

# プローブカー情報の共有による災害時の道路情報 収集と旅行時間短縮の数値シミュレーション

小玉 乃理子<sup>1</sup>・秦 康範<sup>2</sup>・鈴木 猛康<sup>3</sup>・目黒 公郎<sup>4</sup>

<sup>1</sup>早稲田大学高等研究所助教

(〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

<sup>2</sup>東京大学生産技術研究所産学官連携研究員

(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

<sup>3</sup>山梨大学大学院教授 医学工学総合研究部

(〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11)

<sup>4</sup>東京大学生産技術研究所教授

(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

## 和文要約

災害時における道路情報共有は、迅速で効果的な災害対応のために必須であり、従来から重要な課題となっている。しかし、情報通信技術が飛躍的に発展した今日においてもこの課題は依然として解決されていない。そこで本研究では、道路情報の共有の現状と課題を整理した結果に基づき、迅速に道路情報を収集するための一手段としてプローブカー情報の共有を提案した。

プローブカー軌跡から得られる通行可能な道路の情報の収集と、プローブカーにより収集された道路閉塞情報の共有がもたらす旅行時間の短縮に着目し、渋滞を考慮しない基礎的なシミュレーションを行った。その結果、情報の提供者である車両は、道路閉塞情報の共有により旅行時間の短縮を図ることができ、情報を収集する側は、広域の道路情報を面的に把握できる可能性が示された。

通行可能な路線への一般車両の集中に配慮しつつ、道路管理者、警察、消防やライフライン事業者などの防災関係機関がプローブカー情報を共有することにより、災害時における迅速な道路状況の把握とそれに基づく災害対応が可能となることが期待される。

キーワード：プローブカー、道路情報、情報共有、減災

### 1. はじめに

災害時における道路情報共有は、迅速で効果的な災害対応のために必須であり、従来から重要な課題となっている。2004年新潟県中越地震では、新潟県内の57の電話交換所が一斉に停電したが、発災直後は関越自動車道および国道17号などの幹線道路が全て通行止めとなり、NTT東日本が派遣した交換機のバックアップ電源を確保するための電源車やタンクローリーの動線確保に時間を要した。また、発災後の深夜に作業員が現場近隣に到着して初めて道路が半分崩壊しているとわかるなど、復旧要員の二次災害の危険があった(防災科学技術研究所2006:pp.2-18)。2005年に発生した新潟下越地方の塩雪害による停電においては、東北電力が仙台から福島経由で

新潟に復旧隊を派遣したところ、進行途中で通行している道路が通行止めであることが判明し、大きく迂回せざるをえなかった(防災科学技術研究所2006:pp.2-7)。このように、近年発生した災害において、道路情報の不足から適切な災害対応行動がとれない事例が多数見られ(秦他2007a:p.816)、情報通信技術が飛躍的に発展した今日においてもこの課題は依然として解決されていない。

そこで本研究では、道路情報の共有の現状と課題を整理した結果に基づき、この課題を解決する一手段としてプローブカー情報の共有を提案する。プローブカーは、走行している車両から情報を入手する方法として、交通分野で実用化されている(国土交通省道路局ITS推進室2007)。ここでは特に、プローブカー情報の共有により期



図-1 新潟県中越地方の道路ネットワーク

待される通行可能な道路に関する情報の収集や、各車両の旅行時間の変化について着目し、新潟県中越地方の道路ネットワークを対象とした数値シミュレーションにより検討する。

## 2. 災害時の道路情報共有における課題とプローブカー情報共有による課題解決の可能性

著者らは道路管理者、警察およびライフライン事業者から構成されるライフライン情報共有分科会における検討(防災科学技術研究所他 2005 : pp.264-286)や、物流事業者や道路交通の専門家等へのヒアリングおよび文献調査等(防災科学技術研究所他 2006 : pp.75-93)を実施し、道路管理者側およびユーザ側からみた災害時における道路情報の共有に関する課題について構造化を試みた(秦他 2007a : p.819)。その結果、道路情報を迅速に共有するためには、①通行できない箇所や通行可能な道路を迅速に把握する、②把握された情報を迅速に共有する、という2点が重要であることが示された。

本稿で提案する災害時におけるプローブカー情報の共有は、主に①の課題の解決を図るものである。大規模災害時には、道路管理者においては、管理者自身が被災する、状況を把握すべき道路延長が長くなるといった問題から、道路状況の把握が困難となる。また、警察においては、人命救助など緊急性の高い業務が発生するために、道路状況を把握する作業の優先度が下がる傾向がある。そこで、防災関係機関のみならず一般車両ユーザも含めたプローブカー情報を共有することにより、迅速に道路状況を把握することが期待される。

また、災害時においては通行できない箇所の把握とともに、通行可能な道路の把握が重要となる。一方、プローブカー情報は、安全な走行を担保するものではないに

せよ、その走行区間がある時間に走行可能であったことを意味する。したがって、一般車両も含めたプローブカー情報は、災害初期には大変有益な情報となり得る。また、新潟県中越地震では、度重なる余震により被害が新たに発生し、その度にパトロールの実施が必要となったが、このような場合にも、最新のプローブカーの情報を利用することによりパトロール時間の短縮が可能であると考えられる。

## 3. プローブカー情報共有化による基礎的な減災効果のシミュレーションによる検討

前章で示したとおり、迅速な災害対応には、通行不能な道路とともに通行可能な道路の把握が重要である。ここでは、プローブカー軌跡から得られる通行可能な道路の情報の収集と、プローブカーにより収集された道路閉塞情報の共有がもたらす旅行時間の短縮に着目した基礎的なシミュレーションを行った。

### (1) シミュレーション概要

図-1に示すような、新潟県中越地方の道路ネットワークを、複数台の車両が走行する場合について考える。各車両はプローブデータを扱うカーナビゲーション車載器を搭載しており、走行中に得られた道路閉塞情報(閉塞リンクID)に基づき、それらのリンクを通行しない条件の下、最短経路の検索を行いながら目的地へと移動する。

図-1の道路ネットワークの総延長は4,240kmであり、7,501リンクから構成されている。このうち濃色のリンクは、新潟県警発表による2004年新潟県中越地震発生翌日の24時まで規制開始された221の交通規制箇所を示す閉塞リンクである。これらの閉塞箇所の情報が、Uターンしたプローブカーの軌跡の解析や、運転者自身によるカーナビへの入力といった方法により把握されたものと仮定する。こうした道路閉塞情報を各車両間で共有したときの、プローブカーの軌跡として得られる通行可能な道路の判明率 $R_k$ 、および車両が2点間を移動するときの旅行時間の変化について検討した。ここで、通行可能な道路の判明率 $R_k$ は次式で定義した。

$$R_k = \frac{\sum l_i}{\sum L_i} \quad (1)$$

ただし、

$l_i$ : 車両が1台でも通行し、通行可能と判明したリンクの長さ

$L_i$ : 通行可能なリンクの長さ

はじめに各車両は道路閉塞情報を保持しない状態で最短経路を検索し、始点から移動を開始する。走行中に道路閉塞情報の共有と最短経路の再検索を行うが、その条件として以下の3通りを想定した。

- a) 各車両が走行中に得た道路閉塞情報を、サーバーを介して5分間隔で各車両同時に共有し、各車両は最短経



(a) 5分毎に道路閉塞情報を共有する場合 (b) 閉塞発見毎に道路閉塞情報を共有する場合 (c) 道路閉塞情報を共有しない場合

図-2 車両の軌跡の例 (100台)

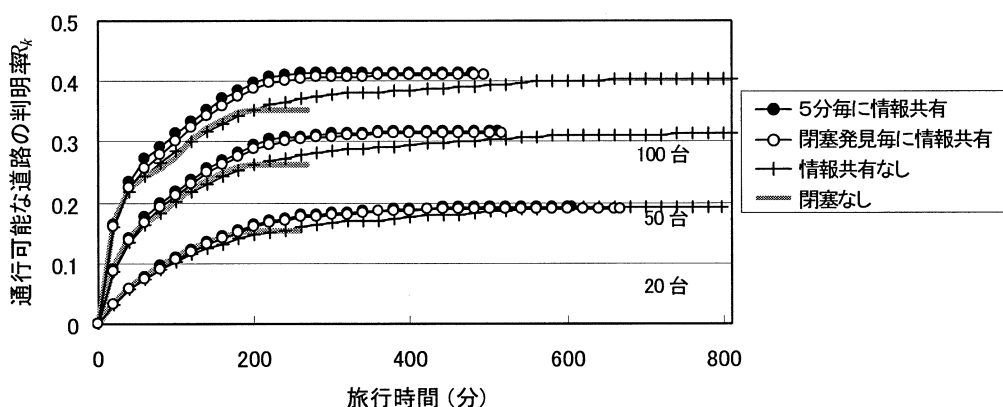


図-3 通行可能な道路の判明率  $R_k$  の時間変化

路の再検索を行う。途中で道路閉塞に遭遇した場合はそのリンクを自車の保有する道路閉塞情報に追加し、最短経路の再検索を行う。

- b) 道路閉塞に遭遇する度に、自車が保有する道路閉塞情報をサーバーにアップロードすると共に、既知の道路閉塞情報を受け取り、最短経路の再検索を行う。
- c) 道路閉塞情報は共有しない。途中で道路閉塞に遭遇した場合は、そのリンクを自車の保有する道路閉塞情報に追加し、最短経路の再検索を行う。

条件 a) および b) では、プローブカー情報の通信コストを考慮し、現実的な情報共有の頻度を想定した。

ここでは、プローブカー情報の共有が、通行可能な道路の判明率と各車両の旅行時間にもたらす純粋な効果を検討するために、車両の挙動を大きく左右する渋滞の影響を考慮しない。また、道路閉塞箇所はシミュレーション中に増減しないものとした。したがって、一度得られたプローブカー情報はシミュレーション終了時まで有効な情報として扱う。刻々と変化する道路状況を想定する場合には、最新の時間帯に得られたプローブカー情報のみを利用する必要がある。

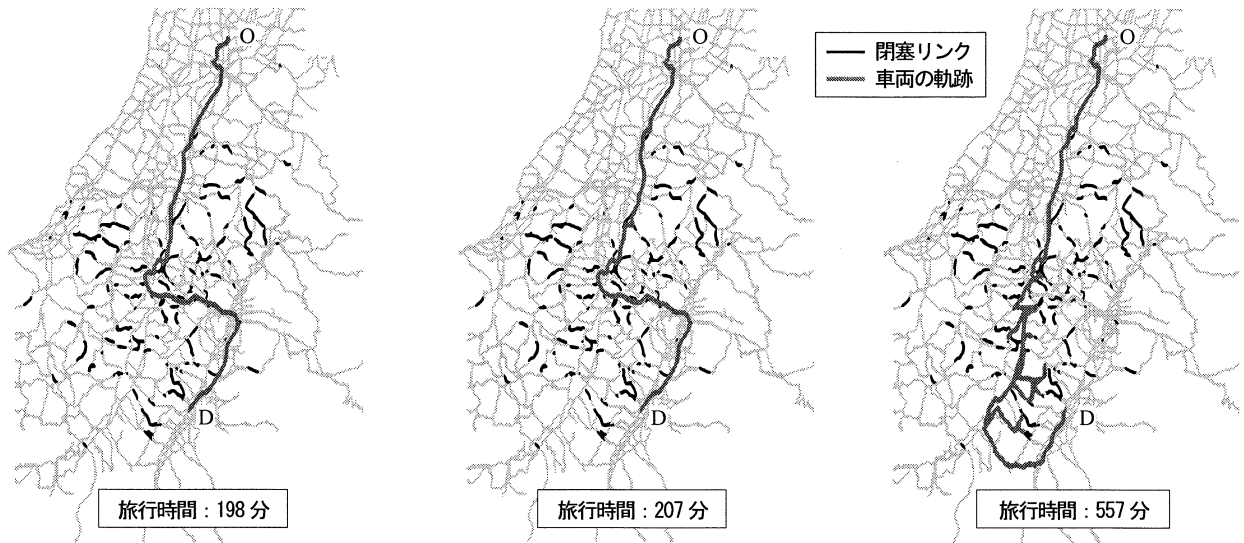
各車両は直線距離 50km を平均移動速度 30km/h で移動するものとし、車両台数が 20 台、50 台および 100 台の

ケースについてシミュレーションを行った。いずれの場合も車両の始終点をランダムに 100 通り指定し、それらの平均として結果を求めた。

## (2) シミュレーション結果

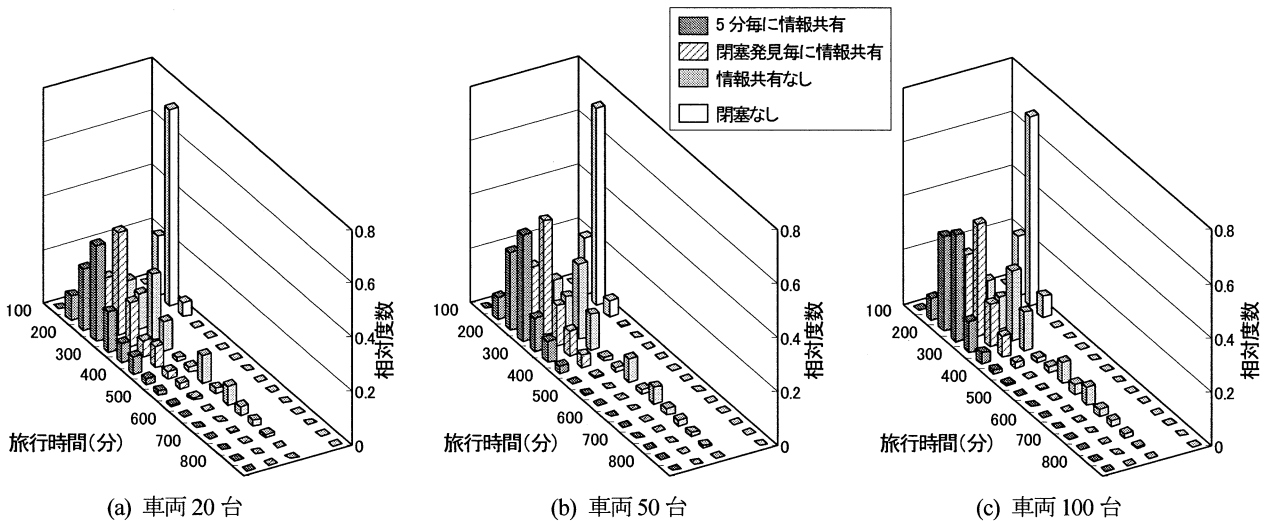
### a) 通行可能な道路の判明率

図-2には道路ネットワークに 100 台の車両の軌跡を重畳した例を示す。通行可能と判明した道路を一見にして面的に把握することができる。これらは 3. (1) に示した 3 通りの情報共有方法による結果であるが、通行可能と判明した道路には大きな差異は認められない。このような状況を通行可能な道路の判明率  $R_k$  の時間変化として数値で表したものが図-3 である。比較のため、閉塞リンクがまったく存在しない場合の結果も併せて示す。閉塞リンクが存在するとき、通行可能な道路の判明率  $R_k$  は車両台数が 20 台、50 台および 100 台に対して、それぞれおよそ 0.2、0.3 および 0.4 程度であり、旅行時間の経過と共に飽和する傾向がみられた。これは、時間の経過と共に目的地へすでに到着した車両が増加し、少数の車両が判明率  $R_k$  の上昇に寄与するようになるためである。また、道路閉塞情報を共有した場合、その方法や車両台数によらず、道路閉塞情報を共有しない場合よりも判明



(a) 5分毎に道路閉塞情報を共有する場合 (b) 閉塞発見毎に道路閉塞情報を共有する場合 (c) 道路閉塞情報を共有しない場合

図-4 車両の軌跡の例 (図-2 の100台より1台を抽出)



(a) 車両 20 台

(b) 車両 50 台

(c) 車両 100 台

図-5 旅行時間の正規化ヒストグラム

率 $R_k$ が大きめに推移している。しかし、この傾向は常に見られるものではなく、より単純な道路ネットワークを対象とした検討(秦他 2007b : p.282)では、道路閉塞情報を共有した場合に、全車両が目的地に到達した後の最終的な判明率が、共有しない場合よりも小さい値に収束した。これは、道路閉塞情報を受信した車両が経路探索をし直した際、複雑な道路ネットワークでは検索結果として他の車両が1台も通過しない迂回路が得られる可能性が高い一方、比較的単純な道路ネットワークでは、その可能性が低いと考えられる。いずれにせよ、道路閉塞情報の共有の有無による通行可能な道路の判明率 $R_k$ の差異は小さいことが示された。

また、道路閉塞情報を共有する場合には、その方法によらず、車両台数が多いほど $R_k$ が飽和する時点が早まる傾向がみられた。これは、目的地までの走行中に道路閉塞情報が得られると、早い段階で迂回路を探索するが、

その際全体の車両台数が多いほど、自車が予定していた最短経路上の道路閉塞情報が得られる可能性が高まるためと考えられる。道路閉塞情報を共有しない場合でも、いずれは迂回路を探索するため、最終的な判明率 $R_k$ の値に緩やかに漸近するものと考えられる。

b) 旅行時間

図-4には、図-2で示した100台の車両の軌跡から選択した1台の軌跡を示した。これより、道路閉塞情報の共有の有無により、車両の軌跡が大きく異なることが認められる。この例では、道路閉塞情報を共有しない場合に557分を要していた旅行時間が、5分毎の道路閉塞情報の共有により198分、閉塞発見毎の道路閉塞情報の共有でも207分にまで短縮されている。

このような旅行時間の短縮効果について、全車両の傾向を表したものが、図-5に示した旅行時間の正規化ヒス

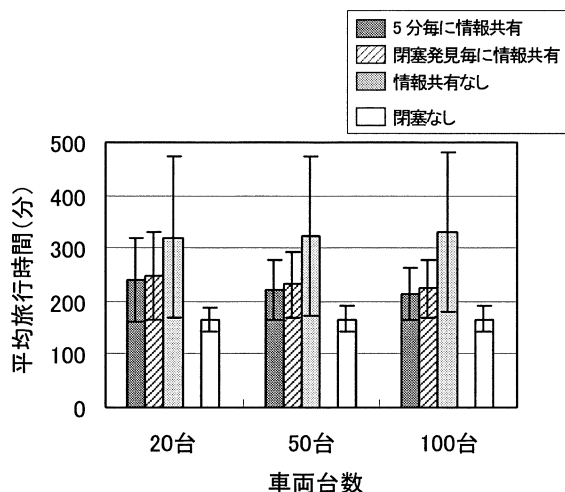


図-6 旅行時間の平均値およびばらつきの比較 (エラーバーは標準偏差を表す)

トグラムである。車両が移動すべき直線距離を一定としているため、閉塞リンクがまったくない場合には、旅行時間のばらつきが小さい。一方、閉塞リンクが存在し、道路閉塞情報を共有しない場合には、平均の 2.5 倍以上の旅行時間を要する車両が全体の 2 割程度を占め、旅行時間のばらつきが大きくなる。ここで、道路閉塞情報を共有すると、そのような長時間の旅行時間を要する車両の台数が急減し、さらにその傾向は車両台数が多いほど顕著である。

これらの傾向を数値で比較するため、図-6 に旅行時間の平均値およびばらつきの比較を示す。図-6 より、道路閉塞がある場合、道路閉塞がない場合の 170 分と比較して約 2 倍の 330 分の平均旅行時間を要したが、道路閉塞の情報を共有することにより旅行時間は短縮された。その効果は車両台数が増加するほど高まる傾向が見られ、車両台数 100 台の場合では、平均旅行時間は情報共有をしない場合と比較して約 3 割減の 220 分であった。道路閉塞情報の共有方法による差異は 5%程度と小さかった。また同じく図-6 より、道路閉塞情報の共有により、旅行時間の短縮と共に、特に長時間側へのばらつきを抑制する効果が確認された。

#### 4. まとめ

プローブカー軌跡から得られる通行可能な道路の情報の収集と、プローブカーにより収集された道路閉塞情報の共有がもたらす旅行時間の短縮に着目した基礎的なシミュレーションを行い、以下の知見を得た。ただし、ここでは、純粋に情報共有の効果を調べるため、情報共有の有無と並んで車両の挙動を大きく左右する渋滞の影響は排除している。

- 1) プローブカーの軌跡を集約し、地図上に重畳することにより、通行可能と判明した道路を面的に把握することができた。
- 2) 道路閉塞情報を共有しても、通行可能な道路の判明率

には大きな変化がみられなかった。ここで、車両台数が多いほど判明率が早期に飽和する傾向がみられたが、これは事項で示すとおり、長時間の旅行時間を要する車両の減少によるものであった。

- 3) 道路閉塞情報の共有により、走行する車両全体の平均旅行時間が短縮された。特に、長時間側への旅行時間のばらつきを抑制する効果が確認された。

以上のように、収集されたプローブカー情報を共有することにより、情報の提供者である個々の車両は旅行時間の短縮を図ることができ、情報を収集する側では広域の道路情報を迅速かつ面的に把握できる可能性が示された。

実際の運用にあたっては、通行可能な道路の情報は有用である一方、一般車両がそれらの路線に集中することが想定される。したがって、特に災害直後の緊急対応時には、プローブカー情報が必ずしも安全な走行を担保した情報ではないことを踏まえると、このような情報を緊急通行車両に対してのみ公開するなどの配慮が必要となる。道路管理者や警察に加えて、自治体、消防やライフライン事業者などの防災関係機関がプローブカー情報を共有することにより、災害時における迅速な道路状況の把握とそれに基づく災害対応が可能となることが期待される。

その一方で、単純な道路通行可否の情報のみならず、走行速度や交通量を併せた詳細な情報を十分に短い時間間隔で共有することにより車両の集中を回避し、広く一般に道路情報を共有する可能性も追求すべきである。

謝辞：ご助言、示唆をいただきました東京大学生産技術研究所桑原教授ならびにデータをご提供いただいた本田技研工業の関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

国土交通省道路局 ITS 推進室 (参照年月日: 2007.9.30), プローブカーのシステムイメージ, <http://www.its.go.jp/TIS/j-html/2002HBook/section4/4-9j.html>.

防災科学技術研究所他 (2005), 危機管理対応情報共有技術による減災対策, 平成 16 年度委託業務成果報告書.

防災科学技術研究所他 (2006), 危機管理対応情報共有技術による減災対策, 平成 17 年度委託業務成果報告書.

秦康範, 小玉乃理子, 鈴木猛康, 末富岩雄, 目黒公郎 (2007a), 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, Vol.29, pp.816-823.

秦康範, 小玉乃理子, 鈴木猛康, 末富岩雄, 目黒公郎 (2007b), プローブカー情報を用いた災害時道路情報共有化に関する研究, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演梗概集, IV, pp.281-282.

(投稿受理 2007. 9. 30 訂正稿受理 2008. 2. 12)

# Numerical Simulation of Road Information Gathering and Travel Time Saving in Disaster by Sharing Probe Vehicle Data

Noriko KODAMA<sup>1</sup> · Yasunori HADA<sup>2</sup> · Takeyasu SUZUKI<sup>3</sup> · Kimiro MEGURO<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Waseda Institute for Advanced Study, Waseda University  
(〒169-8555 3-4-1 Okubo, Shinjuku, Tokyo, Japan)

<sup>2</sup>Institute of Industrial Science, The University of Tokyo  
(〒153-8505 4-6-1 Komaba, Meguro, Tokyo, Japan)

<sup>3</sup>Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi  
(〒400-8511 4-3-11 Takeda, Kofu, Yamanashi, Japan)

<sup>4</sup>Institute of Industrial Science, The University of Tokyo  
(〒153-8505 4-6-1 Komaba, Meguro, Tokyo, Japan)

## ABSTRACT

Road information sharing is vital in disaster response, but it still remains today a significant problem in spite of the recent breakthrough of information and communication technology. In this study, we proposed probe vehicle data sharing to solve the road information gathering problem.

Vehicle trajectories on a road network with road closures were numerically simulated. Available roads were readily and planary recognisable from trajectories of the vehicles superimposed on a map. Simulated travel times of individual vehicle trips were shorten when road closure information derived from the probe vehicle data was shared among the vehicles. Variation of the travel times was effectively reduced even in a large disaster. The road closure information sharing has little influence on the total length of the available roads recognised.

The simulation results indicate that the probe vehicle data sharing can effectively reduce travel times of vehicles drive in a disaster area, including those of disaster response authorities, and to gather rapidly information on available roads in a wide area.

**Keywords** : *Probe Vehicle, Road Information, Information Sharing, Disaster Mitigation*