

浸水予測用の都市インフラデータベースの機械学習による自動作成 — インフラデータ管理を容易に&下水道を守る —

1. 背景

近年地球温暖化により、1時間当たり100mmを超えるような豪雨が増えている。都市部に降った豪雨は、道路の雨水枡を介し下水道へと流れ、河川へと排水される。排水が間に合わず、下水道が満管になると、雨水枡を介して道路へと雨水が逆流する。これが内水氾濫であり、洪水による越水により引き起こる外水氾濫と比べ、浸水深が数十cm単位程度であるという特徴がある。しかし、都市部では交通インフラに多大なる影響を及ぼし、実際に2025年7月10日の夕刻の豪雨では、東京都心周辺で鉄道の運転の見合わせや道路の交通規制が行われた。早稲田大学関根教授らによって開発された「S-uiPS」は、街区・道路・下水道・河川で構成される都市インフラをデータとしてまとめ、雨水の流出入を計算することで、20分先の内水氾濫予測を行っている。従来、浸水予測のもととなる都市インフラデータベースの整備に長期間を要しており、その随時自動化による作成期間の短縮が求められていた。また、近年都市部の市街地化により、雨水の緑地による浸透量が減少しており、下水道を中心とするインフラを逼迫している。このような背景のもと、下水道インフラの維持管理の課題にも目を向けた。

2. 目的

本プロジェクトは、従来多大な人力と時間を要していた都市インフラデータベースの作成工程に機械学習を導入し、浸水予測システム構築の迅速化と高密度化を両立させることを主目的とし、下水道インフラが抱える課題にも焦点を当てた。具体的には、以下の3つの柱を達成目標として掲げた。

第一に、機械学習を用いた道路幅データの抽出自動化である。地図情報を入力としたBox検出技術(YOLO等)を用いることで、複雑な交差点や屈曲点を含む道路網において、計算単位とインフラデータを一対一で柔軟に紐づけるシステムを構築し、データベース作成期間の抜本的な短縮を目指した。

第二に、標高データの高精度化と処理の軽量化である。内水氾濫予測の精度に直結する標高データを、従来の5mメッシュから0.25mメッシュへと高密度化(データ密度にして400倍)しつつ、「境界柵」を用いた動的インポート手法を開発することで、広範囲かつ軽量の一括処理を実現することを目指した。

第三に、土木とITの「分断」を埋める架け橋となることである。IT活用の遅れが指摘される下水道インフラの現状や維持管理が抱える課題を可視化し、未踏コミュニティをはじめとする専門外の分野へ広く発信することで、現場の需要に即した次世代の技術開発を先導する人材となることを目指した。

3. 開発の内容

浸水予測では、交差点ごとに雨水の流出入を計算するための計算単位を設定している。計算単位内で、標高や道路長さ・道路幅の情報、下水管へと流れるための雨水枡の情報などを、データとしてまとめることで、降雨予測から算出される降雨量に対して、各計算単位

での雨水の流出入と浸水深を計算することができる。この都市インフラデータベースの作成工程に対し、従来組み込まれていなかった機械学習手法を組み入れることで、大幅な作成期間短縮を実現した。

また内水氾濫は、その標高データの精度が予測精度に直結する。洪水による外水氾濫は、急速な勢いで都市を飲み込み人命に影響を与えるが、雨による内水氾濫は、じわじわと浸水し、30cm ほどの浸水であっても車であれば低速での走行を余儀なくされ、地下鉄駅や、地下に潜りこむような道路網であれば交通規制が必要となる。従来は 5m メッシュをベースとした標高データがとられていたが、近年発達している 0.25m メッシュの高密度点群データをベースとし、精度の向上をはかった。この際課題となるのが、広範囲軽量一括処理であった。

また、都市インフラのデータを取り扱うため、現在のインフラが抱える問題を可視化し、未踏コミュニティを中心とし広く発信することも、本プロジェクトの目的である。

本プロジェクトの期間内でも、様々な現場に足を運び、机上の空論ではなく、現場の意見をそのまま届け、発信することを意識した。このような背景と目的のもと、ソフトウェア上の開発に加え、下水道インフラの課題の可視化も行った。

3.1. 都市インフラデータベースの自動作成 (GIS の拡張技術)

本プロジェクトでは、浸水予測用計算に用いられる道路部分のデータの内、道路幅抽出を自動作成する。浸水予測システムでは、交差点を基準として地上部の道路を区切り、その一つ一つの計算単位ごとに地下の下水道データと接続し、雨水の流出入を計算する。そのため地上では交差点の特徴を認識することで、計算単位ごとに道路データを紐づけることができる。しかし GIS ソフトウェア (ArcGIS) では、交差点のパターンを認識しそれに対し機械学習を行い、一対一に紐づけすることができなかった。そこで本プロジェクトでは、GIS の機能を補完する「GIS 拡張機能」を開発し、外部での柔軟な機械学習処理と座標変換機能の連携を実現した。開発したシステムの全体処理フローを図 1 に示す。図 1 に示す通り、本システムは「画像切り出し」「機械学習」「座標変換」「GIS 反映」の 4 段階で構成されている。まず、ArcGIS から対象レイヤーを画像としてエクスポートし、物体検出モデル (YOLO) を用いてピクセル単位での Box 検出を行う。得られたピクセル座標に対し、Excel マクロを用いた独自の座標変換処理を挟むことで、解析結果を ArcGIS 上の正確な地理座標へと再反映させる仕組みを構築した。

3.2. 点群データを基にした標高データの高密度化

浸水予測用標高データの精度向上にも取り組んだ。具体的には、標高データの元データの測定点の密度を 5m メッシュから 0.25m メッシュにすることを可能にした。高密度の元データは点群データと呼ばれるものである。点群データはその高密度さから、データ量が多いことも特徴である。浸水予測の計算の基準点は、東京中心部だけでも数万点あるため、標高データの紐づけに大量の処理時間が懸念されていた。本プロジェクト内の開発では、高密度標高データ取得の広範囲・軽量処理を可能にした。図 2 に示すように、高密度標高データと浸水予測用基準点の間に空の境界枠を挟むことで、軽量処理を可能にした。

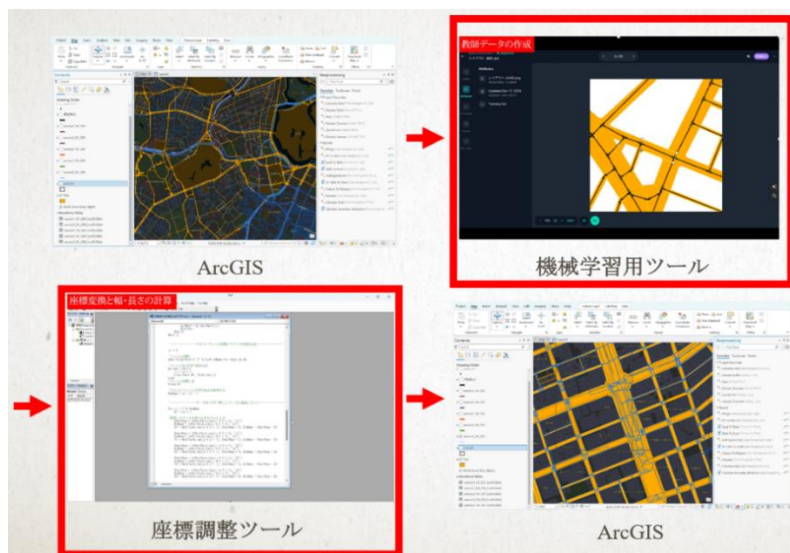


図 1: GIS の拡張技術による柔軟な機械学習

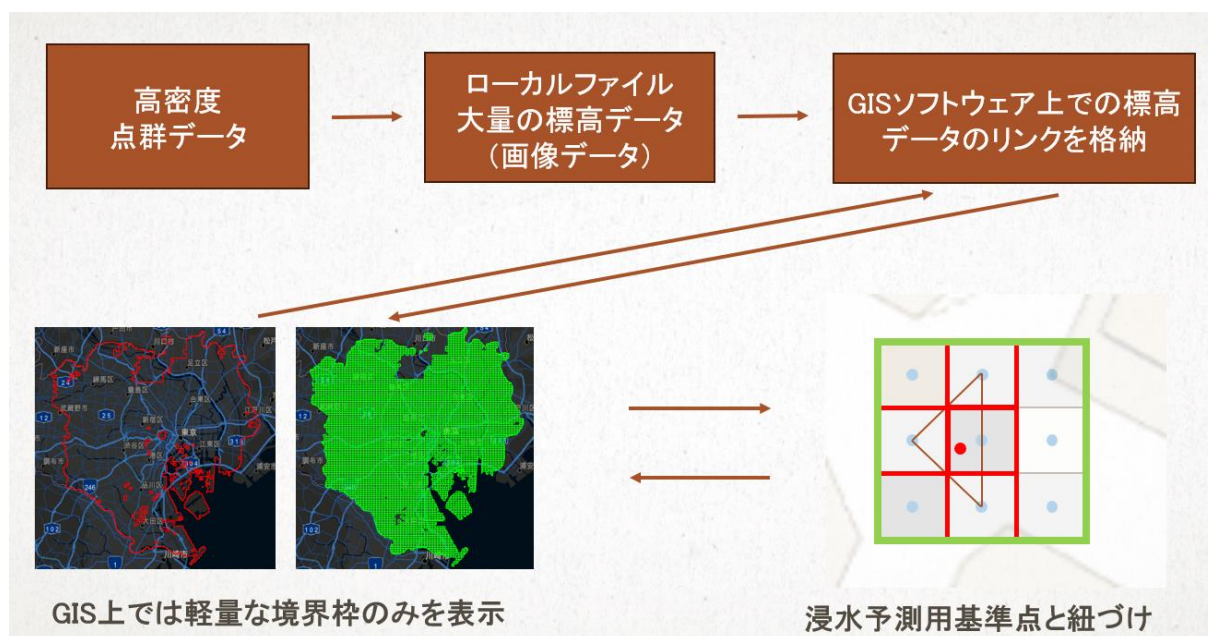


図 2: 高密度点群データの広範囲軽量処理による標高データ取得

3.3. 下水道インフラが抱える課題の可視化と今後求められる技術

日本全国 49 万 km もの下水道の維持管理をより低コスト化するため、現状行われている下水道の点検(図 3)に関する調査を行った。その上で、現在人手と簡易的なロボットで行われている下水管点検を向上させるための技術についてまとめ、技術開発をスタートさせた。今後はセンサや半導体チップ、通信システムの面から、最適な下水管点検システムを開発する予定である。



図 3: 大口径下水管点検の様子(左)、小口径下水管点検の様子(右)

(東京都下水道局「東京都の下水道 2025」から引用)

<https://www.gesui.metro.tokyo.lg.jp/data/kankou/2025tokyo>

4. 従来の技術(または機能)との相違

従来 GIS ソフトウェア上で、手作業で行っていた道路幅データ取得を、機械学習の Box 検出を行ったことで、大幅な作成期間短縮を実現した。

標高データ取得に関しては、5m メッシュから 0.25m メッシュへと高密度化を実現した。メッシュのみならず、測定点の加重平均をとることで、従来の近接する点のデータをとっていた時の手法と比べ、より現実と近い値を取得することができるシステムとなっている。

5. 期待される効果

GIS 拡張機能による機械学習タスクの柔軟性の向上は、緑地計画の評価などにも用いられることが期待されている。東京都のグリーンインフラ政策は、緑地を増やすことにより豪雨時の内水氾濫を防ごうという政策である。GIS の緑地部分を切り出し、特徴物の画像認識とデータへの紐づけを行うことで、浸透評価を行っている研究グループで利用できる技術となっている。また、上下水道のビッグデータ処理にも用いられることが期待されており、今後現場の技術者との議論を通して、開発システムを需要に合わせてブラッシュアップしていくつもりである。

6. 普及(または活用)の見通し

GIS 拡張による柔軟な機械学習を可能にしたシステムと、高密度標高データの取得システムは、内水氾濫浸水予測システムを行っている研究グループに提供中である。また、2026 年 5 月に上下水道事業に携わる関係者向けセミナーにて講演を行う予定である。この後現場の需要を聞いたうえで、適宜技術を転用できるように調整していく予定である。また、課題の可視化として取り扱った下水道インフラに対する技術開発に関して、既に分野をまたがり連携を組んでおり、今後 4 月を目途に下水管での実地計測の計画を立てている。

7. クリエータ名(所属)

竹内 望(東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学専攻)