

デジタル道路地図データを活用した 路面平坦性が利用者評価に及ぼす影響の可視化

Visualizing the Impact of Surface Unevenness on Users' Rating by Using Digital Road Map Data

北見工業大学工学部	○正会員	富山和也 (Kazuya Tomiyama)
北見工業大学工学部	正会員	川村 彰 (Akira Kawamura)
北見工業大学大学院	学生員	石樽大二 (Daiji Ishigure)
北見工業大学工学部	学生員	藤田 旬 (Shun Fujita)
寒地土木研究所	正会員	石田 樹 (Tateki Ishida)

1. はじめに

社会資本の急速な老朽化や、舗装の設計・施工における性能規定化を背景に、利用者にとって使いやすい道路とするための、定期点検に基づく「早期発見・早期補修の予防保全」が、道路管理における重要課題となっている¹⁾。特に、利用者との直接の接点となる道路の舗装路面には、車両走行時の安全性や快適性など、利用者評価を考慮した、定量的なネットワークレベルでのモニタリングが必要である。

しかし、現在の定量的な路面モニタリングは、レーザ変位計などを使用した路面性状測定車などにより行なわれており、導入コストの高さや運用時の利便性の低さから、一部の主要路線において、数年に一度の実施に限られている。とりわけ、地方道では、主として管理者の目視により行なわれており、定量的なモニタリングが行われていないのが現状である²⁾。

そこで、本研究では、高効率な路面平坦性のネットワークモニタリングシステムを構築するため、デジタル道路地図データを利用し、利用者評価と関係の深い、以下の項目を可視化することで評価する方法を検討した。

- (1) 加速度計を用いたモバイルプロフィロメータ (MPM: Mobile ProfiloMeter) による、定量的な路面平坦性
- (2) ジャイロ計を用いた、車両振動データ計測に基づく、路面平坦性に起因する振動乗り心地
- (3) 人の生体情報を用いた、路面平坦性由来の車両振動に起因する利用者のメンタルストレス

2. デジタル道路地図の概要

筆者らは、先行研究³⁾において、汎用の道路地図上に平坦性情報をプロットすることで、面的かつ視覚的に道路ネットワークにおける路面情報を把握可能であることを確認している。本研究では、精密な道路ネットワークデータを有する日本デジタル道路地図協会のデジタル道路地図データ⁴⁾を用いる。本道路データの特徴を以下に記す。

- (1) ネットワーク表現に適したデータ構造であり、コンピュータを用いて距離や時間等を最短にするような経路探索が可能
- (2) 都道府県道クラス以上の幹線道路はその供用開始な

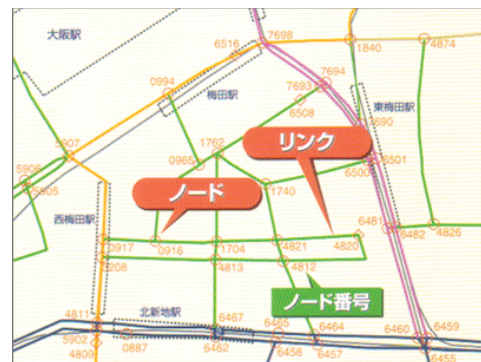


図-1 デジタル道路地図における道路網の表現方法⁴⁾

どに先がけ、データの更新が行われる。また、これらのデータは道路管理者から提供される工事用図面などを基にしているため精度が高い。

- (3) 位置的データの他に当該道路の管理者、路線番号、幅員、橋・トンネルなどの道路構造物をはじめとする多くのデータが含まれる。
- (4) データベース標準が制定・公開されているとともに、独自に付与されるノード・リンク番号は官・民が共有しており、この番号を通じて工事・事故・渋滞等の道路交通関連情報のやり取りが行われている。

このように、本デジタル道路地図が保有するデータには、道路管理上重要な特徴を含んでおり、効率的な路面の維持・管理に寄与するものといえる。デジタル道路地図データにおける道路網の表現例を図-1に示す。

3. 利用者評価に影響を与える要因の定量化

本章では、(1) 平坦性、(2) 車両振動乗り心地（以下、「乗り心地」）、および(3) 利用者のメンタルストレスに着目し、路面平坦性が、利用者に及ぼす影響の定量化手法を示す。

(1) 平坦性の定量化

平坦性は、MPMを用い、IRI（国際ラフネス指数）により定量化する。MPMとは、車両のバネ上およびバネ下に設置した2つの加速度計から得られた上下加速度について、車両の速度依存成分を除去した後、逆解析により路面プロファイルを測定し、プロファイルを基にIRI

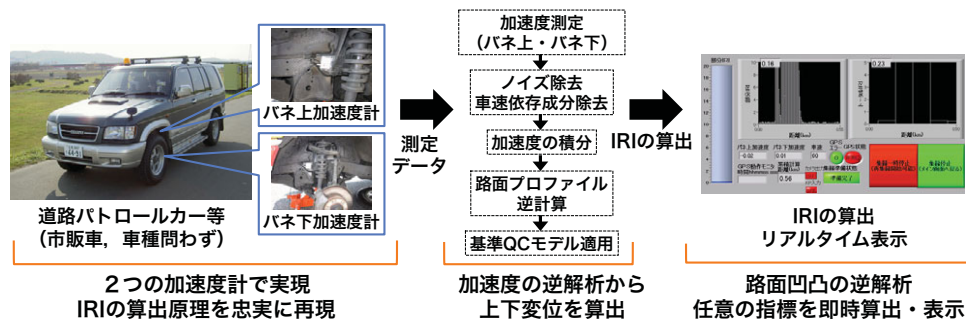
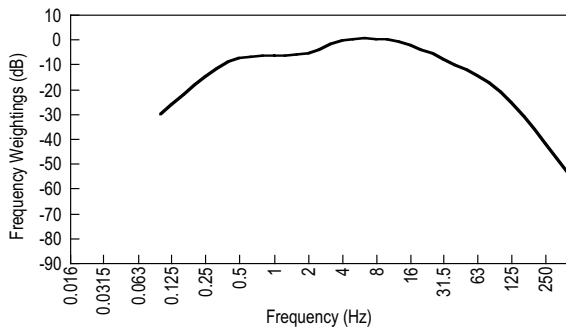


図-2 モバイルプロフィロメータ (MPM) の概要

図-3 座位および立位の上下方向における周波数荷重曲線⁸⁾

などの平坦性指標を算出する路面測定装置である⁵⁾。また、IRIは、平坦性の国際標準指標であり、IRI値と利用者評価値との相関関係から、路面補修の判断基準を求める研究が国内外を問わず行われている^{6),7)}。MPMの概要を図-2に示す。

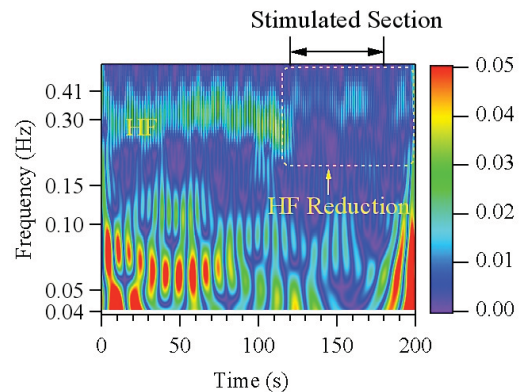
(2) 乗り心地の定量化

乗り心地評価は、一般に、車両バネ上振動に着目し、評価される。路面凹凸に起因する振動を、乗り心地の観点から評価する試みは、1930年以来数多くの試みがなされており、様々な評価基準や指標が提案されている。本研究では、代表的な振動評価法である、ISO2631-1(1997)で規格化された全身振動曝露基準⁸⁾を用いる。本規格による評価は、図-3に示す、人の受振感特性に基づく周波数荷重曲線により周波数補正された振動加速度の実効値により行われる。なお、ISO2631-1(1997)では、補正加速度の実効値を評価する際の基準値は規定されていないが、Annex Cに以下の目安が記されている。

- (a) Less than 0.315 m/s^2 : not uncomfortable
- (b) 0.315 m/s^2 to 0.63 m/s^2 : a little uncomfortable
- (c) 0.5 m/s^2 to 1 m/s^2 : fairly uncomfortable
- (d) 0.8 m/s^2 to 1.6 m/s^2 : uncomfortable
- (e) 1.25 m/s^2 to 2.5 m/s^2 : very uncomfortable
- (f) Greater than 2 m/s^2 : extremely uncomfortable

(3) メンタルストレスの定量化

アンケートによる舗装路面の乗り心地評価は、道路利用者の乗車感覚を直接測定できる反面、自己申告であることによる客観性の低さが、評価結果を定量化する上で

図-4 心拍変動の連続ウェーブレット変換結果⁹⁾
(カラースケールはウェーブレット係数の絶対値)

の課題となっていた。先行研究では⁹⁾、ドライビングシミュレータを用いた体感評価試験を実施し、代表的な生体信号である心拍変動の、連続ウェーブレット変換（以下、「CWT」）による高周波成分（0.15~0.40Hz）に着目することで、平坦性に起因するメンタルストレスの検出可能であることを明らかにしている。そこで、本研究では、心拍変動によりメンタルストレスの定量化を行う。図-4に、心拍変動のCWT結果例を示す。図中、スカログラムは、心拍変動の振幅と対応したウェーブレット係数の絶対値を表し、周波数は対数表示とした。ここで、120から180秒が平坦性低下区間であるが、区間中高周波成分の減衰が確認できる。メンタルストレスの定量化は、客観的かつ高精度な、平坦性に対する利用者評価の把握に寄与するものである。

4. デジタル道路地図を用いた評価結果の可視化

本章では、路面平坦性が利用者に及ぼす影響を、ネットワークレベルでモニタリングするため、デジタル道路地図データを利用し、前述の利用者評価に影響を与える三要因について、地図上で可視化する方法を提案する。なお、デジタル道路地図情報の利用にあたっては、世界標準GIS（地理情報システム）である、Esri社のArcGISを用いた¹⁰⁾。

(1) 平坦性情報の可視化

図-5に、MPMで測定したIRIの結果を示す。IRIは、北海道の人口約13万都市において、2011年11月に、

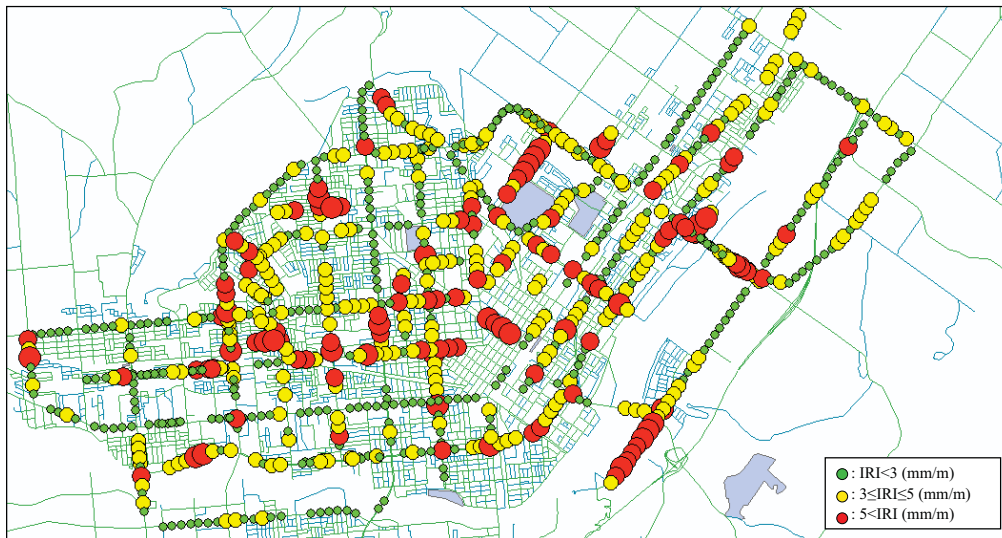
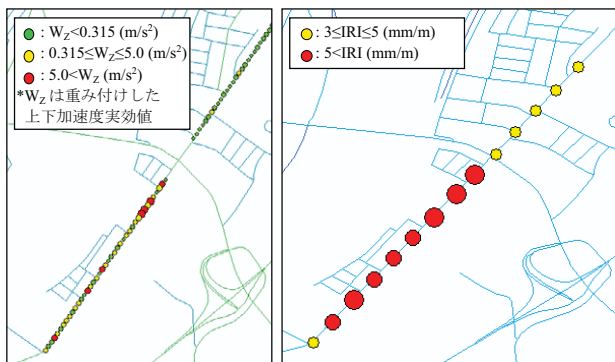


図-5 MPM を用いた IRI 測定に基づく平坦性情報の可視化



(a) 乗り心地評価結果

(b) 当該区間の IRI

図-6 ISO2631-1(1997)に基づく乗り心地情報の可視化

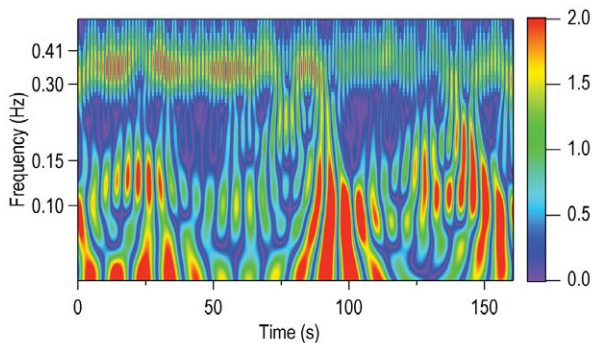


図-7 実路再現による体験試験から得られた心拍変動の連続ウェーブレット変換結果の一例 (カラースケールはウェーブレット係数の絶対値)

3 日間の調査で得られた 100m 区間の値である。図中、IRI 値の区分は、3 段階のレベルで表示しており、値に合わせポイントの大きさを変えてあるが、管理目的や道路区分に合わせて変更可能である。また、デジタル道路地図を用いることで、道路の管理区分や、車線数、幅員などの道路・交通情報ごとに、IRI データを表示可能である。このように、デジタル道路地図データを用い、IRI をマッピングすることで、道路ネットワークにおける平坦性レベルを把握することが可能である。

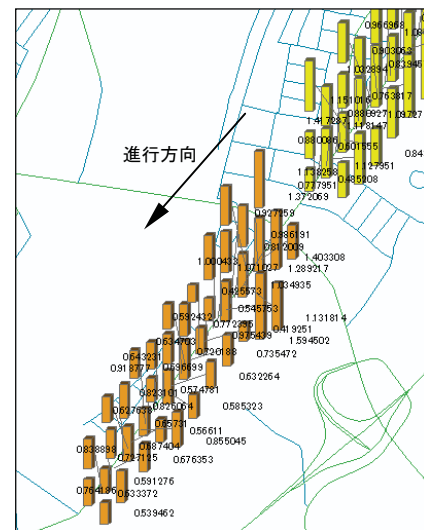


図-8 心拍変動測定に基づくメンタルストレスの可視化

(2) 乗り心地情報の可視化

デジタル道路地図を活用した、乗り心地評価について検討するため、図-5 のある一区間で車両振動加速度を測定した。車両振動加速度データは、排気量 2000cc クラスの乗用車（ステーションワゴン）の重心位置に設置したジャイロ計を用い、時速 40km 程度での走行時に取得した。得られた加速度は、上記の ISO2631-1(1997)に基づき、周波数重み付けを行い、10 秒（約 11m）毎に実効値を算出した。図-6 に、デジタル道路地図上での、乗り心地の可視化結果を示す。図中、当該区間の IRI 情報を併記した。なお、加速度区分は、ISO2631-1(1997)の Annex C を参照し、「not uncomfortable」の上限値 0.315m/s^2 および「fairly uncomfortable」の下限値 0.5m/s^2 を閾値とし設定した。図より、IRI が 3mm/m 以上 5mm/m 以下と、「表面の損傷、供用後の舗装」相当¹⁾箇所では、加速度実効値が 0.5m/s^2 以下、即ち乗り心地評価が「a little uncomfortable」もしくは「not comfortable」の範囲となった。一方、IRI が 5mm/m より大きい「大半に小さなくぼみ、損傷を受けた舗装」相

当¹⁾箇所では、加速度実効値が 0.5m/s^2 以上、即ち評価が「fairly uncomfortable」となる箇所が局在し、乗り心地の低下が確認できる。このように、加速度データと GIS を組み合わせることで、乗り心地情報を効率的にモニタリングできることがわかった。

(3) メンタルストレスの可視化

平坦性に起因する利用者のメンタルストレスを、デジタル道路地図上で可視化するため、上記 4 章(2)で測定した加速度データを、北見工業大学が所有する路面評価型ドライビングシミュレータに入力し、実路再現による体感試験を実施した。図-7 にドライビングシミュレータによる体感試験から得られた、心拍変動の CWT 結果の一例を示す。図より、90 秒を境に高周波成分が減衰し、メンタルストレスが生じていることが確認できる。特に、高周波成分のうち、0.3-0.4Hz において、減衰傾向が顕著である。そこで、この周波数帯域において、10 秒（約 11m）毎にウェーブレット係数の実効値を算出し、デジタル道路地図上にプロットした。その結果を、図-8 に示す。なお、心拍変動解析における評価閾値は研究段階であるため、特定の評価区分を設定せず、棒グラフによる表示とし、棒の重なりを避けるため左右にオフセットを設けた。図より、IRI および加速度実効値と必ずしも対応関係にあるわけではないが、概ね IRI および加速度が高い値の箇所もしくは通過後にメンタルストレスを生じていることがわかる。生体情報を用いた平坦性レベルの可視化は、今後の検討を要するが、利用者のメンタルストレスを客観的かつ高精度に把握できることから、利用者意識に基づく平坦性評価において貢献するものと期待できる。

5. まとめ

本研究は、デジタル道路地図データを利用し高効率な路面平坦性のネットワークモニタリングシステムの構築を指向し、利用者評価と関係の深い、(1) 平坦性情報、(2) 乗り心地情報、および(3) 生体情報によるメンタルストレスの可視化について検討したものである。本研究から得られた知見を以下に示す。

- MPM を用いて IRI データを収集し、デジタル道路地図上にマッピングすることで、道路ネットワークにおける平坦性レベルを効率的に把握することが可能である。
- 車両振動加速度の測定データに、ISO2631-1(1997)で規格化された振動評価基準を適用することで、加速度データと GIS を組み合わせた、乗り心地情報のモニタリングが可能である。
- 生体情報として心拍変動の CWT における高周波成分に着目し、デジタル道路地図上にプロットすることで、利用者意識に基づく平坦性評価に貢献するものと期待できる。しかし、生体情報を用いた路面評価における、高周波成分の閾値については今後の

検討を要する。

以上のように、デジタル道路地図データと GIS を組み合わせることで、平坦性が利用者評価に及ぼす影響を可視化し、ネットワークレベルで路面状況を把握できることがわかった。本研究成果を用いることで、社会資本の維持・管理時代にあつて、補修必要箇所および優先順位策定へ貢献するものと期待できる。

謝辞

本研究は、一般財団法人 日本デジタル道路地図協会の助成金を受けて実施したものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：社会資本整備重点化計画，<http://www.mlit.go.jp/common/000038075.pdf>, 2009.
- 2) 富山和也，川村 彰，石田 樹，中田孝一：地方自治体の舗装維持管理実態と市街地道路の簡易平坦性モニタリング，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.66, V-408, CD-ROM, 2011.
- 3) 富山和也，川村 彰：加速度計を用いたモバイルプロフィールメータによる市街地道路の路面モニタリング，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.67, V-309, CD-ROM, 2012.
- 4) 一般財団法人 日本デジタル道路地図協会：<http://www.drm.jp/index.html>, 2012.
- 5) Tomiyama, K., Kawamura, A., Nakajima, S., Ishida, T., and Jomoto, M.: A Mobile Data Collection System Using Accelerometers for Pavement Maintenance and Rehabilitation, Proceedings of 8th International Conference on Managing Pavement Assets (ICMPA), Paper No. 142, 2011.
- 6) Dahlstedt, S.: Smooth Enough? Estimated Roughness on Roads with Low International Roughness Index Values, Transportation Research Record, No. 1860, pp.144-151, 2003.
- 7) 熊田一彦，神谷恵三，七五三野茂：走行快適性に着目した舗装路面の総合評価手法に関する検討，舗装，Vol.43, No.7, pp.27-30, 2008.
- 8) ISO2631: Mechanical vibration and shock – Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration - Part1: General Requirements, ISO2631-1, 1997.
- 9) 富山和也，川村 彰，高橋 清，石田 樹：生体情報を利用した路面乗り心地に基づく舗装の健全度モニタリング，土木学会論文集 F3（土木情報学），Vol.67, No.2, pp.I_125-I_132, 2012.
- 10) Esri ジャパン：<http://www.esri.jp/products/arcgis/>, 2012.
- 11) 土木学会 舗装工学委員会 路面性状小委員会：舗装工学ライブラリー1 路面のプロファイリング入門 – 安全で快適な路面をめざして–，丸善，2003.