

YOLO を用いた 2024 年能登半島地震発生時の 富山県内の車による避難行動の分析と可視化

澤田 渚¹・立石 良²

¹ 富山大学大学院 理工学教育部 地球生命環境科学専攻 (〒930-8555 富山県富山市五福 3190)

E-mail: d2172301@ems.u-toyama.ac.jp (Corresponding Author)

² 富山大学准教授 学術研究部都市デザイン学系 (〒930-8555 富山県富山市五福 3190)

E-mail: ryo@sus.u-toyama.ac.jp

本研究は、道路カメラ画像と物体検出の組み合わせによる避難行動解析の有効性を検証することを目的として、富山県内に設置された道路カメラに YOLO を適用し、2024 年能登半島地震発生前後の交通量を分析した。その結果、沿岸部から内陸へ向かう交通量の増加や、高台への避難や物資の買い出しと思われる行動が検知され、地震発生前後の富山県内全域における交通量の変化の傾向が捉えられた。YOLO を用いた画像解析は簡便であり、数値データよりもわかりやすく広く一般に伝えることが可能であり、地域住民の防災意識向上への貢献も期待される。

Key Words: Object detection, YOLO, 2024 Noto Peninsula Earthquake, Evacuation behavior

1. 研究背景

2024 年 1 月 1 日、能登半島北部を震源とするマグニチュード 7.6 の地震が発生し、広域にわたり津波警報および注意報が発令された。この地震により富山県では、観測史上最大となる最大震度 5 強の揺れを記録した¹⁾。また、富山港における津波到達は想定よりも早く、地震発生から数分で第一波が観測された²⁾。この地震に伴う避難行動を人流データで解析した結果、地震発生後に車を使った避難者が多く、交通量の増加ないし渋滞が発生したことが報告された³⁾。こうした事象は、迅速な避難を妨げる、防災対策上の大きな課題である。渋滞が発生した場所と時間を解析し、避難行動の実態を明確にすることは、今後起こりうる災害への対策において極めて重要な役割を果たす。本研究では、富山県が設置する道路カメラ画像からの物体検出により、富山県内全域における地震発生直後の交通量の変化の把握を試みる。これにより、渋滞の発生場所や時刻を明らかにし、災害時の避難行動を改善するための知見を提供することを目指す。また、画像を用いた渋滞や避難行動の可視化は、災害時に発生した交通量の増加の実態を、分かりやすく伝えられる可能性がある。本研究は、こうした画像の活用による可視化を通じて、広く一般に防災対策を考えてもらう機会に繋がることも期待して実施したものである。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

従来、津波避難は徒歩が原則とされ、車両利用は渋滞や津波到達時の危険性を高めるとして推奨されていない。2011 年の東日本大震災では、平野部における車の移動速度が自転車と大差なく（それぞれ 6.6 km/h, 7.8 km/h）、渋滞が避難行動に与える深刻な影響が確認された⁴⁾。また、2024 年の能登半島地震発生後に、富山県内で人流データの解析³⁾やアンケート調査⁵⁾が行われているが、その多くは沿岸部の住民を対象としている。富山県の「令和 6 年能登半島地震に係る災害対応検証会議」では、県民アンケート調査で、回答者の約 8 割が車を用いて避難をしたことや、複数地点で渋滞が発生したことが報告された⁵⁾。また、沿岸 9 市町における人流データ解析の結果、車を用いて避難した人が多いこと、指定緊急避難場所（津波）があまり利用されていないことが報告された³⁾。さらに、地震発生直後から沿岸部から内陸に向かう移動がみられ、その移動経路にあたる道路で渋滞が発生したことが明らかになった。しかし、この解析は、沿岸部で平時より交通量の増加が確認できた道路に限定されており、その多くは沿岸から内陸に向かう主要道路である。人流データによる解析は、防災計画や避難行動の評価において重要な役割を果たすが、解析にかかる時間的・金銭的成本が大きい。また、解析結果はしばしば

数値やグラフとして表現されるため、専門知識なしで理解することが難しい。そのため、渋滞の発生事実が地域住民に認知されない可能性がある。また、時間的要因から解析を行う道路が限定されることがあり、解析された道路以外では渋滞が発生していないという誤認を与える可能性も否定できない。これらの課題を補間する手法として、既存のシステムで取得される画像データの活用が考えられる。避難行動の解析は人流データを用いたものが主流であり、映像や画像による解析はほとんど行われていない。そこで、本研究は、既設の道路カメラ画像に物体検出技術を適用し、避難行動解析における有効性を検証する。順次更新される道路カメラ画像を用いた解析は、準リアルタイムでの行動検知を容易に実現できる可能性がある。これを自治体等のシステムに組み込むことができれば、災害等の事象発生時の避難行動を検知し、誘導や警告に活用することが期待される。また、本研究では、物体検出技術を用いるため、視覚的に認識しやすい画像データの提供が可能である。これにより、広く一般に実際の避難行動や交通量の変化を周知すること、ひいては、地域防災への活用が期待される。なお、本手法は既存のシステムとオープンソースのソフトウェアを組み合わせたものであり、簡便かつ低コストで行うことが可能である。

3. 手法

(1) 使用画像

本研究で使用した画像は、富山県土木部道路課が所管する富山県道路情報 Web サイトで公開されているものである⁹⁾。この画像は、道路交通の安全を確保するため

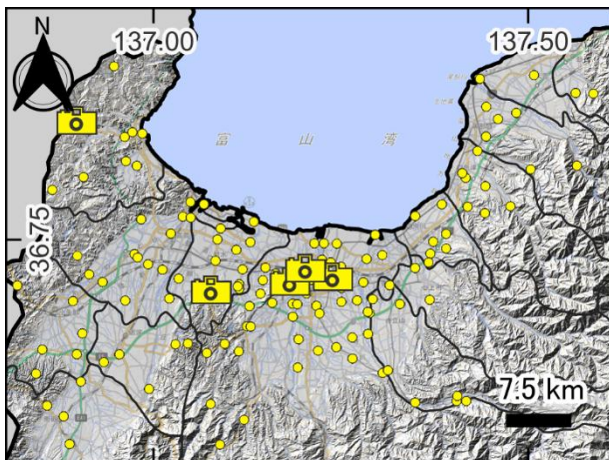


図-1 富山県が設置するカメラの位置。カメラシンボルは、本稿で一例として詳細を記す位置である。地図は、地理院タイルの淡色地図に、傾斜量図を重ねて示す。また、黒線は、市町村境界を示す。

に設置された路面監視カメラで撮影された画像であり、10分間隔で更新されている。道路カメラは、2024年1月1日現在で159台が設置されており、県内のほぼ全域をカバーしている(図-1)。富山大学では、2022年7月より更新された画像データを保存しており、本研究では、2023年と2024年の1月1日に収集された合計45648枚の画像を用いた。画像はおおむね毎時00分、10分、20分、30分、40分、50分に更新されているが、稀に画像更新までに時間的ラグが生じるため、富山大学では毎時05分、15分、25分、35分、45分、55分に画像収集を行っている。また、カメラの位置と向きについては、Webサイトより読み取りを行った。

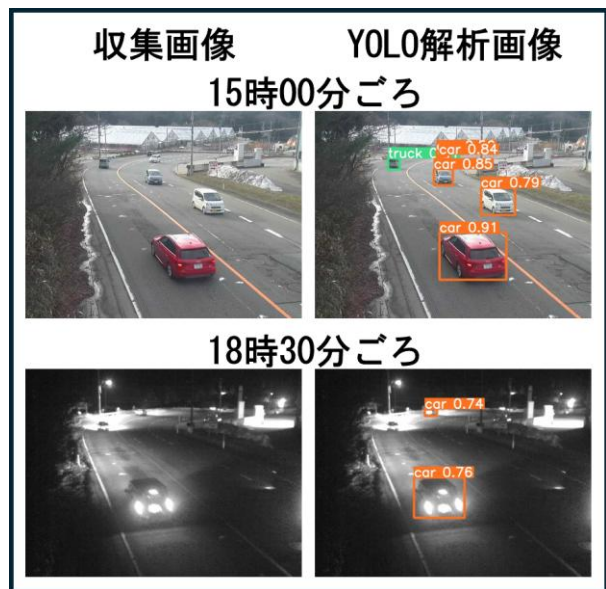


図-2 YOLOを用いた物体検出の結果の例。

(2) 解析方法

2023年および2024年1月1日の全画像について、物体検出モデルのYOLOを利用し、カメラ設置箇所における10分毎の交通量をカウントした(図-2)。ここで、交通量とは車だけでなく、トラックやバスを含める。各地点における10分毎の交通量の時系列変化をヒストグラムで示し、交通量の変化を視覚化した。カメラの位置と画像取得時間から「いつ・どこで」交通量が増加したかを明らかにし、その要因について画像を用いて推測する。交通量の増加は、ヒストグラムを用いて、地震発生前後の顕著なピークから目視で判断した。また、地震に関連する交通量の増加を判断するため、元日という特殊な条件を踏まえ、2023年1月1日の交通量と比較し、その傾向の違いも判断対象とした。さらに、本手法で交通量増加が認められた地点を、富山県が人流データから特定した渋滞発生道路区間³⁾と比較し、一致する地点と、一致しない地点に分けて交通量増加の要因を検討した(図-3)。

使用したモデルは、YOLOv5⁷⁾である。YOLOv5 は、YOLOv3⁸⁾および YOLOv4⁹⁾を基に改良されたモデルであり、そのなかでも、比較的高精度である YOLOv5l を使用した。車両の検出例を図-2 に示す。同地点の日没前後の精度の違いを示す。日没前の 15 時 00 分では、画像奥に映る車両までも問題なく検出できているのに対し、日没後の 18 時 30 分では、画像左奥に 1 台検出漏れがおこった。ただし、検出漏れとなった車両奥に走る 1 台は検出できていることから、映り方によって検出漏れとなる可能性がある。

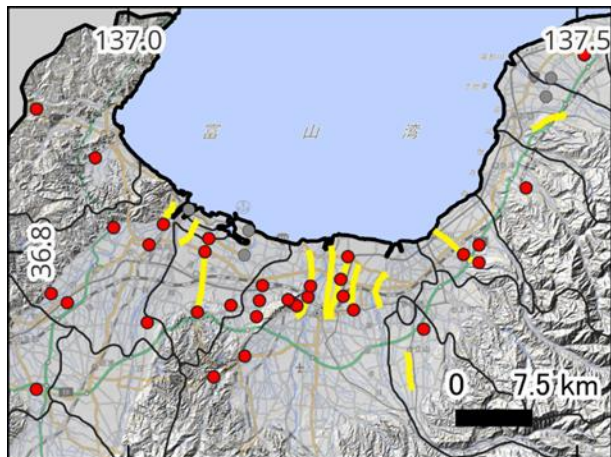


図-3 YOLO による交通量増加が確認された地点。赤丸は、本手法で交通量の増加が認められた地点、黄色線は、富山県によって報告された渋滞発生道路区間、灰色丸は、画角ズレ等により、議論の対象外となったカメラ箇所。

4. 結果と解釈

富山県内全域に設置された道路カメラ画像の物体検出 (YOLO) により、各地点における地震前後の交通量の変化をヒストグラムで可視化した。設置カメラ 159 台のうち、地震後に画像の更新停止したカメラや大きな画角ズレが生じたカメラ 5 台は議論の対象外とした。地震後に顕著な交通量の増加が認められた地点は 159 地点中 33 地点であった (図-3)。既報の渋滞発生道路と一致する地点と一致しない点に分けて、それぞれ交通量が増加した要因をまとめる。

(1) 既報の渋滞発生道路と一致する地点

富山県により渋滞が特定された道路³⁾と顕著な交通量の増加が認められた 33 地点を比較したところ、一致する地点が複数見受けられた (図-3)。例えば、富山市山岸地内 (カメラ No.315) や射水市五歩一 (カメラ No.215) は、富山県³⁾で渋滞が特定された道路上に位置するカメ

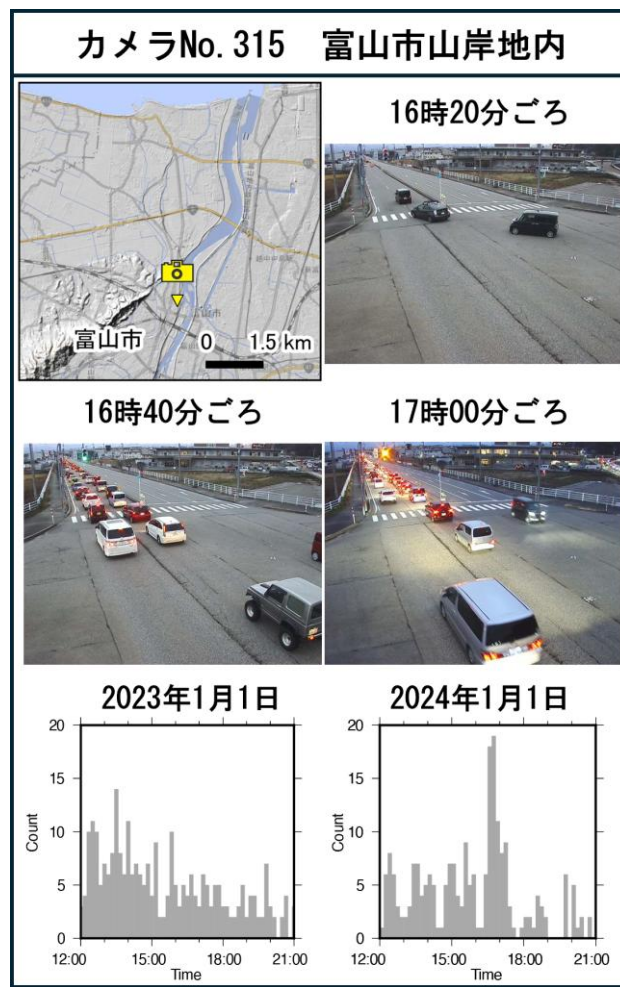


図-4 富山市山岸地内での解析結果。

ラである (図-4、図-5)。富山市山岸地内 (図-4) では、16 時 30 分～40 分にかけて (地震発生 20～30 分後) 顕著な交通量増加がヒストグラムから確認できる。これは、2023 年元日の交通量と傾向が大きく異なっており、地震に関連した交通量の増加と考えられる。一方、地震発生直後～16 時 20 分 (地震発生 10 分後) では、交通量の増加はほとんど見られなかった。そこで、16 時 40 分の画像を確認したところ、沿岸部から内陸に向かって交通量が顕著に増加していることが確認できた (図-4)。これは、道路カメラの位置が海岸から約 5 km 程度離れており、沿岸部から内陸に向かって多くの人が津波から避難してきた結果地震発生時刻と交通量の増加時刻にわずかなタイムラグが生じたためだと考えられる。一方、海岸から約 10 km の距離がある射水市五歩一地内では、地震直後から交通量が増加した (図-5)。射水市五歩一の交差点は、北陸自動車道小杉インターチェンジ付近に位置することから 1 日を通して交通量が多い道路であるが、地震発生直後から 1 時間程度は特に交通量が増加している。この地点でも、2023 年元日と傾向が大きく異なることから、地震に関連した交通量の増加と考えられる。画像で確認したところ、17 時 20 分には、内陸に向かう方

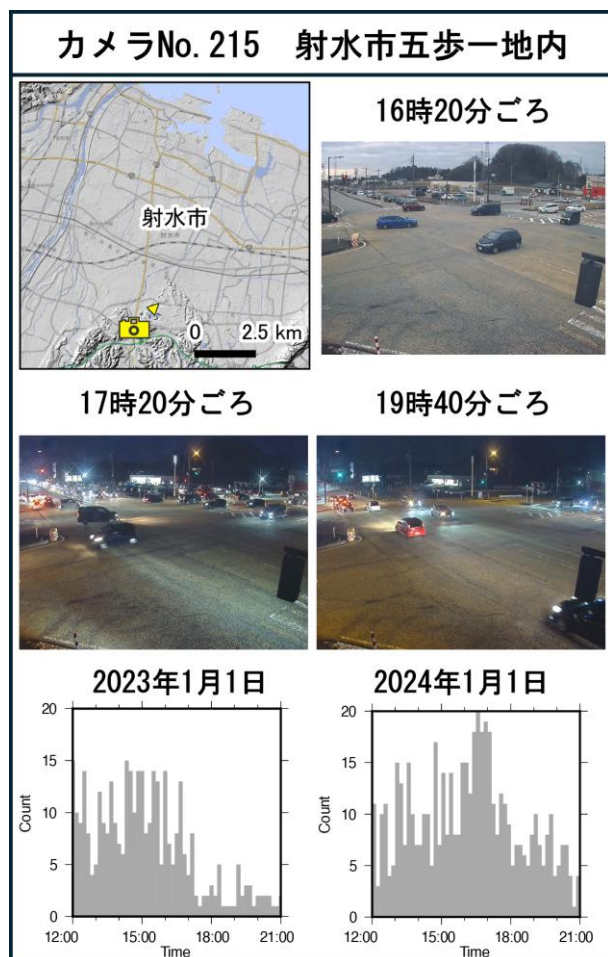


図-5 射水市五歩一地内での解析結果。

向で交通量が増加する様子が確認できた。また、画像奥側にはコンビニエンスストアの駐車場に人が集まっている様子もうかがえる。画像左側には、内陸から沿岸部に向かう道路で複数の車が停車している様子が、道路の混雑が解消された後（19 時 40 分ごろ）にも確認できる（図-5）。これはコンビニエンスストアの向かいに位置するガソリンスタンドに向かう車によってできた列と考えられる。富山県は、沿岸区域で、17 時 50 分頃から避難率は下落することを報告した³⁾が、19 時 40 分ごろに見られる交通量の増加は、避難だけではなく、買い出しや避難先からの帰宅者による原因が考えられる。

(2) 既報の渋滞発生道路と一致しない道路

富山県³⁾で渋滞が特定された道路と一致しない箇所でも、ヒストグラムから交通量の増加が確認された（図-6）。富山市上富居では、地震発生直後（16 時 20 分）から 17 時頃まで継続した交通量の増加が見受けられる。2023 年元日と交通量の傾向が大きく異なることから、これは地震に関連した通量の増加と考えられる。画像を確認したところ、沿岸部から内陸に向かって交通量が増加しており、17 時ごろまで混雑が継続する様子が確認で

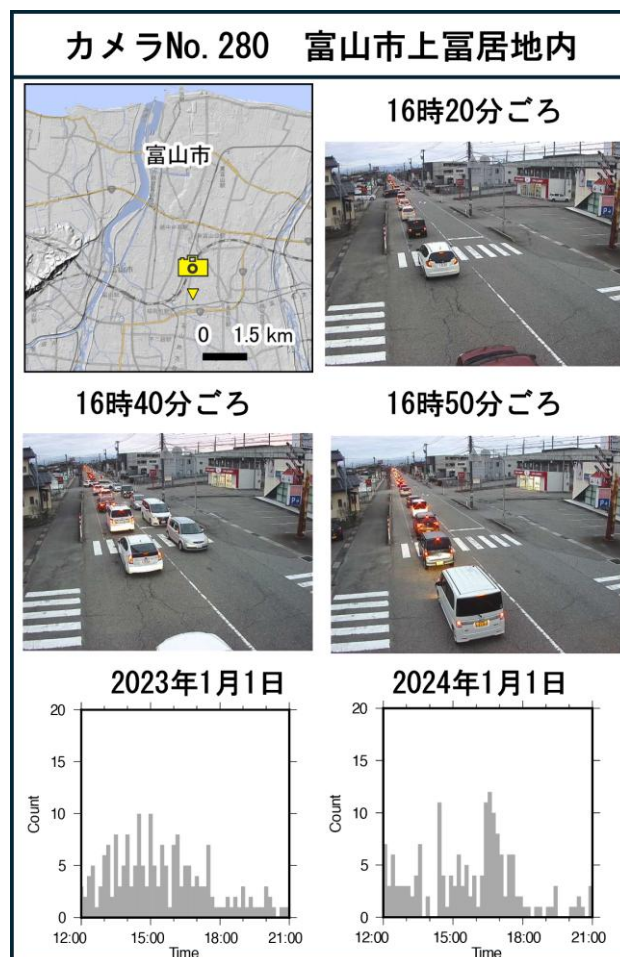


図-6 富山市上富居地内での解析結果。

きた（図-6）。内陸に向かう方向で交通量が増加したことから、この場所でも、津波から避難するために交通量が増加した可能性が考えられる。これより、沿岸部から内陸に向かって交通量が増加した道路では、津波からの避難が主な要因となり、地震発生直後～大体 30 分程度で交通量が顕著に増加したと考えられる。

一方で、既報の渋滞発生道路と一致しない道路の中には、山間部や丘陵での交通量の増加が見られた。例えば、富山市にある呉羽丘陵（カメラ設置位置：標高約 21m）では、2023 年元日と傾向が大きく異なっており、交通量の増加は 17 時をピークに減少するも、19 時ごろまで交通量は比較的多い傾向にある（図-7）。画像を用いて状況を確認したところ、呉羽山公園展望台や公園の駐車場に車で避難をしてきたと考えられる様子が確認でき、中には駐車場に停めることができず、路上駐車をする車も見受けられる。このような駐停車をしている車をカウントした結果、長時間にわたって交通量が増加した傾向がみられたと考えられる。呉羽丘陵は、避難所として指定はされていないが、津波避難という点で、多くの人が高台への避難先として利用した可能性が高い。

また、能登半島に位置する氷見市では、石川県との県

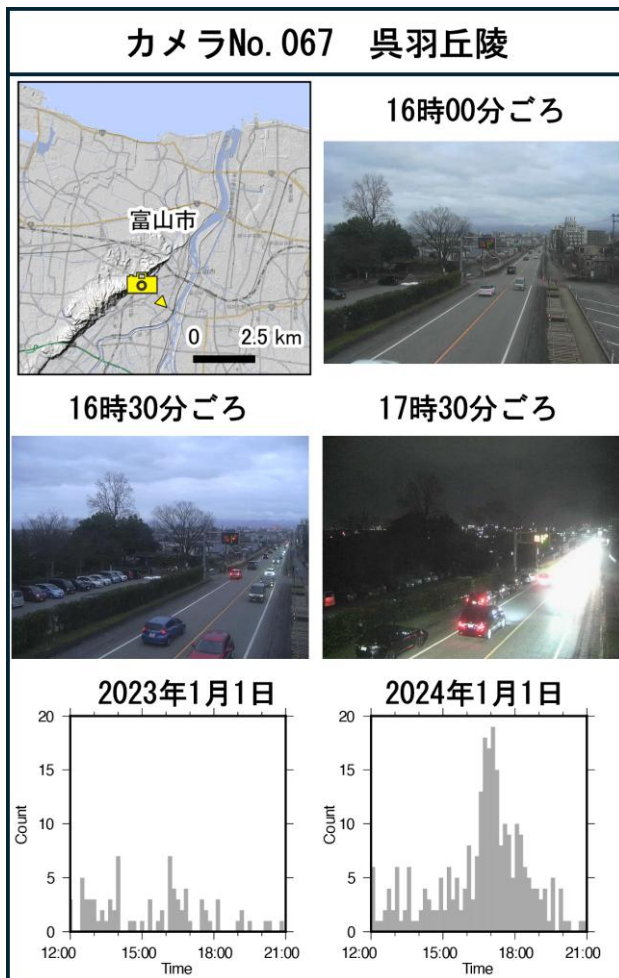


図-7 呉羽丘陵での解析結果.

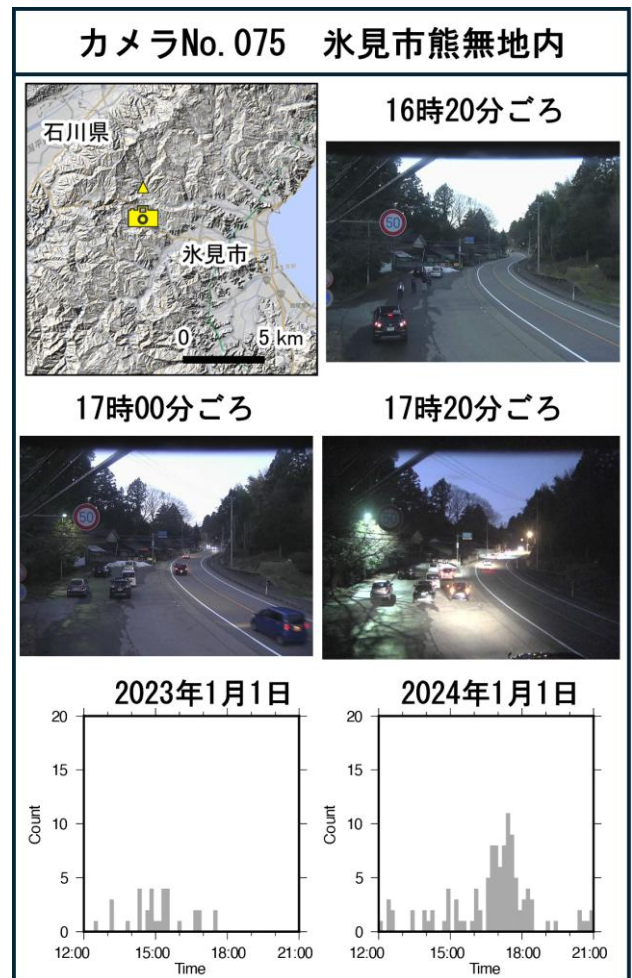


図-8 氷見市熊無地内での解析結果.

境付近である氷見市熊無地内において、顕著に交通量が増加した(図-8)。2023年元日の交通量と比較しても、傾向が顕著に異なる。ここでは、16時30分(地震発生20分後)から交通量が増え始め、17時20分でピークを迎えることがヒストグラムから判断できる。画像を用いて状況を確認したところ、複数台の車が路肩に車を停車させている様子がうかがえる。この場所においても、避難所と指定されていない場所が高台への避難先となり、停車した車が交通量としてカウントされた。こうした場所での交通量が増加した時刻は、17時前後がピークとなっており、上述した津波からの避難とは傾向が大きく異なる。山間部や丘陵で、地震発生から約1時間後にピークがあるということから、多くの人が避難先として訪れたと考えられる。

5. 結論

本研究は、物体検出モデルYOLOと富山県内に設置された道路カメラを用いて、カメラ画像を用いた避難行動解析の有効性を検証した。その結果、各地点の10分毎

における交通量の時系列変化から、地震後に交通量が顕著に増加した地点を特定することが可能であった。特に、津波から逃れようと沿岸部から内陸に交通量が増加する地点が複数みられ、人流データ解析によって渋滞が特定された道路とも一致する。また、既報の人流データ解析では対象外とされた道路においても、交通量の増加した道路が確認され、その要因として津波からの避難だけでなく、指定避難所以外の高台に避難の様子や、地震後に買い出しに行く様子が視覚的に捉えられた。以上のことから、YOLOを用いた交通量の解析により、広い範囲における時系列変化の傾向が把握できることが示された。人流データ解析は高精度での避難状況を把握することが可能であるが、数値やグラフで表現されるため、理解が難しい場合がある。一方、本研究で行った道路カメラを用いた物体検出では、人流データ解析と比較して解像度は低いものの、富山県内全域の様子を捉えることができる。さらに、画像データを用いることで、専門知識を持たない方にも、災害時に発生した状況を分かりやすく伝えられる可能性がある。今後、地域住民に避難時の交通量の増加を理解し、地域の防災意識向上に繋がることを期待する。

謝辞：本研究を進めるにあたり，富山県土木部道路課には道路カメラ画像の使用許可を頂いた。この場を借りて，御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 富山地方気象台：1.富山県内で震度5弱以上を観測した地震（1919年1月1日以降）
https://www.data.jma.go.jp/toyama/document/jishin_tsunami.html（2025年1月4日閲覧）。
- 2) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会：令和6年能登半島地震の評価（令和6年1月15日公表），
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2024/20240101_noto_2.pdf（2024年12月30日閲覧）。
- 3) 富山県危機管理局 防災・危機管理課：人流データの分析結果（概要），
https://www.pref.toyama.jp/documents/43042/shiryo2_jinryudate0830.pdf（2024年12月30日閲覧）。
- 4) 都市局街路交通施設課：東日本大震災の津波被災現況調査結果（第3次報告）～津波からの避難実態調査結果(速報)～，
<https://www.mlit.go.jp/common/000186474.pdf>（2025年1月4日閲覧）。
- 5) 富山県危機管理局 防災・危機管理課：県民アンケートの調査の結果（概要），
https://www.pref.toyama.jp/documents/43042/shiryo3_anke0830.pdf（2024年12月30日閲覧）。
- 6) 富山県道路情報：<https://www.toyama-douro.toyama.toyama.jp/index.html>（2024年12月30日閲覧）。
- 7) Jocher, G.: <https://github.com/ultralytics/yolov5>, 2020.
- 8) Redmon, J. and Farhadi A.: YOLOv3: An incremental improvement. arXiv preprint arXiv:1804.02767, 2018.
- 9) Bochkovskiy, A., Wang, C. -Y. and Liao, H. -Y. M.: YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection. arXiv preprint arXiv:2004.10934, 2020.

(Received January 5, 2025)
(Accepted March 13, 2025)

Evacuation behavior in Toyama Prefecture following the 2024 Noto Peninsula earthquake based on YOLO

Nagisa SAWADA and Ryo TATEISHI

This study aims to examine the effectiveness of evacuation behavior analysis by integrating roadside camera images with object detection. YOLO was applied to images captured by roadside cameras installed in Toyama Prefecture to analyze traffic volume before and after the 2024 Noto Peninsula Earthquake. The results revealed a significant increase in traffic volume from coastal areas to inland regions, as well as behaviors suggesting evacuations to higher ground and emergency supply purchases. The spatiotemporal patterns of traffic volume changes across Toyama Prefecture were successfully captured. Image-based analysis using YOLO is simple and provides a more intuitive understanding than numerical data, making it accessible to the general public. This approach has the potential to enhance disaster awareness among local residents.