

SNS 上の画像・動画データを用いた浸水深の推定と都市浸水予測手法 S-uiPS による再現計算 ー2024年8月21日に東京で発生した降雨を対象としてー

多屋友布里¹・関根正人²

Estimation of Inundation Depths Using SNS Image and Video Data and Reproducing Computation by Using S-uiPS: Focusing on the Torrential Rainfall Event in Tokyo during the 21 August 2024

Yuri TAYA¹ and Masato SEKINE²

Abstract

On August 21, 2024, severe rainfall caused backwater from manholes and flooding of subway stations in Tokyo, many videos and images of the damage were posted on SNS. There are few studies estimating inundation depths using image record for localized flooding in urban areas with complex topography and drainage systems. In this study, we obtained estimated inundation depths from SNS videos and images for the rainfall on August 21, 2024, and compared them with the predicted results of S-uiPS, an urban inundation prediction method. The images and video data collected from SNSs showed a good correspondence with the calculated values. It was also found that flooding on roads targeted in this study occurs locally in depressions due to the crossfall and curbs, and that the inundation depth can vary within the same road section.

キーワード：都市浸水，浸水リスク，数値解析，観測，SNS

Key words: urban inundation, inundation risk, numerical prediction, observation, social media

1. はじめに

近年の気候変動の影響を受け，豪雨が頻発する

ようになってきた。気象庁¹⁾によれば，1時間に50 mm を超える強い雨の年間発生回数は増加傾

¹ 早稲田大学大学院創造理工学研究科
Graduate School of Creative Science and Engineering,
Waseda University

² 早稲田大学理工学術院
Faculty of Science and Engineering, Waseda University

本稿に対する討議は2026年2月末日まで受け付ける。

向にある。加えて、都市部では河川流域の市街化が進み、降雨が地中へ浸透する量が減少したことから、短時間に多量の降雨が河川に流入するようになった。これらが要因となり、都市部では中小河川の洪水氾濫や内水氾濫による浸水が発生するリスクが高くなっている。

2024年の夏は全国的に気温が高く²⁾、ゲリラ豪雨と呼ばれる短時間強雨の発生が度々ニュースで取り上げられた。東京都内では7月31日に23区北部で³⁾、8月21日には新宿区や港区などで⁴⁾短時間のうちに激しい雨が降った。いずれの例でも猛烈な雨の降っていた時間は短く、空間的に見ても局所的な現象であったものの、下水道から道路への雨水の逆流や地下鉄駅構内での浸水など顕著な被害が生じており、マスメディアによるニュースのほか SNS 上でも被害状況を報告する投稿が多くみられた。この一年で発生したような突発的な降雨が今後も多発する可能性は十分にあり、それに備えた浸水・氾濫対策を進めていく必要がある。

本論文の責任著者は、都市部を対象とした精緻な浸水予測手法 S-uiPS⁵⁾の開発を続けてきた。これまでに東京都23区をはじめとした高度に都市化されたエリアを対象として、浸水現象のメカニズムの解明に努めるとともに、広域にわたるリアルタイム浸水予測が可能になるように取り組んできた。S-uiPS では、道路や下水道、河川などの都市インフラを現実にも忠実に再現できるように作成したデータベースを基に、そこで生じる浸水現象を力学的原理に基づいて解析している。これまでに行ってきた既往研究においては過去の浸水事例を対象にその再現計算を行っており⁵⁻⁷⁾、信頼に足る精度を有することを確認している。ただし、これまでの精度検証は、アンダーパスの冠水地点や下水道の逆流が発生した地点などの顕著な浸水となった地点に注目したものがほとんどであった。これに加えて、同時に発生した都市河川での洪水時の水位の変化の検証も行ってきたが、引き続き可能な限り丁寧な精度検証を行うことが今後の課題とされてきた。

一方、近年はスマートフォンをはじめとしたモバイル機器やインターネットの普及によって、災

害時の画像や動画などの情報が SNS にアップロードされることが増えてきた。そこで、こうしたデータを十分に吟味した上で活用すれば、予測計算精度の検証が容易に行えるようになると思う。

本来は研究のために撮影されたのではない画像や動画を活用して浸水深や流速を推定する試みは、これまでも行われている。例えば、伊藤ら⁸⁾は防犯ビデオデータを用い、鶴崎・大橋⁹⁾は SNS で収集した画像や動画データを用いて、それぞれ浸水深や流速の推定を行っている。また、山室・平野¹⁰⁾は、SNS データを用いて推定した1地点の浸水位から周囲の浸水範囲や浸水深を求める方法(浸水域即時推定手法)を提案しているが、都市部においては複雑な地表面形態や排水システムがあることから過大評価となる可能性も同時に指摘されている。

上記の先行研究は、主に大きな河川の近くで発生した比較的規模の大きな浸水を対象としたものであるが、工夫さえ施せば、さらに時空間的スケールの小さな規模の浸水に対しても同様の方法を適用できると考えられる。本研究では、2024年8月21日の夕方に東京23区内で発生した局地的降雨を対象とすることにし、SNS 上にアップロードされた画像情報を基にして、都市部で発生した局所的な浸水の深さを可能な限り精度よく推定するよう努めた。さらに、これとあわせて都市浸水予測手法 S-uiPS による再現計算を行うことにし、その計算の結果と画像解析による浸水の推定値との比較を試みた。本論文の特徴は、動画や画像として公開されている情報を用い、そこから局所的な浸水の深さのより確からしい値を推定する方法をつくりあげるとともに、著者らがこれまでの研究で対象としてきたものより規模の小さな浸水事象に対して S-uiPS を適用してその予測精度の検証をしている点にあり、あわせて S-uiPS による予測の限界についても明らかにしている。

本論文の2章では、SNS から画像や動画のデータの収集方法について述べた上で、撮影された地点における浸水深を判読値として読み取る方法について説明する。3章では、浸水予測手法につい

て説明した上で、計算結果を示す。さらに、4章では画像からの判読値と計算値とを比較した結果を示すとともにさらなる考察を加えている。

2. SNS 上に投稿された画像データの収集とこれを用いた浸水深の判読値の決定

2.1 画像データの収集

データの収集はX¹⁾を用いて行った。「ゲリラ豪雨」「冠水」などの検索ワードで検索を行い、東京23区内の被害状況を記録した動画あるいは画像の添えられている投稿のポストの日時や場所・URLなどの情報を一覧にして保存した。また、具体的な地点名がわかる場合には、それらの地点名（例えば「市ヶ谷」「麻布十番」など）を用いて再度検索を行い、その結果を同様に保存した。な

お、時間の経過に伴い転載された投稿が増えることから、降雨のあった8月21日から翌22日に投稿されたポストのみに絞って検索を行った。なお、本研究で対象としたのは2024年8月21日16時～20時の4時間にわたって都心部で降り続いた降雨である。

次に撮影場所の特定を行い、都心部の道路上が撮影されている合計64の画像・動画データを採用することにした。これらの中には同一地点を撮影したものも多数含まれており、撮影場所は34地点に集約された。撮影地点の一覧を表1にまとめて示す。ただし、34地点のうち道路の一部分のみが撮影され、浸水深の最大値・最小値が判断できなかった8地点については、計算値との比較を行うことが難しいため検討の対象外とした。従って、残りの26地点のみが表1に記載されている。また、

表1 収集した SNS データの判読値および計算値

	地点名称	およその時刻	計算値 [cm]	判読値 [cm]	
				最小	最大
1	江東区青海 1 丁目	19:10	3.052	2.0	5.0
2	品川区北品川 5 丁目	19:50	0.771	0.0	15.0
3	品川区西五反田 2 丁目	19:00	2.857	0.0	10.0
4	港区三田 3 丁目	19:30	11.534	10.0	18.7
5	港区東麻布 1 丁目	18:50	1.393	0.0	24.1
6	港区東麻布 3 丁目麻布十番駅	19:00	25.434	0.0	39.5
7	港区東麻布 3 丁目一の橋交差点	19:50	2.116	0.0	8.8
8	港区麻布十番 2 丁目	19:20	0.570	16.5	20.0
9	港区麻布十番 1 丁目	18:50	2.556	2.0	11.5
10	港区元麻布 3 丁目	18:50	10.932	2.0	20.7
11	港区西麻布 1 丁目	19:00	11.762	0.0	36.8
12	港区赤坂 1 丁目	18:50	6.352	0.0	15.0
13	渋谷区宇田川町	19:00	0.713	0.0	0.5
14	渋谷区道玄坂 2 丁目道玄坂	19:10	1.405	0.0	1.0
15	渋谷区道玄坂 2 丁目渋谷センター街	19:10	4.344	0.0	2.0
16	渋谷区神宮前 4 丁目	20:10	2.849	0.5	2.0
17	港区東麻布 3 丁目	19:00	4.899	0.0	5.0
18	新宿区霞ヶ丘町	18:40	5.367	2.0	15.0
19	渋谷区代々木 1 丁目	19:40	0.500	25.0	25.0
20	渋谷区代々木 3 丁目	21:30	6.093	100.0	100.0
21	新宿区西新宿 1 丁目	19:00	0.500	0.0	1.0
22	新宿区新宿 3 丁目	19:10	22.327	0.0	20.0
23	新宿区歌舞伎町 1 丁目	19:20	0.848	1.0	5.0
24	新宿区新宿 2 丁目	19:00	0.501	0.0	7.0
25	新宿区四谷 3 丁目	19:20	2.632	2.0	17.1
26	豊島区南池袋 1 丁目	18:20	0.942	0.5	1.0

網掛けは計算値と判読値の差が 5 cm 以上の地点を示す。

表 2 水深の判読の指標となるスケール

水深の日安になる指標・条件	浸水深の推定値	信頼度
大きさのわかる動かないもの（例：防護柵、縁石、郵便ポスト）	—	高い
大きさのわかる動くもの（例：歩行者、自転車、自動車）		中程度
自動車や自転車の走行時に波が発生している	20 mm 以上	低い
水が濁って見える	20 mm 以上	
強風時であっても雨粒が水面に落ちた時に広がる波紋が目立つ	10 mm 以上	
強風時に地表付近が飛沫で白くなるのが目立つ	10 mm 未満	
水面が光っているがしわ状の波紋が見えない	10 mm 未満	
水面が光っているが水滴が落ちた跡がない	5 mm 未満	
水の流れが10 m ほど離れていても容易に確認できる	5 mm 以上	
水が流れていることを目視できる	1~2 mm 以上	

本研究で対象とした降雨のピークは18時30分前後であり、撮影されたデータの多くはほぼこの時刻を中心にリアルタイムで投稿されたと判断している。また、同じ地点で撮影された画像・動画が複数投稿されている場合には、その判読値と最も早い投稿時刻における計算値とを比較することになっている。

2.2 浸水深の判読値の決定

前項で述べた方法で収集した画像・動画データを用いて浸水深の判読を試みる。判読値の決定に当たっては、深さの尺度となる事物とその大きさを定める必要がある。このようなスケールとなる事物のうち最も信頼に値するのは、防護柵や郵便ポスト・縁石など動くことなくその場に存在するものである。そのうち、郵便ポストや縁石・防護柵には規格があり、およその高さが定められている。そこで、あらかじめ種類ごとにその高さを実測し、画像・動画中の浸水深を判読する際の指標として用いることとした。そのほか、画像に写り込まれている階段の段差やボール・縁石の切り下げ部など、大きさがわかればスケールとなりえるものがあり、これについては現地で実測を行うことにした。また、画像・動画データ中に不動のスケールが存在しない場合には、歩行者や自転車・自動車からおよその浸水深を推定した。例えば歩行者の足首までの高さを約10 cm、自転車のタイヤの大きさを約60 cm と判断した。

本研究で収集した画像・動画データの多くは、

上記のようなスケールを用いて判読できるくらいの浸水深であったが、一部には判読が困難なほど小さな浸水となっている画像や動画も存在した。このような場合には、動画に写った水の動きに留意して可能な限り適切な浸水深を推定するよう試みた。本研究では、上記の検討とは別に、2023～2024年の期間に早稲田大学西早稲田キャンパスに降った降雨を対象に、同一エリアで合計約600枚の水たまりの写真を撮影するとともに、実際の深さの計測も行った。その結果によると、浸水深の大小によって水面の見え方が変わることがわかり、以下のように判断できることがわかった。例えば、測定値が5 mm 未満の水たまりの場合、降雨が強いときには風の影響を受けて地表面付近が飛沫で白く見えるのに対して、測定値が15 mm 程度の水たまりの場合、雨粒が水面に落ちた時の波紋が広がる現象が目立つことが明らかになった。このことから、強風時の水たまりの水面の見え方は概ね10 mm を境に判別できると考えられる。このような写真判読のための指標をまとめると表 2 のようになる。なお、水の動きから判断したものは、直接測定が可能な防護柵や縁石などをスケールとした判読より信頼度が低いことに注意を要する。実際には、より高い信頼度が期待できるスケールから順に適用して浸水深の判読を行うことにした。

2.3 浸水深の判読の一例

画像判読による浸水深の推定の一例として、表 1 の地点 5、地点 4、地点 21 の 3 例を示す。



図1 SNS上の動画・画像を用いて浸水深を判読した事例

まず、地点5において当時撮影された動画の切り抜きを図1(a)に示す。撮影地点は、古川という河川に平行に延びる大きな道路の交差点の一つである。動画中では乗用車が速度を落とさなく水しぶきを上げずに通行していたことから、浸水は歩道付近のみで生じており、この車道の中央付近の浸水はそれほど顕著ではなかったと判断している。図1(a)には防護柵や縁石が映り込んでいることから、これらをスケールとして浸水深を判読することにした。また、後日行った現地調査の際に撮影した写真に、地物の測定値を記入した画像を図1(b)中に示す。画像判読に当たっては、

まず、図1(b)中の測定値をもとに、防護柵等の地面からの高さを決定する。この際、縁石の高さも考慮し、道路の最も低い場所から防護柵の上端までの高さを用いる。次に、図1(a)中で水面の上に写っている防護柵等の長さを測定する。測定結果を図1(a)中に黒字で示す。浸水深は、図1(b)で求めた防護柵の高さから、図1(a)を用いて求めた水面から防護柵の上端までの高さを差し引くことにより求めた。判読をしたところ、手前側の防護柵付近では浸水深が3.2 cm、道路の反対側に当たる奥側の防護柵付近での浸水深が24.1 cm という結果となった。このような差が生

まれたのは、交差点の道路面が水平ではなく、手前側の標高が高く、道路が奥に向かって低くなるように傾斜しているためと考えられる。また、撮影者が位置する歩道面の足元には水面が見られず、浸水深は 0 cm と判断できる。このように、道路面が水平ではなく、横断方向に顕著に傾いていたりにねじれていたりする場合には、同一の交差点内であっても一定の浸水深にはならず、局所的に大きな浸水深となっている地点があることがわかる。このため、ここでは判読値として交差点内の最小値と最大値を併記することにした。なお、後述する S-uiPS では、交差点を中心としたコントロールボリューム内の道路面が水平であることを前提としており、道路面が顕著に水平面から外れていることは想定されていない。これについては次章で詳述する。

次に、地点 4 で撮影された動画の切り抜きを図 1 (c) に、後日、現地で撮影した写真を図 1 (d) に示す。地点 4 は泉岳寺駅付近の幅 30 m 程度の大通りを撮影したもので、撮影された動画では乗用車は速度を落とさずに走行しているものの、乗用車の走行に伴い歩道の付近まで波が生じている。また、歩道側の雨水ますから雨水が噴き出している。この地点では図 1 (d) 内に写っている防護柵および信号の押しボタンをスケールとして浸水深を判読することにした。なお、図 1 (c) の動画の場合、階段付近が影となっており水面の位置が不明瞭であることから、階段をスケールとした浸水深の判読は行わず、防護柵・押しボタンから読み取れた 18.7 cm を浸水深の最大値とした。また、最小値は別の画像から求めて 10.0 cm となった。この地点のように、不鮮明な箇所が残る場合には無理に判読を試みず、可能な限り複数の画像・動画データを用いて相互に比較することにより判読値を決定した。

最後に、地点 21 で撮影された動画の切り抜きを図 1 (e) に示す。この動画ではマンホールから雨水が噴き出している様子が記録されているが、道路上の浸水はほとんどみられず、画像左上の縁石付近に水たまりがないことから 1 cm 未満と推察される。一方で、動画では水の流れが目視で確認

できたことから、浸水のある箇所での浸水深は 5 mm 前後と推測される。なお、水の流れに関しては撮影時の照明の当たり方や角度などによって見え方が異なることから、判読値は 0 cm 以上 1 cm 以下と判定した。

SNS 上に公開された画像・動画データから他の地点の浸水深についても同様に検討を行ったところ、対象とした降雨時の結果は表 1 に示されるようになった。

3. 都市浸水予測手法 S-uiPS による再現計算

3.1 都市浸水予測手法 S-uiPS の概要

本研究では、責任著者によって開発された都市浸水予測手法 S-uiPS (Sekine's urban inundation Prediction System) を用いて再現計算を行った。S-uiPS の詳細については既にあるいくつかの論文にて説明済みであるため、ここには必要最低限の概要のみ記す。それぞれの詳細については既発表論文⁵⁻⁷⁾を参照されたい。

この手法は、東京都 23 区のような高度に都市化されたエリアを対象に開発されたものである。このようなエリアには、道路が網の目状にネットワークを形成しているほか、その地下には雨水処理のための下水道ネットワークも構築されている。また、神田川や目黒川のような都市河川もまた人工の水路ということができるため、道路・下水道・河川のいずれもが人によってつくられたものであることから、これらに関わる現実に即したデータ（例えば下水道台帳のデータなど）を入力したデータベースを作っておけば、コンピュータ空間上に都市で生じる浸水現象を再現することができる。下水道の付帯施設であるポンプ場や水再生センター、河川の付帯施設の調節池（たとえば環七地下調節池など）についても東京都から提供された情報に基づいて数値化し、それぞれで生じる水の流れを忠実に再現できるようにした。

道路の流れの計算は、交差点に加えて、道路幅や勾配が変化する点、注目点（たとえば地下空間への入口の前面）などに計算点を設け、道路点を結ぶように道路線を設定した。道路線の中立二等

分線上に切り口の断面をとり、ここに流速の計算点を取ることにした。道路点を中心とし「各切り口の内側部分にあたる多角形のエリア」をコントロール・ボリューム (C.V.) とし、C.V. 内の体積保存の関係から平均の浸水深を求めている。C.V. 内の道路面については横断方向に高さが等しい平面であると近似して考えており、C.V. 内の浸水深の局所的な大小まで評価することは考えていない。下水道に関しては、道路点をマンホール点、道路線を下水管に置き換えれば、道路での計算と同様の取り扱いとなる。ただし、下水管内では開水路流れと満管路流れとが共存するため、スロットモデルの考え方に倣った計算法を採用している。

道路に降った雨水を下水道に集めて排除する仕組みとして、道路の車道と歩道の境におよそ 20 m に一つの割合で「雨水ます」が設置されている。SuiPS では、現実 に即した計算を可能にするため、道路面と下水管をつなぐ雨水ますの一つ一つを識別し、個々の雨水ますへの流入流出量ならびに雨水ます内の水深を計算している。既存のほとんどの下水道モデルでは、雨水ますを考慮せずその代わりにマンホールを通じて雨水の流入流出を評価しているが、これにより取り扱いは簡単になる一方で、現実と異なる計算をしていることになる点に注意が必要である。また、河川に関しては原則として次元非定常計算をしており、複断面河道となっている荒川や隅田川に関しては現実 に即して準二次元の計算とした。

周囲を道路で囲まれたエリアを「街区」と呼ぶことにすると、皇居や明治神宮・新宿御苑などの限られた街区を除けば、そのほとんどが規定の「建ぺい率」に基づいて建てられた建物群で埋め尽くされている。前述した例外を除けば、街区に降った雨のほとんどが建物を介して下水道に排出されることになり、建物の間に残された隙間の地面に降った雨が顕著な流れが形成することは稀と考えられる。この街区に関しては、建ぺい率のほか「容積率」も定められており、この二つの数値から、街区毎の建物の平均的な大きさと階数を知ることができる。建物に降った雨は、漏れなく下水道に流出するように設計されていることから、

屋上あるいは屋根に降った雨水がそのまま時間遅れをもって流出することになり、その流量の大小は屋上の面積と降雨強度により変化し、時間遅れは建物の面積と階数による。SuiPS では、街区内の建物群を平均的な大きさの建物の集合体に置き換え、一棟当たりの建物からの流出を計算し、街区毎の下水道への流出量を評価している。一方、街区内の建物以外の隙間の土地に関してはこれを一つの器のように取り扱うことにし、これに面する周囲の道路との間で生じる水の流入流出量と降雨量とを考慮して、街区内の平均的な浸水深を評価するに止めている。

計算に当たっては、上記の点を除けば仮定や仮説を導入したり簡略化をしたりすることはなく、数字合わせのためのパラメータや補正係数などは一切持ち込んでいない。例外となるのは抵抗則を考える際にマンニングの粗度係数を用いていることだけであり、それ以外は水理学の力学原理にのみに基づいて流れを解いている。

3.2 解析条件

本論文で対象とする東京都23区内の道路をそれぞれの標高に応じた色の線分で表した図を図2(a)として示す。23区内は、西側の起伏の多い山の手台地と、東京湾に面して標高の低い東側の下町に分かれる。図中には水色の線で各河川的位置を併記してある。河川は、多摩川や荒川などの大河川のほかに神田川や渋谷川をはじめとした都市河川が多数流れており、複雑な流路網を形成している。また、対象エリアは合計10の下水道処理区に分けられて下水道網が整備されている。23区内の道路点の総数は約50万個、下水道のマンホールの総数は約60万個であり、都市河川の総数は40数本である。

対象としたのは、2024年8月21日16時～20時の4時間にわたる降雨であり、雨域は雨雲の移動に伴い変化していた。ここでは、国土交通省のXRAIN データを入力値として用い、当時の浸水現象の再現計算を実施した。

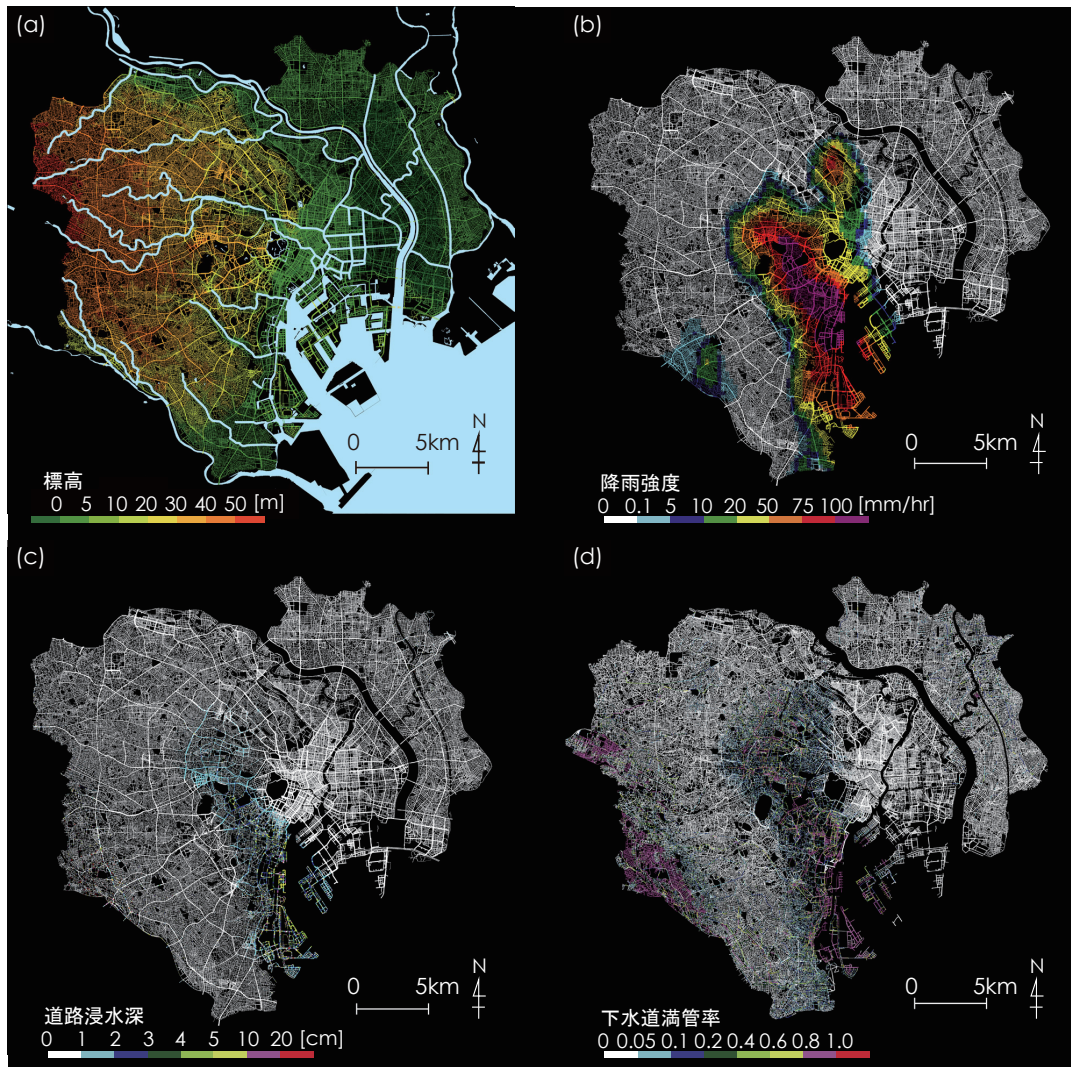


図2 2024年8月21日18時30分における再現計算の結果

3.3 対象領域全体の解析結果の概要

図2 (b)～(d)には、一例として18:30における降雨強度の空間分布、道路浸水深と下水道満管率の計算結果をそれぞれ示す。降雨強度の分布より、瞬間的には降雨強度が100 mm/hを超える猛烈な雨が降った地点も存在していたことがわかる。傾向としてごく狭いエリアに降雨が集中しており、この強度の降雨が長時間にわたって継続していたわけではない。

道路浸水深の計算結果を見ると、降雨の強かつ

た23区の中央部から南部にかけてのエリアで概ね1～10 cm程度の浸水に止まっていたことがわかる。また、下水道満管率に関しては、降雨が特に強い同エリアでは、下水管内が水で満たされ満管率が1.0となっている地点が南北に帯状に存在していることがわかる。これは短時間のうちに強い雨が降ったことにより、短時間のうちに雨水が下水道管内に集中して流入したためと考えられる。ただし、下水管が広域にわたって満管になることはなく、東京23区内の雨水排除システムは対象降

雨イベントにおいても有効に機能していたと判断される。それゆえに、地上での浸水は局地的なものにとどまっていたとみることができる。なお、図 2 (d) より 23 区南西部において下水道満管率が 0.8 以上の赤色になっているエリアがあるが、これはこの時刻より前に降った雨の影響を表しており、降雨域は間欠的にあるエリアに現れたほか、全体的には南西から都心部に向かって移動する傾向にあった。

4. 写真判読値および観測値と計算値の比較

4.1 道路上の浸水深判読値との比較結果の概要

著者らがこれまでの研究⁷⁾で注目してきたのは 2003 年 7 月 23 日の豪雨などであり、主として浸水深が数十 cm から 1 m 程度となった事象であった。その場合の判読値と計算値の差は最大で 5 cm 程度と判断された。これに対して、本論文で対象とした降雨はそれに比べて規模が小さく、結果として生じた浸水も当然のことながら小さなものとなった。このことは、前出の表 1 に併記した全 26 地点の浸水深の計算結果を見ても明らかである。この表 1 中の計算値と判読値を比較すると、両者の差が 5 cm 以上になっている地点が 3 つあるものの、計算値は判読値の最大値と最小値の間にあり、さらに表中の数値が cm 単位であることを勘案すると、概ねよい対応関係にあると言えるのではないかと考える。また、判読値そのものにも誤差が含まれる可能性がある。ただし、(1) 計算では道路交差点を中心とした C.V. の平均の浸水深を求めているのに対して、判読値は画像から読み取った地点でのピンポイントの浸水深であること、(2) 交差点 C.V. 内の道路面を水平とみなし標高を一定として計算しているのに対して、実際には C.V. 内で傾斜や凹凸があり水平とは言えない場合があること、などが原因となって差異が生じているのも確かである。特に No.8, No.19 と No.20 の差異は顕著であるため、さらに検討を加えたところ、道路の接続状況などのデータを修正すれば改善が図れることがわかってきた。これについては 4.3 節で後述する。

以下では、多くの SNS データが得られた麻布十番駅周辺 No.6~10 と、判読値から大幅に外れていた 3 地点のうちの一つである代々木駅のアンダーパス No.20 に注目して道路浸水深に関する考察を加える。これとあわせて、道路浸水深に影響を及ぼすと考えられる下水道管内からの雨水の逆流現象が観察された新宿駅西口の地点 No.21 に関する考察も行う。

4.2 大きな交差点における道路浸水深の写真判読値と計算値の比較

図 3 に港区麻布十番駅周辺の浸水深コンター図と、当時周辺を撮影した画像の一部を示す。図中の地点番号は表 1 中の左端の番号に対応する。図 3 (a) のコンター図を見ると、表 1 中の地点 No.6~No.8 のある一の橋交差点付近で顕著な浸水が計算されていることがわかる。また、地点 No.8 から No.10 を結ぶ麻布十番大通りの浸水深もその周囲の細い道路と比べて大きい傾向にある。

次に、地点 No.10, No.9, No.8 の順に得られた動画の切り抜きを図 3 (b)~(d) に示す。これらの地点では段ボールの空箱が流されるほど浸水深があり、流速も大きい様子が記録されている。また、地点 No.6 と No.7 に相当する麻布十番駅の一の橋交差点付近について述べると、No.6 の画像・動画が 11 件も投稿されており、特に浸水の程度が大きかった地点として注目されていたことがわかる。この地点は麻布十番駅 3 番出口の目の前であり、この出口では道路上の氾濫水が地下鉄構内に流入し、後に止水板で出入口が封鎖されたことがわかっている。麻布十番駅 3 番出口を写した図 3 (g) に注目すると、出入口の前面周辺がほとんど浸水している様子が見て取れる。しかし、少し遠くから同じ出口を撮影した図 3 (h) を見ると、実際に浸水しているのは駅出口の近くのみで、撮影者の足元付近には浸水がない。また、一の橋の交差点の中央付近に位置する地点 No.7 を撮影した図 3 (e), (f) を見ると、道路の中央付近や歩道の建物側では浸水がほとんどないことがわかる。これは、駅出入口付近が、交差点の中でも特に標高の低い窪地になっていたためと考えられる。こ



図3 麻布十番駅周辺の浸水深カウンター図および付近で撮影された SNS データ

のように、SNS 上に投稿された画像は、その周辺で浸水深が特に大きな箇所を選んで撮影される傾向があると推察され、交差点を中心とした C.V. 全体の浸水深の平均値が画像判読により得られる局地的な最大値に比べて小さくなるのは仕方がないと考えられる。

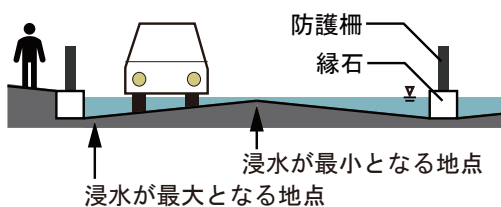


図4 道路の横断面の模式図

また、得られた動画・画像からわかる傾向として、幅の大きな道路では図3(e)のように車道の歩道に近い側は浸水しているのに対して、中央分離帯付近ではほとんど冠水していなかった。この理由として、道路に横断勾配が設けられていることが考えられる。道路の断面図は概ね図4のようになっている。図4に示すように、道路には横断方向にも勾配が設けられており、歩道と車道との間に縁石などの障害物も存在している場合が多いため、車道のうち最も歩道に近い場所ほど浸水が大きくなる。横断勾配は1.5～2%と定められている¹²⁾ため、例えば車道の幅員が10mの道路であれば中央部と歩道付近とでは最大10cm程度の高低差が生じる。本研究で扱った降雨事例のよう

に下水管内が満管に近い状態になってしまうと、雨水ますから速やかな雨水の排除が行われずに水が地上に溜まってしまいます。図3のような画像は歩道上から撮影されることが多いと想像され、それゆえに歩道付近で顕著な浸水の様子が撮影される場合が多いのではないかと推察される。

一方、S-uiPSでは道路を一本の線として扱い、交差点などを中心にしたC.V.全体の平均的な浸水深の値を計算している。このような一次元の計算では道路の横断方向への標高の変化を考慮できないため、実際には計算値より大きな浸水が生じる地点が現れることを意味する。ただし、その場合でも、どの地点の浸水リスクが大きいのかを判断する上で十分な精度の情報が得られるという意味で、図3に示すようなS-uiPSの計算結果は十分に価値があると考ええる。今後は、大きな浸水が予想される交差点に対する対策として、C.V.内の地点別の詳細な標高分布図を事前に用意しておき、水面がC.V.全体にわたって水平であると仮定して地点別の浸水深の値に変換する試算を行えば、最大浸水深を判断する上で目安となる値が得られるのではないかと考えている。これについては今後の課題である。

4.3 アンダーパスにおいて判読値と計算値に差が生じた要因に関する考察

図5(a)には渋谷区代々木3丁目のアンダーパス部分の浸水深コンター図を、(b)に冠水時の様子を撮影したSNS上の画像を、(c)に後日行った現地調査時に撮影した画像を、(d)にアンダーパスの横断面の模式図をそれぞれ示す。このアンダーパスの上には小田急線が走っており、アンダーパスから東西に離れる方向に上り坂となっていることから、地形的にも水が集まりやすいと考えられる。

この地点は表1中の地点No.20に対応する。表1に示すように、画像から判読された浸水深は約1mであるのに対して、計算値は6.093cmと大きな差が生じる結果となった。この理由を探ったところ、作成された道路データベースには誤りがあり、現実と異なる設定になっていた。図5

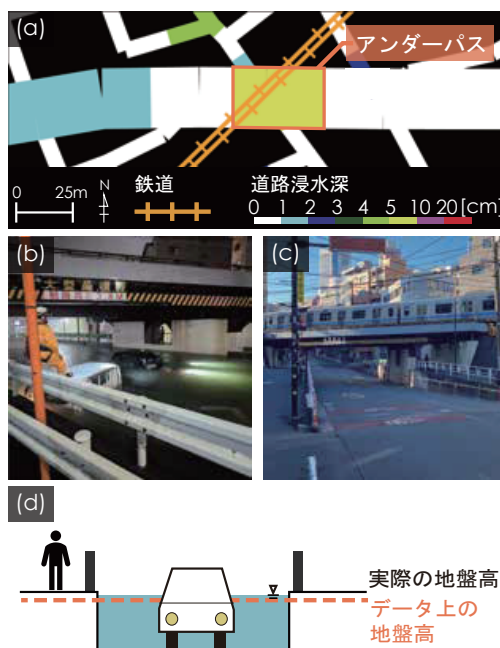


図5 代々木のアンダーパスにおける道路浸水深コンター図、SNS データ及び現地の状況

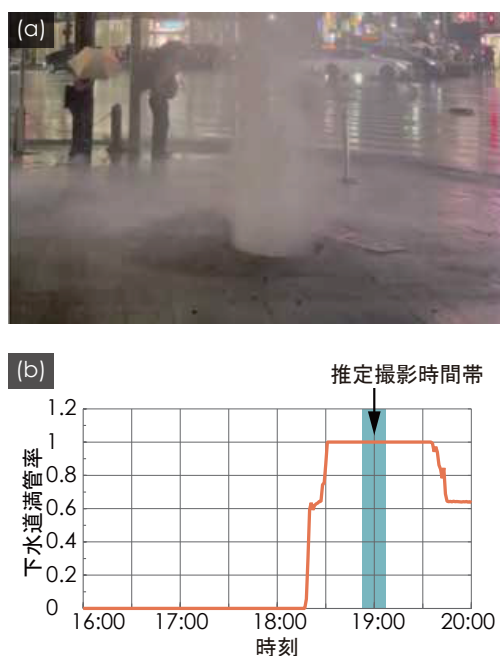


図6 新宿における下水道満管率の時間変化および SNS データ

(c), (d) に示すように、このアンダーパスの部分では、主たる車道と側道のようになっている歩道とが並走して線路の下を潜るように延びているが、両者の間に高低差があり、歩道部分の標高の方が大きい。ところが、DEM データから標高を与える際に、車道の標高を歩道の値に等しく設定するという誤りがあり、実際より高い位置に幅の広い一本の道路が延びているような設定になっていることが判明した。両者の高低差が 1 m ほどあることから、上記のような差になったと考えている。東京都23区には50万本を超える数の道路があり、そのデータに関しては可能な限り丁寧に確認するとともに定期的に更新の作業を進めてきた。浸水深の計算値が判読値に比べて大きく外れていた他の地点でも、同様に標高データに不備があったものと考えている。より確からしい精緻なデータベースとするためには、今後も本論文で説明してきたような取り組みを継続することが必要であり、そのためには SNS 上の画像データの活用が有効であると考えている。

4.4 マンホールからの雨水の逆流がみられた地点における逆流現象のメカニズムの考察

新宿駅西口付近の地点 No.21 で撮影された動画の切り抜きを図 6 (a) に示す。この地点では二箇所のマンホールから雨水が逆流している様子が撮影されている。このうちのひとつが図 1 (e) であり、もうひとつが図 6 (a) に示されたマンホールである。図 6 (a) に示された下水点における下水道満管率の時間変化を図 6 (b) に示す。この図より、この地点では下水管内が急激に雨水で満たされ、短時間のうちに満管状態に達したことがわかる。動画が撮影された時刻は19時頃と推測されるため、雨水の集中に伴い満管率の上昇と下水管内の圧力の急上昇とが生じ、その直後にマンホールから雨水が逆流して水柱が上がることになったと考えられる。なお、表 1 に示すように、この地点の周囲の道路浸水深の計算値と画像から判読された値はともに 0 ~ 1 cm 程度であった。このことから、逆流が生じる時刻までは下水道を中核とした雨水排除システムは健全に機能していたと判

断され、道路上には大した浸水は生じていなかったと考えられる。

参考までに図 6 の例と同様にマンホールや雨水ますから雨水が逆流する様子や、マンホールのふたそのものが飛ばされた事例を調べると、合計で 4 例ほどの画像が存在した。逆流現象やマンホールのふたが飛ぶような現象は、下水管内の空気の流れを厳密に計算しないことには予測することはできない。しかしながら、S-uiPS による計算結果から下水管内に急激に雨水が集まる状況を定量的に把握することができるため、管内の圧力が上がって逆流が発生する危険性が高まっている地点を推定することはできそうである。今後さらなる検討を継続していく予定である。

5. まとめ

本研究では、東京都内で2024年8月21日に発生した短時間強雨を対象とし、当時の状況を撮影して SNS 上にアップロードされた画像・動画データを収集するとともに、これらから浸水深をできるだけ正確に判読する方法を検討した。また、都市浸水予測手法 S-uiPS による再現計算を行い、その計算値と上記の判読値とを比較することにより、S-uiPS による計算の精度検証を試みたほか、可能な限りの考察を加えた上で、今後に残された課題や改善点を明らかにした。

道路上の浸水深は、同一の交差点内であっても着目する場所によってばらつきがあり、特に幅員が大きく横断勾配の顕著な道路ほど高低差が生じていることになるほか、道路中央部分ほど浸水深が小さく、歩道近くほど大きくなる傾向がある。一方、S-uiPS では交差点内の浸水深の平均値を評価しているため、平均値から見ると軽微な浸水と判断される場合であっても局地的に10 cm 程度の浸水となっている地点が存在することもあり得る。SNS 上に公開されている画像・動画はこのような地点を中心に撮影されていることが多い。本論文中に示した画像の中には、地下鉄駅構内が浸水した地点や下水道からの雨水の逆流が見られた地点で撮影されたものも含まれていたが、それらの地点であっても道路 C.V. の全てで浸水している

わけはなく、浸水範囲が縁石や道路の横断勾配によって形成されたごく小さな窪地部に限られるということもある。

このようなことを考慮して、本研究では画像判読により各交差点内の浸水深の最大値と最小値を求め、両者を併記することにした。その上で、S-uiPS による再現計算により得られた交差点内の平均浸水深と判読値との比較を行った。その結果、計算値と判読値とは良好な対応関係にあると結論づけられた。ただし、この検討によって道路点の標高データに不備が見つかり、それゆえに計算値が過小評価になっていることがわかった。このようなデータの不備は人為的なミスに起因するものもあり、作成段階で完全になくすことは困難である。そのため、今後も検証を重ねることで修正すべきものと位置づけている。

下水道に関しては、マンホールや雨水ますから雨水が逆流する様子や、マンホールのふたが勢よく飛散する様子が画像から確認された。本研究では、当時、下水管内の流れがどのような状況にあったのかを S-uiPS による計算の結果を踏まえて検討した。その結果、当該地点の下水管内に雨水が集中し、急激に満管状態に至った直後に雨水の逆流が生じることがわかった。このことから、事前に注意を要する地点をリストアップしておき、その地点の下水管の満管率の計算結果の時間変化に注目しておけば、「そろそろこのマンホールから雨水が逆流する」という注意喚起ができるのではないかと考える。現在、文部科学省 DIAS プロジェクトの一環で「S-uiPS によるリアルタイム浸水予測システム」を運用中であり、道路の浸水状況・下水道の満管率・都市河川の洪水の水位などの情報を20分先まで知ることができる。これを活用するとマンホールからの雨水の逆流を事前に予測することができるようになるかもしれないと期待しているところである。

本研究では、SNS 上に投稿されている画像・動画データを用いたが、それ以外にも車載カメラや防犯カメラのものが活用できるとすれば、都市部の浸水状況を把握する上で有用である。また、同一の場所を様々な角度から撮影した画像・動画

が多く得られると、画像相互の関係を考慮することによって、そこで生じている浸水の三次元性を把握することができるほか、判読値の精度や信頼性を向上させることができる。

最後に、今後の課題として、画像・動画データの収集方法の効率化や判読精度の向上を挙げることができる。本研究では、現地調査や同規模の水たまり（すなわち浸水管所）の現地観察を行うことにより、可能な限り主観を排除した判断基準を定めることができたと考えているが、今後は画像処理による浸水深の自動判読なども視野に入れ、より客観的な判読基準を確立させることが望ましい。

謝辞

本論文は、文部科学省の地球観測システム研究開発費補助金を受けて行った研究の成果をまとめたものである。研究の遂行にあたり、北村峻馬さん（早稲田大学大学院生）の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁、大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化、https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html, 2025年1月8日閲覧。
- 2) 気象庁、2024年夏（6月～8月）の天候、<https://www.data.jma.go.jp/cpd/longfcst/seasonal/202408/202408s.html>, 2025年1月8日閲覧。
- 3) 東京管区気象台、令和6年7月31日の大雨に関する東京都気象速報、https://www.data.jma.go.jp/tokyo/shosai/chiiki/disaster/2024/20240731_hm-air_tokyo.pdf, 2024年8月6日, 2025年1月8日閲覧。
- 4) 東京管区気象台、令和6年8月21日の大雨に関する東京都気象速報、https://www.data.jma.go.jp/tokyo/shosai/chiiki/disaster/2024/20240821_hm-air_tokyo.pdf, 2024年8月23日, 2025年1月8日閲覧。
- 5) 関根正人：住宅密集地域を抱える東京都心部を対象とした集中豪雨による内水氾濫に関する数値解析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 67, No. 2, pp. 70-85, 2011.
- 6) 関根正人：力学原理に忠実に創られた精緻な都市浸水予測手法と東京で発生する都市浸水現象,

- ながれ, Vol. 37, No. 1, pp. 11-18, 2018.
- 7) 関根正人・中森奈波・児玉香織・斎藤涼太：森ヶ崎処理区を対象とした2013年7月23日豪雨時の都市浸水の再現計算とその精度検証, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 73, No. 4, pp. I_1459-I_1464, 2017.
- 8) 伊藤和也・三上貴仁・田中剛・末政直見：令和元年東日本台風による世田谷区・大田区の浸水被害に関する分析－防犯ビデオによる浸水位・流向流速の変化, 自然災害科学, Vol. 42, No. 3, pp. 213-224, 2023.
- 9) 鶴崎賢一・大橋直也：SNS 情報の解析による広域的な浸水深と氾濫流速の算定手法の構築, 河川技術論文集, Vol. 27, pp. 551-556, 2021.
- 10) 山室直輝・平野洪實：SNS 投稿の水災時浸水域推定における有効性に関する検討－令和元年東日本台風を事例として－, 防災科学技術研究所研究報告, Vol. 86, pp. 1-10, 2022.
- 11) X, <https://x.com/>, 2024年1月8日閲覧.
- 12) 東京都例規集データベース, 都道における道路構造の技術的基準に関する条例, https://www.reiki.metro.tokyo.lg.jp/reiki/reiki_honbun/g101RG00004360.html, 2025年1月8日閲覧.
- (投稿受理：2025年1月10日
訂正稿受理：2025年3月31日)

要 旨

2024年8月21日に東京23区内で発生した降雨は、マンホールからの雨水の逆流や地下鉄駅の浸水が発生し、被害状況を撮影した動画や画像が SNS 上に多く投稿された。SNS 上のデータや防犯カメラの映像などを用いた浸水深の推定は既に研究手法として取り入れられつつあるが、複雑な地形や排水システムを有する都市部で発生する局所的な浸水を対象としたものはあまり多くはない。そこで、本研究では2024年8月21日の降雨を対象として、SNS 上に投稿された動画や画像から読み取れる浸水深の判読値を求め、これと都市浸水予測手法 S-uiPS の計算結果の比較を行った。これにより、SNS から収集した画像・動画データは、計算値と良好な対応関係にあることを確認した。また、本研究で対象とした都市部における道路上の浸水は、道路の横断勾配や縁石などによってつくられる窪地に生じる局所的な現象であり、同一の交差点内であっても深さにばらつきがある場合があることが明らかになった。