

スマートフォンを用いた路面状況変化の検知手法

野村智洋^{†1} 牧野友哉^{†1} 白石陽^{†2}

近年、携帯端末の中でも、GPS (Global Positioning System) や加速度センサなどの様々なセンサを搭載したスマートフォンの普及が進んでいる。そのような携帯端末を利用することで、粒度が高く多種多様な情報を大量かつ容易に収集することが可能となってきた。このような情報をネットワークを介して共有し、新たな情報を生成するプローブ情報システムが注目されており、現在、交通情報や環境情報の共有に活用されている。本稿ではこのように共有される環境情報の中でも、自動車の快適な運転や乗り心地に関わるものとして、路面状況に着目する。路面状況は変化するものであるため、特に冬期においては「轍が発生した」などという事実も共有する必要がある。既存研究として、固定カメラや車載カメラ、加速度センサを利用した研究が存在するが、導入コストの削減やロバスト性の向上、路面状況の変化の検知ができないなどの課題がある。そこで、本稿ではスマートフォンを用いて路面状況を推定し、路面状況変化を検知する手法を提案する。提案手法では、自動車に設置したスマートフォンのセンサを用いて路面状況を推定し、過去の推定結果と比較することで路面状況の変化を検知する。提案手法を実装し、その有効性について検証する。

A method for detecting changes of road surface conditions with a smartphone

TOMOHIRO NOMURA^{†1} TOMOYA MAKINO^{†1} YOH SHIRAISHI^{†2}

1. はじめに

近年、MEMS (Micro Electric Mechanical Systems) 技術の発展により小型化・高性能化されたセンサは、現在では私たちの身の回りの様々なものに組み込まれている。特に、車や携帯電話にセンサを組み込むことで車や人を広い意味でのセンサと見立て、周囲の環境情報を収集するモバイルセンシングの分野の研究が盛んに行われている。また、携帯電話の中でもスマートフォンの普及率は現在世界的に上昇しており、今後、更に普及していくと考えられている。スマートフォンには加速度センサやジャイロセンサなどをはじめとする約 10 種類以上のセンサや GPS が組み込まれている。そのため、スマートフォンを利用することで粒度が高く、多種多様な情報を大量かつ容易に収集でき、利便性の高いシステムを低コストで実現できると考えられている。このように、人が持つセンサや自動車に搭載されているセンサを介して収集される情報をプローブ情報と呼び、プローブ情報をネットワークを介して共有し新たな情報を生成するシステムをプローブ情報システムと呼ぶ[1]。従来の固定機器によるセンシングは、機器が設置されている地点での情報のみ収集可能であり、収集範囲を拡大するためには固定機器の個数を増やす必要があった。一方、プローブ情報システムは、ビーコンなどの固定機器の設置の必要がなく、街中を動きまわる歩行者や自動車をセンサに見立

て、情報を収集するという特徴から、様々な環境情報を細かく大量に収集することができる[2-4]。本研究ではこのような環境情報の中でも、自動車の快適な運転・乗り心地に関わる路面状況に注目する。

路面状況の中でも快適な運転・乗り心地に大きく関係するものとして、路面段差 (点の情報) や道路状態 (線の情報) などが挙げられる。特に冬期においては、積雪や路面凍結の影響により、そろばん道路と呼ばれる路面に凹凸が発生する状態になる。さらに、日中の気温の上昇により雪道に轍が発生し、夜間になり気温が下がると轍が凍ってしまい、非常に走行し難い道路となってしまうこともある。このように、路面状況は同一の道路であっても季節や時間帯によって変化する。そのため、現在の路面状況を正確に把握するためには、路面状況が「変化した」という事実の検知も必要である。路面状況をプローブ情報として大量に収集し、工事などの理由により一時的に路面状況が変化している区間が検知できれば、その区間を通らないようナビゲーションすることも可能になる。さらに冬期においては、除雪車によって整備された道路とそうでない道路の区別や、一時的に発生した轍などの路面状況を知ることでもできる。また、現在の路面状況を正確に推定することができれば、路面状況の変わりやすい道路を把握することができ、より路面状況の良い経路を選択して走行するといったことも可能になると考えられる。

しかし、既存の路面状況推定に関する研究では、固定機器の設置や車載カメラの導入が必要であるため、そのコス

^{†1} 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

^{†2} 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

トの削減が課題となっている。また、前述の通り、路面状況は季節や時間帯により変化するものであるため、路面状況を正確に把握するためにはその変化についても考慮しなければならない。そこで本研究では、現在普及が進んでいるスマートフォンを利用することで導入コストを削減し、路面状況が変化したという事実を推定する手法を提案する。提案手法では、自動車が道路を走行した際の上下方向加速度から分散値を計算し、その分散値の違いによって道路を3つのレベルに分類する。また、道路ごとに推定を行うために、道路を交差点から交差点間を結んだセグメントに分割し、そのセグメント毎に路面状況の推定を行う。さらに、推定結果をデータベースに蓄積し、過去の季節や時間帯が類似したデータと比較することで、路面状況の変化の検知を実現する。

2. 関連研究

本章では、路面状況推定の関連研究について述べる。固定カメラを用いた路面状況推定、車載カメラを用いた路面状況推定、加速度センサを用いた路面状況推定について説明し、最後に関連研究の課題をまとめる。

2.1 固定カメラを用いた路面状況推定

路面状況の推定にカメラを利用している研究がある[5]。文献[5]では、固定カメラによる偏光特性を利用して路面状況の推定を行っている。この研究では、道路上の柱に固定機器を取り付け、ストロボ照明により路面を照射しその反射光を CCD カメラにより撮像し、画像処理を行うことで路面状況を推定している。照明を照射する時としない時とで連続的に撮像し、両者を差分処理することで照明による画像のみが得られ、昼夜や影の影響がなく安定してセンシングを行うことが可能となっている。このセンサを利用し、反射光の量や路面温度により路面状況を4つに分類(乾燥, 湿潤, 積雪, 凍結)している。4分類の特徴を、路面反射光の正反射量, 明るさ, 路温に着目すると、表1のように分類できると想定し、実験を行っている。

表1 各路面状況の特徴(文献[5]より引用)

	正反射量	明るさ	路温	特徴
乾燥	小	小	-	やや暗く均一
湿潤	大	小～中	-3℃以上	正反射大
凍結	大	小～中	-3℃未満	正反射大
積雪	小	大	-	明るく均一

文献[5]の提案手法では、路面状況推定のための固定カメラを導入する必要があるため、今後システムを普及させていくにあたりシステムの導入コストの削減が課題となる。また、路面状況の推定は固定カメラの設置されている道路に限られてしまうため、その推定粒度の低さも大きな課題となる。

2.2 車載カメラを用いた路面状況推定

近年、画像処理技術の発展に伴い、カメラの搭載された車が増加傾向にある。車に載せて使うカメラを車載カメラといい、現在様々な応用が検討されている[6-9]。文献[6]では車載カメラ画像の輝度特徴による路面状況検知を行っている。この研究では、「路面が照っているならば路面の摩擦係数は低い」と仮定し、自動車前方を映すカメラから得られる輝度信号のみを用いて、路面の光沢度から路面状況を検出する方法について検討している。

乾燥した路面においては、太陽などの照射光は表面で散乱し、カメラで撮像された輝度信号は低輝度レベルと高輝度レベルの差が小さくほぼ一定となる。一方、路面上が濡れているときは、路面が水で覆われ鏡面となる。しかし、実際の濡れた路面は鏡面の部分が一樣に分布しないため、反射光を撮像した輝度信号は低輝度レベルと高輝度レベルとの差が大きな信号となる。

このような反射光による輝度信号の違いを利用し、走行車両前方の路面の乾湿判定を行っている。この手法では固定機器ではなく車載カメラを用いているため、文献[5]の課題として挙げられていた導入コストの削減と推定粒度の低さの問題は解決できると考えられる。しかし、文献[6]では、太陽光などの照射光を利用しているため、曇りなどの反射光を得られない場合に推定ができない。また、車載カメラを用いているため、悪天候時や夜間などにも推定が困難になってしまう。外界の影響を受けずに、安定した推定を行うロバスト性の向上が今後の課題となる。

2.3 加速度センサを用いた路面状況推定

スマートフォンの加速度センサを用いて、路面上の凹凸を検知する手法に関する研究がある[10,11]。文献[10]では、スマートフォンを自動車のダッシュボード上に設置し、通常通り走行するだけで路面段差が観測できる手法について述べている。路面の平坦性の指標である IRI (International Roughness Index, 国際ラフネス指数) と、1秒間に観測された上下方向加速度の RMS (Root Mean Square, 二乗平均平方根) の間に相関があることから、路面段差の高さと路面段差の長さを推定する手法を提案している。車両の上下方向変位量を上下方向加速度の二重積分により推定し、段差高として定義している。さらに、その間の進行方向の移動距離を段差長として定義し、これを GPS の測位データから推定している。提案手法による段差推定結果と段差目視確認の関係を図1に示す。段差推定結果の段差高を青丸の直径で示し、オレンジの丸で目視、体感での段差位置を示している。オレンジの丸はすべて同じ直径で描かれている。



図1 改良手法による段差高分布と目視確認の関係
(文献[10]より引用)

文献[10]では、スマートフォンを用いることで低コストかつ迅速な路面段差の調査を可能としている。しかし、同乗者がほとんど体感しなかった段差が検知されてしまったり、大きな段差を体感したが検知されないといった場合もあるため、推定精度の向上という課題が挙げられている。また、このような段差マップだけでは、路面状況が季節や時間帯によって変化することがわからない。特に冬期においては、常に路面状況の悪い道路なのか、一時的に路面状況が悪くなっているのか、また、その路面状況の変わりやすさという情報も経路選択には重要な情報である。そのような情報も含めた路面状況の推定が課題となる。

2.4 まとめ

本章で紹介した関連研究に関して、各手法の利点・欠点をまとめたものを表2に示す。

表2 路面状況推定に関する各手法の利点・欠点

手法	推定対象	推定精度	導入コストと推定粒度	ロバスト性	路面状況変化の検知
固定カメラを用いた手法[5]	路面 乾湿	○	×	○	-
車載カメラを用いた手法[6]	路面 乾湿	○	○	×	-
加速度センサを用いた手法[10]	路面 段差	×	○	○	×

○：可，×：不可

道路上の柱に固定カメラを設置する路面状況推定では、機器の導入コストや推定粒度の低さが問題となっていた。車載カメラを用いた路面状況推定では、固定カメラを用いた場合に比べ導入コストや推定粒度の問題は解決されてい

た。しかし、悪天候時や夜間には推定が行えないといった問題点が挙げられる。また、加速度センサを用いた路面状況推定では、路面の乾湿などの路面状況の推定は行えていないが、段差の高さと長さの推定を実現している。スマートフォンを用いて推定を行っているため、導入コストや推定粒度、ロバスト性の問題を解決できている。しかし、路面状況が常に悪い道路なのか、季節や時間帯などの原因によって路面状況が悪くなっているのか（例：轍）など、路面状況の変化も考慮に入れた推定は行えていない。

そこで本研究では、スマートフォンを利用することで導入コストの削減および推定粒度の向上を図り、ロバスト性の問題を解決するとともに、時々刻々と変化する路面状況をリアルタイムに把握する推定手法を提案する。また、推定結果を蓄積し過去のデータと比較することで、路面状況の時間変化を把握する。

3. 提案手法

本章では、既存研究の課題に対するアプローチと研究目的を述べ、提案手法のシステム構成とその詳細について述べる。

3.1 研究目的とアプローチ

既存研究の課題として、固定カメラを用いた手法では導入コストの削減と推定粒度の低さが、車載カメラを用いた手法ではロバスト性の向上が挙げられていた。また、加速度センサを用いた手法では、常に路面状況の悪い道路なのか一時的に悪くなっているのかという情報までは推定できていない。これらの課題を解決し、路面状況の変化も考慮した推定を実現するためには、走行ログデータを低コストかつロバスト性に優れた手法で収集し、過去の推定結果と比較を行う必要がある。

そこで、本研究では現在普及率が高く、小型化・高性能化が進んでいるスマートフォンの内蔵センサを利用して走行ログデータを収集する。収集すると同時に、その走行ログデータのみを用いて路面状況を推定する。さらに、推定結果をデータベースに蓄積し、過去データとの比較を行うことにより路面状況の変化を検知する手法を提案する。現在スマートフォンには様々な種類のセンサが組み込まれており、このセンサを利用して収集した走行ログデータは非常に有用性が高い。また、スマートフォンにはオーディオプレイヤーとしての機能やナビゲーションアプリなども備わっているため、運転中に自動車の車内に設置して利用されることも多い。そのため、走行ログデータを収集する際のドライバーへの負担も軽減することができると考えられる。さらに、スマートフォンのセンサはカメラに比べて天気や時間帯などの外界の環境に影響されずに利用可能であり、ロバスト性の高い走行ログデータが収集できる。以上の理由により、スマートフォンを用いることで低コストか

つロバスト性に優れたセンサデータの収集が可能であると
考えられる。

本研究では、スマートフォンを用いて収集した走行ログ
データを利用し、路面状況の推定を行うとともに過去デー
タとの比較を行い、路面状況の変化を検知することを目的
とする。

3.2 システム構成

スマートフォンに内蔵されている加速度センサおよび
GPS を利用し、自動車の車内にスマートフォンを設置して
走行することで走行中の車両の上下方向加速度、位置情報
（緯度、経度）を時刻とともに収集する。収集した走行ロ
グデータはデータベースに蓄積し、蓄積されたデータをも
とに路面状況の推定および路面状況の変化の検知を行う。
提案手法を実現するためのシステム構成を図2に示す。

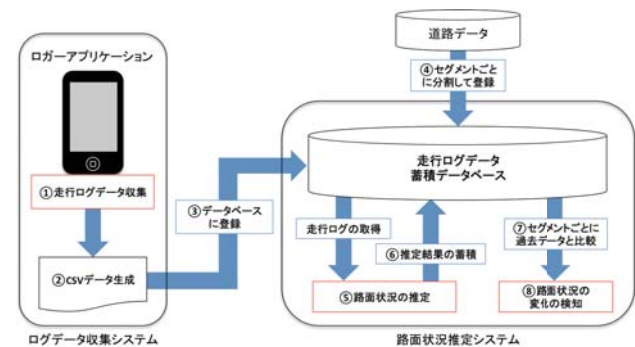


図2 システム構成

まず、スマートフォンに内蔵されている加速度センサお
よび GPS を利用し、車両の上下方向加速度、位置情報、日
付、時刻を取得する（①）。取得した走行ログデータをもと
に CSV データを生成し、データベースに登録する（②、③）。
路面状況推定の前準備として、道路を交差点から交差点毎
などのセグメントに分割し、そのセグメント情報から道路
セグメントテーブルの生成を行い、データベースに登録す
る（④）。そして、走行ログデータを利用し路面状況の推定
を行い、その推定結果を日付や時刻とともに、セグメント
の属性データとして登録する（⑤、⑥）。最後に、現在の推
定結果と過去の推定結果をセグメント毎に比較し、路面状
況の変化を検知する（⑦、⑧）。

3.3 路面状況の推定

本節では、3.2 節のシステム構成の中でも主となる、ロ
グデータの収集、路面状況の推定、路面状況の変化の検知
について説明する。

3.3.1 ログデータの収集

車両のダッシュボードに取り付けられた車載ホルダーに
スマートフォンを設置し、走行ログデータを収集する。収

集するログデータは、日付、時刻、3 軸加速度センサ値、3
軸ジャイロセンサ値、車速、緯度、経度、方位である。こ
れらのデータを観測周期 100[Hz]で収集する。データの記
録は CSV 形式で行い、記録された CSV データはスマート
フォンのメール機能を介して、走行ログデータ蓄積データ
ベース中のログデータテーブルに登録される。表3に、ロ
グデータテーブルの構造を示す。

表3 ログデータテーブル構造

属性名	説明	属性名	説明
id	ログ ID	pitch	3 軸 ジャイロ センサ値
date	日付	roll	
time	時刻	yaw	
accx	3 軸 加速度 センサ値	speed	車速
accy		lat	緯度
accz		lon	経度
		direction	方位

このように収集したログデータの中でも、路面の凹凸が
車体に及ぼす影響が最もログデータに現れる値として、本
研究では上下方向加速度に注目する。車内にスマートフォ
ンを設置して走行した際、車両が上下に揺れた場合にはス
martフォンの加速度センサの値も大きく変化する。そこ
で、加速度センサ値の変化を用いて路面状況を推定する。

3.3.2 道路状態の推定

路面状況には様々なものが存在する。その中でも快適な
運転や乗り心地に関わるものに着目すると、点の情報と線
の情報の2つに分類することができる。点の情報はマンホ
ール通過時や路面段差通過時など、ある地点での局所的な
変化が予想される。このような点の情報に関しては、既存
研究[10]の中で検知する手法について述べられていた。一
方、道路を交差点から交差点などの単位で見た際に、その
区間の道路が揺れの少ない道路であるか、揺れが多く乗り
心地の悪い道路であるかなどの、道路状態に関する推定手
法は既存研究では述べられていない。それぞれの道路の路
面状況がどの程度なのかを把握することで、道路状態の悪
い道は通らない経路選択や、走行ルートの変更などのナビ
ゲーションに役立てることができると考えられる。そこで
本研究では、線の情報である道路状態を悪路レベル 0～2
の3段階に定義する（表4）。

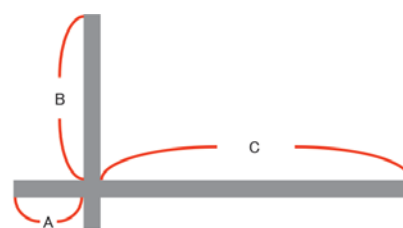
表 4 道路状態の分類・特徴

道路状態の分類	特徴	連続的な揺れの 大きさ
悪路レベル 0	平坦で、揺れはほとんど 感じない道路。	小
悪路レベル 1	アスファルトの接目や ひび割れによって、 揺れを所々感じる道路。	中
悪路レベル 2	砂利道のように、揺れが 激しく続くような道路。	大

これらの道路状態は、路面段差のように局所的な車両の動きではなく、交差点から交差点までなどのように一定区間を走行しながら観測を行った際に差異が現れると考えられる。それぞれの悪路レベルの揺れの大きさを考慮すると、レベル 0 の道路を走行した場合、揺れは少ないため上下方向加速度値のばらつきはあまり見られないと予想できる。しかし、レベル 1 の道路を走行した際には少々のはらつきが、レベル 2 の道路の場合にはばらつきが非常に大きくなると予想できる。そこで、ある一定区間中の上下方向加速度の時系列の分散値を算出し、閾値を設けることによって 3 つのレベルのいずれに該当するかを推定する。閾値を用いて推定を行う場合、一定の距離毎に推定を行わなければ、分散値の計算を常に同じ条件のもとに行うことができない。しかし、実際の道路の長さは様々であり、ドライバーが走行するルートも様々である。また、3.3.3 項で述べる路面状況の変化の検知を行うためには、常に同じ区間同士の推定結果を比較する必要がある。そこで、本研究では道路を交差点から交差点毎のセグメントに分割する。データベースに各セグメントの ID や始点・終点の位置情報を格納した道路セグメントテーブルを作成し、これを用いてセグメント毎に推定を行う。さらに、セグメントの長さが異なっている問題を解決するため、セグメントを一定距離のさらに細かいセグメントに分割し、その分割セグメント毎に推定を行う。表 5 にセグメントテーブルの構造を、図 3 にセグメントの分割イメージおよびセグメント内での推定イメージを示す。

表 5 セグメントテーブル構造とデータ例

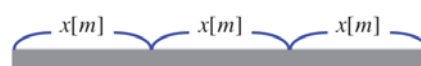
属性名	seg_id	str_lon	str_lat	end_lon	end_lat
-	1	41.843252	140.768283	41.840409	140.767791
-	2	41.826011	140.761798	41.825111	140.76839
-	...	...	...	...	...



(a) セグメント分割イメージ



(b) セグメントAにおける推定



(c) セグメントBにおける推定



(d) セグメントCにおける推定

図 3 セグメントの分割イメージと推定イメージ

実際の道路は、図 3(a)のように交差点から交差点までの距離が様々である。そこで、分散値の計算を $x[m]$ 毎に行う場合、図 3(b),(c), (d)のようにセグメント内で $x[m]$ 毎の計算を、セグメントの長さに達するまで繰り返す。分散値の計算間隔である $x[m]$ の決定については 3.4 節で詳細に説明する。 $x[m]$ 毎の悪路レベルの推定結果はすべて 0, 1, 2 の整数値 (0:悪路レベル 0, 1:悪路レベル 1, 2:悪路レベル 2) で出力するものとする。ここで、セグメント内での分散値の計算順序を i 、 $x[m]$ 毎の推定結果を $Var(i)$ 、セグメント内での分散値の計算回数を n 回、各セグメントの ID を seg_id とすると、式(1)によって各セグメントの推定結果 $Est(seg_id)$ を決定する (小数点以下は四捨五入)。

$$Est(seg_id) = \frac{\sum_{i=1}^n Var(i)}{n} \quad \cdots(1)$$

このようにして決定した推定結果 $Est(seg_id)$ を、データベース内の推定結果蓄積テーブル内に、推定結果 ID や日付、時刻と合わせて登録する。推定結果蓄積テーブルのテーブル構造を表 6 に示す。

表 6 推定結果蓄積テーブル構造とデータ例

属性名	est_id	seg_id	date	time	estimation
-	1	1	2012/03/20	12:09:40:666	0
-	2	1	2012/03/29	13:11:54:789	2
-	...	...	...	...	...

このようにして、常に同一の閾値によって、任意の長さの道路の道路状態を推定する。また、セグメント単位での

推定結果を登録することで、3.3.3 項で説明する、同一区間同士での推定結果の比較が可能となる。

3.3.3 路面状況の変化の検知

道路状態の推定（3.3.2 項）により得られた、推定結果蓄積テーブルを用いて、路面状況の変化を検知する。推定結果蓄積テーブル内において、セグメント ID が同一かつ時間帯の過去データが存在した場合、推定結果の比較を行う。時間帯は、0 時～8 時、8 時～16 時、16 時～24 時の 3 通りとする。

推定結果の比較は、次のような手順で行う。セグメント ID と時間帯が一致した過去の推定結果の数を n 、それぞれを蓄積された順に 1, 2, ..., i とする。推定結果を $Est(i)$ とし、過去の推定結果の平均 $Past_Est(seg_id)$ を式(2)により求める（小数点以下は四捨五入）。

$$Past_Est(seg_id) = \frac{\sum_{i=1}^n Est(i)}{n} \quad \dots(2)$$

推定結果を参照する過去の範囲（1 ヶ月、1 週間、1 日など）はできるだけ広いほうが過去の推定結果として信頼性が高いと考えられるが、季節によってはそうでない場合も存在する。夏季においては、頻繁に路面状況が変化するケースはあまり考えられない。そのため、直近の工事などによる変化を検知する場合には、過去 1 ヶ月間と直近の推定結果を比較することで、より正確な路面状況の変化が検知できると考えられる。しかし、冬期間に路面が雪や氷に覆われてしまう地域においては、路面状況は頻繁に変化する。そのため、過去 1 ヶ月間の推定結果は有用であるとは言えない。そこで、前日の同時時間帯との比較や過去 1 週間の同時時間帯の推定結果と比較を行うことで、冬期の路面状況の変化を検知する。このように、推定結果を参照する過去の範囲は、季節や目的によって様々である。そのため、参照する過去の範囲は季節や目的に合わせて設定するものとし、路面状況の変化の検知の際にユーザが決定するものとする。

このようにして決定した $Past_Est(seg_id)$ と、直近の推定結果 $Last_Est(seg_id)$ との比較を行う。道路状態が常に良い道路または常に悪い道路ならば、 $Past_Est(seg_id) = Last_Est(seg_id)$ となり、路面状況は変化していないと考えられる。しかし、直近数時間のうちに路面状況が変化した道路であれば、 $Past_Est(seg_id) \neq Last_Est(seg_id)$ となると考えられる。 $Past_Est(seg_id) \neq Last_Est(seg_id)$ となっているセグメント内の区間の道路が、路面状況が変化した道路であると言える。

4. 実験および評価

本章では、提案手法の有効性の検証のための実験と評価について述べる。

4.1 実装

データベースに登録・蓄積されたデータから路面状況の

推定を行い、推定結果を可視化するためのシステムを実装した。路面状況の推定処理および路面状況の変化の検知処理は、Java とデータベース接続 API である JDBC（Java Database Connection）を用いて実装し、推定結果の可視化のためのアプリケーションを JavaScript で実装した。

4.2 予備実験

3.3.2 項で述べた、上下方向加速度の分散値の計算間隔および悪路レベルを分類する閾値を設定するために、予備実験を行った。ログデータの収集にあたり、スマートフォンである iPhone 端末でロガーアプリケーションの実装を行った。自動車内のダッシュボード上にスマートフォンを、画面が地面と垂直になるように設置した（図 4）。この場合、加速度センサの y 軸が上下方向加速度となる（図 5）。



図 4 スマートフォン設置図

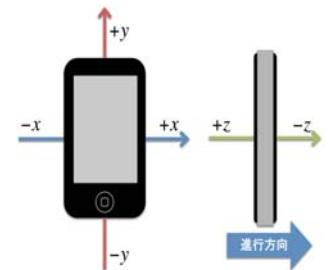


図 5 加速度軸

実装したロガーアプリケーションを起動しながら、3 つのレベルの道路を走行する。収集した走行ログデータから、分散値の適切な計算間隔について検討を行った後、閾値の設定を行った。上下方向加速度の分散値の計算間隔をパラメータとして変化させ、その際の分散値の変化について検討を行った。パラメータとして変化させる分散値の計算間隔は、5m 毎、10m 毎、20m 毎、40m 毎とした。図 6～9 に、それぞれの計算間隔において、3 つのレベルの道路を走行した際の各分散値の変化を示す。



図 6 5m 毎の分散値



図 7 10m 毎の分散値

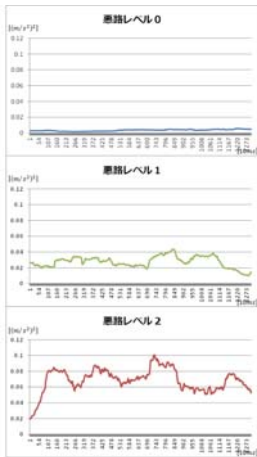


図 8 20m 毎の分散値

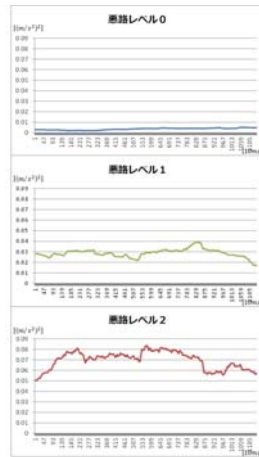


図 9 40m 毎の分散値

実験結果より、3つの悪路レベルの道路を走行した際の分散値には違いがあることがわかる。また、分散値の計算間隔が5m～20m毎の場合には、各レベルの分散値の大小関係が定まっていない。そのため、悪路レベルを一意に決定する閾値を設定することはできないことがわかる。しかし、分散値の計算間隔が40m毎の場合には、分散値のどの部分の大小関係も一定である。よって、閾値を設けることによって悪路レベルを3つに分類することが可能であると考えられる。

予備実験の結果から、閾値により道路を3つの悪路レベルに分類するために、分散値の計算間隔を40m毎に設定した。また、同様の実験を繰り返し、レベル0とレベル1を識別する閾値は $0.019[(m/s^2)^2]$ 、レベル1とレベル2を識別する閾値は $0.0428[(m/s^2)^2]$ と設定した。

4.3 精度評価実験

4.2節の予備実験により設定した、上下方向加速度の分散値の計算間隔および閾値を用いて、路面状況推定の精度評価実験を行った。提案手法によるセグメント毎の推定結果を、実装した可視化アプリケーションにより分析する。その後、実際に走行した際の路面を撮影した車載動画による判別結果を正解データとし、比較を行った。表7に、実験による悪路レベル0～2の推定結果を示す。

表 7 推定結果の内訳

		推定結果		
		レベル 0	レベル 1	レベル 2
正解データ	レベル 0	31	0	0
	レベル 1	3	10	0
	レベル 2	0	0	5

表7の網かけ部は推定に成功したセグメント数を、それ

以外の部分は誤推定となったセグメント数を表している。実験結果より、悪路レベル0や悪路レベル2のセグメントは正しく推定できているが、悪路レベル1の道路を悪路レベル0と誤推定してしまう場合があるという結果が得られた。そこで、誤推定の要因分析のために、誤推定が発生したログデータの詳細な分析を行った。図10,11に、誤推定が発生したセグメントの推定結果および、セグメント内での40m毎の推定結果を示す。ここで、図中の青線は悪路レベル0を、緑線は悪路レベル1をそれぞれ示すものとする。



図 10 セグメント推定結果



図 11 40m 毎の推定結果

図10は提案手法によるセグメント単位の推定結果を、図11は40m毎の推定結果を地図上に示している。図中のセグメントは、車載動画により悪路レベル1と判断したセグメントである。実際に、図11からセグメント内の複数箇所において、40m毎の推定結果は悪路レベル1と推定されている。しかしながら、提案手法によるセグメントの推定結果は悪路レベル0となる結果が得られた。

4.4 路面状況の変化の検知基礎実験

提案手法の有用性を検証するために、日付や時間帯によって路面状況に変化が生じるかどうかのログデータ比較実験を行った。実装した可視化アプリケーションにより、より路面状況が変化しやすい冬期（1月下旬）の走行ログデータの分析を行った。図12に積雪時の夜間の走行ログデータの推定結果を、図13に雪が解けた日の日中の走行ログデータの推定結果を示す。ここで、図中の青線、緑線、赤線はそれぞれ悪路レベル0, 1, 2を示すものとする。図12の1月23日には、前日からの降雪によって雪で覆われている道路も存在した。図中の赤線で示されているセグメントでは、積雪の影響により路面に凹凸ができてしまうそばん道路が発生していた。そのため、セグメント内では常に激しい揺れが続いていた。しかし、数日後の図13（1月29日）では、晴天時の日中であったため、気温の上昇によって路面の雪が解け、1月23日には悪路レベル2と判断され

たセグメントの推定結果に変化が見られた。

4.5 考察

本節では、精度評価実験および路面状況の変化の検知における実験結果について考察を行う。

精度評価実験により、提案手法による路面状況推定の正答率は約 94%であった。これにより、提案手法である上下方向加速度の分散値による悪路レベルの分類は、今回の実験においては可能であるということが確認できた。また、ほとんど揺れを感じないような悪路レベル 0 や砂利道のような悪路レベル 2 の道路は、安定して正しい推定が行うことができることも確認できた。しかし、悪路レベル 1 の推定に関しては誤推定が見られた。その理由として、悪路レベル 1 の特徴である「揺れを所々感じる」という点が原因として考えられる。提案手法ではセグメントを交差点から交差点毎としているため、セグメントによってはセグメント長が長くなっているものも存在する。さらに、悪路レベル 1 である道路であっても、そのセグメント内において常に揺れを感じるとは限らない。そのため、セグメント全体として見た場合には悪路レベル 0 と誤推定されてしまったと考えられる。上下方向加速度や分散値などの最大値・最小値を新たにパラメータとして加えた推定や、セグメント長の長い部分はさらに分割するなど、精度向上のための手法の検討が必要である。

また、路面状況の変化の検知基礎実験においては、特に冬期、同一セグメントであっても悪路レベルが変化することが確認された。



図 12 1/23 の推定結果
(夜間・積雪あり)



図 13 1/29 の推定結果
(日中・晴天)

5. まとめと今後の課題

本稿では、スマートフォンを用いて収集した走行ログデータを利用し、路面状況の推定を行うとともに過去データとの比較を行い、路面状況の変化を検知する手法を提案した。また、提案手法を実装し、路面状況推定の精度について実験、考察を行った。今後は、路面状況推定の精度向上のために補正手法の検討を行うとともに、路面状況の変化の検知について実装・可視化し、擬似データを用いたシミュレーション実験を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 植原啓介, プローブ情報システム: 車載センサを活用した環境情報の取得, 情報処理, Vol.51, No.9, pp.1144-1149 (2010).
- 2) 山内仁, 友野晃, 金川明弘, 路傍色相情報に基づいた形状統合による道路地図作成プローブシステム, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.1, pp.257-268 (2011).
- 3) 山内仁, 岡史晃, 高橋浩光, 複数のプローブカーによる道路形状情報の統合処理, 電子情報通信学会技術研究報告.ITS, Vol.106, No.534, pp.109-114 (2007).
- 4) 久保田彰人, 北島規雄, 小林裕貴, 市村哲, ロコミと路面状況を共有できる自転車用安全運転支援システム, 情報処理学会研究報告, Vol.72, No.18, pp.1-6 (2009).
- 5) 宮崎善行, 岡部浩史, 舟治和博, 大槻政哉, 藤原真也, 光の路面反射を利用した画像式路面判別センサ, 電子情報通信学会技術研究報告.ITS, Vol.102, No.223, pp.43-46 (2002).
- 6) 久野徹也, 杉浦博明, 吉田潤一, 車載カメラによる路面状態検出方式の検討, 電子情報通信学会論文誌. D-II, J81-D-2, No.10, pp.2301-2310 (1998).
- 7) 田中宙夫, 森江隆, 松岡悟, 岩瀬耕二, 山本康典, 車載カメラ画像のガボールフィルタ処理による自動車前方路面の乾湿判定, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.35, No.9, pp.263-267 (2011).
- 8) 古金達也, 柴田啓司, 堀田裕弘, ヘッドライト光を用いた夜間道路映像における路面状態判別, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.35, No.7, pp.11-14 (2011).
- 9) 日永田佑介, 板東幹雄, 川股幸博, 車載ステレオカメラのオフロード環境への適用, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム, pp.1375-1381 (2012).
- 10) 八木浩一, スマートフォンの加速度センサを用いた路面段差検出手法と東北地方太平洋沖地震における適用, 第 31 回交通工学研究発表会論文集, pp.249-252 (2011).
- 11) 高橋直己, 椎葉太一, 森田恵介, 遠藤容満, マルチボディー車両モデルを利用した路面凹凸形状の推定, 交通・物流部門大会講演論文集, Vol.19, pp.105-108 (2010).