

車載カメラと動画解析を用いた簡易乗り心地評価手法の開発

Development of simple evaluation system of riding comfort by using car-mounted camera and video analysis

室蘭工業大学建築社会基盤系学科 ○学生会員 伊井渚(Nagisa Ii)
室蘭工業大学大学院工学研究科 正会員 浅田拓海(Takumi Asada)

1. はじめに

我が国の道路延長は全長で約 120 万 km あり、高度経済成長期に集中的に建設されたものが多い。現在では、それら多くの道路施設が老朽化しており、その対策が喫緊の課題となっている。膨大な延長をサステナブルに維持管理していくためには、対処的保全から予防的保全に転換し、アセットマネジメントに基づいた修繕計画の策定、遂行が必要不可欠である。そして、それを実現させるためには、まず第一に、点検、診断、措置、記録のメンテナンスサイクルを構築する必要がある。道路舗装の点検や診断については、路面性状測定車による調査や目視点検などによって実施されている。しかしながら、これら従来の方法では、多大なコストや人員を要するため、効率化が求められている。

このような背景から、平成 28 年に国土交通省により舗装点検要領¹⁾が策定され、機器や目視（体感）を用いた簡易型の点検技術の開発、活用が推進されている。舗装の点検項目は、主に、ひび割れ、平坦性、わだち掘れがある。その中で、平坦性に関しては、路面性状測定車によって得られる IRI の代替手法として、歩行や車両走行での目視や体感によって評価する方法が提案されている²⁾。しかし、目視や体感などで評価する場合では、評価がばらつくため、多くの被験者が必要となること、評価区間の位置情報の取得に時間や手間がかかることなどが指摘される。そこで、スマートフォンを含む簡易な加速度計を用いた IRI 推定³⁾などが開発されている。しかしながら、加速度データでは、道路の状況の確認や結果の根拠を示すことが難しい。

そこで、本研究では、車載カメラを用いて走行しながら撮影を行い、その動画の「揺れ」を解析することで、車両振動に対する乗り心地評価を推定する方法を開発する。この方法では、推定結果について、その位置とともに動画から実際の道路状況や振動の原因を確認できる。

2. 乗り心地評価と動画解析の方法

2.1 動画撮影システム

著者らは、先行研究にて、市販のアクションカメラを一般車両に設置し、走行しながら路面を撮影、評価する簡易カメラ型舗装点検システムを開発した⁴⁾。本研究でもこのシステムを導入し、動画の撮影を行う（図-1）。動画の撮影には、GoProHERO5を採用する。このカメラは GPS 機能を有しており、動画ファイルに位置情報がメタデータとして記録される。そのため、動画中の各フ



図-1 カメラの設置状況

表-1 振動不快度評価の区分

評価	説明
1	振動がなく、不快ではない
2	振動はあるが、不快ではない
3	振動があり、不快を感じる
4	大きな振動があり、不快を強く感じる
5	大きな振動があり、危険性を感じる

レーム（静止画）と位置の関連付けが自動化できる。画像サイズは 1920 ピクセル×1080 ピクセル、フレームレートは 60fps、画角は「広角モード」とした。また、動画の揺れを解析するため、手振れ補正は OFF とした。

路面からの振動を解析するためには、車両応答を車種別に把握する必要がある。それについては、今後の課題とし、本研究では、基礎的な検討として、対象車両に、道路パトロールなどで広く使われている日産 X-TRAILを採用した。

2.2 乗り心地評価の方法

走行中は、動画撮影とともに、乗り心地評価も行う。被験者は、助手席に座り、振動に対する乗り心地を評価する。評価尺度としては、富山ら⁵⁾の研究を参考に、表-1に示す 5 段階尺度を採用した。本研究では、「乗り心地」ではなく、振動の有無とそれに対する不快度で評価することにした。撮影時の走行速度は、振動解析や振動不快度評価の重要なパラメータとなる。そこで、様々な走行速度でのデータを得られるように、基本的な走行速度を 40、50、60km/h として、実験区間にて 3 回走行し、動

画撮影と乗り心地評価をそれぞれ行った。実験区間は、室蘭市内の国道37号線から振動にばらつきのある6.8kmを選定した。期間は2020年の夏期であり、8～15時の時間帯に実験を行った。

被験者は、室蘭工業大学の学生3名であり、2名の実験データを推定モデルの学習用に、1名のデータをモデル検証用に用いる。なお、本実験の直前に、他の区間で各評価の代表的な振動箇所にて体感してもらい、基準を揃えた上で実験に望んだ。また、走行中の振動不快度の評価は、1秒単位で行う。そのため、車外にあるカメラにマイクを延長接続し、車内助手席から音声で記録する形とした。ただし、振動の瞬間と発声にはタイムラグが生じるため、研究室に戻った後、自身の動画、音声を視聴し、タイミングと評価値を確認、修正してもらった。

2.3 動画解析による振動計測

著者らは、先行研究において、オプティカルフローを用いて走行中の自転車の振動を計測し、サイクリストの乗り心地（不快度）を推定する手法を開発している⁶⁾。この手法は、自動車における振動不快度評価にも応用できると考えられる。そこで、先行研究に基づいて、図-2に示すように、動画の解析を行った。

まず、図中aのように、動画にオプティカルフローを適用し、動画の中の「景色の揺れ」を時系列データ化する。オプティカルフローとは、手振れなどの解析に用いられる手法であり、動画フレーム内の特徴点が、次のフレームにおいてどの位置に移動したのかを追跡し、その移動ベクトルを連続的に得ることができる。この特徴点の追跡には、高速処理アルゴリズムとして知られるLukas-Kanade法⁷⁾を採用した。オプティカルフローを適用する領域（解析領域）は、対向車線の車両や歩道側の樹木などの影響を低減すること、カーブ区間で景色が消失しないこと、特徴的な景色が常に入ることと考え、図中aに示すように、パス線の消失点に位置するように設定する。また、特徴点の抽出数は、解析コストの面から100点までとした。なお、時間の経過とともに、特徴点は画面の枠外に流出してしまうため、動画を短い時間で分割してオプティカルフローを適用する。オプティカルフローを適用する時間間隔としては1秒（60フレーム）毎とするが、抽出するフレーム数は、この後に行う高速フーリエ変換のために、2のべき乗である64フレームとした。

次に、図中bのように、次フレームへの移動量を時系列データ化する。本研究では、路面からの振動を対象とするため上下方向の変動のみを分析に用いる。各特徴点の変動データから中央値を求め、それに周波数解析（高速フーリエ変換）を適用する（図中c）。これにより、1秒毎の「景色の揺れ」のパワースペクトル密度（PSD）が得られる。高速フーリエ変換では、サンプリング周波数（動画フレームレート）が60Hz、データサイズが64のため、 $F=1, 2, \dots, 32\text{Hz}$ の32個のPSD値（以下、 PSD_F ）が得られる。最後に、1秒毎の PSD_F および振動不快度を、位置情報を基に10mの分析区間毎に線形補間した-

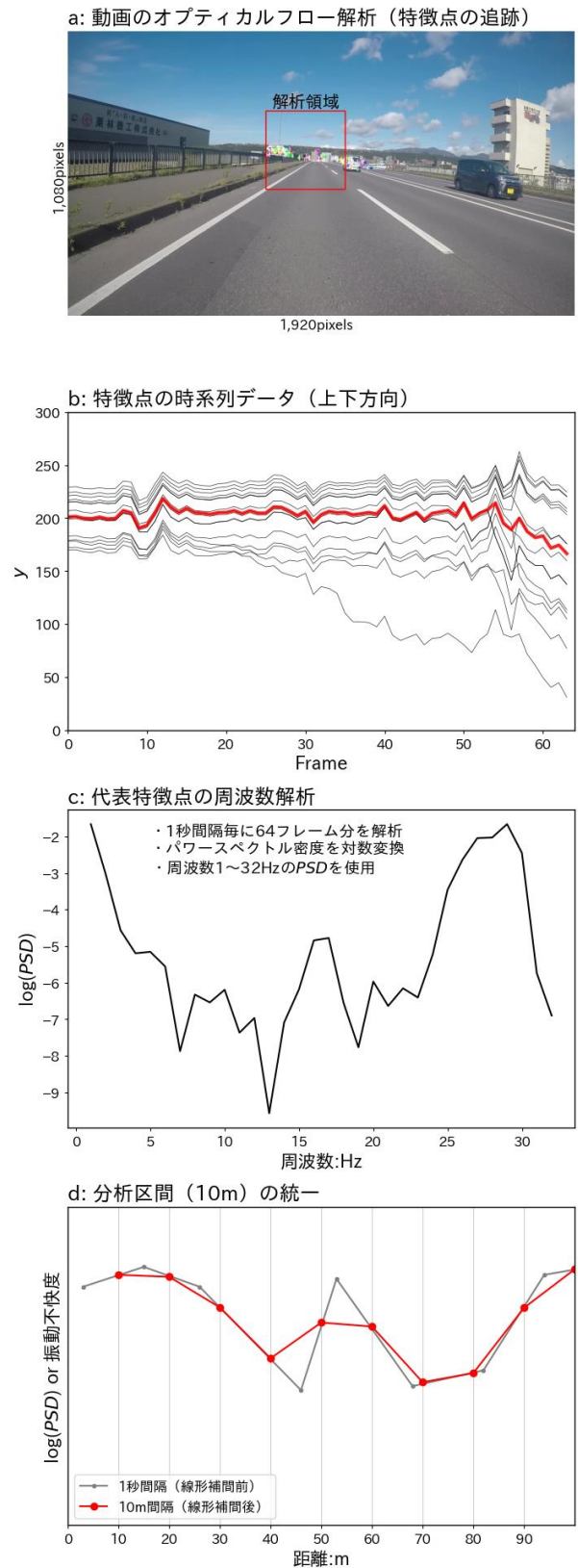


図-2 動画解析の手順

さらに、音声と動画には若干のタイムラグが残っているため、全データに100mの移動平均を適用して、空間的な位置を可能な限り揃えた。

3. 振動不快感推定手法の構築

3.1 PSD と振動不快感の関係

一例として、被験者 A の振動不快感のプロファイルを図-3 に示す。また、動画解析から得た PSD₉ を図-4 に示す。まず、振動不快感と PSD₉ を比較すると、PSD₉ が大きくなる箇所でも振動不快感も上昇する事がわかる。そこで、全被験者のデータを用いて、全 PSD と振動不快感との相関係数を求めた(図-5)。走行速度 50, 60km/h では、9Hz 周辺で相関係数が約 0.7 となりピークが見られる。したがって、約 0.1 秒間隔の振動が特に不快感に影響すると言える。40km/h では、15Hz 周辺で相関係数が約 0.7 となり、比較的周期の大きい振動が不快感に及ぼす。これらの結果から、被験者は、走行速度が遅いほど、細かい振動に敏感となり、不快を感じたものと考えられる。

3.2 振動不快感と走行速度の関係

次に、走行速度による振動不快感の差について調べた。全被験者のデータを用いて、50km/h と 40km/h、50km/h と 60km/h の振動不快感の関係を図-6 に示す。前者(図中●)では 50km/h の方が、後者(図中▲)では 60km/h の方が若干、振動不快感が大きい。t 検定を行ったところ、両者ともに p 値は 0.01 以下となり、有意な差が確認された。したがって、同じ路面でも、走行速度が速いほど、わずかではあるが振動不快感が大きくなると言える。

3.3 機械学習を用いた振動不快感推定モデル

以上から、走行時の速度や、動画にオブティカルフローを適用して得られる PSD は、振動不快感を説明できる要素であることがわかった。そこで、走行速度と PSD を説明変数、振動不快感を目的変数として推定モデルを構築する。なお、先行研究⁷⁾を参考にして、全変数はすべて対数変換した。モデルの学習用として被験者 A と B データ、テスト用として被験者 C のデータを用いる。

モデルに関しては、先行研究⁷⁾を参考に、サポートベクター回帰を採用した。サポートベクター回帰は、機械学習法の一つであり、少ないサンプル数でも高い汎化性能が期待できると言われている。このモデルでは、非線形カーネルが導入可能であるが、線形カーネルの方が精度良く推定できることが事前に確認できた。そこで、線形カーネルのハイパーパラメータ C , γ , ε についてグリッドサーチを行い、精度が最も高くなる組み合わせを求めた。 γ については、精度への影響が小さいことから、 10^{-6} に固定した。また、グリッドサーチでは、学習用データからランダムにサンプリングし、7 割を学習に、3 割を精度評価(推定値と観測値の相関係数)に使用した。グリッドサーチの結果を図-7 に示す。 $C=10^2$, $\varepsilon=10^{-4}$ で、推定値と観測値の相関係数が最大になった。

以上のハイパーパラメータを用いて、テストデータ(被験者 C)から推定値を求め、観測値との関係を調べた。図-8 に示すように、決定係数は 0.62 となった。また、推定値と観測値をプロファイルにしたものを図-9 に示す。これを見ると、全体的には推定値は観測値に類似した変動を示すことがわかる。しかし、大きな誤差も幾つか生じている。これらを動画から調べたところ、被験者が過大に評価している箇所があった。例えば、振動

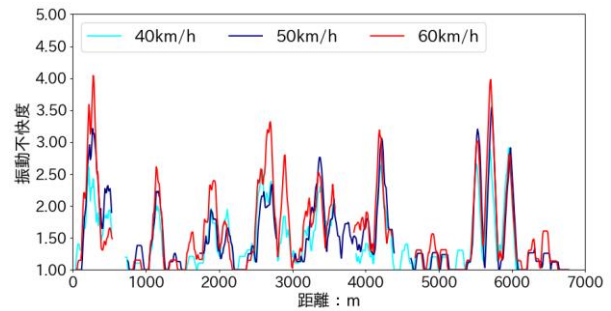


図-3 乗り心地評価のプロファイル (被験者 A)

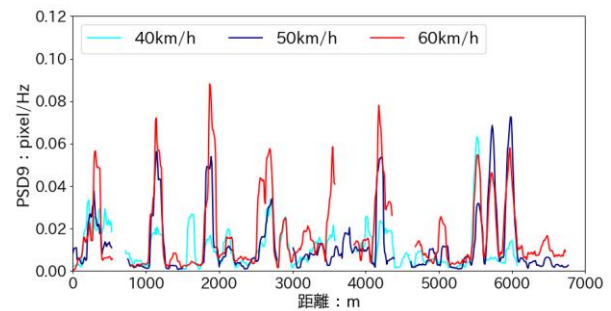


図-4 PSD₉のプロファイル (被験者 A)

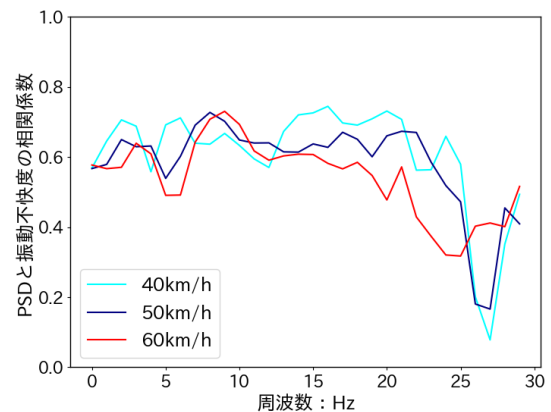


図-5 PSD と振動不快感の相関係数 (全被験者)

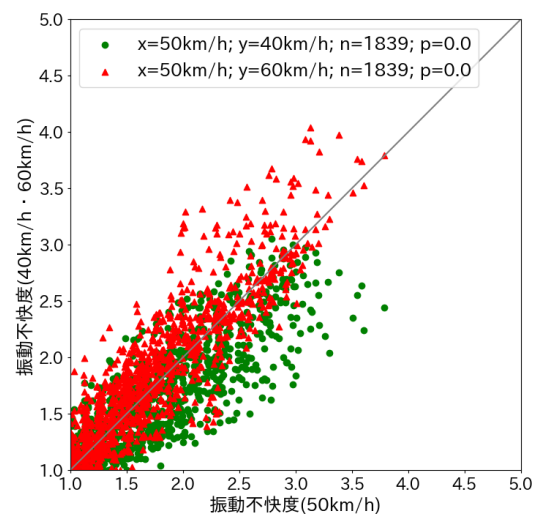


図-6 振動不快感の走行速度比較 (全被験者)

が連続して発生する場合には、小さな振動でも不快度が大きくなる場合がある。今後は、このような振動の連続性を考慮した評価やモデルについて検討したい。

4. まとめ

本研究では、車載カメラを用いて路面撮影を行うとともに、走行中の乗り心地を数値化した。そして、サポートベクター回帰を用いて、動画の「景色の揺れ」から、乗り心地の観点で、平坦性を推定する手法を開発した。本手法の特徴は、簡易かつ低コストであること、動画により評価の透明性が保証されることである。また、測定のための走行速度は40~60km/hと幅広いので、幹線道路だけでなく、市街地や路地などの、交通量が多い道や、狭く見通しの悪い道への適用も可能である。以上の点から、本手法は、舗装の点検や診断の効率化におおいに貢献できると考えられる。さらに、将来、すべての路面の平坦性をリアルタイムでデータ化できたならば、救急車やトラックなどの、平坦性が走行に及ぼす影響が大きい車両のルート選定などにも活用できる。

今後の検討事項として、まず、乗り心地評価のタイムラグと、連続する振動の処理がある。人の感覚は性格や経験、状況によって変動しやすい。今後の研究では、これらを改善することで、さらに推定精度を高めていきたい。また、より多角的に平坦性を評価するために、振動量から IRI 値などの定量的な値を推定できるモデルを検討する必要がある。さらに、本研究では、撮影車両は日産 X-TRAIL としたが、より汎用性を高めるため、様々な車両に対応するモデルを構築していきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：舗装点検要領，2016。
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 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。
- 5) 富山和也，川村彰，石田樹，高橋清：路面の体感乗り心地評価試験における信頼区間を利用した被験者数設定の視点と方法，舗装工学論文集，第15巻，pp.65-71，2010。
- 6) 居駒薫樹，浅田拓海，有村幹治，亀山修一：車載カメラ動画を用いた自転車走行時の振動不快度評価手法の開発，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.75，No.5，pp.I_745-I_754，2019。
- 7) Lucas, B. D. and Kanade, T.: An interactive image registration technique with an application to stereo vision, Proceedings of 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 674-679, 1981。

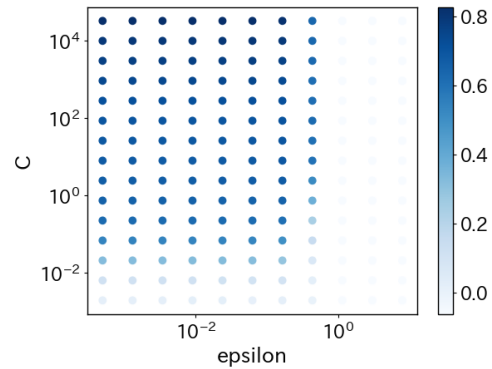


図-7 グリッドサーチの結果

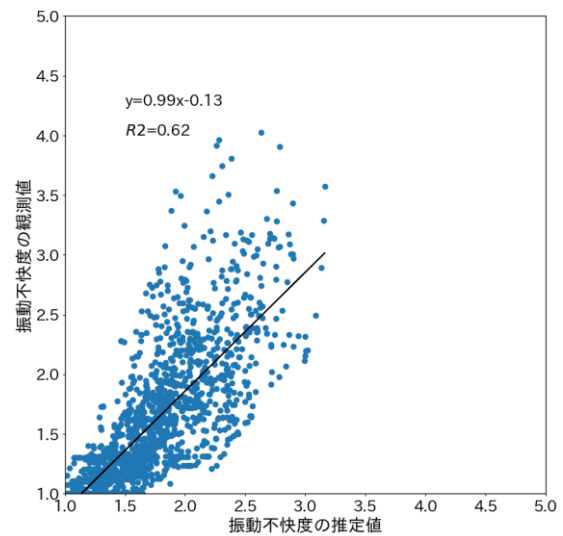


図-8 テストデータにおける推定値と観測値の関係

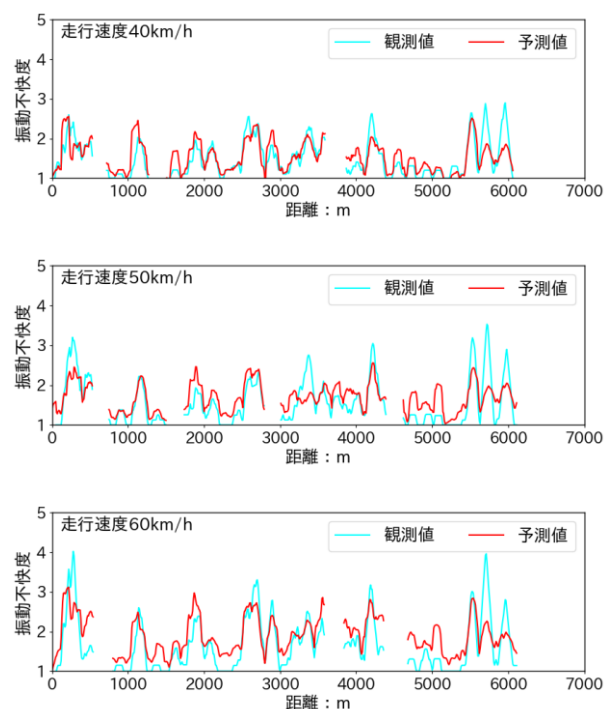


図-9 テストデータにおける推定値と観測値のプロファイル