが確認できた。よって、本研究で得た結果は妥当だと言える。

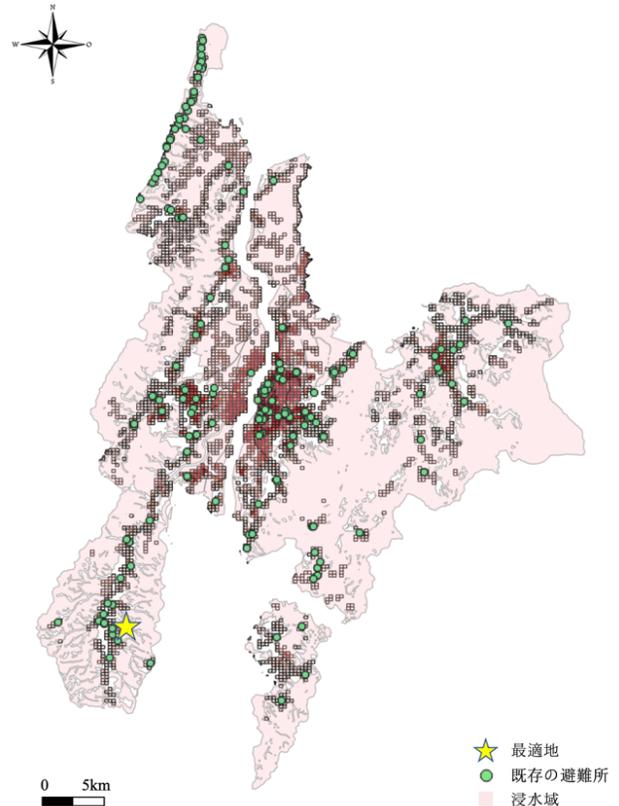


図-2 最適の避難所の位置

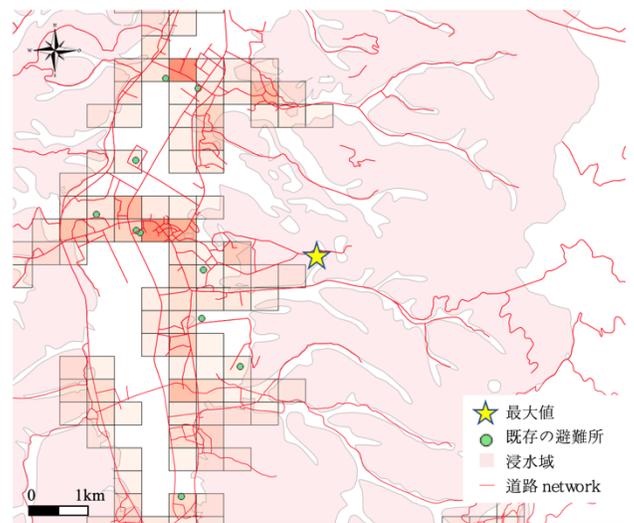


図-3 最適の避難所の位置 (拡大)

## まとめ

既存の避難所の位置関係と周辺の人口と水害リスクに考慮し、新規避難所の最適立地を求めるシステムを作成した。作成したシステムを用い、長岡市の最適の避難所の配置を求めた。

## 今後の課題

本研究では、既存の避難所の位置関係や周辺の人口等に考慮した、新規避難所の最適な配置を算出するプログラムの製作し、水害リスクを考慮した立地の最適化を目的として、研究を行なった。その結果、結論のところ述べていたことを得ることができたが、課題も残されている。

今後の課題として、次の3つについて考える必要があると考えられる。

1つ目は、距離において、直線距離ではなく、道路 network で考慮することである。

2つ目は、避難途中に浸水域が存在する場合は、浸水域を通らないようにする必要があると考えられる。

3つ目は、避難率の不確実性についてである。本研究では、避難率を浸水域内人口の時は0.8、浸水域外人口の時は0.4と原則し、計算を行なった。しかし、避難率には、氾濫特性、天候、時間帯、地域特性の影響があるため、避難率は常に一定であるとは言えない。時間帯や地域特性等により、避難率が異なるため、得られた結果は確実ではない可能性があるということが分かる。従って、避難率の確実性について今後検討する必要がある。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、非常に、多くの方々にご援助とご指導を頂きました。この場を借り、感謝を表します。

ご指導を頂いた、課題研究論文指導教員の佐野可寸志教授、高橋貴生助教には様々な支援を賜りました。心より感謝致します。

そして、いつも暖かい励ましをしてくれた先輩方や楽しい学生生活を共に過ごすことができた研究室の皆様に感謝致します。

## 参考文献

- 1) e-Stat 政府統計の総合窓口,統計データ, <https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?page=1&type=1&toukeiCode=00200521&toukeiYear=2015&aggregateUnit=Q&serveyId=Q002005112015&statsId=T000876> (参照 2021-12-04)
- 2) e-Stat 政府統計の総合窓口,境界データ, <https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?page=1&type=2&aggregateUnitForBoundary=Q&coordsys=2&format=shape> (参照 2021-12-04)
- 3) 国土交通省：国土数値情報・平成24年新潟県避難施設データ,国土交通省国土数値情報ダウンロード, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P20.html#prefecture15> (参照 2021-12-5)
- 4) 国土交通省：国土数値情報・平成24年洪水浸水想定区域データ,国土交通省国土数値情報ダウンロード, [https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v2\\_2.html#prefecture15](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v2_2.html#prefecture15) (参照 2021-12-5)
- 5) OpenStreetMap, <https://extract.bbbike.org> (参照 2021-12-05)
- 6) 「水害の被害指標分析の手引」(H25 試行版), 国土交通省水管理・国土保全局, 平成25年7月, [https://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/seisaku\\_hyouka/gaiyou/hyouka/pdf/higaisihyou\\_h25.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/pdf/higaisihyou_h25.pdf) (参照 2022-01-23)