

精緻な解析手法による東京都 23 区のリアルタイム浸水予測システムの開発

研究代表者 関根 正人
(創造理工学部 社会環境工学科 教授)

1. 研究課題

地球規模での気候変動が進み、気象が極端化してきている状況下で、我々はこれまでは経験することのなかったような規模の豪雨に備えなければならなくなっています。本研究では、東京都 23 区(あるいは他の高度に都市化されたエリア)が巨大台風や集中豪雨に襲われた時に、どのような規模の浸水がどのようなプロセスで発生するのかを、リアルタイムで正確に予測するシステムを開発することを目指しています。また、これを社会実装し、計算結果が広く人々に伝達され、被害軽減に向けて有効に活用されるようにしていきたいと考えて取り組んでおります。

2. 主な研究成果

2.1 精緻な浸水予測手法の精度検証

浸水予測手法の精度検証に当たっては、当然のことながら豪雨時の浸水状況を記録した計測値やデータが必要です。ところが、発生した被害に対処するのに終始してしまい、このような情報は限られた数しか得られていないのが最近までの状況でした。こうした中で、近年、実際に生じた浸水の状況を撮影した画像が残され、共有されるようになってきました。この中には真に信頼できるものが多く存在することから、これらを浸水実態の把握に活用することにしました。具体的には、このような画像を活用して「撮影当時の浸水深」を読み取る方法を確認しました。ここでは、2013 年 7 月 23 日に東京都目黒区・大田区・世田谷区に大きな浸水被害を引き起こした豪雨を対象に、国土交通省が観測した XRAIN による降雨データを入力値とした再現計算を行いました。この XRAIN によれば、地上の空間分解能が約 250m、時間的には 1 分毎の降雨の強さがわかります。

再現計算の結果の一例が図-1 です。この図には、東京都 23 区のうちの隅田川より西に位置する 18 区分のエリアについての結果がまとめられています。左側の図は二つの時刻における降雨強度の計測値をまとめたものであり、オレンジ・赤・紫の色で塗られているエリアでは下水道ならびに河川の処理能力を超えた雨が降っていることになります。これに対して、中央の図は、それぞれの時刻における浸水の深さ(浸水深)を値に応じて色分けして塗り分けた図です。さらに、右側の図は、同時刻における下水道内の状況を表したものであり、赤色で描かれている下水管はすでに水で満たされ、高圧力状態の流れとなっていることを意味します。

この再現計算の結果と前述のように算定した実際の浸水深とを比較したところ、その差は最大で 5cm 程度であることがわかりました。これは、これまでの期待を大きく上回る高精度な予測計算が可能となったことの証であり、同じ分野を専門とする研究者からも驚きをもつ

て受け入れられました。また、東京都 23 区を流れる都市河川には、東京都建設局によって設置された水位計が多数存在し、場所毎の河川水位の値が自動計測されています。図-2 は、目黒川で計測された水位データと、予測計算結果の値とを比較したものです。赤色の実線が実測値の時間変化を表し、青色の実線が予測値を表します。両者を見ると、発生した洪水の水位の最大値ならびにその発生時刻まで極めてよく予測できていることがわかります。

以上は、検証結果の一例であり、これ以外の日時あるいは地点の値を比較しても同様の精度であることがわかっています。このことから、この手法による予測計算結果は、十分に信頼に値する浸水リスク情報であると結論づけることができました。これは、関連分野の研究者集団の中での共通認識になっているものと考えています。なお、精度検証については今後も引き続き行っていく予定です。

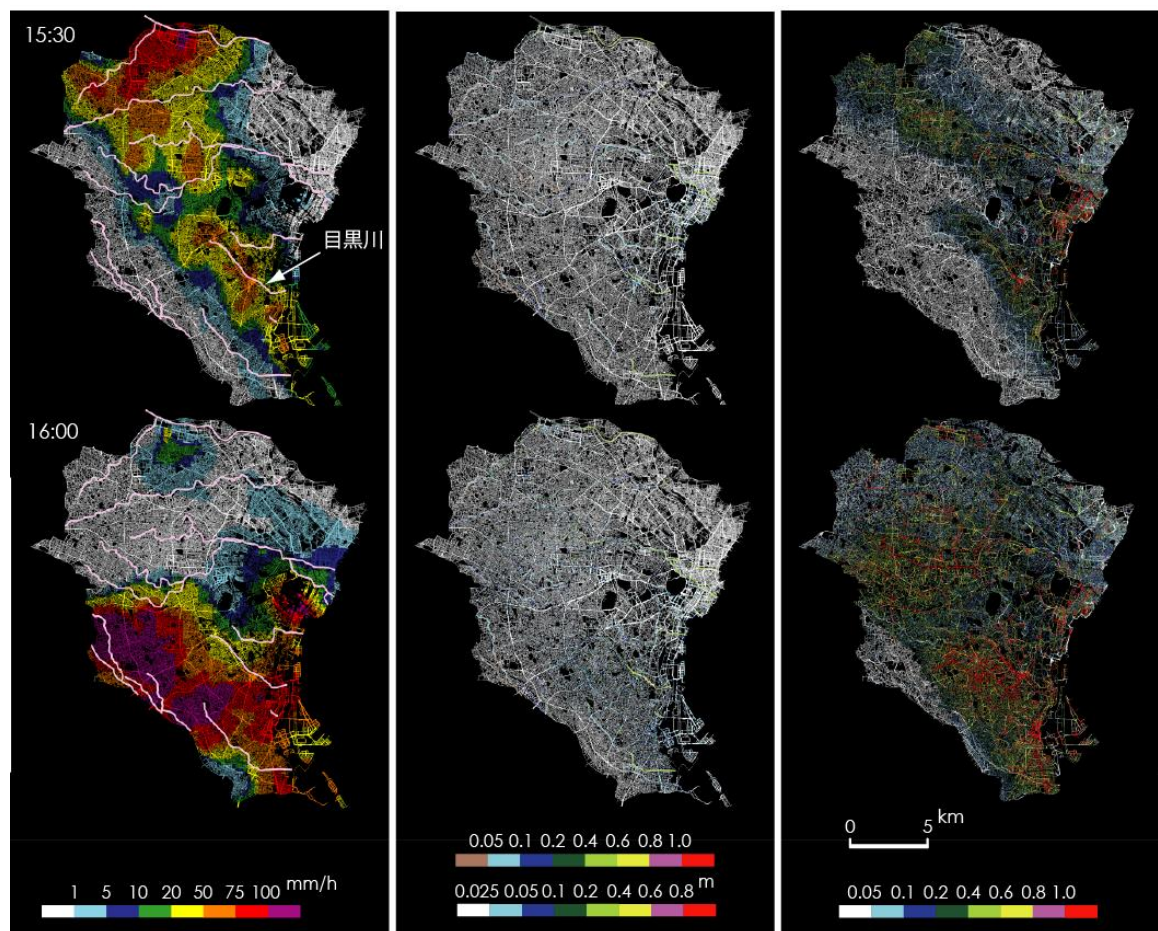


図-1 2013 年 7 月 23 日豪雨時に発生した都市浸水の再現計算結果(上段が 15:30、下段が 16:00):左側が XRAIN による降雨強度のコンター図、中央が道路浸水深のコンター図、右側が下水道満管率のコンター図を表す。中央の図の凡例は、上段が水深を河床から護岸天端までの高さで除した無次元量に対応するものであり、下段が浸水深を表す。

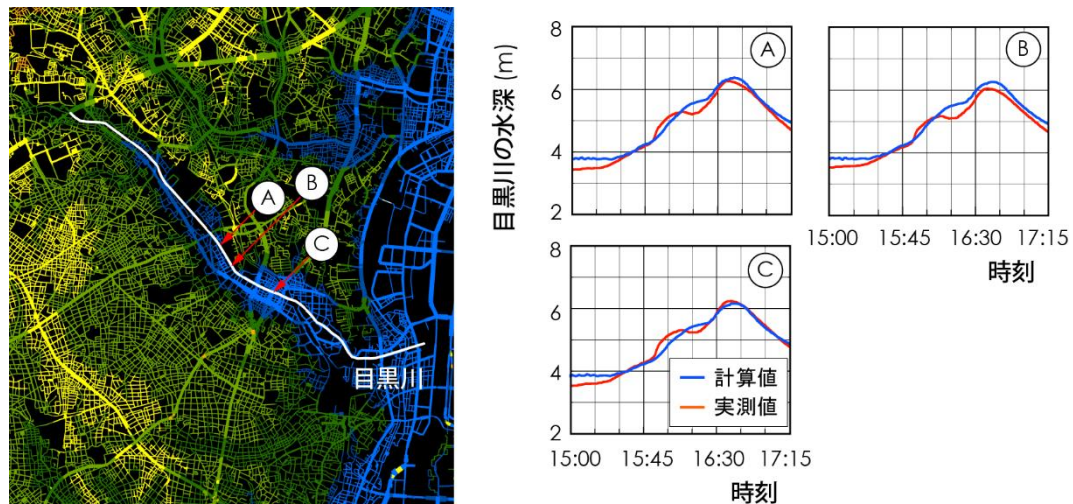


図-2 豪雨中の目黒川の水位変動に関する予測精度検証：左側の図は目黒川流域内の道路標高のコンター図上に目黒川的位置を併記したもの。黄・黄緑・緑・青の順に標高が低い。

2.2 交通渋滞に伴い深刻化する浸水状況の評価

豪雨発生時に道路で自動車渋滞が発生していないということ是不可能的。道路渋滞が発生すると、道路上の空間が自動車により占有されることになる結果として、浸水の状況が悪化することは容易に想像されます。道路渋滞が都市浸水の状況にどの程度の影響を及ぼすのかについてもあわせて研究を行いました。道路の交通渋滞の状況を表している情報として、国土交通省の「道路交通センサス」のデータがあります。これによると、交通量の多い幹線道路上の自動車の流れや渋滞の状況を把握することができます。本研究は、2016 年度にまとめられたデータのうち夕方時間帯に注目し、交差点毎の自動車の通過台数・移動速度などのデータを踏まえて計算を行いました。

図-3 に計算の結果の一部をまとめて示しました。この計算は、前掲の図-1 とは異なる強さの雨を対象に行われたものであり、図-1 と同じエリアを 1 時間当たり 100mm の強さの豪雨が襲うと想定しました。地点によっては 0.8m を超える浸水となる地点が現れることがわかります。図-3 上段の(a)および(d)には、道路に自動車が存在しない場合の結果と、通常生じている渋滞時のものとを比較できるように、浸水深コンター図が示されています。また、図-3 下段の(b)には、注目した二地点における浸水深の時間変化を表すハイドログラフが示されています。この結果から、道路渋滞は浸水の規模をより大きなものとし、被害を深刻化させることが明らかです。道路冠水がある深さを超えるようになると、自動車は移動不可能となり、渋滞をさらに深刻化させることになることから、事態は好転せず、負のスパイラルに入り込んで危機的な事態を招くことになります。深刻な冠水が発生することになる「アンダーパス」に関しては、事前に通行止めとして迂回させるような対策が必要となりますが、この判断には、次に説明する浸水のリアルタイム予測の結果を活用することが望まれます。

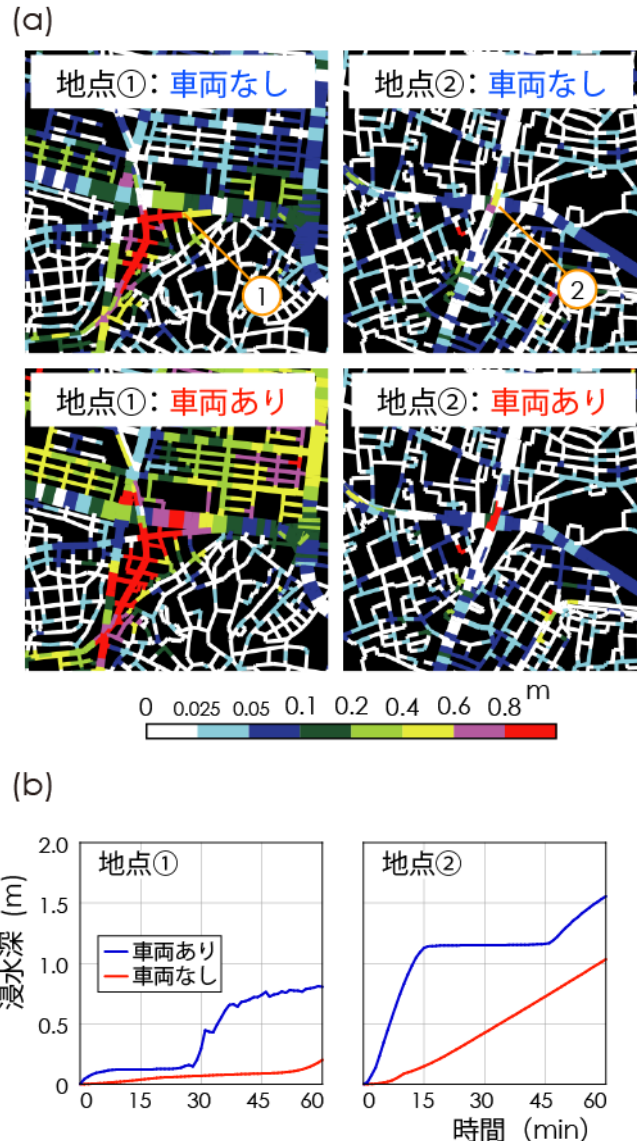


図-3 道路渋滞が都市浸水に及ぼす影響：(a) 主要道路上の車間距離のコンター図、(a) 降雨開始 60 分後の注目した二地点（地点①板橋区高島平六の橋交差点周辺、地点②：練馬区高野台谷原交差点周辺）周辺の浸水深コンター拡大、(b) 二地点における浸水深の時間変化を表すハイトグラフ。

2.3 リアルタイム予測に向けた取り組み

基本となる予測手法 S-uiPS によりリアルタイム浸水予測を可能とするためにはいくつかの越えなければならない壁があります。そのうちの 하나가計算の高速化です。一例を挙げると、30 分後の豪雨予報データを受信し、これを入力値とした浸水計算の結果を 10 分後には配信するということになります。かなり精緻に組み立てた手法であり、膨大なデータを扱う計算であるため、このような高速化はそれほど容易ではありません。しかし、文部科学省の DIAS (Data Integration and Analysis System) のプロジェクトに採択されてから、着実に取り組みが進んでおり、これも 2018 年度中には達成できる見通しになってきました。

3. 共同研究者

平松 裕基 （理工総研・次席研究員）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- (1) 関根正人, 児玉香織：東京都 23 区を対象とした豪雨時浸水リスク評価とアンダーパスの冠水事前予測, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 74, No. 4, pp. I_1543-I_1548, 2018.
- (2) 関根正人, 斎藤涼太：交通渋滞が道路冠水に及ぼす影響に関わる数値計算による検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 74, No. 4, pp. I_1309-I_1314, 2018.
- (3) 関根正人, 柴田祐希, 小方公美子, 中山裕貴：東京東部低平地を対象とした大規模浸水予測, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 74, No. 4, pp. I_1531-I_1536, 2018.
- (4) 関根正人, 児玉香織, 斎藤涼太, 中森奈波：集中豪雨による東京都心部の浸水プロセスと都市河川の洪水に及ぼす下水道の効果, 日本下水道協会第 54 回下水道研究発表会, pp. 158-160, 2017.
- (5) 関根正人, 中森奈波, 近藤恭平：豪雨域の移動方向が下水道ならびに都市河川への雨水集中と都市浸水に及ぼす影響, 日本下水道協会第 54 回下水道研究発表会, pp. 164-166, 2017.
- (6) 関根正人, 中山裕貴, 小方公美子, 柴田祐希：街路ネットワーク浸水・氾濫解析モデルを用いた東京東部低平地の浸水危険度評価, 日本下水道協会第 54 回下水道研究発表会, pp. 161-163, 2017.
- (7) 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, 日本流体力学会誌「ながれ」, Vol. 37, No. 1, pp. 11-18, 2018.

4.2 総説・著書

関根正人：地下空間の浸水被害を科学の力で防ぐ・軽減する一浸水予測システムとそれを活用した避難経路の確保、都市問題, Vol. 109, No. 6, pp. 75-83, 2018.

4.3 招待講演

「精緻な手法を基礎とした豪雨時リアルタイム浸水予測システムとその社会実装による被害軽減」、信州・気候変動適応プラットフォーム全体会議（長野県）、2018 年 1 月 23 日。

4.4 受賞・表彰

特にありません。

4.5 学会および社会的活動

土木学会・日本下水道協会にて各種委員を務めるとともに、この分野の研究をリードする業績を上げてきたほか、東京都・神奈川県をはじめとした自治体が被害軽減に向けた対策を講じるに当たっての科学的な裏付けを与えつつアドバイスを行ってきました。

5. 研究活動の課題と展望

東京都 23 区全域を対象とした「リアルタイム浸水予測システム」の中核部分は既に完成しており、現在、計算の高速化に向けた取り組みを進めているところです。文部科学省の DIAS

のプロジェクトに採択されて以降は、関連分野の研究者とともに並列化を含めたコードの高速化・効率化を進めており、**2019** 年夏までに **DIAS** 上でリアルタイム予測計算ができ、その結果が広くお伝えできるようにしていく予定です。このシステムを社会実装し、**2020** 年の東京オリンピック・パラリンピックまでには予測計算の情報が活用されるようにしていくという目標に向かって着実に前進してきていると考えています。