

# 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\*

## Development of the Algorithm for Road Damage Estimation due to Disaster based on Driving Experiment Data\*

鈴木猛康\*\*・大島直明\*\*\*

By Takeyasu SUZUKI\*\*・Naoaki OHSHIMA\*\*\*

### 1. はじめに

災害時の道路被害情報は、道路管理者は勿論のこと、様々な防災関係機関の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。しかし、道路延長が長く、かつ管理者が多層に亘るため、道路被害情報の収集は容易ではなく、その一元管理はさらに困難な現状にある。そこで筆者らは、プローブカーを用いて実際に車両が走行した道路経路を地図上にプロットし、「通れた道路マップ」を作成することを提案した<sup>1)</sup>。また、平成19年新潟県中越沖地震の際には、「通れた道路マップ」を新潟県柏崎市災害対策本部に対して試験的に配信し、その有効性の確認した<sup>2)</sup>。

しかしながら、「通れた道路」も重要であるが、やはり「通れない道路」、すなわち道路被害情報が必要であるのは言うまでもない。そこで、災害時における早期道路被害把握と集約、ならびに防災関係者による共有を図るため、様々なユビキタス減災情報創出の一つとして、プローブカーを用いた道路被害推定システムの開発を提案した<sup>3)</sup>。

上記システムは、被災地を走行する車両から道路被害情報を取得し、得られた被害情報を必要とする関係機関と広く共有できる仕組みを提供するものである。その開発の第一段階として、カーナビの車載器に搭載されているのと同様なGPS、ジャイロ、加速度センサーからなる計測装置を用いて、切土、盛土部の斜面崩壊等によって道路が通行不可能なケース等を対象として、異常走行データを収集し、道路被害を推定するアルゴリズムを構築することを試みた。本稿では、アルゴリズム構築を目的として実施した走行実験を中心に、道路被害推定アルゴリズムの開発について報告する。

### 2. 道路被害推定システム

本研究で実現を目指す最終的なシステムを図-1に示す。本研究では、道路管理者が道路被害推定システムのサーバーを管理、運用しており、道路管理者、例えば都道府県において、職員あるいは民間委託者に、簡易な車載器を提供しておくことを想定している。車載器は、GPS、ジャイロコンパス、加速度計等を搭載したものであり、カーナビゲーションシステムの車載器を用いることも可能と考えている。

提案するシステムでは、予め電子地図データ上に都道府県等が作成している土砂災害危険箇所の地理情報を登録しておき、災害時に車が危険箇所およびその周辺の予め定めた区域内に入ると、道路被害状況に応じた異常な車両走行を道路被害推定アルゴリズムを用いて分析し、道路被害推定情報として通信を使ってサーバーに提供する。例えば山梨県では、土石流危険渓流、急傾斜地崩壊危険箇所、地すべり危険箇所をまとめ、ホームページ上で公開している。

道路被害推定情報を利用して、道路管理者は道路巡回ルートを設定し、短時間で道路被害箇所まで到達することができ、道路被害を確認するとともに、通行止め、復旧工事等の対策を迅速に講じることができる。このように道路管理者によって確認済みの道路被害情報は、位置が緯度、経度によって特定されているので、警察や地方自治体、さらにはライフライン企業のような公共機関でも、正確に場所を特定できる情報として共有することができる。図-1の右下の情報共有データベースとは、筆者らが構築を目指している災害情報を共有できるプラットフォーム上のデータベースであり、減災情報共有プロトコル(MISP)に準拠した共有データベースである<sup>4)</sup>。本研究は、このシステムの中で左上に示した道路被害推定のアルゴリズム構築に関する研究である。

路面凍結によるスリップ発生箇所を、プローブカー同士で共有するシステムが開発されている<sup>5)</sup>が、同様に、「通れる道路」とともに、土砂崩壊や道路段差、液状化で波打つ道路等の道路被害情報についても、プローブカーを用いれば、道路管理者や交通管理者だけでなく、一般ドライバー同士でも共有することが可能となる。

\*キーワード：道路被害情報、アルゴリズム、走行実験

\*\*正員、工博、山梨大学大学院医学工学総合研究部

(山梨県甲府市武田4-3-11、

TEL055-220-8531、FAX055-220-8531)

\*\*\*非会員、工修、株式会社ファルコン取締役

(東京都千代田区外神田6-8-11三善ビル5F

TEL03-6803-sa32、FAX03-6803-2133)



図-1 道路被害情報管理システムの概念図

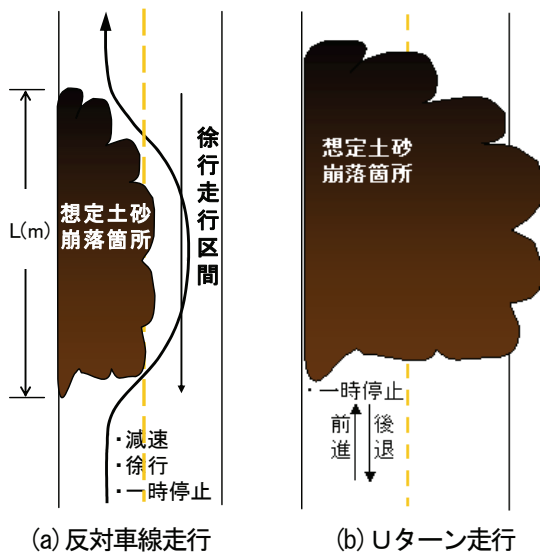


図-2 走行実験のパターン



図-3 走行実験の場所

### 3. 走行実験の実施

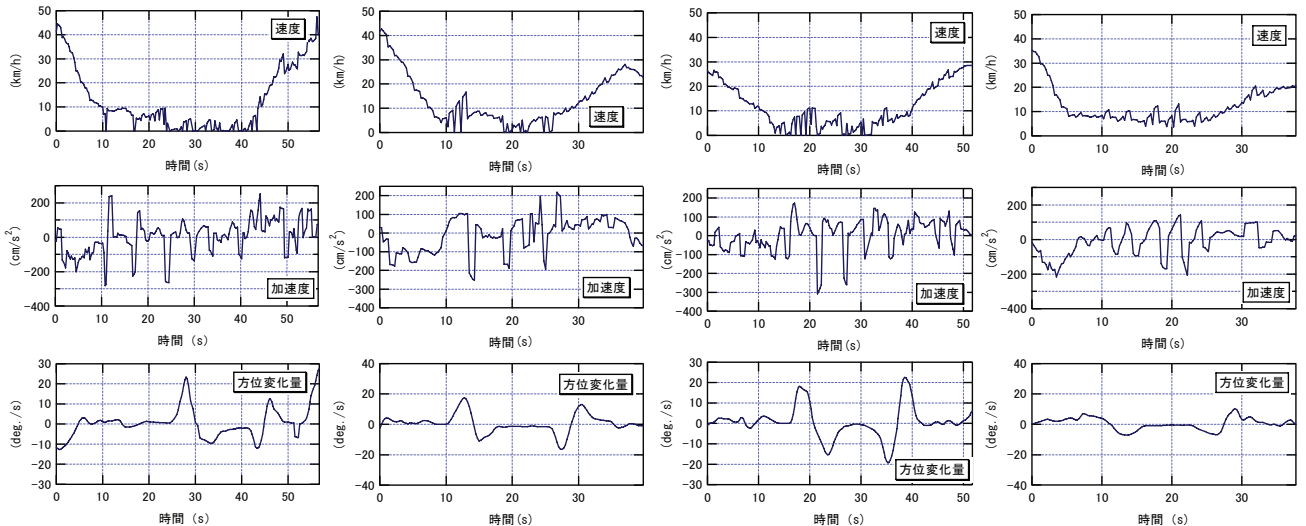
#### (1) 実験ケースと実験方法

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に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。

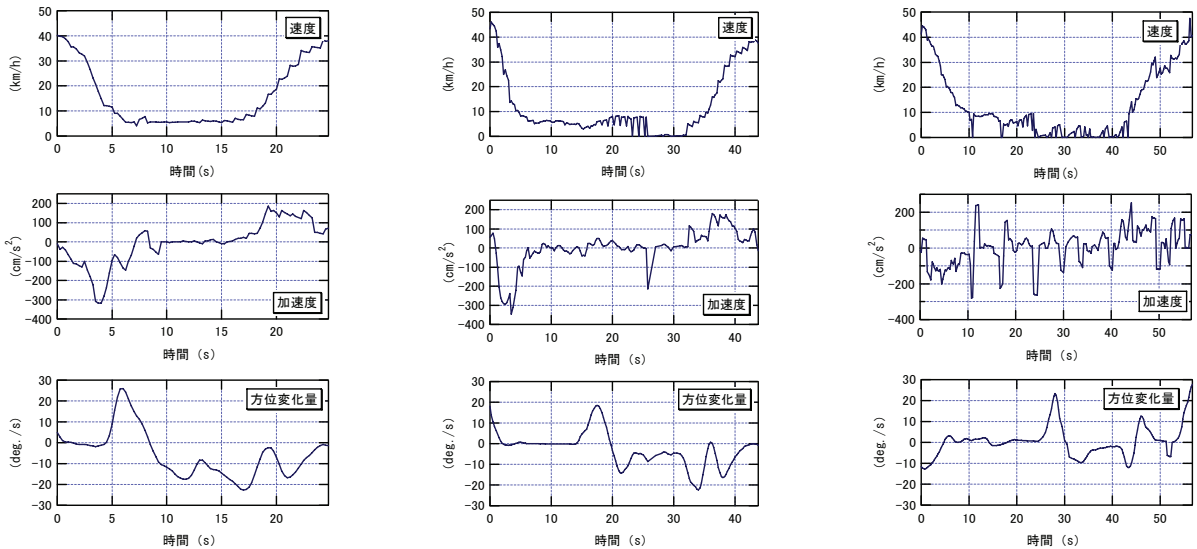
実験走行を実施した場所を図-2に示す。実験では車種を2種類（MPV、カローラ）、ドライバーを4名配置し、各車種に対して2名のドライバーが運転することにより、車種とドライバーの個人差による影響について検討することとした。

走行区間は図-3に示す約1000mである。この間に2箇



(a) ドライバーA (b) ドライバーB (c) ドライバーC (d) ドライバーD

図-4 土砂崩壊箇所前で減速した反対車線走行データ (ドライバーA, B (MPV), ドライバーC, D (カローラ))



(a) 減速後反対車線走行 (b) 徐行で反対車線走行 (c) 一旦停止してから反対車線走行

図-5 3つのパターンによる反対背横行車線データの比較 (ドライバーA, L=5m)

所の被害箇所 (No.1とNo.2) を設定した。No.1地点は直線区間であり、No.2は曲線区間である。ドライバーは、北端 (図の上方向) から出発して南下し、南端まで達したらUターンして出発地点まで戻ることとした。

## (2) 実験結果

走行実験に用いた車両搭載センサーはパイオニアナビコム社製GPS-M1zzであり、GPSによる測位は勿論、ジャイロや加速度計を搭載しており、速度変化量や方位変化量 (1秒間における方位の変化、deg./sec.) を計測することができる。走行データの収録には、同社製のBIT-10を用いた。

図-4は反対車線走行のうち、土砂崩壊箇所の手前で

減速する一般的なケースでの走行データである。上から速度、加速度 (速度変化量)、方位変化量のデータであり、左から車種MPVでドライバーA、B、車種カローラでドライバーC、Dの4ケースを比較して示している。図のように、車種よりもドライバーによる走行データの相違が顕著であるように思われる。まず、土砂崩落地点の前で減速することにより、反対車線へハンドルを切る前に速度は10km/h程度以下となっている。加速度波形を見ると、減速による $-100\text{cm/s}^2$ より小さな負のピークが認められる。十分減速してから反対車線方向へとハンドルを切るため、その後方位変化量に10deg./sec程度のピークが現れ、さらにその後低速度走行が継続して土砂崩壊箇所を通過し、もとの車線へ戻るため方位変化量



に $-10\text{deg./sec}$ 程度のピークが現れている。その後、車は加速されて $10\text{km/h}$ を超える速度となる。図示するように、ドライバーの個人差があるものの、これらの傾向は車種、ドライバーによらず一致している。

図-5はドライバーAについて、土砂崩壊箇所幅が $5\text{m}$ で、土砂崩壊箇所までの走行車線で徐行、土砂崩壊箇所前で減速、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 $L=5\text{m}$ のケースでは、速度が $10\text{km/h}$ 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、 $L=10\text{m}$ 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も、車種、個人差を考慮して整理した。

#### 4. アルゴリズムの構築と被害推定シミュレーション

上述したように、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試みた。まず、(1)当該地域で災害発生が想定されるような緊急地震速報や大雨注意報をトリガーとして、道路被害推定システムを作動させる、(2)土砂災害危険箇所等のハザードが想定される区域ならびにその周囲でのみ、道路被害推定アルゴリズムを作動させる、の2点を基本条件とし、道路被害推定の誤検知を低減させることとした。その上で、反対車線走行では、(3)速度が $V(\text{km/h})$ 以下となり、(4)その前後 $t(\text{s})$ で $-a_{\text{max}}$ 以下の加速度の負のピークが存在する、そして、(5)速度が $V(\text{km/h})$ 以下を保持されながら方位変化量に $d_1(\text{deg./s})$ 以上ならびに $-d_2(\text{deg./s})$ 以下のピークが存在し、その後、(6)速度が $V(\text{km/h})$ 以上に回復する、とした。(2)の状態となり、ハザードエリアに入ったら、(3)以下の論理に基づいて走行データをチェックし、(6)まで確認したら土砂崩落による道路被害と判定することとした。

図-6は、上記のアルゴリズムを実装させた道路被害推定シミュレーションシステムである。このシステムでは、山梨県より提供された土石流危険渓流、急傾斜地崩壊危険箇所、地すべり危険箇所を以ってハザードエリアとしており、このエリアに入ると(3)~(6)の走行データのチェックを行い、道路被害の判定を行う。3章で示した実走行データを用いて、道路被害を判定させた結果、 $V=10\text{km/h}$ 、 $-a_{\text{max}}=-100\text{cm/s}^2$ 、 $t=5\text{s}$ 、 $d_1=7\text{deg/s}$ 、ならびに $-d_2=-7(\text{deg/s})$ で、ほぼ誤検知することなく道路被害を推定することができた。

謝辞：本車両走行実験の計画、実施については、元山梨

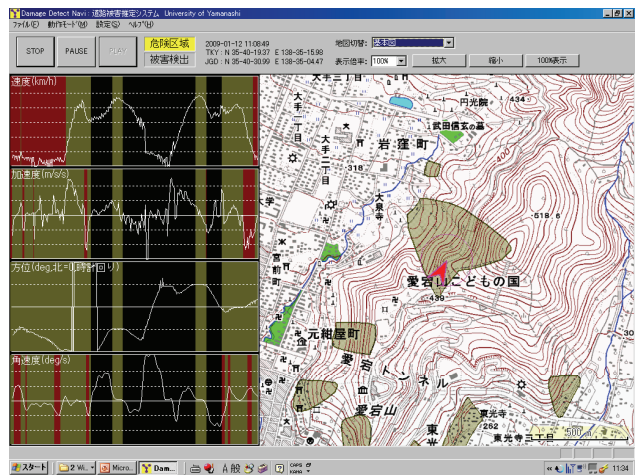


図-6 道路被害推定シミュレーションシステム

大学工学部土木環境工学科4年生であった奥田真也君が、卒業論文の中で精力的に取り組んでいただいた。ここに深く感謝する次第である。

#### 5. まとめ

カーナビゲーションシステムの車載器に搭載されているのと同様なGPS、ジャイロ、加速度センサーからなる計測装置を用いて、切土、盛土部の斜面崩壊等によって道路の片側車線あるいは全面が閉塞された場合の異常走行データを収集し、道路被害を推定するアルゴリズムを構築した。本研究により、車載器を用いた道路被害推定が可能であることが確認できたと考えている。さらに多くの道路被害パターンに対応した走行データを収集し、道路被害推定アルゴリズムを構築することにより、道路被害推定システムを開発する所存である。

#### 参考文献

- 1) 秦康範, 小玉乃理子, 鈴木猛康, 末富岩雄, 目黒公郎: 走行車情報を用いた災害時道路情報共有化に関する研究, 土木学会地震工学論文集CD-ROM, No. 29, 12-7, 791-800, 2007.
- 2) 鈴木猛康, 秦康範, 下羅弘樹: 災害時の道路提供の試み 新潟県中越沖地震における取組みと今後の展開, 第9回日本災害情報学会年次大会梗概集, pp.187-, 190 2007.
- 3) 鈴木猛康, 秦康範, 小玉乃理子: プローブカー情報の活用によるユビキタス減災情報の提供に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vo.37, 2008.6
- 4) 鈴木猛康: 災害時情報共有技術に関する研究プロジェクトの報告, 日本地震工学会論文集, 第9巻, 第2号(特集号), pp.171-184, 2009.
- 5) 塚田悟之, 上田真紀, 高橋正起: プローブ情報を活用した安全運転支援システムの開発, 土木計画学研究・講演集, Vol.37, 2008.6.