

お客様の車両から収集されるビッグデータを 活用した舗装路面状態推定技術の開発

小渕 達也¹・木村 陽介²

¹非会員 トヨタ自動車株式会社 先進車両技術開発部先進モビリティ開発室（〒471-8572 愛知県豊田市
トヨタ町1番地）

E-mail: tatsuya_obuchi@mail.toyota.co.jp

²非会員 トヨタ自動車株式会社 先進車両技術開発部先進モビリティ開発室（〒471-8572 愛知県豊田市
トヨタ町1番地）

E-mail: yohsuke_kimura@mail.toyota.co.jp.

我が国の道路インフラを長期的に安全に利用できるよう維持管理・補修を行う上で、舗装の劣化や損傷の状況を効率的に調査・把握することが課題となっている。こうした課題への対応として、IoTやビッグデータ等を活用した新たな技術開発が望まれている。今回、舗装維持管理コスト低減や効率化を目的として、当社のコネクティッドカー（車載通信機を搭載した車両）により収集・蓄積される、一般のお客様の走行データ分析に基づく舗装路面状態推定技術を開発した。本技術は、量産車両に標準搭載されたセンサーデータのみを用いることにより、広域かつ高頻度な点検が可能であることを特長とする。また、既存指標であるMCIとの高い一致性を示すなど、その実用性を確認した。

Key Words : *pavement management , IoT, connected car, big data, data science*

1. はじめに

我が国の全道路延長は約120万kmに及び、これらの維持管理および更新を適切な時期に実施する必要がある。国土交通省では、平成29年3月に舗装点検要領¹⁾を改定し、これまで舗装の定期点検を実施したことのない市町村でも実施することとしており、道路管理者はより効率的に調査・点検する方法が求められている。

既往研究によると、効率的な舗装点検の方法として、スマートフォン等の廉価な汎用端末にて収集したカーブロープデータ及び加速度等のセンサーデータを用いた舗装劣化箇所の抽出方法^{2) 3)}、車載カメラにより走行車両から撮影した画像または動画により舗装路面を評価する方法^{4) 5)}、あるいは各種センサーデータと画像を組み合わせる方法⁶⁾、さらにタイヤ/路面騒音と局在損傷の関連性から局在損傷を推定する方法⁷⁾などが報告されている。

しかしながら、いずれの方法も専用の機材を必要とする方法であり、調査車両を用意し、対象路線を走行調査する方式となっていることから、調査・測定機会や路線が限られる。ここで、広く一般の車両から得られたデータを解析することによって路面状況を推定することが可

能となれば、広域かつ継続的なデータ収集・分析が可能になるものと考えられる。

近年、車載通信機を搭載したコネクティッドカーの普及とともに、一般のお客様の走行データを収集することが可能となってきている。そこで、本研究では当社が提供するコネクティッドカーを通して収集・蓄積した一般のお客様の走行データから、路面状況を推定する分析技術を開発するとともに、舗装管理指数として用いられているMCI（Maintenance Control Index）との比較を行った。

また、コネクティッドカーサービスと本研究にて開発した路面状況推定技術に基づく道路保守点検支援サービス(図-1)を実用化したため、結果を報告する。

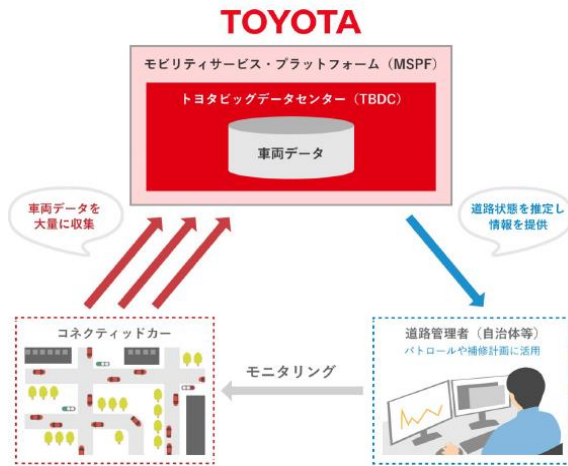


図-1 道路保守点検支援サービス

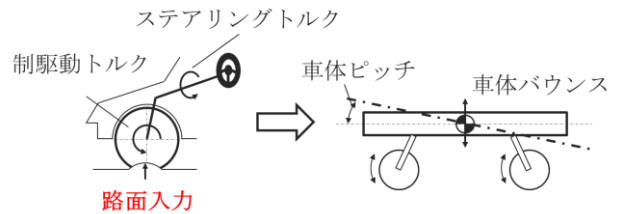


図-2 車輪速変動に影響を与える因子

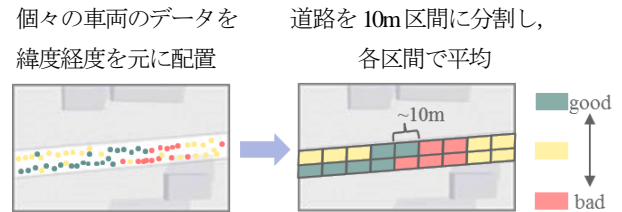


図-3 路面入力値の統計処理

2. 解析方法

路面の凹凸（ひび割れ等を含む）は、その程度に応じた上下方向の変位入力として、タイヤ接地面を介して車両に影響を与える。そのためタイヤ接地面への上下入力を含む信号を同定し、定量化すれば、路面凹凸の程度を適切に評価することが可能となる。

一方、ばね上制振制御等に必要車両姿勢推定の手法として車輪速センサーを用いる方法がある。この方法は、車両への入力（ステアリングトルク、制駆動トルク、路面入力）や、これにより励起される車両姿勢変動（ピッチ、バウンス）の影響を受けて車輪速が変動することに着目し（図-2）、後者の寄与から実際の車両姿勢を推定する。本検討では、このうち路面入力による変動を抽出することで、路面凹凸推定に用いることが可能と考え、その方法を考案した。すなわち、ドライバー操作特性に着目し、これに起因する成分を除去した。また、車両諸元に基づき、車両姿勢変動成分も除去することにより、路面入力による変動成分のみを得ることが出来た。

上記過程の適用に先立ち、不要なデータを除外する処理も行った。実際の走行では、公道走行以外にも、店舗や駐車場等への立ち寄りに伴う歩道乗り上げなどが想定される。このようなシーンで発生する入力は、舗装路面の凹凸とは無関係であり、予め分析対象から除外する必要がある。その方法として、ブレーキやステアリング等の操作情報を用いることも可能であるが、使用するデータ種類の削減やロジックの簡易性を考慮し、低速のデータを除外する方法を採用した。上記シーンでは通常、十分に減速するため、車速に閾値を設定することで概ね対応可能と推定した。減速が不十分なデータは相対的に発生頻度が低く、後述の平均処理で影響を無視することが出来る。

続いて、得られた処理済みデータに対して、図-3に示

す処理を行った。路面損傷の発生形態や発生個所は様々であるため、4輪全てのデータを用い、その最大値を当該走行地点における、当該トリップにより推定された路面入力値とした。車両の位置同定には、GPSの緯度・経度値を用いた。同様の処理を、膨大なトリップデータに対して行った。このようにして、コネクティッドカーが走行した路線上に、路面入力値が稠密に付与された。引き続き、付与された路面入力値を、道路管理者に有用な指標値とするための処理を行った。道路点検結果に基づき行われる補修作業は、小規模のものでも10m程度の区間に渡って実施するため、同程度の区間長に対して路面凹凸の程度を示す指標値を付与することで補修の優先度評価に活用することが出来る。そのため、今回は、道路を10mの区間に分割し、各区間内に含まれる多数の路面入力値の平均値を当該区間の路面凹凸指標値とした。

3. 結果と考察

路面凹凸指標値の妥当性を検証するために、道路管理者提供の補修履歴情報に基づき、補修の前後それぞれ1週間分のデータを用いた分析を行った。図-4に示すように、具体的な対象路線として、（都）平戸橋水源線（4種1級、供用年次：S58年、補修履歴：H29年/R元年、舗装種別：アスファルト密粒度、24h交通量：14793台 H27年調査、大型車混入率：7.9%）を選定した。その結果、補修前後で指標値が改善する傾向が確認された（図-5）。分析に使用された走行台数は補修前が延べ77台、補修後は延べ114台であった。その他の複数の路線に対しても同様の結果を得た。

続いて指標値の定量性を検証するために、現在道路の

路面性状調査に広く用いられているMCI (Maintenance Control Index) との比較を行った。MCIは、C : ひび割れ率(%), D : わだち掘れ量(mm), σ : 平坦性(mm)の3指標を用いて、下記(1)~(4)式より算出される値のうち、最小値として求められる。

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \quad \dots(1)$$

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7} \quad \dots(2)$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3} \quad \dots(3)$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54D^{0.7} \quad \dots(4)$$

図-6に示すように、対象路線として(一)細川豊田線(舗装種別:アスファルト密粒度, 24h交通量:8266台 H27調査, 大型車混入率:4.8%)を選定した。図-7に比較結果を示した。おおよそ1kmに渡って比較を実施し、相関係数0.65で一致することを確認した。但し、現時点では路面凹凸指標値に反映されていないわだち掘れ量の寄与に関しては、MCIから影響を除外した。

本指標値を用いたサービスの社会実装による有用性を確認するため、実際の道路管理者である豊田市役所と連携し、実証実験を行った。その際、図-8に示すように、指標値を地図上に可視化するための試作システムを開発し、提供した。その結果、従来のMCIでは測定対象外で目視点検に依存していた生活道路も含めて、同一指標値を用いた路面状況の一元把握が可能となり、これに基づく修繕計画の立案が可能であると判断され、実用化に至った。



図-4 (都) 平戸橋水源線



図-6 (一)細川豊田線

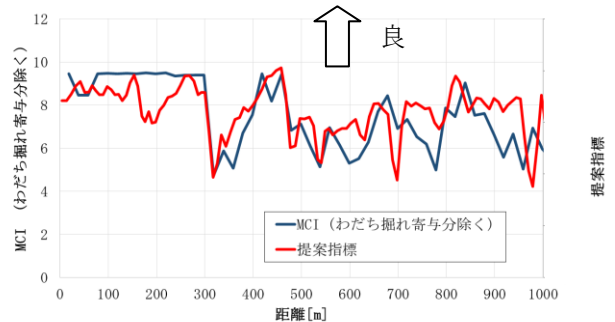


図-7 路面凹凸指標値と実測MCI値の比較

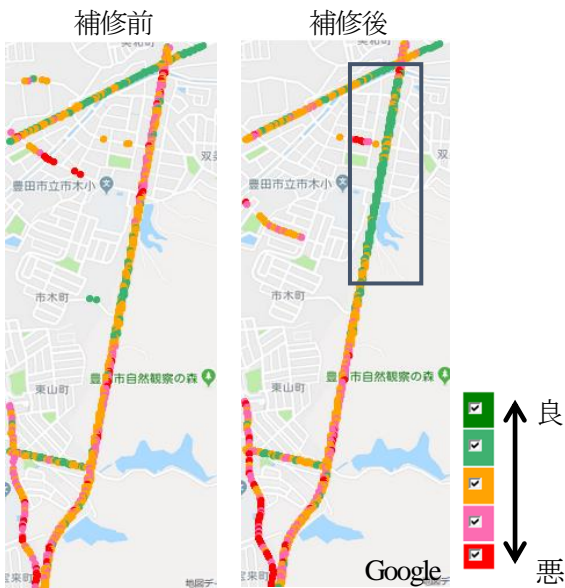


図-5 道路補修前後の路面凹凸指標値の変化

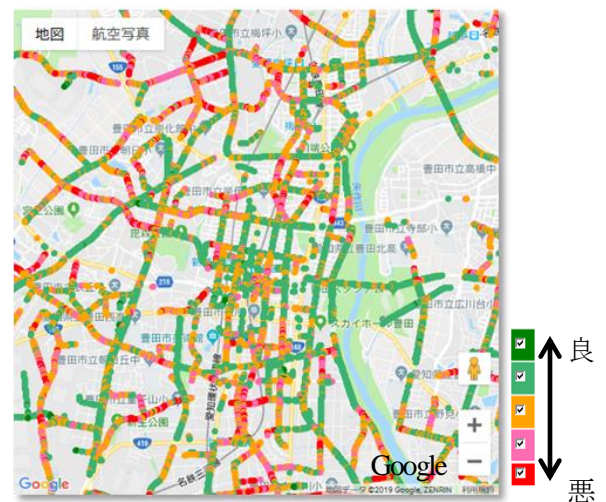


図-8 路面凹凸指標値の分布図(豊田市の事例)

4. 道路維持管理行政への活用可能性の考察

(1) 舗装路面の広域かつ高頻度な現況把握

現状は、専用の舗装性状調査車両により各種データを取得し、舗装路面の状態を把握することができるが、調査コストがネックとなっており、一般的に調査対象道路や調査年次（間隔）は限られていることが多い。

本研究にて提案する路面凹凸指標値の実用化により、全国のコネクティッドカーの走行データから、生活道路を含むより多くの路線の現況を、方向別かつ高頻度で把握することができる。

(2) より解像度の高い舗装路面の現況把握

本研究では、路面凹凸指標値を10m四方の範囲における平均値としてアウトプットしたが、例えば、車線別や数mピッチ等、細かい範囲に対しても路面凹凸指標値を出力できるため、ピンポイントで路面の劣化箇所を特定できたり、車線ごとに補修工事を計画・実施できるなど、より効率的なメンテナンスに役立つものと考えられる。

(3) 路面補修工事の整備効果把握

路面凹凸指標値は常時取得できるデータのため、補修工事の前・後にて比較分析することで、路面がどの程度改善したか、という工事の整備効果を把握することができる。使用材料や工法の違いによる効果量の比較やその後の効果継続についても、データを継続的に取得することにより確認が可能となる。ライフサイクルコストを考慮した、より効果的な補修工事を検討するための重要な基礎資料に資することが期待できる。

(4) 災害時における道路被害状況の把握

大規模災害発生時等に、道路の通行実績情報をプローブ情報から生成し、一般の道路ユーザーに情報提供する取り組みは、弊社をはじめとして既にいくつかの組織・機関で実施されている。このような通行実績情報に、本研究で提案する路面凹凸指標値を組み合わせることで、より安全に通行できる道路の情報を提供することができる。さらに、舗装の被災箇所（段差発生箇所など）を把握することができるため、発災後の現地調査・現地点検や復旧工事などの実施にあたって有用な情報になると考えられる。

5. 分析課題と今後の展望

(1) ケーススタディの蓄積

本研究では、(一) 細川豊田線の一部区間で、実測のMCI値とコネクティッドカーデータから算出した路面凹

凸指標値の比較検証を行い、実測のMCI値との相関性を確認した。

ただし、当該結果は特定路線における検証であり、今後、規格の異なる道路や舗装構成、使用材料などの条件が異なる道路においても同様の調査・検証を行っていくことが課題である。

(2) 経年劣化データの把握と予測技術開発

本研究で提案した路面凹凸指標値は、24時間365日走行している車両から取得されているデータのため、例えば、月別の指標値の推移などをトレースすることも可能である。

こうした特長を活用して、路面凹凸指標値を用いた路面の劣化状況の推移・予測を実現するための研究が必要であると考えている。舗装構成や使用材料、交通量・大型車混入率、補修履歴などの条件ごとに、路面凹凸指標値の推移を分析することで、路線・区間ごとに劣化の特性を把握できる可能性がある。また、これらの特性に基づく将来の劣化予測手法の開発が今後の課題である。

こうした研究により、道路の路線別・区間別・方向別に劣化状況が把握できた場合、ライフサイクルコストを最小化するための戦略的な補修工事の実施時期検討が可能になると期待できる。

(3) 新たな解析手法適用と路面状況推定技術の高度化

本研究では、車輪速センサーのデータを解析してMCIとの比較を行ったが、新たな解析手法の適用によって、より詳細に路面状態を推定できる可能性がある。

具体的には、ディープレニング等を活用して、路面劣化やマンホールの蓋などの様々な路面凹凸の要因を分類することが今後の課題である。これらの技術の実現により、舗装の維持・補修に関する基礎データのみならず、日常の点検業務にも利活用できるデータとなることが期待できる。

(4) 効率的・効果的な維持補修計画の立案

現状は、5年ごとの路面性状調査に基づき、将来5カ年の補修計画を策定する自治体（道路管理者）が多いと推察される。

本研究により開発された路面凹凸指標値を利用することで、まず広域的かつ高頻度に現況把握できることから、真に補修が必要な道路が把握できるとともに、その補修が必要な方向・区間も特定できる。さらに、(2)に示した劣化状況の予測技術の研究により、将来複数年にわたる補修計画を方向別・区間別に立案することが可能となれば、より効率的・効果的な路面維持補修の実現に資するものと期待できる。

参考文献

- 1) 国土交通省：舗装点検要領，2017.
- 2) 今井龍一，石田大輔，松島敏和，池本智，中西良成：カープローブデータを用いた舗装劣化箇所抽出手法の検証，ファジィシステムシンポジウム講演論文集 34(0)，637-638，2018.
- 3) 渡部大輔，八木浩一，牧野浩志：スマートフォンのセンサーデータ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，土木計画学研究発表会・講演集 Vol.52，土木学会，2015.
- 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，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ータ
- 6) 武俊章，溝部和広，安村成史，宮本文穂：走行映像と車内走行音および車両振動を用いた舗装路面簡易評価システムの開発，土木学会論文集 F4（建設マネジメント）Vol.69 No.1，12-31，2013.
- 7) 岡部俊幸，大嶋智彦，川村彰，富山和也：タイヤ/路面騒音を活用した路面の局在損傷の評価方法に関する研究，土木学会論文集 E1（舗装工学）Vol.73 No.3，I_107-I_114，2017.

(2019.10.? 受付)

DEVELOPMENT OF ROAD SURFACE CONDITION ESTIMATION METHOD USING BIG DATA FROM CUSTOMER'S VEHICLES

Tatsuya OBUCHI, Yosuke KIMURA

In order to maintain and repair road infrastructure so that it can be used safely over the long term, it has become an issue to efficiently investigate and grasp the state of road degradation and damage. In response to this issue, new technology (IoT, big data and so on) is desired. This time, with the aim of reducing road maintenance management costs and improving efficiency, we developed a technology for estimating road surface condition based on analysis of big data collected and stored by connected cars. The feature of this technology is that it can be inspected over a wide area and with high frequency by using only the sensor data standardly installed in mass-produced vehicles. In addition, we verified the consistency with MCI and confirmed the practicality of services using this technology.