

路面画像・走行速度・振動加速度の統合データを用いた IRI 推定方法

A IRI estimation method using an integrated data from a car-mounted camera

室蘭工業大学工学部建築社会基盤系学科 ○学生員 磯島 公平(Kohei Isojima)
室蘭工業大学大学院工学研究科 正 員 浅田 拓海(Takumi Asada)

1. はじめに

我が国の舗装ストックは道路延長ベースで 100 万 km を超え、膨大なストック量となっている。地方部においては、多くの箇所では舗装劣化が進んでおり、効果的な維持管理が求められている。平成 28 年 10 月に舗装点検要領が策定され、予防保全型の舗装維持管理のために、目視による方法や機器を用いた方法の導入により舗装点検の着実な実施が必要である。それに伴って、簡便かつ効率的な路面性状計測の需要が高まっており、現在、様々な技術が開発、導入が進められている。

通常、路面性状は、ひび割れ、平坦性、わだち掘れの 3 要素から評価される。この内、平坦性は、乗り心地に関係する要素であり、IRI (International Roughness Index) などの指標が提案されている。最近では、計測の低コスト化が進んでおり、スマホなどの簡易な計測デバイスにより、振動加速度(鉛直方向の加速度)から IRI を推定する手法がいくつか報告されている¹⁾²⁾。しかしながら、振動加速度だけでは精度に限界があることや、IRI のみが得られても実際の路面状況を確認できないことが指摘されている。一方、著者らは、市販の車載カメラを用いた簡易な舗装点検システム(以下、簡易カメラ搭載型舗装点検システム)を開発しており、現在、AI (U-net) によるひび割れ率評価³⁾、Grad-CAM によるひび割れ発生原因の判別⁴⁾が可能である。このシステムでは、一つのカメラで、路面画像の撮影、GPS による走行速度計測、内蔵センサーによる振動加速度計測を同時に行うことができる。これらのデータを統合的に用いることで、IRI の推定精度向上や画像による説明性向上が期待できる。

そこで、本研究では、著者らが開発した簡易カメラ搭載型舗装点検システムに平坦性評価オプションを組み込むことを目的として、路面画像、走行速度、振動加速度を用いた IRI 推定方法について検討する。

2. 方法

2.1 データ

分析には、北海道内の一般国道 R40, R228, R236, R272, R391 の 5 路線における「平坦性調査」と「ひび割れ調査」から得られたデータを用いた。両調査は、令和 2 年 9 月～令和 2 年 10 月の同時期に実施した。

「平坦性調査」は、大成ロテック株式会社が簡易 IRI 測定装置「STAMPER」を用いて実施した。データには 20m 区間毎の IRI [mm/m] が位置情報とともに収録されている。

「ひび割れ調査」は、簡易カメラ搭載型舗装点検システムを用いて実施した。図-1 に示すように、車載カメラ (GoPro Hero6) を車両ボンネットに設置し、走行しながら



図-1 簡易カメラ搭載型舗装点検システム

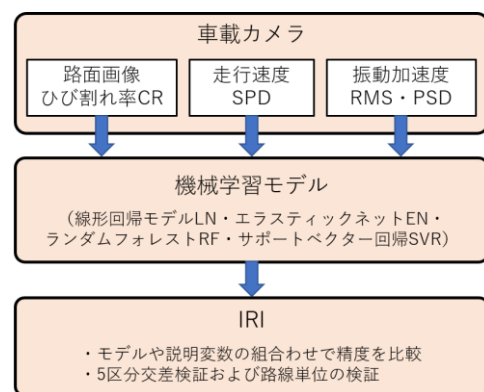


図-2 IRI 推定方法の概要

前方路面の動画撮影を行った。このカメラの GPS 機能により、走行速度の取得が可能であり、また、5m 毎に静止画を抽出し、U-net スケッチ法³⁾により精度良くひび割れ率[%]を計測できる。さらに、カメラ内蔵のセンサーにより振動加速度 (200Hz) を取得した。

以下の分析のために、IRI データの 20m 区間に合わせて、平均ひび割れ率 (CR)、振動加速度の実効値 (RMS)、パワースペクトル密度 (PSD)、平均走行速度 (SPD) を算出してデータを統合した。PSD の周波数は 0~100Hz であり、6.25Hz 間隔の値を用いる。平坦性調査およびひび割れ調査のデータには若干の位置のズレがあるため、統合後のデータに 50m の移動平均処理を適用した。

2.2 機械学習による IRI の推定方法

図-2 に示すように、IRI の精度が高いモデルを得るために、4 つの機械学習モデルで比較を行い、さらに、説明変数 (RMS, PSD, CR, SPD) の組み合わせについても様々なパターンを設定した。モデルには、線形回帰モデル (LR)、エラスティックネット (EN)、ランダムフォレスト (RF)、サポートベクター回帰 (SVR) を用いる。

表-1 精度検証の結果

説明変数	5 分割交差検証				路線単位検証			
	LR	EN	RF	SVR	LR	EN	RF	SVR
<i>RMS</i>	0.33 : 0.83	—	—	—	0.25 : 0.83	—	—	—
<i>RMS, PSD</i>	—	0.41 : 0.77	0.53 : 0.68	0.40 : 0.73	—	0.49 : 0.65	0.30 : 0.81	0.55 : 0.60
<i>RMS, PSD, CR</i>	—	0.45 : 0.76	0.59 : 0.63	0.44 : 0.71	—	0.48 : 0.66	0.37 : 0.77	0.55 : 0.57
<i>RMS, PSD, CR, SPD</i>	—	0.48 : 0.73	0.62 : 0.61	0.47 : 0.69	—	0.54 : 0.53	0.41 : 0.72	0.53 : 0.53

 R^2 : MAE [mm/m]

LR では、従来手法の *RMS* のみを説明変数とし精度を求めた。EN は、Ridge 回帰と Lasso 回帰を組み合わせた正則化したモデルである。RF は、多数の決定木を作成し、それぞれの予測結果の多数決をとることで最終予測値を決定するモデルである。SVR は、汎化性能が高いと言われるサポートベクターマシンを回帰問題に拡張したものである。

2.3 精度検証の方法

推定精度の検証方法は、全路線のデータを統合した 5 分割交差検証および路線単位の検証（路線単位検証）の 2 種類とする。前者では、全データが 5 つに区分され、それぞれ未知データとしての検証結果が得られるため、それらの R^2 （決定係数）および MAE （平均絶対誤差）をそれぞれ平均化して精度を評価する。後者では、5 路線の内 4 路線で学習を行い、残りの 1 路線を未知データとして検証して R^2 と MAE を求める。なお、路線単位検証では、データサイズのバランスを考慮して、学習には R40, R228, R272, R391, 検証には R236 のデータを用いる。

3. 結果

5 分割交差検証の結果を表-1（左）に示す。まず、モデルとしては、RF が最も高い精度を示した。次に、RF の中で説明変数の組み合わせに着目する。従来手法のように *RMS* や *PSD* を用いた場合は、 R^2 が 0.53、 MAE が 0.68 を示した。本方法では、路面画像から得られる *CR* を説明変数に追加する。その場合、 R^2 は 0.59 となり、さらに *SPD* も追加すると 0.62 にまで向上した。

次に、路線単位検証の結果を表-1（右）に示す。モデル比較としては、RF よりも、EN や SVR の精度が高くなった。いずれのモデルにおいても、*CR* の追加による精度向上は僅かであり、*SPD* による精度向上が大きい。特に、EN では、全説明変数を用いた場合では、 R^2 が 0.54 となった。この EN と全説明変数による推定値のプロファイルを図-3 に示す。推定値は観測値と類似した変動を示していることがわかる。ただし、*IRI* が 5mm/m 以上の区間は誤差が大きい。この原因は、学習データに *IRI* が大きい区間が少なかったことが挙げられる。

以上のように、*CR*、*SPD* を追加することで、精度の向上が見られた。これは、本システムのような簡易なカメラでは、振動加速度だけで *IRI* を推定するには限界があるが、路面画像や走行速度を考慮することで改善できることを意味する。なお、本システムでは、*IRI* 推定結果と撮影動画は位置情報で関連付けられており、当該箇所の路面状況を容易に確認でき、目視による評価の修正が可能である。さらに、誤差の大きいデータを蓄積しモデル

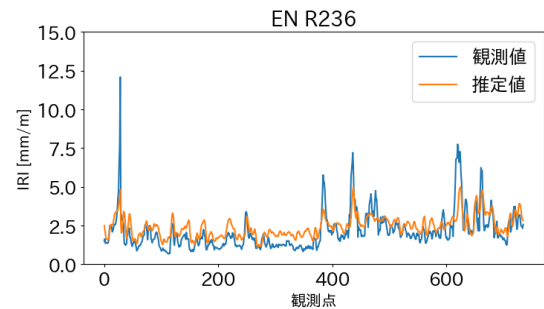


図-3 検証路線における推定値と観測値のプロファイル

を再学習させることで、さらなる精度の向上が望める。

4. まとめ

本研究では、著者らが開発した簡易カメラ搭載型舗装点検システムに平たん性評価オプションを組み込むことを目的に、路面画像、走行速度、振動加速度の統合データを用いた *IRI* 推定方法を検討した。その結果、従来の推定に使用される振動加速度 *RMS*、*PSD* に加えて、路面画像から得られるひび割れ率 *CR* や位置情報から得られる走行速度 *SPD* を追加することで推定精度が向上した。ただし、これら変数の効果の要因については、現在のところ、データが少ないため明らかにできていない。また、検証方法によってはモデルの優劣が異なる結果となった。今後は、多様な路線のデータを用いて、モデルや説明変数を決定し、実用化を目指す。市販カメラ 1 台を用いる本システムにより、ひび割れ率、わだち掘れ量、そして *IRI* の 3 要素を統合的に計測できれば、多くの路線で、舗装点検の効率化や低コスト化が実現できる。

参考文献

- 1) 渡部大輔, 八木浩一, 牧野浩志: スマートフォンのセンサーに基づく路面性状簡易診断サービスの実用性に関する検討, 土木学会, 第 52 回土木計画学研究発表会・講演集, 2015.
- 2) 毅力果奇, 阿栄, 村上茂之, 佐々木博: スマートフォンによる路面性状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.
- 3) 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.123-131, 2020.
- 4) 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システムの開発, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.77, No.1, pp.28-38, 2021.