

# 市販カメラとマルチモーダル AI を用いた 簡易型舗装点検技術の構築と実践

日原 弘貴<sup>1</sup>・布広 祥平<sup>2</sup>・浅田 拓海<sup>3</sup>・櫻庭 晃<sup>4</sup>・亀山 修一<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1)

E-mail: 22041077@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>2</sup> 学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1)

E-mail: 21041057@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 室蘭工業大学助教 大学院工学研究科 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1)

E-mail: asada@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>4</sup> 正会員 大陸建設株式会社 情報空間計測課 (〒084-0913 北海道釧路市星が浦南 1 丁目 1-2)

E-mail: a.sakuraba@tairikunet.jp

<sup>5</sup> 正会員 北海道科学大学教授 工学部都市環境学科 (〒006-8585 北海道札幌市前田 7 条 15 丁目 4-1)

E-mail: kameyama@hus.ac.jp

道路舗装の予防保全および長寿命化に向けて、定期的かつ網羅的な舗装点検の実施が求められている。直轄国道では、ひび割れ率、IRI、わだち掘れ量の 3 つの管理指標を基本とする目視点検が 5 年に一回の頻度で進められているが、予算や人員の制限から効率化が急務となっている。そこで、本研究では、市販のアクションカメラとマルチモーダル AI を用いた簡易型舗装点検技術を構築した。本技術では、車載カメラから得られる複数種類のデータを入力とする AI により舗装管理指標 3 要素を同時に測定できる。また、実践展開や応用事例を通して、簡易型舗装点検技術が舗装点検の効率化に大きく貢献できること、さらには、その点検データを活用することで舗装アセットマネジメントの実現や高度化につながることを示した。

**Key Words:** pavement inspection, car-mounted camera, multimodal AI, crack ratio, IRI, rutting depth

## 1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に建設された道路ストックの老朽化が進行し、修繕や更新の時期を迎えている。その一方で、舗装の維持管理費は 20 年前に比べて大幅に減少し、さらに、技術者不足も相まって、各自治体では、極めて厳しい体制の中で維持管理を行っている状況にある<sup>1)</sup>。このような制約条件の中、舗装維持管理を効果的かつ継続的に実施していくためには、アセットマネジメントの導入が必要不可欠である。すなわち、定期的かつ網羅的な舗装点検を行い、そのデータに基づいて LCC の最小化と平準化を図り、同時に、沿道住民や納税者に対する説明責任を果たしていくことが大きな課題となっている。

効果的なアセットマネジメントの実現に向けて、国土交通省は、平成 28 年に舗装点検要領<sup>2)</sup>を策定した。そ

の中では、道路分類や舗装点検などの方法が定められ、分類 B に相当する直轄国道については、点検頻度を 5 年に 1 回程度以上とし、アスファルト舗装においては、ひび割れ率、IRI (International Roughness Index)、わだち掘れ量の 3 指標を基本とする管理基準を設定することが明記されている。また、これら管理指標 3 要素の点検方法としては、「目視を基本としつつ、必要に応じて機器を用いることを妨げない」と記載されている。令和 3 年度の道路メンテナンス年報によれば、直轄国道では、2017 年から目視を基本とする舗装点検が着々と進められ、2021 年度で全延長 (59,267km) の点検が完了し、現在、二巡目が進められているところである<sup>3)</sup>。しかしながら、このような目視による方法では、コストや効率性に課題が残っており、今後、継続的に点検を進めることは極めて難しい。そこで、昨今では、機器を用いる方法に期待が高まっている。特に、市販デバイスと AI などの解析

技術を組み合わせた低コストで簡易な舗装点検技術（以下、簡易型舗装点検技術）に関する研究、開発が活発化している。

ひび割れ率の測定については、車載カメラで撮影した画像に画像解析<sup>4)</sup>や深層学習<sup>5)</sup>を適用することで自動処理が可能となっている。IRI に関しては、スマートフォンなどから得られる振動加速度データに機械学習を適用して IRI を推定する手法が提案されている<sup>6)7)</sup>。わだち掘れ量の測定に関しては、市販デバイスでは十分な精度が得られていない状況であり、路上や走行車内からの目視点検<sup>8)9)</sup>が主流となっている。このように、様々な技術、手法が提案され、舗装点検の効率化が進んでいるが、管理指標 3 要素を同時に測定する簡易型舗装点検技術は確立されていない。また、2022 年 5 月には、道路データプラットフォーム「xROAD」の構築の一環として全国道路施設点検データベース<sup>10)</sup>が公開されたところであるが、点検データの活用方法や舗装アセットマネジメントの高度化に関する研究は少ない状況である。

一方、著者らは、市販のアクションカメラと AI を用いた簡易型舗装点検技術の開発を進めており、現在では、U-net を用いたひび割れ率測定手法<sup>11)</sup>や説明可能な AI を用いたひび割れ原因判別手法<sup>12)</sup>が構築済みである。この技術に採用しているカメラは、路面の動画撮影と同時に、位置情報、移動速度、振動加速度を同時に計測できる。このような複数種類の情報（モダリティ）を入力とするマルチモーダル AI<sup>13)14)</sup>を構築することで、ひび割れ率に加えて、IRI やわだち掘れ量を同時に測定できると考えられる。また、このような簡易型舗装点検技術を様々な道路に応用、実践した事例を示すことができれば、舗装アセットマネジメントの実現や高度化の後押しとなる。

そこで、本研究では、市販アクションカメラとマルチモーダル AI を用いて、舗装管理指標 3 要素を同時に測定する簡易型舗装点検技術を構築する。さらに、本技術の実践展開や応用事例を通して、簡易型舗装点検技術の有効性を示しつつ、今後の展望について述べる。以降の構成は、次の通りである。第 2 章では、管理指標 3 要素の測定手法およびそれらの検証試験について説明する。第 3 章では、多様な道路における実践、応用の事例から、簡易型舗装点検技術が舗装アセットマネジメントにどのように貢献できるのかについて議論する。最後に、第 4 章では、得られた成果と課題を示す。

## 2. 路面性状 3 要素の評価手法

### (1) 車載カメラ方式による路面性状調査

本技術では、図-1 に示すように、市販の小型アクションカメラを一般車両のボンネットに設置する車載カメ



図-1 本技術におけるカメラ設置状況

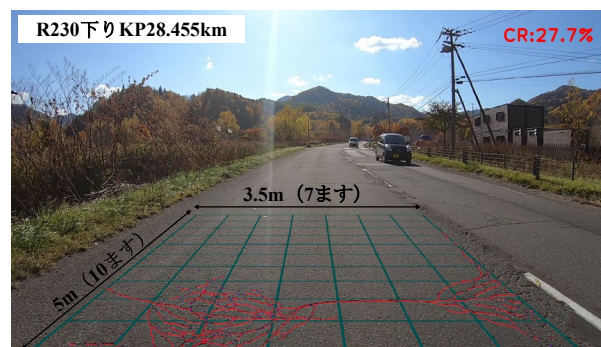


図-2 U-net 法によるひび割れスケッチ結果の例<sup>11)</sup>

ラ方式を採用しており、簡易かつ安全に路面性状調査を実施できる。カメラに採用した GoPro HERO 8 は、様々なセンサーが内蔵されており、動画撮影と同時に、位置情報（20Hz）、上下振動加速度（100Hz）、走行速度（20Hz）の計測が可能である。これらのデータは、すべて動画ファイル（MP4 形式）に収録されるため、解析により、任意の距離間隔で静止画やデータを抽出できる。なお、調査時の走行速度は、20～60km/m の範囲であり、交通流に合わせてながら走行できる。

### (2) 深層学習を用いたひび割れ率測定手法

著者らは、先行研究において、5m 間隔の静止画に U-net を適用して、ひび割れ率を自動算出する手法（以下、U-net 法）を開発した<sup>11)</sup>。

U-net は、深層学習の代表的なアルゴリズムである CNN（Convolutional Neural Network）を拡張したモデルである。深層学習を用いた既存手法では、小領域毎にひび割れの有無を判別するのに対し、U-net 法では、図-2 に示すように、ピクセルレベルでひび割れを検出できるため、手書きスケッチをベースとする従来手法<sup>15)</sup>（メッシュ法）を適用することが可能となる。U-net 法によるひび割れ率は、手書きスケッチの場合との R<sup>2</sup> 値が 0.84 を示し、従来手法を高い精度で再現できることを確認済みである。

(3) 機械学習を用いた IRI 測定手法

本研究では、車載カメラから得られる路面画像、走行速度、振動加速度の複数種類のデータから IRI を推定する機械学習モデルを構築した。データ収集のため、表-1 に示す北海道内の複数の一般国道にて、「IRI 調査」および「カメラ調査」を行った。前者では、採用実績の多い路面性状測定車や簡易 IRI 測定装置「STAMPER」によって正解データを収集した。このデータは、大成ロテック株式会社から提供いただいた。後者では、株式会社ドーコンおよび著者らが本技術を用いてデータ収集を行った。対象路線の内、R231 と R451 のデータはモデル構築に、残りの路線のデータは検証試験に用いた。

モデルとしては、代表的な機械学習手法である Random Forest (RF) と Elastic Net (EN) を採用した。RF は、決定木を用いた非線形回帰モデルであり、精度が比較的高いことが知られており、土木分野でも広く採用されている。EN は、線形回帰モデルに L1 正則化項と L2 正則化項が設定された構造を持ち、非線形回帰モデルよりも外挿性が高いこと、多重共線性と過学習の防止効果があること、これらの特徴により、高い汎化性能が期待できることがメリットとして挙げられる。

説明変数には、車載カメラから得られる 20m 毎の各種データから算出した上下振動加速度の平均平方二乗誤差  $RMS$  ( $m/s^2$ )、パワースペクトル密度  $PSD_f$  ( $m^2/s^3$ )、平均速度  $SPEED$  ( $km/h$ )、U-net 法によるひび割れ率  $CR$  (%) を採用した。 $PSD_f$  は、Welch 法により算出し、周波数 0~50Hz を 8 分割した各平均値を用いる ( $F=0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49$ )。上記の各データが IRI の推定精度に寄与するのかを調べるために、表-2 に示す 4 つの説明変数のパターンでモデルを構築し、精度を比較した。

モデル構築用データを用いて、3 分割交差検証を行い、説明変数パターン毎にハイパーパラメータのチューニングを行った(表-2)。その結果、RF、EN とともに、 $SPEED$  や  $CR$  を加えることで、若干ではあるが精度が高くなることがわかった。これ結果は、IRI の推定に従来用いられている振動加速度データに加えて、走行速度やひび割れ率を入力することで、精度が向上する可能性を示している。

次に、学習済みモデルを検証路線に適用し、汎化性能を確認した。STAMPER による正解値と本技術による推定値の比較を図-3 に示す。まず、RF と EN を比較すると、EN の方が  $R^2$  が大きい傾向にあり、正解値の再現性が高いことがわかる。RF は、モデル構築時(表-2)に比べて、検証試験では精度が大きく低下した。一方、EN では、そのような精度低下は小さい。したがって、EN の方が、過学習になりにくく、未知路線に対して信頼性の高い結果が得られると考えられる。今後は、他の機械学習手法も検討し、精度向上を目指す。

表-1 調査路線およびデータの概要

路線	延長 (km)	IRI 調査		カメラ調査		データ区分
		期間	計測方法	期間	計測車両	
R231	48.6	2019.9	路面性状測定車	2019.10	RAV4	モデル構築
R451	52.8					
R40	49.1	2020.6	STAMPER	2020.9	LEVORG	検証試験
R236	77.3					
R272	74.7					
R391	66.6					
R228	83.3				X-TRAIL	

表-2 3分割交差検証の結果 ( $R^2$ : RMSE[mm/m])

入力変数パターン	RF	EN
P1: $RMS$	0.53 : 2.09	0.20 : 3.52
P2: $RMS, PSD_f$	0.74 : 1.23	0.25 : 3.31
P3: $RMS, PSD_f, SPEED$	0.76 : 1.14	0.27 : 3.23
P4: $RMS, PSD_f, SPEED, CR$	0.76 : 1.11	0.28 : 3.19

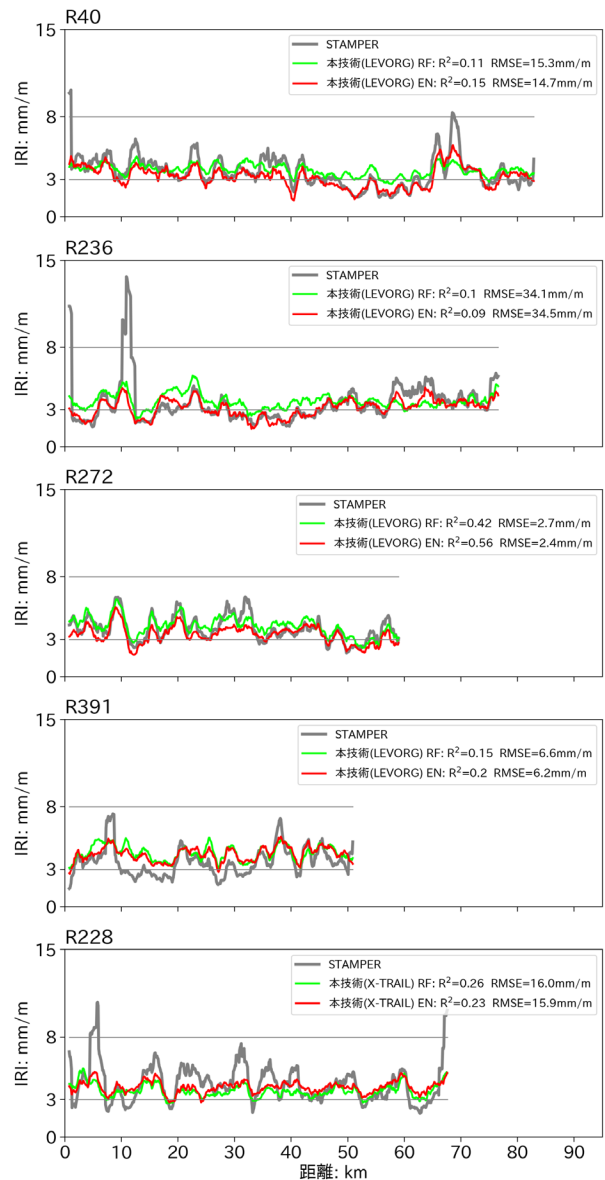


図-3 STAMPER と本技術の IRI プロファイル

(4) 画像処理を用いたわだち掘れ量測定手法

わだち掘れ量に関しては、路上や走行車内からの目視によって、I (20mm 以下) , II (20~40mm) , III (40mm 以上) の3段階で評価する目視点検が主流であり、その精度は実用に耐え得ることが報告されている<sup>9)</sup>。しかし、目視による方法では、高頻度な点検を行うことが難しい。そこで、本研究では、路面画像と画像処理を用いたわだち掘れ量の3段階評価手法について検討した。

図-4 に示すように、まず、路面画像から分析領域を抽出し、正射変換を行う。次に、平滑化処理を適用して、細かいノイズを除去する。その後、横断方向の明度プロファイルを縦断方向に 1px 毎に描いて明度レンジが最小となる位置を検出し、その時の明度レンジ(最小明度レンジ)をわだち掘れ量の3段階評価に用いる。

目視点検を行った 300 枚の画像を用いて、正解値を適切に分離できる平滑化処理について比較した。その結果、図-5 に示すように、区分 I と II 以上は、サイズ 25px のメディアンフィルタにより算出される最小明度レンジの閾値を 22 とした場合に、両区分を良好に分離できることがわかった。また、区分 II と III については、サイズ 145px の平均値フィルタによる最小明度レンジの閾値を 23 とした場合に分離が良好となった。

(5) 本技術の検証試験

国土交通省は、平成 30 年に、簡易な舗装点検技術を公募して同一条件での検証試験(以下、国交省試験)を実施し、参加技術の精度検証結果を一覧表にして公開している<sup>10)</sup>。そこで、本技術の妥当性を示すため、この国交省試験に参加した市販デバイスを活用している同型技術との精度比較を行った。

国交省試験では、検出率と的中率を用いて検証対象技術の精度を評価している。これらを求めるため、まず、各測定値を I, II, III の3段階に区分した。ひび割れ率は、20%以下が区分 I, 20~40%が II, 40%以上が III であり、路面性状測定車によるデータを正解値として用いた。IRI は、3mm/m 以下が I, 3~8mm/m が II, 8mm/m 以上が III であり、分析には表-1 に示した検証路線のデータを用いた。わだち掘れ量の区分は前節の通りであり、正解値には、別の 300 枚の目視点検結果を用いた。

検出率区分 X 以上 (X+) は、正解値で区分 X 以上となるデータの内、本技術でも X 以上となった割合である。的中率 X+は、本技術で区分 X 以上となったデータの内、正解値でも区分 X 以上となった割合である。

各測定手法の精度を表-3, 表-4, 表-5 に示す。ここでは、国交省試験と同様に、各精度を、A (80~100%) , B (60~80%) , C (40~60%) , D (20~40%) , E (0~20%) の5段階ランクで評価した結果を記載している。

ひび割れ率測定手法は、先行研究<sup>11)</sup>で検証済みであり、

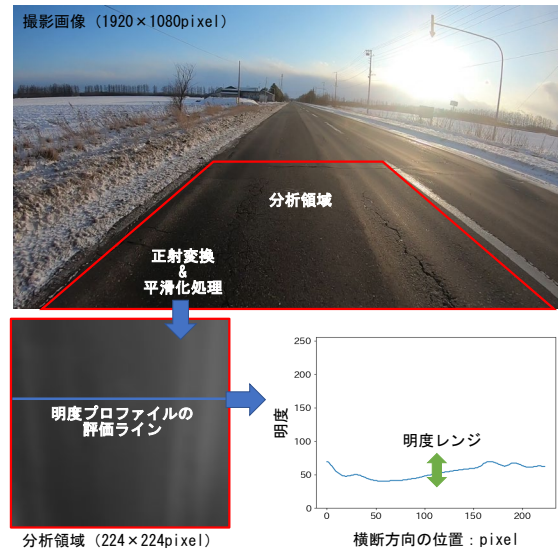


図-4 平滑化処理を用いたわだち掘れ量測定の概要

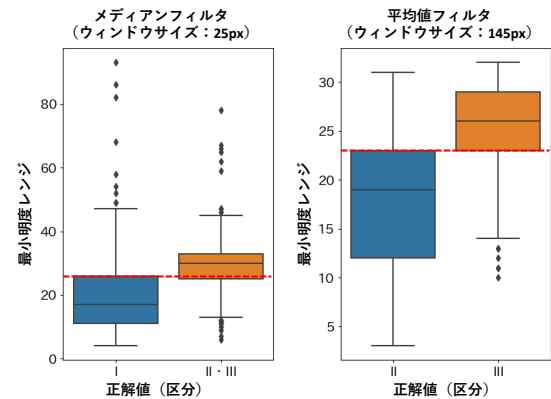


図-5 最小明度レンジと正解値の関係

表-3 ひび割れ率測定に関する精度比較<sup>11)</sup>

精度指標	技術①	技術②	本技術
検出率 II+	B	C	A
検出率 III	C	C	B
的中率 II+	A	B	B
的中率 III	B	A	B
サンプル数	50 区間		500 区間

表-4 IRI 測定に関する精度比較

精度指標	技術③	技術④	技術⑤	本技術
検出率 II+	A	B	A	A
検出率 III	A	E	A	評価なし
的中率 II+	A	A	A	B
的中率 III	B	E	C	評価なし
サンプル数	50 区間			250 区間

表-5 わだち掘れ量測定に関する精度比較

精度指標	技術⑥	本技術
検出率 II+	D	A
検出率 III	評価なし	B
的中率 II+	A	B
的中率 III	評価なし	A
サンプル数	50 区間	300 枚

検出率 II+は最高ランクの A、それ以外はランク B となり、既存技術と同等の精度が得られている (表-3)。

IRI 測定については、本研究で構築した EN モデルについて検証試験を行った。その結果、表-4 に示したように、検出率 II+と的中率 II+はランク B となり、既存技術とほぼ同等の精度が得られた。ただし、検証に用いたデータには区分 III の区間がほとんどなかったため、検出率 III と的中率 III の検証は今後の課題とする。

わだち掘れ量測定に関しては、表-5 に示したように、検出率 II+と的中率 III はランク A、検出率 III と的中率 II+はランク B となり、特に、検出率 II+については、既存技術よりも 3 段階高いランクが得られた。ただし、本技術の検証に用いた正解値は目視点検によるものであることから、公平な比較はできない。今後は、AI の導入により精度向上を図るとともに、国交省試験に準じた形式で検証試験を行う予定である。

以上のように、課題は残るものの、本技術では、市販のアクションカメラと一般車両によって簡易かつ安全な路面性状調査が可能であり、AI 等の解析技術を用いて、舗装管理指標 3 要素を同時に測定できる。また、これらの測定結果は、位置情報と結合できるため、KML 形式などの GIS データとして出力でき、次章で示すような空間分析や多変量解析などへの応用が可能である。

### 3. アセットマネジメントに関する実践と応用

昨今、様々な簡易型舗装点検技術が提案、開発されており、舗装点検の効率化が進んでいるところである。次なるステップは、蓄積が進む点検データの舗装アセットマネジメントへの応用や実践展開であるが、関連する検討や研究は少ない。そこで、本章では、著者らのこれまでの成果や既存研究を参考にして、舗装アセットマネジメントに向けた簡易型舗装点検技術の有効性と展望について考察する。

#### (1) 市町村道の舗装点検における実践

膨大な生活道路を管理する市町村において、舗装アセットマネジメントを実現させるためには、まず、網羅的な舗装点検データベースを構築することが重要である。しかしながら、現在のところ、全面的な舗装点検を行った事例はほとんどない。このような状況から、著者らは、室蘭市との共同研究を通して、本技術（ひび割れ率測定手法）を用いて全管理道路の舗装点検を単年度で実現させた<sup>17)</sup>。さらに、この舗装点検データベースを用いて、損傷箇所のスクリーニングや修繕費用の将来シナリオ分析を行った。なお、室蘭市では、現在も本技術を用いた舗装点検を継続中である。

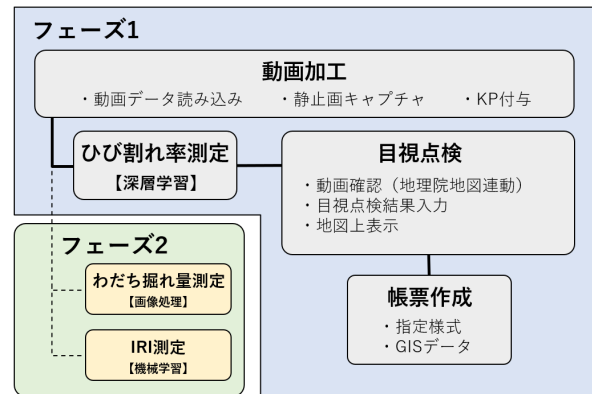


図-6 統合型舗装点検システム「HibiMiru (仮称)」の概要

上記の成果は、中小規模の都市においても、簡易型舗装点検技術を導入することで、舗装点検データベースの構築、さらには、それを用いたアセットマネジメントが実現可能であることを示している。また、本技術のような車載カメラ方式は、路面画像がデータとして残るため、説明性が高い点にメリットがある。しかしながら、路上調査に多くの時間と手間を要するため、今後は、宅配事業者や清掃事業者との連携<sup>18)</sup>やシルバー人材の活用<sup>19)</sup>など、調査部分の低コスト化や省力化が課題となる。

#### (2) 一般国道の舗装点検への実践展開

現在、一般国道や都道府県道では、目視を基本とした舗装管理指標 3 要素の測定が 5 年に 1 回の頻度で実施されている。予算や人員の制限の中、これを継続していくためには、舗装点検の効率化や DX (デジタルトランスフォーメーション) が急務である。そこで、著者らは、本技術の実用化を進めており、図-6 に示すように、撮影動画の加工、管理指標 3 要素の測定、目視点検、帳票作成までを含む統合型舗装点検システム「HibiMiru (仮称)」を構築しているところである。

本システムは、既にフェーズ 1 として、ひび割れ率測定手法が実装済みであり、実道路での検証が済んでいる。現在は、フェーズ 2 に移行し、本研究で構築した IRI およびわだち掘れ量の測定手法を実装し、道路管理者からのフィールド提供により、北海道内の一般国道において試行および検証を進めているところである<sup>20)</sup>。さらに、今後は、精度だけではなく、省力性、コスト、安全性など多様な観点から既存技術との比較を行い、本システムの有効性を明らかにする予定である。

#### (3) 生活道路のネットワークレベル舗装評価への応用

市町村が管理する生活道路は、地域住民の身近な存在であるが、沿道環境や利用頻度を考慮した舗装の維持管理はほとんど行われていない。そこで、著者らは、都市内を網羅する舗装点検、住宅立地、交通量の各データを空間結合し、生活道路の舗装をネットワークレベルで評

価する方法について検討している。この方法では、従来のような路面損傷度や交通量による評価に加えて、周辺住宅の分布や損傷舗装の空間的自己相関に基づいて修繕の優先順位付けを行う点に独自性がある。

先行研究では、前節の室蘭市の舗装点検データベースを用いてケーススタディを行った<sup>21) 22)</sup>。その結果、本方法では、ひび割れ率を用いた従来の舗装診断よりも、住環境の改善効果が大きい修繕対象区間を抽出できることがわかった。さらに、シナリオ分析により地域の実情に合わせた効果の大きい修繕計画の策定が可能になることを示した。

アセットマネジメントの重要な点は、ライフサイクルコストの最小化と平準化だけではなく、沿道住民や納税者への説明責任を果たすことにもある<sup>23)</sup>。特に、地方自治体の舗装維持管理においては、道路利用者の安全性や快適性だけではなく、沿道住民や周辺環境の考慮が必要不可欠である。今後は、都市・交通データとの結合や統計学的アプローチの導入など、幅広い観点からの研究が求められる。

#### (4) 長距離救急搬送路線の舗装評価への応用

北海道では、救急搬送に 60 分以上を要する地域が多く、さらに、車両振動に注意が必要となる路面損傷箇所が広く分布する。抜本的な解決方法としては、舗装の修繕や補修が有効であり、これらにより車両振動と到着遅れを同時に解決できる可能性がある。しかしながら、救急出動と路面性状のデータを統合的に揃えることは難しく、舗装修繕による救急搬送時間の短縮効果は明らかになっていない。

上記の課題から、著者らは、道内の三次救急搬送路線（一般国道および道道）を対象に、スマートフォンを用いた救急車プローブ調査および本技術を用いた路面性状調査を実施し、路面損傷が救急車の走行速度に与える影響を統計モデルにより分析するとともに、複数の舗装修繕シナリオにおける搬送時間の推計を行った<sup>24)</sup>。その結果、速度低下には、信号交差点などの道路構造に加えて、ひび割れ率、IRI などの路面性状も影響することを明らかにした。さらに、搬送時間の推計では、低温ひび割れ（横断方向の線状ひび割れ）が 1 本以上ある 100m 区間を簡易補修すると現状から約 2 分短縮でき、また、高水準な路面管理を行う場合に比べ、損傷度が 1.5 倍増加する場合には、約 4 分以上の到着遅れが生じることが示唆された。

このように、舗装維持管理は、道路利用者や沿道住民だけではなく、救急救命サービスという地域課題にも関係する。他にも、歩行や自転車走行の快適性と安全性、車両内外の騒音や振動、まちの美観、CO<sub>2</sub> 排出など、都市・地域が抱える様々な課題に関わることは周知の通り

である。これらを解決していくためには、舗装点検の効率化や DX に留まらず、舗装に関する高い専門性と経験知をベースに、多様な分野との連携および幅広い観点からの研究展開が必要である。

## 4. まとめ

本研究では、市販カメラから得られる複数種類のデータを入力とするマルチモーダル AI によりひび割れ率、IRI、わだち掘れ量の舗装管理指標 3 要素を同時に測定する簡易型舗装点検技術を構築した。さらに、多様な道路での実践、応用の事例を通して、簡易型舗装点検技術の有効性と展望について考察した。得られた成果を以下に示す。

- カメラから得られる上下振動加速度、走行速度、ひび割れ率の各種データと機械学習を用いた IRI 推定モデルを構築した。検証試験の結果、検出率 II+は最高ランクの A、的中率 II+はランク B の精度を得た。
- 路面画像に平滑化処理を適用して、わだち掘れ量を 3 段階で評価する手法を構築した。検証試験の結果、検出率 II+と的中率 III はランク A、検出率 III と的中率 II+はランク B となった。
- 市町村道および一般国道を対象とした実践展開を通して、本技術が多様な道路の舗装点検の効率化に貢献できることを示した。さらに、舗装点検データの活用事例を示し、簡易型舗装点検技術の積極的な導入により、舗装アセットマネジメントの実現と高度化が期待できることを示した。

本技術のような市販デバイスを用いる舗装点検技術は、高度な技術に比べて、導入や運用の簡易性やコストに利点がある反面、精度が劣る場合がある。しかし、深層学習や機械学習を採用しているため、舗装点検を進めると同時に、精度を向上させていくことが可能である。現在、実用化を進めている「HibiMiru（仮称）」では、撮影動画をを用いた目視点検機能が実装されており、各測定結果とのクロスチェックが可能である。この蓄積される目視点検結果を教師データとして活用し、各測定手法を逐次的に改善、更新させる仕組みについて検討しているところである。

**謝辞：**路面性状測定車および STAMPER による IRI データは、大成ロテック株式会社から提供いただいた。また、一般国道における本技術を用いたデータ収集の一部は株式会社ドーコンにご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表す。本研究は、JSPS 科研費 JP22K04360 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- 1) 社会資本整備審議会・交通政策審議会技術文科会議術部：市町村における持続的な社会資本メンテナンス体制の確立を目指して，2015.
- 2) 国土交通省：舗装点検要領，2017.
- 3) 国土交通省：道路メンテナンス年報（令和 3 年度・2 巡目），2022.
- 4) 浅田拓海，亀山修一，川端伸一郎，佐々木克典：走行車両から撮影した路面画像を用いた舗装のひび割れ評価手法の開発，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.70, No.3, pp. I\_9-I\_16, 2014.
- 5) 全邦釘，井後敦史，南免羅裕治，黒木航汰，大窪和明：車載カメラにより撮影された舗装画像からのディープラーニングによるひび割れ率評価，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.73, No.3, pp.I\_97-I\_105, 2017.
- 6) 毅力果奇，阿榮，村上茂之，佐々木博：スマートフォンによる舗装路面の平坦性の簡易診断における SVM の適用可能性，交通工学論文集，Vol.4, No.4, pp.1-10, 2018.
- 7) 河井大地，丸山喜久，永田茂：スマートフォンで計測した自動車の上下加速度を用いた舗装路面凹凸の評価，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.73, No.3, pp.I\_79-I\_87, 2017.
- 8) 亀山修一，金森弘晃，井上昌幸，浅田拓海，川端伸一郎：舗装路面の目視点検の精度に関する研究，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.71, No.3, pp.I\_25-I\_30, 2015.
- 9) 亀山修一，長屋弘司，郭慶煥，洞口克彦，川端伸一郎：車両から撮影した動画を用いた舗装の目視点検，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.75, No.2, pp.I\_25-I\_31, 2019.
- 10) 国土交通省：全国道路施設点検データベースについて，2022.
- 11) 浅田拓海，居駒薫樹，長屋弘司，亀山修一：U-net によるひび割れスケッチを導入した簡易カメラ搭載型舗装点検の精度検証，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.76, No.2, pp.I\_123-I\_131, 2020.
- 12) 長屋弘司，浅田拓海，亀山修一：説明可能な AI を用いた舗装のひび割れ発生原因判別手法の開発，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.77, No.1, pp.28-38, 2021.
- 13) 杉崎光一，阿部雅人，山根達郎，全邦釘：インフラメンテナンスにおける専門知の構造，AI・データサイエンス論文集，Vol.2, No.J2, pp.8-19, 2021.
- 14) 鳥居和史，水野由裕，遠山一則，清水茂樹，向後颯太：構造化データと衛星画像のマルチモーダル AI モデルによる交通事故発生確率の予測手法の開発，自動車技術会論文集，Vol.53, No.2, pp.404-409, 2022.
- 15) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧-第 1 分冊-，2007.
- 16) 国土交通省：「路面性状を簡易に把握可能な技術」の試験結果を公表します～新技術の活用に向けて～，試験結果等比較表（別紙-2），2018.
- 17) 浅田拓海，居駒薫樹，有村幹治，亀山修一：生活道路の舗装点検全数調査データの構築と舗装メンテナンス・マネジメントへの応用，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.76, No.5, pp.I\_41-I\_49, 2021.
- 18) 窪田諭，木下広翼，丸山明，岡村正，中川均：集配車両のセンシングデータを用いた舗装維持管理の提案，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.76, No.2, pp.I\_133-I\_141, 2020.
- 19) 杉浦聡志，亀山修一，坪井勤，高橋敏彦，市川晴信：美濃加茂市の生活道路の舗装維持管理における目視点検の導入に向けた諸検討，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.70, No.3, pp.I\_25-I\_31, 2015.
- 20) 国土交通省北海道開発局：積雪寒冷地における道路舗装の長寿命化と予防保全に関する検討委員会，第 3 回配布資料，2022.
- 21) 浅田拓海，可知宏太，有村幹治：生活道路の舗装修繕トリアージに向けた舗装劣化箇所の面的抽出手法の構築，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.76, No.5, pp.I\_85-I\_92, 2021.
- 22) 可知宏太，浅田拓海，有村幹治，亀山修一：沿道住民および道路利用者を考慮した生活道路のネットワークレベル舗装評価，土木計画学研究・講演集（CD-ROM），Vol.64, 2021.
- 23) 日本道路協会：舗装点検要領に基づく舗装マネジメント指針，pp.14-19, 2018.
- 24) 浅田拓海，布広祥平，佐々木博，城本政一，亀山修一：救急車走行と路面性状の統合調査に基づく舗装修繕シナリオ別の救急搬送時間推計，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.77, No.5, pp.I\_511-I\_519, 2022.

## DEVELOPMENT AND PRACTICE OF SIMPLE PAVEMENT INSPECTION SYSTEM USING COMMERCIAL CAMERA AND MULTIMODAL AI

Hirotaka HIHARA, Shohei NUNOHIRO, Takumi ASADA,  
Akira SAKURABA and Shuichi KAMEYAMA

In order to achieve preventive maintenance and extend the service life of road pavements, periodic and exhaustive pavement inspections are required. On national highways, visual inspections are conducted once every five years based on three management indices: crack ratio, IRI, and rutting depth. However, in order to implement pavement inspection continuously, efficiency improvement is urgently needed due to budget and manpower limitations. In this study, we developed a simple pavement inspection technology using a commercial camera and multimodal AI. Our system can simultaneously measure three pavement management indexes using AI with multiple types of data obtained from the camera. Furthermore, through the examples of practice and application, it was shown that our system can greatly contribute to the efficiency of pavement inspection, and that the use of the inspection data can lead to the realization and advancement of pavement asset management.