

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360204

 研究課題名（和文） プローブカー情報を用いた災害時リアルタイム道路被害推定  
アルゴリズムの開発

 研究課題名（英文） Study on Real-time Road Damage Estimation Algorithm  
during Disasters using Probe Vehicle Driving Data

研究代表者

鈴木 猛康（SUZUKI TAKEYASU）

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・教授

研究者番号：20435580

研究成果の概要（和文）：

本研究は、災害時に被災地を走行する車両から点あるいは面の道路被害を推定するアルゴリズムの開発と、そのアルゴリズムを組み込んだ車載器センサーと道路被害推定プロトタイプシステムに求められる仕様を明らかにすることを目的としている。

土砂災害や段差被害といった道路被害の典型事例を対象として、GPS 内蔵加速度センサーを用いて被害検知を可能とするアルゴリズムを構築するとともに、スマートフォン・アプリへの実装を行った。また、集中豪雨等の都市部における道路浸水状況や集中豪雨による通行困難な道路リンクの抽出を行う可能性について検討し、平常時のデータベースと差異を用いて、抽出が可能である事を示した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is to develop algorithm to detect road damage using acceleration sensor installed GPS, and to clarify specifications in terms of road damage estimation proto-type system installed its algorithm.

Focused on typical road damages such as road blockades caused and irregularities of road surface caused by earthquake and land slide disaster, damage detection algorithm using the sensor is developed and is installed to smart phone application.

We show to estimate inundation areas caused by localized torrential downpour in urban area to compare distribution of probe vehicle data during disasters with those data in normal times.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2011年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2012年度	1,800,000	540,000	2,340,000
総計	13,500,000	4,050,000	1,755,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・交通工学

キーワード：減災、ITS、自然災害、情報システム、土砂災害

## 1. 研究開始当初の背景

近年、カーナビゲーションの普及に伴い、その高度利用技術の研究開発が盛んに行われるようになってきている。GPSによる位置情報

検出機能と通信機能に加え、その他のセンサー情報や判定アルゴリズムの研究開発により、車載器、あるいは中央情報センターにて付加価値のある情報の創出ならびに、その情

報の各車載器への配信が行われている。その典型例がプローブカーを用いた道路渋滞情報のリアルタイム配信である。GPSセンサーから得た位置情報を車載器内で線情報に加工した後、携帯電話やPHSを用いて中央情報センターへ送信すると、同センターでは統計データによる補完を行いつつ、ほぼリアルタイムで渋滞情報を創出し、最適経路を検索するアルゴリズムが開発されている。

公的な道路情報配信機関がカバーしていない道路区間であっても、また通行中のプローブカーが少なくても、精度の高い道路交通情報を創出するためのアルゴリズムの研究開発競争が、自動車メーカーの間では展開されている。例えば、異常渋滞に対して、パターン分類されたプローブの走行状態とその場所における日常的な走行パターンを比較して異常な渋滞かどうかを判定するアルゴリズムが開発されている。このような技術は、タクシーやバスの運行管理でも実用化されている。

一方、冬季の凍結路面で発生するスリップを、ABSの作動や加速度の変化から判定する技術開発のための研究が行われている。この技術は、スリップ情報を携帯電話による通信によって中央情報センターに伝達し、中央情報センターから近くを走行する車両に、スリップが発生した場所と時間を配信し、ドライバーに注意を促すものである。リアルタイム渋滞情報の創出についても、スリップ情報のリアルタイム配信についても、車両走行実験データに基づいたアルゴリズムの開発と検証が行われている。

以上のように、プローブカーを利用するとスリップ地点のようなポイント情報と、渋滞情報のようなラインあるいはポリゴン情報が創出されているが、地震や豪雨による道路被害情報としても、まさに点と面の情報が必要である。災害による斜面崩壊や浸水等、車両走行の障害となる現象のメカニズムについては、その多くがすでに学術的に解明されており、これらの知見とプローブカーを組み合わせ、車載器内で点情報を、中央情報センターで面情報としての道路情報を創出するアルゴリズムを開発することは、災害対応の円滑化に関する社会的意義とともに学術的価値も極めて高い。

## 2. 研究の目的

災害時の道路情報は、道路管理者は勿論のこと、災害対応に欠かすことのできないもっとも重要な災害情報の一つであるが、道路延長が長くかつ管理者が多層に亘るため、収集は勿論のこと一元管理が困難な情報となっている。防災における発災直後の情報空白を埋め、その後1週間程度における防災関係機

関の緊急対応の円滑化を図るために、道路情報は不可欠である。

本研究は、災害時に被災地を走行する車両から点あるいは面の道路被害を推定するアルゴリズムの開発と、そのアルゴリズムを組み込んだ車載器センサーと道路被害推定プロトタイプシステムに求められる仕様を明らかにすることを目的としている。

## 3. 研究の方法

本研究では、地震災害や土砂災害による車両異常走行実験を実施し、GPS、ジャイロ、加速度センサーからなる計測装置を用いて車両走行データを収集、分析することにより、車両異常走行をリアルタイムで検知し、道路被害をピンポイントで推定する道路被害推定アルゴリズムを開発する。

一方、タクシー会社、自動車メーカー、カーナビメーカーで運用しているプローブカーの車両軌跡データと道路交通統計データを用いて、正常通行可能なエリア、浸水のエリアやその程度を推定する等、面的な道路被害情報を創出するアルゴリズムを構築する。これらをPC上で統合させることにより、シミュレーターとしての道路被害推定プロトタイプシステムを開発する。

### (1) 平成22年度の計画

・道路被害と異常走行パターンの分類と異常走行パターンの走行実験の計画立案：応募者の研究成果に基づき、道路被害と車両走行パターンの分類を行うとともに、各道路被害に対応する車両走行実験を計画、実施する。次に、GPS、ジャイロ、加速度センサーからなる計測装置を用いて、橋台部での段差、切土、盛土部の斜面崩壊による片側通行等、基本的な異常走行データについて詳細に計測し、異常走行パターンを分析する。

・水害による道路浸水被害調査と水害発生時のプローブカー情報の収集・分析：2009年7月24日～26日にかけて福岡市で発生した大雨を対象として被災地域のプローブカー情報（タクシーならびに一般車両を想定）を分析対象とする。

### (2) 平成23年度の計画

・車両走行データの分析と道路被害推定アルゴリズムの構築：整備した異常走行パターンデータを分析し、道路被害を抽出するアルゴリズムの要件を整理し、アルゴリズムのプロトタイプを構築する。

・車載器プロトタイプの構築：車載器センサーと4で構築した道路被害推定アルゴリズムを組み込んだノートパソコンからなる車載器プロトタイプを構築する。センサーの開発には、車載器の豊富な開発実績を有するパ

イオニア販売株の支援を得る。

・リアルタイム道路浸水被害検知アルゴリズムの開発：整備した水害時のプローブカー情報の特徴を分析し、道路浸水被害箇所の検知が可能なアルゴリズムを開発する。データセンター蓄積された統計情報とリアルタイム車両走行データから面的に道路浸水域を推定するアルゴリズムを開発する。

### (3) 平成24年度の計画

・道路被害推定アルゴリズム・車載器プロトタイプ改良：平成23年度の実験で得られた走行データを基に道路被害推定アルゴリズムならびに車載器プロトタイプの改良を行う。

・道路被害推定プロトタイプシステムの開発：道路浸水被害検知アルゴリズムを車載器プロトタイプに実装し、車載器とノートパソコンからなる道路被害推定プロトタイプシステムを開発する。車載器センサーならびに道路被害推定システムに求められる仕様を明らかにする。

・まとめ：研究成果をとりまとめる。

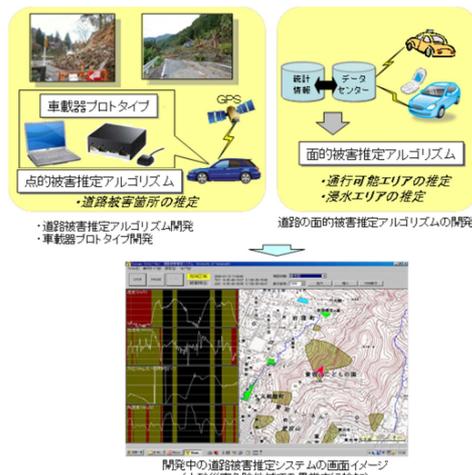


図1 プローブカー情報を用いたリアルタイム道路被害推定プロトタイプシステムの全体イメージ

## 4. 研究成果

### (1) 土砂崩落

走行実験では、土砂災害危険箇所です砂が崩落し、2車線道路の片側車線が通行不能で反対車線走行を余儀なくされる場合と完全閉塞の場合を想定した。図2の2つのケースの車両走行パターンを示す。本研究では、異常走行パターンとしては、反対車線走行の場合、(1)減速してから反対車線を徐行走行し、土砂崩落箇所通過後にもとの車線に戻る、(2)徐行したまま被害箇所まで進み、反対車線を徐行走行し、土砂崩落箇所通過後にもと

の車線に戻る、(3)被害箇所の前で一旦停止してから、反対車線を徐行走行し、土砂崩落箇所通過後にもとの車線に戻る、の3つを設定した。ただし、それぞれのパターンにつき、土砂崩落箇所の延長Lを、5m、10m、15mの3種類設定した。一方、土砂で道路が完全に閉塞している場合については、崩壊箇所の前で一旦停止してから、そのままバック走行をすることとした。

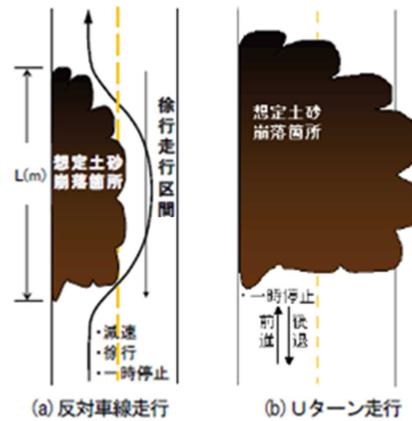


図2 走行実験パターン

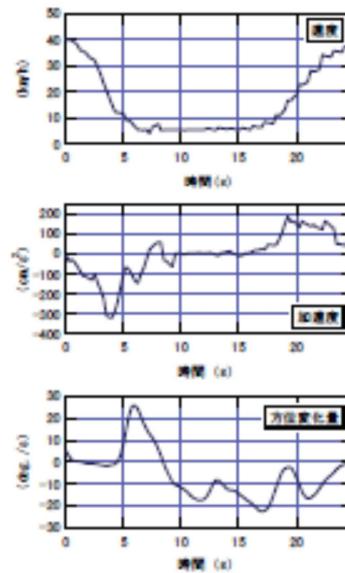


図3 反対走行車線走行データの例（減速後反対車線を走行したケース）

図3はドライバーAについて、土砂崩壊箇所幅が5mで、土砂崩壊箇所までの走行車線で徐行し、土砂崩壊箇所前で減速し、一旦停止した3つのケースにおける走行データを比較している。土砂崩壊箇所の延長L=5mのケースでは、速度が10km/h程度まで減速する際の加速度の負のピークの出現時間が、L=10mのケースよりも早まっているように見えるが、この点を考慮すれば、これら3つの走行パターンについても前述した傾向は変わらない。同様に、Uターン走行のデータについて

ても、車種、個人差を考慮して整理した。

以上の検討から、土砂崩落による反対車線走行では、速度、加速度、方位変化量の3つの走行データで異常走行を特徴づけることができた。そこで、これらのデータを用いた道路被害推定アルゴリズムの構築を行った。その結果、概ね誤検知無く検出することが確認された。

## (2) 段差

段差走行時に得られる車載器のデータを観測するために、学内およびその周辺で段差の走行実験を行った。走行実験では、車両のタイヤ径の条件として54cm・61cm・63cm・65cmの4種類、段差の高さの条件として4cm・8cm・10cmの3種類、走行方法の条件として「乗り上げ走行」・「乗り降り走行」の2種類の条件を変化させ、全24ケースを2回ずつ、計48走行データの収集を行った。

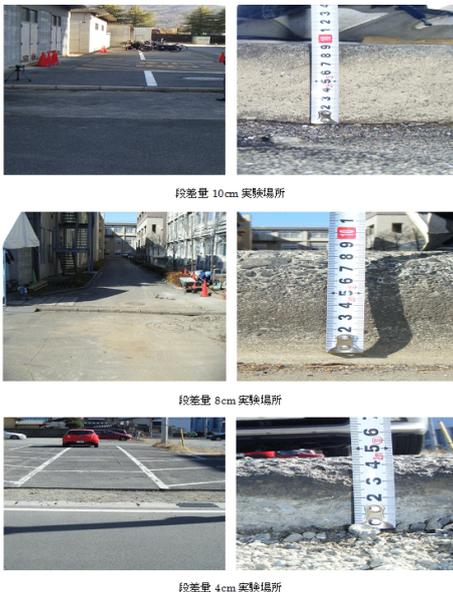


図4 段差実験の様子

段差抽出として、段差直前の速度の減速（速度変化量の負のピーク）、段差を走行する際に速度変化量が0に近い速度となる、段差通過後に速度変化量の正のピークが存在する、といった特徴が得られた。そこでこれらの特徴を検知するアルゴリズムを構築し、観測データに適用した。一部のドライバーを除いて、段差が適切に抽出できることが確認された。誤検知率をできるだけ小さくすることが重要であるため、検知率は7割程度が得られれば十分であると言える。

次に、段差を8cm・10cm・12cm・15cmの4種類で行った。前述の段差走行実験では4cmも段差走行として検知したが、検知率が低く、段差を意識せずに走行できる範囲であった

と判断し今回は除外した。そして新潟県中越地震では関越高速道路83.4kmの延長内に10cm以上の段差被害は70箇所も発生しており、10cm以上の段差高が必要であると感じたため、12cmと15cmを追加し、4種類の段差高とした。

センサーについては、3軸速度・加速度・角速度が収集可能なクロスボー社製のNAV440に変更した。今後の展望として、簡易的な3軸ジャイロを搭載している簡易センサーやスマートフォンでの推定を想定しているため、3軸ジャイロ搭載の高性能なセンサーで段差走行実験を行った。ドライバーについては同数の4名、車両については道路管理者が使用する4輪駆動車を含めタイヤ径が異なる4種類の車両を用いた。

## (3) 浸水

過去の水害時の道路浸水被害と行政の対応について、2009年7月における九州北部の豪雨災害を対象に福岡県、福岡市にヒアリング調査を実施した。その結果、集中豪雨により市内各所で浸水が発生したものの、どこがどの程度浸水しているのかを、把握することが大変困難であったことが確認された。

そこで、野村総合研究所の協力を得て、同水害時のタクシープローブデータを入手し、地理情報システム上で可視化するとともに、浸水被害とプローブデータの特徴。平常時との差異について分析した。図5は、時間雨量80mm近くを記録した2009年7月26日9時における、福岡市近郊の各道路リンクの平均移動速度を3段階（赤線：20km/h、黄色：20km/h～40km/h、青線：40km/h）で示している。

一週間前の同時刻における各道路リンクのプローブデータと比較したところ、①移動速度が低くなっているリンクが増加、②プローブデータがまったくないリンクが増加、していることが確認された。これにより、平常時のプローブデータをデータベース化することにより、時間雨量80mmに達するような集中豪雨により都市の排水が間に合わず、一部浸水したり、通行できたとしても速度が著しく低下するような状況について、プローブデータから推定することが可能性が高いことが示された。

この結果を受けて、都市部で時間雨量80mmに達するような集中豪雨があった、東京都千代田区、北区においても、同様の検討を行い、福岡市と同じ特徴が概ね見られることを確認した。ただし、本手法では、都市部地域のように高頻度でトリップが発生する地域では有望であるが、郊外部においても安定的に評価可能であるかについては、今後の課題としたい。



図 5 福岡市近郊部におけるタクシープローブデータによる各道路リンクの移動平均速度(2009年7月26日, 9時)

#### (4) スマートフォン・アプリ開発

被害検知アルゴリズムを、Android スマートフォンに実装した。オープンソースソフトウェアの eclipse を使用し、スマートフォン内蔵のセンサーから、情報を取得し、リアルタイム処理を行い道路被害を検知する、スマートフォン・アプリ「Damage Ditector」を開発した。

次に、アプリケーションの検証実験を行った。検証は、道路被害として5パターンを想定し、各パターンごとに3回走行実験を行った。使用した車種はフィット、スマートフォンは Samsung 社製 Galaxy S2 である。スマートフォンには、XYZ 軸の加速度ならびに角速度の検出が可能であり、サンプリング周期は 10Hz である。



写真 1 車内へのスマートフォンの設置

実験により、構築したアルゴリズムを基にスマートフォン内蔵のセンサーから、加速度ならびに角速度が、適切に出力されていること、センサーの精度が高精度の加速度センサーと比しても、被害検知において十分な精度を有していることを確認した。

また、アプリケーションによる被害検知率は 90%に達し、高い精度で被害検知が可能であることを確認した。

#### (5) 東日本大震災におけるプローブデータと津波被害

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震が発生し、青森県から千葉県にかけて広く太平

洋沖沿岸部にかけて、津波による大規模な浸水被害が発生した。

この地震を受けて、著者らは地震発生当日におけるいすゞ自動車の協力を得て、同社が有するトラックのプローブカーデータを入手し、車両軌跡と津波浸水被害の関係について分析を行い、プローブデータによる津波浸水被害箇所抽出の可能性について、検討を行った。



図 6 石巻市走行車両の軌跡と津波浸水領域 (2011年3月11日 14:46~15:00)

研究対象地域としては、津波浸水被害の甚大な石巻市沿岸部と仙台市宮城野区を対象とした。図 6 は、石巻市沿岸部における地震当日の車両の走行軌跡と平均移動速度を示している。プローブデータを用いる事により、地震当日の車両の避難行動や、各道路リンクの渋滞状況が定量的に把握可能であることが確認された。

次に、津波到達時間と走行軌跡との関係について分析を行い、津波浸水被害が発生した時刻以降、浸水領域におけるプローブデータは確認されなかった。これにより、プローブデータによる津波浸水被害エリアの抽出が期待される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 5 件)

- (1) Hada, Y., Suzuki, T. and Noda, I. "Utilization of Probe Vehicle Information in Disasters in Japan", The 15th World Conference on Earthquake Engineering (Risbon), September 2012
- (2) 瀬尾浩幸, 鈴木猛康: 災害時を想定した道路段差走行に関する実験と力学モデルの構築, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2011
- (3) Suzuki, T. and Oshima, N.: Fundamental

Study on the Development of Algorithm for Road Damage Estimation due to Natural Disasters using probe-car Driving Data, Proceedings DVD-ROM, 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering: Redaching Byond Borders, Toronto, 2010

- (4) 瀬尾浩幸, 鈴木猛康, 秦康範: 車両走行データに基づいた道路段差走行アルゴリズムの開発, 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, 2010
- (5) 鈴木猛康: 走行実験に基づいた災害時道路被害推定アルゴリズムの開発, 第 39 回土木計画学研究発表会(春大会), 2009

[その他]

ホームページ等

<http://civil.cec.yamanashi.ac.jp/~takeyasu/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鈴木 猛康 (SUZUKI TAKEYASU)  
山梨大学・大学院医学工学総合研究部・教授  
研究者番号: 20435580

### (2) 研究分担者

秦 康範 (HADA YASUNORI)  
山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授  
研究者番号: 70360849

### (3) 連携研究者

なし