

自治体支援に向けた機械学習とドライブレコーダーを活用した 道路インフラ管理・災害対応システム

飯田 慶^{†1}, 大場 春佳^{†2}, 水野 信也^{†1}

キーワード: 自治体支援, 道路インフラ, 災害対応, 機械学習, GIS

1. 序論

日本の道路インフラは建設後 50 年以上を経過する施設の割合が増加しており, 維持管理の高度化が喫緊の課題である[1]. 一方で, 気候変動に伴う豪雨や台風の激甚化により, 災害時における道路網の機能確保の重要性も高まっている. しかし自治体は, 人員・予算の制約により目視点検に依存した運用からの転換が難しい. また, 機械学習による損傷検出と, GIS による災害リスク評価は個別に発展しており, 両者を統合して補修優先度を判断する実務的な枠組みは十分に確立されていない[2,3]. そこで本研究は, ドライブレコーダー映像と走行データによるミクロな路面状態評価と, 500m メッシュに基づく H(ハザード), E(暴露), V(脆弱性)の災害リスク評価を統合し, 医療・避難へのアクセス性を考慮した補修優先度決定支援を目的とする.

2. 方法

本研究の分析フローを図 1 に示す. なお, 本研究では対象地域を 500m メッシュに分割し, 各メッシュを解析単位とする. 添字 i は対象地域内の各メッシュ ($i = 1, 2, \dots, N$) を表し, 路面損傷指標 D_i , 揺れ指標 J_i , 災害リスク指標 R_i を, 算出する. これらを対象地域全体でまとめた指標集合を, それぞれ $\mathbf{D}, \mathbf{J}, \mathbf{R}$ とする.

① 路面状態評価(ミクロ評価)

ドライブレコーダー映像から YOLOv8 により路面損傷(ポットホール等)を自動検出し, 500m メッシュ内で検出結果を集計・密度化して損傷指標 D_i とした[4]. また, 走行時の 3 軸加速度からジャーク(加加速度)を算出し, 3σ 閾値を超えた値を衝撃イベントとし, 揺れ指標 J_i とした(図 2).

② 災害リスク指標(マクロ評価)

国土数値情報等のオープンデータを用い, 500m メッシュ単位で H_i, E_i, V_i を算出した[5]. V は OSMnx により各メッシュ中心から最寄り災害拠点病院および避難施設までの最短道路網距離(OSMnx, ダイクストラ法)を組み込み, 医療・避難アクセス性を定量化した. 災害リスクは式(1)で定義する.

$$R_i = H_i \times E_i \times V_i \quad (1)$$

③ 統合評価(Comprehensive Risk Score: CRS)

D_i, J_i, R_i をそれぞれ 0-1 に正規化して D'_i, J'_i, R'_i とし, 式(2)の重み付き線形和として総合リスクスコア CRS_i を定義した. 重みは災害時における生命維持機能の確保を重視する観点から, $w_R=0.5, w_D=0.3, w_J=0.2$ とした.

$$CRS_i = w_D D'_i + w_J J'_i + w_R R'_i \quad (2)$$

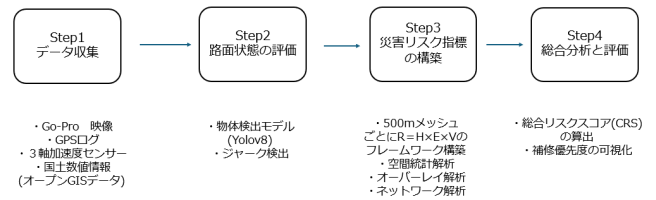


図 1: 分析フロー図

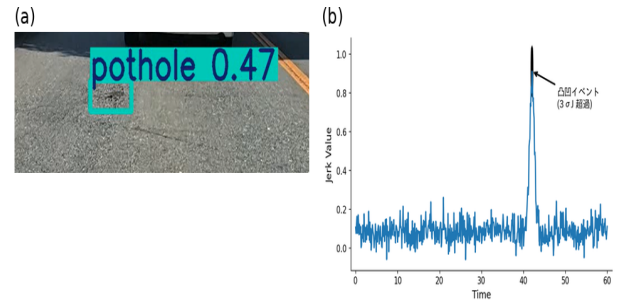


図 2: ミクロ評価の例 (a) YOLOv8 によるポットホール検出例, (b) ジャーク時系列と 3σ 超過イベント例

3. 結果

本研究では, 著者の出身地である静岡県御前崎市と神奈川県藤沢市を対象に実施した. ポットホール検出性能の評価として, 平均適合率 ($mAP@0.5$) を算出した結果, 0.645 を得た. また, 県内市町村における H, E, V の相対関係(図 3)を整理した結果, 御前崎市は H が相対的に大きい傾向を示し, 藤沢市は E および V が相対的に大きい傾向を示した. さらに, 統計的検証(ポアソン回帰)では損傷指標と災害リスク指標の間に有意差($p<0.05$)は確認できなかった. 一方で, CRS の可視化(図 5)では, 物理的損傷指標が中程度であっても, 災害リスク成分(津波, 洪水)やアクセス困難性成分が大きいメッシュが上位に現れることを確認した.

^{†1} 順天堂大学

^{†2} 中央大学

例として、御前崎市メッシュ#32 は $D'_{32}=0.202$, $J'_{32}=0.274$, $R'_{32}=0.584$, $CRS_{32}=0.407$ であり、藤沢市メッシュ#92 は $D'_{92}=0.413$, $J'_{92}=0.000$, $R'_{92}=0.717$, $CRS_{92}=0.483$ であった。なお、図 4 の緑のメッシュは未走行エリアであり、評価対象外である。

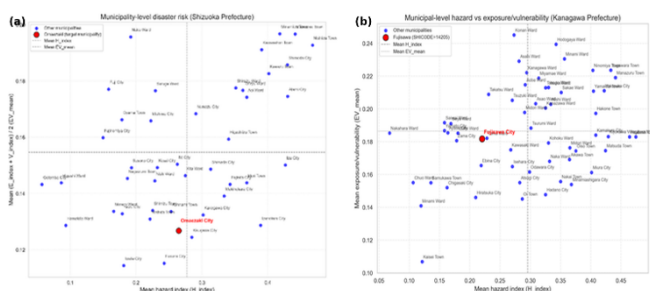


図 3: 県内市町村における災害リスク構造の相対位置づけ
(a 静岡県, b 神奈川県)

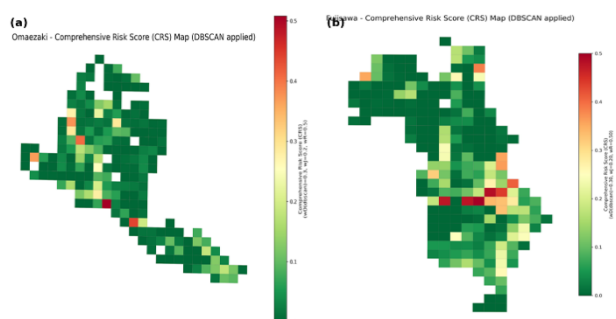


図 4: 総合リスクスコア(CRS)による補修優先度マップ
(a 御前崎市, b 藤沢市)

4. 考察

本研究において、ポアソン回帰による統計的検証では損傷指標と災害リスク指標の間に有意な関連は確認されなかった一方で、CRS の可視化結果では、物理的な路面損傷が中程度であっても、災害リスク成分や医療・避難アクセス性の低さにより補修優先度が高く評価されるメッシュが抽出された。この乖離は、路面損傷と災害リスクが必ずしも同一の発生メカニズムに支配されていないことを示唆している。

具体的には、路面損傷指標 (D , J) は主に舗装の経年劣化や交通条件に依存する局所的・ミクロな要因を反映するのに対し、災害リスク指標 R は津波や洪水といった広域的・マクロな自然条件に加え、道路網構造や拠点施設配置といったネットワーク特性を含んでいる。そのため、両者の間に単純な統計的相関が現れにくかったものと考えられる。

一方で、CRS はこれら異なるスケールの情報を統合して評価するため、災害時の機能的な重要性をより直接的に反映できる。例えば、御前崎市メッシュ#32 では物理的損傷指標は比較的小さいものの、津波リスクの高さや医療・避難施設へのアクセス性の低さが反映され、総合リスクが高く評価された。同様に、藤沢市メッシュ#92 では揺れ指標は

低いものの、高い暴露度と脆弱性が CRS を押し上げる要因となった。これらの結果は、「損傷が進行している道路」だけでなく、「災害時に代替性の低い道路」を優先的に補修すべきであるという、本研究の枠組みの有効性を示している。

以上より、本研究で提案した CRS に基づく評価は、従来の路面損傷中心の維持管理では見落とされがちな、災害時の生命線としての道路機能を考慮した補修優先度判断を可能にすると考えられる。特に、限られた予算・人員の下で意思決定を行う自治体にとって、本手法は実務的な意思決定支援ツールとしての有用性を有すると示唆される。

5. 結論

本研究では、ドライブレコーダー映像に基づく路面損傷検出および走行時加速度データから算出したジャークに基づく衝撃イベント抽出を、500m メッシュ単位で集約し、ハザード (H)、暴露 (E)、脆弱性 (V) から構成される災害リスク指標と統合することで、総合リスクスコア (CRS) に基づく道路補修優先度評価手法を提案した。

静岡県御前崎市と神奈川県藤沢市を対象としたケーススタディの結果、県内市町村における H, E, V の相対関係から地域ごとの災害リスク特性を整理できることを示した。また、CRS の空間分布を可視化することで、路面の物理的損傷が必ずしも大きくない場合であっても、災害リスクや医療・避難アクセス性の観点から補修優先度が高いメッシュを抽出可能であることを確認した。これにより、従来の路面損傷中心の維持管理では捉えにくかった、災害時の機能的な重要性を考慮した意思決定支援の有効性が示された。

今後は、自治体と協力しての実証研究により走行データの網羅性を向上させ、未走行エリアを含めた評価の安定化を図る。また自治体の実務判断や補修後の事後評価を通じて、重み設定の妥当性を検証する必要がある。これらを通じて、本手法を道路インフラ管理および災害対応を統合的に支援する実務システムとして高度化し、自治体の意思決定支援への実装可能性を高めることが期待される。

参考文献

- [1] 国土交通省. 建設後 50 年以上経過する社会資本の割合 [Internet]. 2023[cited 2025 Nov 28]. Available from: https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/_pdf/50year_percentage.pdf
- [2] 中村健二, 今井龍一, 塚田義典. ドライブレコーダー画像を用いた深層学習による道路舗装のひび割れ評価手法に関する研究. 土木学会論文集 F3. 2021.
- [3] 公益社団法人地盤工学会関東支部. 地盤リスクと法訴訟等の社会システムに関する研究委員会. 自然災害に対するリスク指標 GNS 2017 年度版. 2017.
- [4] Arya D, Maeda H, Ghosh SK, Toshniwal D, Sekimoto Y. RDD2022: A multi-national image dataset for automatic road damage detection. Geosci Data J. 2023;10(3):260-275.
- [5] Raduszynski T, Numada M. Measure and spatial identification of social vulnerability, exposure and risk to natural hazards in Japan using open data. Sci Rep. 2023;13:664. doi:10.1038/s41598-023-27831-w