

3D 可視化による浸水被害およびシミュレーション

—世田谷区を対象として—

史 中超 研究室

1761025 川野菜々美

1761036 小柳雛乃

1761060 土屋魁聖

1.背景と目的

近年、世界各地で局地的な異常気象が多発している。日本では、日降水量 200 mm 以上および 400 mm 以上の年間日数が両データとも増加傾向にあり(図 1)[1]、今後もさらに大雨の頻度が増加すると予想され、災害発生リスクが高まっている。また、日本での被害の発生地域に変化が見られる。それは都市部での被害である。都市部での被害の増加の原因として、高層ビルや住宅地の増加、都市表面形状の変化により、水が溜まりやすい場所が多く存在していることが考えられる。世田谷区では、昨年 10 月に起きた台風 19 号による多摩川の氾濫で、住宅約 100 棟が浸水し約 1 万 7000 人が避難した。

浸水被害の発生は、豪雨時に降った雨の総雨量、1 時間あたりの降雨量、地形、排水能力などの要素が深く関係している。

本研究では、豪雨により多大な被害を受けた東京都世田谷区を対象地とし、氾濫被害予測モデルを利用し、浸水被害場所を予測する。また、浸水の高さ等を 3D で可視化する。

2015 年と 2016 年に、水文解析などを用いた浸水被害予測の既往研究がある [3][4] が、3D 可視化がないため、結果がすこしわかりにくくなっていた。本研究は、3D 可視化によって浸水被害の結果などをよりわかりやすくすることを目指す。

図 2 に研究対象地域の世田谷区の地域を色分けして示す。オレンジ色が烏山地域、黄色が北沢地域、緑色が砧地域、ピンク色が世田谷地

域、青色が玉川地域となっている。

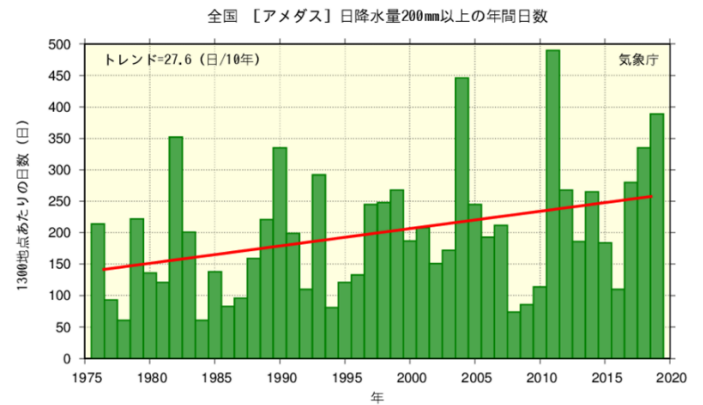


図 1 全国の日降水量 200 mm 以上の年間日数の経年変化(1976~2019 年)[1]



図 2 世田谷区 地域

2.ArcGIS を用いた水文解析

本研究では、まず、雨が降ったとき、雨水がどのように流れるか ArcGIS を用いて以下のような解析（水文解析）を行う [2]。

以下の①～⑦は水文学解析の主な流れである。

- ①GIS データの収集と変換
- ②使用する標高データを 100 m²のセルに変換
- ③サーフェスの平滑化を行い、窪地を平滑化
- ④雨水が流れる方向を示す流向ラスタを作成
- ⑤各セルに流れ込む雨量を示した累積流量ラスタの作成
- ⑥累積流量に条件を付け、雨水の流れ方を示した河川図の作成
- ⑦1 町丁分の雨量が流入する場所の特定

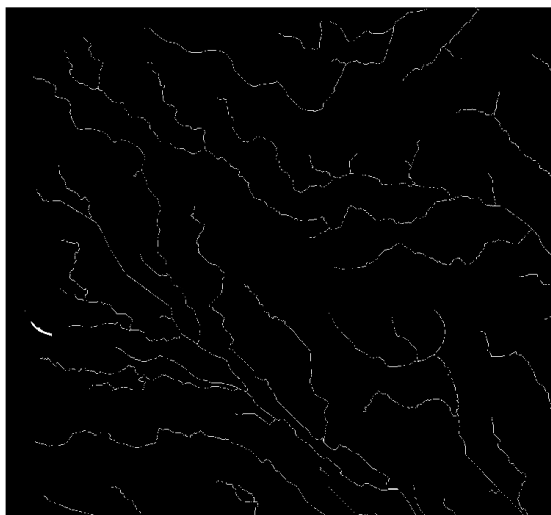


図4 累積流量ラスタの結果

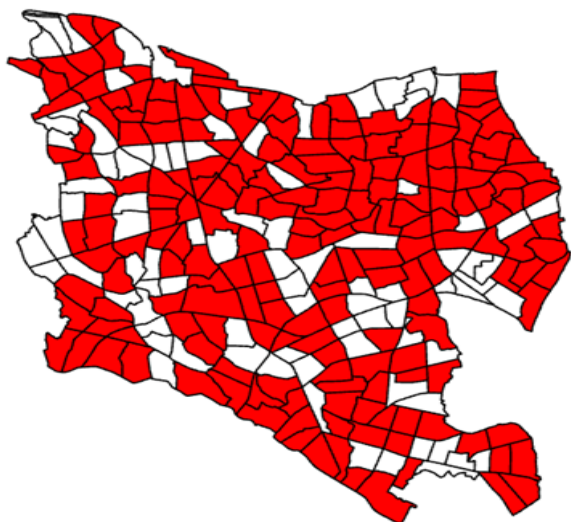


図5 表面流入の有無

解析した結果、図5に示すように、表面流入がある場所（雨水が溜まる場所）を赤、ない場所（雨水が溜まらない場所）を白で表している。

3.内水氾濫被害予測

次に、対象地域の内水氾濫被害予測を行う。本研究で利用する内水氾濫被害予測モデル(図5)では、降雨強度を求めるために、各町丁から流れ込む表面流入量、各町丁から流れ出す表面流出量、雨水対策による地下浸透能力、下水道による雨水排出能力の4つが必要となる[3]。内水氾濫による被害が予測される場所を標高データ、低地の微高地、貯留管、貯留池、4つ要素を取り入れて予測を行う。

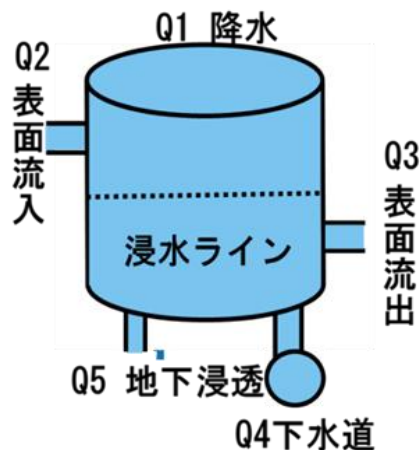


図6 内水氾濫被害予測モデル

本研究では、表面流入量と表面流出量を合理式(ラショナル法)で算出する。

$$\text{合理式: } Q = (1000/3600) \times C \times r \times A$$

Q: 最大計画雨水排出量 (mm/h)

C: 流出係数

r: 流達時間内の平均降雨強度 (mm/h)

A: 平均流域面積 (km²)

合理式にある流出係数 C は、加重平均法を用いて世田谷区の平均流出係数を算出する。地目別面積を A_i、工種別係数を f_i とし、地目別面積に各工種別の値を掛け、求めた流出係数の平均値を求める。

$$\text{加重平均法: } C = \Sigma (f_i \cdot A_i) / \Sigma A_i$$

A_i: 地目別面積

F_i: 工種別係数

表1 平均流出係数、表面流入・流出量

地域	流出係数	表面流入量と表面流出量
世田谷	C=0.5666	Q=0.3305r
北沢	C=0.5630	Q=0.3284r
玉川	C=0.5649	Q=0.3295r
砧	C=0.5493	Q=0.3204r
烏山	C=0.5642	Q=0.3291r

Q1：町丁に降り注ぐ降水量(m³/s)

$$Q1 = (1000/3600) \times r \times A$$

Q2：表面流入量(m³/s)

$$Q2 = (1000/3600) \times C \times r \times A$$

Q3：表面流出量(m³/s)

$$Q3 = (1000/3600) \times C \times r \times A$$

Q4：下水道による雨水排出量(m³/s)

$$Q4 = (1000/3600) \times d \times A$$

Q5：地下浸透量(m³/s)

$$Q5 = (1000/3600) \times p \times A$$

※1 r=降雨強度[単位：mm/h]

※2 A=対象町丁面積[単位：km²]

※3 C=流出係数

※4 d=下水道の雨水排水能力[単位：mm/h]

※5 p=地下浸透能力[単位：mm/h]

このとき、 $Q1+Q2 > Q3+Q4+Q5$ で求める r が、内水氾濫被害が発生する可能性がある最少の降雨強度となる([3]のモデルを参照)。

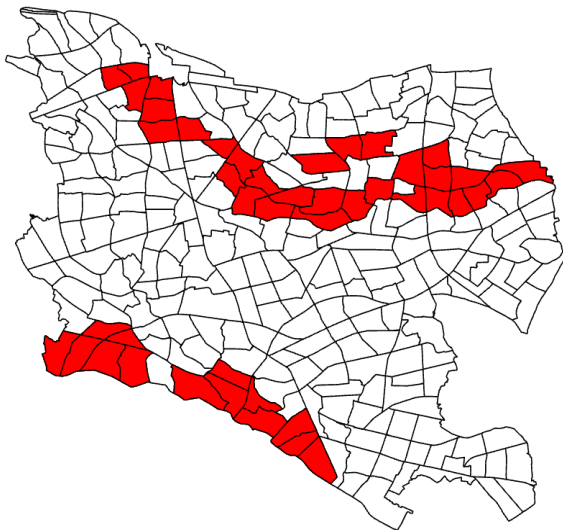


図7 内水氾濫被害予測場所

図7に示すように、内水氾濫被害予測場所を赤色で示している。世田谷区南部に位置する多摩川から離れた北沢地域でも内水氾濫被害が見込まれる。

4.ArcGIS Pro を用いた 3D 可視化

本研究では、3章の結果を元に、内水氾濫による浸水被害の浸水の高さを3D化する。浸水の高さを3Dで表現するためには、浸水の高さ(水位)を設定する必要がある。そのため、過去の世田谷区の浸水被害を基に、浸水の高さを1m、5m、10m、15m、20mの5段階に設定した。

ArcGIS Proを使用し、以下の流れで設定した浸水の高さごとの3Dデータを作成する。

- ① 国土地理院から世田谷区のデータの収集
- ② 属性テーブルに高さを入力するテーブルを作成
- ③ 高さテーブルに浸水の高さを入力
- ④ 現在マップのデータが2Dで表示されているため、3Dで表示するマップに変更
- ⑤ 浸水の高さが入った世田谷区のレイヤーを立ち上げ(3D化)
- ⑥ 作成した浸水の高さのデータをGoogle Earth上に表示するため、KMLレイヤーを作成
- ⑦ Google Earth上に問題なく表示できるか確認
- ⑧ 浸水の高さごとにレイヤーを作成

図8~11は浸水の高さ10mと20mのデータをGoogle Earth上に表示した結果である。



図8 浸水の高さ10m①



図9 浸水の高さ 10m②



図10 浸水の高さ 20m①



図11 浸水の高さ 20m②

作成したデータを Google Earth 上に表示すると、低地である砧地域や玉川地域ではほとんどの建物が浸水してしまうが、高地である烏山地域や北沢地域は浸水の高さが高くなっても浸水することはないことが分かる結果となった。

5.まとめ

本研究では、世田谷区を調査対象地とし、集中豪雨による内水氾濫の被害予測を行った。また、内水氾濫被害予測モデルを使い、降雨強度を求めた。ArcGIS Pro を利用し、表面流入の有無を取り入れることで、内水氾濫被害予測モデルの精度を上げた。浸水被害場所を特定するた

めに、標高データ、低地の微高地の2つの要素を取り入れた。

浸水被害予測をもとに3Dで可視化した。3Dで可視化することで、実際の建物の高さや浸水の高さを照らし合わせて、被害の度合いをわかりやすくした。

本研究では、対象地域の世田谷区南部に位置する多摩川の氾濫や背水現象など、他に浸水被害の原因となる事象の影響は反映していないため、予測以上の浸水被害が見込まれる。また、対象地域の雨水排水能力について、分流式下水道における雨水排出のための雨水管の普及率が低い現状があるため、被害減少に向けて雨水管の設置や地下浸透施設設置が必要不可欠である。

本研究では、浸水被害予測を3D化することで被害を可視化できるようになり、既往研究より浸水被害が分かり易くなった。本研究の方法は、どこの場所でも適用することができるため、多くの場所での浸水被害の可視化が期待できる。しかし、標高や雨水対策による地下浸透能力、下水道による雨水排出能力などのデータが無いと浸水被害を予測できないので、オープンデータのみで全国に適用することは、現時点では難しいと考えられる。また、本研究は ArcGIS Pro と Google Earth を使用しており、ArcGIS Pro のみで研究を完結することが出来ない。ArcGIS Pro のみで完結させることが今後の課題となる。

参考文献

- [1] 気象庁ホームページ
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
- [2] 国土交通省 国土地理院
<http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- [3] GIS を用いた集中豪雨による浸水被害予測に関する研究 (小池 晶夫 著)
- [4] 集中豪雨による浸水被害予測に関する研究 川崎市を例として(緒方滉一、鏑木達也 著)