

## 深層学習を援用した洪水時における道路浸水状況の自動検出手法の提案

ショーボンド建設 正会員 ○中村 純也  
高知大学 正会員 坂本 淳

### 1. 研究の背景と目的

大規模な洪水が発生した際においては、応急対策計画を立案する上で、迅速な浸水範囲の特定が極めて重要である。一方、近年の飛躍的な技術革新により、ICT 技術の社会基盤分野への応用が進められている。そこで本研究では、深層学習による画像認識技術を用いて、洪水により浸水した道路区間を自動的に検出する手法を開発する。過去に発生した洪水時に撮影された航空写真を用いて開発した学習モデルを、別の洪水時に撮影された航空写真に適用し、道路区間の浸水状況のあてはまり具合について検証する。

### 2. 研究方法

使用する画像認識技術は、2018年に開発されたYOLO v3とし、使用する航空写真は、学習用の写真として茨城県久慈川地区、埼玉県都幾川地区（いずれも令和元年東日本台風で被災）、検証用の写真として岡山県高梁川地区（平成30年豪雨で被災）、千葉県佐倉地区（令和元年10月の低気圧に伴う大雨で被災）とした。

本研究で提案するシステムの概要を図1に示す。平時において準備した100mメッシュ毎の道路リンクと浸水状況判別モデルを、豪雨災害発生後すぐに撮影される航空写真に適用することで、被災地のどの道路が浸水して通行止めになるのかを自動抽出・可視化するものである。以下、それぞれについて詳述する。

「100mメッシュ毎の道路リンク」は、デジタル道路などを用いて、GISの機能のユニオンによりメッシュ単位で整理しておき、発災後に撮影された航空写真から構築されるフォトマッピングと重ね合わせる用途を想定している。道路地図さえあれば、平時から全国レベルで整理できるものである。ここで、100mメッシュ単位で道路リンクを整理する目的を説明する。豪雨災害が発生すれば、直後に撮影された航空写真を平時の航空写真と比較することで、どの地区の道路が浸水しているのかを把握することができる。久保ら<sup>1)</sup>は、道路縁データ（ベクターデータ）とSARS画像を用いて、平時・災害時の写真を比較しながら道路被災箇所を抽出する技術を提案している。これに対して本研究は、発災後の航空写真のみを用いて100mメッシュ単位で浸水有無を判別し、そこに道路リンクが含まれるかどうかの情報を統合することで、大まかな道路浸水状況の可視化を目指している。なお、メッシュ単位を大きくすれば自動判別に要する計算時間は短いが粗い結果が出力され、逆に小さくすれば計算時間は長いが詳細な結果が出力される。

「学習用航空写真」は、既往災害で浸水が発生した航空写真をメッシュ単位で分割し、メッシュ別に浸水状況を目視で分類する。これは100mメッシュ毎に“浸水メッシュ”、“非浸水メッシュ”、“その他メッシュ”に分類する。以上で整理した「学習用航空写真」を、物体検出モデルである“YOLOv3”を用いて学習させ、「浸水状況判別モデル」を構築する。

豪雨災害発生後はUAVなどを用いて航空写真を撮影する。撮影データをフォトマッピング機能などでGIS上に配置し、100mメッシュ単位に分割する。この単位についても、前述したように計算時間と結果の精度のトレードオフの関係にある。この“分割されたメッシュ”から道路リンクが存在するメッシュのみ

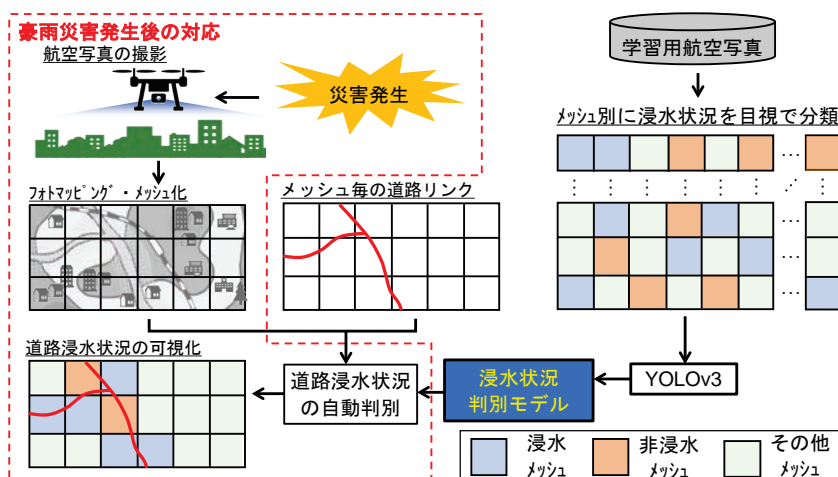


図1 提案システムの概要

を抽出し、「浸水状況判別モデル」を用いて道路浸水状況を自動判別し、迅速に可視化を行うものである。

### 3. 結果と考察

過去の浸水被災地域を検証地域とし、浸水状況判別モデルの精度検証を行った。各メッシュについて浸水推定図を参考に目視で判別を行った直値データと浸水状況判別モデルの自動判別結果について、岡山県高梁川地区、千葉県佐倉地区で可視化した(図2)。図のTPは赤色、TNは青色、FNは桃色、FPは水色である。評価指標は深層学習の検証で一般的に用いられる、以下の3指標<sup>2)</sup>を用いた。

$$\text{浸水再現率} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \dots (1) \quad \text{非浸水再現率} = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \dots (2) \quad \text{適合率} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100 \dots (3)$$

浸水再現率とは、実際に浸水が起こっている区間を取り逃さず判別している確率である。非浸水再現率とは、実際は浸水していない区間を浸水と判別していない確率である。適合率とは、全判別結果のうち直値データと同じ判別を行っている確率である。この3つの指標を用いて評価した結果を表1に示す。

岡山県高梁川地区では、浸水再現率が94%、非浸水再現率が64%、適合率が81%であった。浸水区間を取り逃さず判別している一方で非浸水区間を浸水と多く判別している傾向がみられた。特に山間部・畦道を浸水と判別している傾向がみられた。本研究では山・木々など緑を多く含む画像はその他メッシュとして学習し、判別では非浸水に分類させるようにしたが、このクラスの学習が不十分であったことが原因として挙げられる。また舗装されていない道路や、土砂が道路に流出したことにより、航空写真では茶色く視認できる道路に関し、ほとんどが浸水と判別されていたことから、このような区間では予測データや標高データを活用するなどの工夫が必要と考える。また、スコア(判別した画像が学習した画像の要素を含む度数)については、山間部では低いスコアでの誤判別が多く、道路変色箇所では高いスコアでの誤判別が多くみられた。1に近いスコアでは目視でも判別の難解な画像が多く存在した。

千葉県佐倉地区では、浸水再現率が84%、非浸水再現率が95%、適合率が91%であった。高い浸水再現率が確認されたものの、住宅が密集する区間や山間部・河川敷・畦道など画像に緑を含む区間の誤判別がみられた。また高架道路など浸水区間に非浸水区間が存在する区間では、非浸水区間と判別される傾向がみられた。

### 4. まとめ

本研究では、浸水災害後の迅速な浸水区間の特定を目的に、深層学習の1手法であるYOLOv3を用いた道路区間の浸水状況の適合度を予測する技術を開発した。結果として山間部では精度が劣るも、その他の区間では非常に高い精度での自動判別が実現できた。今後の課題として検証技術の簡略化が挙げられる。現段階として100mメッシュ毎に自動判別を行ったが、1枚の航空写真から、どの区間の道路が浸水しているのか自動検出することができれば、より迅速に浸水範囲を特定することができる。

#### 参考文献

- 1)久保菜・吉田秀典：SAR画像を用いた豪雨災害時における道路被災箇所抽出に関する研究，土木学会論文F6(安全問題)，77(2)，I\_33-I\_43，2021。
- 2)Zhu, W., Zeng, N., & Wang, N. (2010). Sensitivity, specificity, accuracy, associated confidence interval and ROC analysis with practical SAS implementations. NESUG proceedings: health care and life sciences, Baltimore, Maryland, 19, 67.

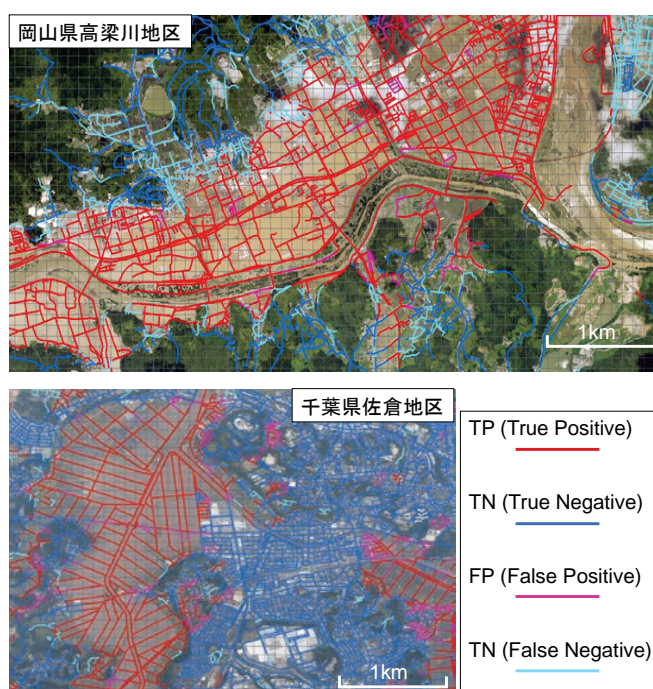


図2 自動判別結果

表1 評価結果

	岡山県高梁川地区	千葉県佐倉地区
浸水再現率(%)	94	84
非浸水再現率(%)	64	95
適合率(%)	81	91