

深層学習による衛星画像を用いた橋梁被害の検出に向けた基礎的検討

21T0254W 大沼 陽斗
指導教員：丸山 喜久

1. はじめに

我が国では、豪雨や津波などの風水害による橋梁被害が近年多発している。梅雨前線の停滞により、2020年7月3日から31日にかけて日本各地で記録的な大雨が発生し、甚大な被害をもたらした令和2年7月豪雨では、熊本県球磨川の直轄管理区域内で橋梁14橋が被災し、その多くで上部工の流出や橋梁部の堰上げが確認されている。また、全国的に橋梁の老朽化が進んでおり、建設後50年を経過した橋梁の割合は、2032年度には約59%に急増することが予測されている²⁾。このことから、自然災害による橋梁被害は、今後さらに増加すると考えられる。災害発生時には、橋梁の被害状況の迅速な把握が求められるが、橋梁が被害を受けると道路網が寸断され、現地調査による被害状況把握は困難となることもある。

そこで本研究では、災害後の橋梁被害の早期かつ広範囲の把握を目的として、衛星画像を用いた深層学習とGISデータを用いた橋梁被害の検出手法の開発を目指す。衛星画像や航空写真を用いたリモートセンシング技術は、広域の被害把握やアクセス困難な被災地における情報収集に有効である。この手法が実現すれば、災害後の衛星画像を用いて自動で橋梁被害を検出することが可能となる。

2. 深層学習モデルの概要

本研究では、空撮画像における物体検出に特化したデータセットであるDOTAv1.0³⁾⁵⁾で事前学習されたモデルであるYOLO11x-obbを用いる。YOLOはリアルタイム物体検出のために開発された高性能かつ効率的なアルゴリズムであり、高速性と精度のバランスに優れている。本モデルは画像内のオブジェクトを正確に囲む回転したバウンディングボックスであるOBB (Oriented Bounding Box) を使用しており、軸に沿った長方形である通常のバウンディングボックスとは異なり、航空写真や衛星画像を用いた物体検出のような正確なオブジェクトの位置が必要な場合に適している⁶⁾。

DOTAv1.0は空撮画像の物体検出用の大規模なデータセットであり、空撮画像の物体検出器の開発と評価に使用できる。画像は様々なセンサーやプラットフォームから収集され、様々なスケール、方向、形状を示すオブジェクトが含まれている。画像内のインスタンスは、空撮画像判読の専門家によって任意の四辺形

によってアノテーションされており、全15クラスに分類される。橋梁を示すbridgeクラスは、トレーニングデータセットに2047インスタンス含まれている。

3. 対象地域と使用画像データ

本研究では、平常時の東京都隅田川流域の衛星画像を用いて橋梁の検出精度を検証し、令和2年7月豪雨の際に多くの橋梁被害が確認されている熊本県球磨川水系の衛星画像を用いて橋梁被害検出のテストを行った。衛星画像データの概要を表-1に示す。これらの画像を1024×1024ピクセルの大きさに格子状に分割し、正規化した。

表-1 本研究で用いた衛星画像の概要

対象地域	熊本県球磨川水系	東京都隅田川流域
状況	災害後	平常時
撮影年月日	2020年7月18日	2001年3月7日
画像サイズ(px)	North 4,400×11,611 South 8,428×3,137	3,000×4,255
解像度(m)	2.5	2.4
衛星	SPOT-7	QuickBird

4. 橋梁抽出の精度

(1) 隅田川流域での検証

まず、衛星画像に対する橋梁抽出の精度を検証するため、隅田川流域の衛星画像を用いて正解データを作成した。河川や運河、濠などにかかる橋梁と確認できるものすべてを対象とし、アノテーションを行った。画像分割によって全体が写らなくなった橋梁、水門、高速道路等で覆われていて全景が確認できない橋梁、ジャンクション、レインボーブリッジ等の極端に湾曲した橋梁は除外し、画像15枚中に187インスタンスを得た。なお、本研究では検出の際の最小信頼度を0.25とした。

検証結果の評価指標を表-2に、混同行列を表-3に示す。評価指標から、適合率は90%程度と大きいですが、再現率は50%程度と低い。このことから、誤認識は少ないが、見逃している橋梁が多いといえる。災害時の橋梁被害の検出は見逃しが少ないことが理想であるため、再現率を大きくする必要があると考えられる。

表-2 隅田川流域での検証結果

Images	Instances	適合率	再現率	mAP50
15	187	0.894	0.497	0.694

表-3 橋梁検出の混同行列

		予測結果		
		bridge	他クラス	background
正解	bridge	93	-	94
	background	11	29	-

(2) 球磨川水系でのテスト

球磨川水系の衛星画像については、令和2年7月豪雨での橋梁被害が確認されている球磨川、川辺川と前川、南川にかかる橋梁を対象としてアノテーションし、画像数96枚、40インスタンスを得た。

橋梁の抽出結果の精度を表-3に、予測結果の一例を図-1に示す。中央付近に写る西瀬橋は上部工が一部流失しており、正しく未検出となった。一方、流失していない橋梁についても見逃しや誤検出も多く、精度の向上が必要であるといえる。

表-3 球磨川水系での検証結果

Images	Instances	適合率	再現率	mAP50
96	40	0.411	0.525	0.352



図-1 被害予測例

5. 未検出の橋梁に関する考察

隅田川流域の橋梁の抽出結果を用いて目視で橋梁の名称、予測結果、橋長、幅員を集計した。抽出結果と橋長、幅員の間を関係を図-2に示す。橋長が短い橋梁、橋長が短くかつ幅員が長い橋梁に未検出が多い傾向にあった。橋長が長いにもかかわらず未検出の橋梁は、上部にあるトラスの影響で橋梁が直線的に見えない、湾曲しているなどの特徴があり、これらが検出されなかった要因と考えられる。

また、災害後の球磨川水系の画像については、橋長が150m以上の長い橋梁でも、未検出が多く確認され、濁水による河川の色の変化等も予測結果に影響を与えていると考えられる。今後はデータの画像処理方法

についても検証していく必要がある。

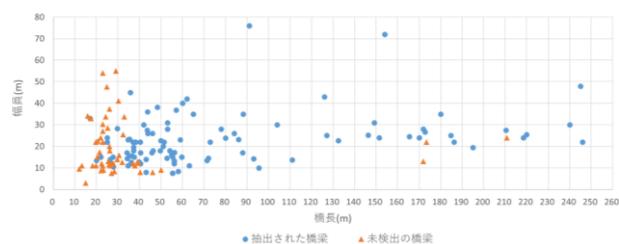


図-2 橋梁の抽出結果と橋長、幅員の関係 (隅田川流域)

6. GISを用いた橋梁被害の検出

最終的な被害検出では、橋梁の位置情報(ポイント)が予測結果のバウンディングボックス内にある場合を「被害なし」、外にある場合を「被害の可能性あり」とした二値分類で判定した。橋梁位置には僅かなずれがあるため、ポイントとバウンディングボックス間の距離にバッファを設けることで、完全にバウンディングボックス内に収まらないが近接するポイントも「被害なし」として判定可能とする。球磨川南側の画像を用いてテストを行ったところ、単純な内外判定(バッファ0)では、被害判定の精度は、適合率と再現率の調和平均を示すF1スコアが48%であったが、バッファを4ピクセルに設定した場合には73%であった。

7. まとめ

本研究では、事前学習済みモデルを用いて衛星画像からの橋梁被害の検出に向けた基礎検討を行った。橋梁の抽出精度は再現率が50%程度であり、対象橋梁の橋長や幅員、湾曲の有無など様々な要因で精度が低くなっていると考えられる。また最終的な被害検出についても、改良の余地があることが分かった。今後はデータを拡張し、再学習を行いモデル精度の向上を図りながら、被害検出手法についても改善していきたい。

REFERENCES

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 第114回 河川整備基本方針検討小委員会(令和3年9月6日開催)配布資料2 球磨川水系河川整備基本方針の変更について、53P, https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouininkai/kihonhoushin/dai114kai/04_shiryu2_kumagawa_houshinhenkou.pdf
- 2) 国土交通省 道路の老朽化対策 施策の概要 老朽化対策の取組み、1P, <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>
- 3) Ding, Jian and Xue, Nan and Xia, Gui-Song and Bai, Xiang and Yang, Wen and Yang, Michael and Belongie, Serge and Luo, Jiebo and Dancu, Mihai and Pelillo, Marcello and Zhang, Liangpei: Object Detection in Aerial Images: A Large-Scale Benchmark and Challenges, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2021, pp1-1, 2021, <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3117983>
- 4) Xia, Gui-Song and Bai, Xiang and Ding, Jian and Zhu, Zhen and Belongie, Serge and Luo, Jiebo and Dancu, Mihai and Pelillo, Marcello and Zhang, Liangpei: DOTA: A Large-Scale Dataset for Object Detection in Aerial Images, The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June, 2018
- 5) Jian Ding, Nan Xue, Yang Long, Gui-Song Xia, Qikai Lu: Learning Rot Transformer for Detecting Oriented Objects in Aerial Images, The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June, 2019
- 6) Ultralytics YOLO Docs Oriented Bounding Boxes Object Detection, <https://docs.ultralytics.com/ja/tasks/obb>