

プローブカーを利用した交通情報予測方式の検討

伏木 匠† 山根 憲一郎† 横田 孝義† 権守 直彦‡ 岸野 清孝‡ 石田 康‡ 伊藤 彰朗‡

† 株式会社日立製作所日立研究所

〒319-1292 茨城県日立市大みか町 7-1-1

‡ 株式会社日立製作所システム事業部

〒101-8010 東京都千代田区神田駿河台 4-6

E-mail: † {tfushiki,yamane,tyokota}@hrl.hitachi.co.jp,

‡ {gonmori,kishino,ishida,akito}@siji.hitachi.co.jp

あらまし プローブカーシステムは車両自身を移動するセンサとして利用するシステムで、特に交通情報を収集する手段として注目を集めている。プローブカーシステムの課題は、プローブカーの普及率が低い状況下ではプローブカー非存在区間が発生し、十分なリアルタイム交通情報を収集できないことにある。本研究では、プローブカーを用いてリアルタイム交通情報を取得するために必要なプローブカーの普及率とエリアカバー率との関係を明らかにし、リアルタイム交通情報が取得できないプローブカー非存在区間での交通情報予測方式を検討した。さらに実車走行実験を行い交通情報予測方式の精度評価を行った。

キーワード プローブカー, 予測, 交通情報, ITS

Traffic Condition Prediction by Use of Floating Cars

Takumi FUSHIKI†, Ken'ichiro Yamane†, Takayoshi YOKOTA†,
Naohiko GONMORI‡, Kiyotaka KISHINO‡, Yasushi ISHIDA‡, Akio ITO‡

† Hitachi Research Laboratory, Hitachi,Ltd.

Omika-cho 7-1-1, Hitachi-shi, Ibaraki, 319-1292 Japan

‡ Systems Engineering Division, Hitachi,Ltd.

Kanda-Surugadai 4-6, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8010 Japan

E-mail: † {tfushiki,yamane,tyokota}@hrl.hitachi.co.jp, ‡ {gonmori,kishino,ishida,akito}@siji.hitachi.co.jp

Abstract Floating cars are very effective in traffic information gathering. In the situation of low existence probability of floating cars, however, road sections without floating cars may occur and may prevent sufficient real-time traffic information gathering. In this paper, we proved the relation between the existence probability and area coverage of floating cars for real-time traffic information gathering, and examined a method of traffic condition prediction in a section without floating cars while traffic information gathering. Moreover, we made a field experiment and evaluated the accuracy of the method of traffic condition prediction.

Key words Floating Car Data, Prediction, Traffic Information, ITS(Intelligent Transport Systems)

1. はじめに

プローブカーシステムは車両自身を移動するセンサとして利用するシステムで、特に交通情報を収集する手段として注目を集めている。大規模な実験的プロジェクトも行われており、昨年度は横浜地区で約300台のプローブカーによる走行実験がなされ[1]、今年度は名古屋地区で1570台のタクシーによる大規模実証実験が行われている[2]。

一般的なプローブカーシステムのシステム構成図を図1に示す。プローブカーシステムはプローブカーとセンタシステムから構成される。プローブカーはGPS、携帯電話を接続した車載機を搭載し、GPSで計測した時刻、位置、速度等のプローブ情報をセンタシステムに送信する。センタシステムは、プローブカーから取得したプローブ情報を収集・蓄積する。センタシステムは、複数のプローブカーから収集されたプローブ情報を集約し、地図に割り付けるなどの編集を施して交通情報の形に変換して、ネットワークに配信する。上記のようにプローブカーは、GPSによって計測した車両の位置、速度を交通情報源として利用するので、情報収集エリアが限定されないという特徴がある。しかし、プローブカーの普及率が低い状況下ではプローブカー非存在区間が発生し、十分なリアルタイム交通情報を収集できない。また情報収集の通信媒体として一般的に携帯電話が用いられるので、より多くのプローブ情報を収集するためには通信コストが大きくなるという問題点がある。

本研究では、まずプローブカーの普及率とエリアカバー率との関係を明らかにし、プローブカーを用いてリアルタイム交通情報を取得するための普及率を試算した。次にプローブカーの普及率が不十分のためにリアルタイム交通情報が取得できないプロ

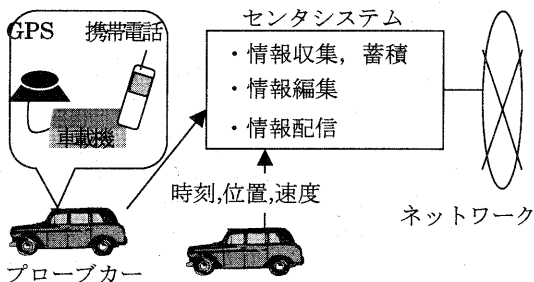


図1: プローブカーシステム構成

ブカー非存在区間での交通情報を、過去と現在のプローブカーデータを用いた予測により補完する方式を検討した。さらにプローブカーの実験システムを構築して実車走行実験を行い、交通情報予測方式の精度評価を行った。

2. プローブカー普及率の試算

プローブカーを交通情報源として利用し、必要な普及率を試算した研究事例としては、道路交通センサデータを用いて走行速度調査に必要なプローブカー普及率を検討したもの[3]、プローブカー台数と普及率から交通情報提供のサービスエリアを試算したもの[4]、普及率と情報精度との関係をシミュレートしたもの[5]などが挙げられる。これらの研究事例によれば、統計的な交通情報収集に1%程度、リアルタイムの交通情報収集には5%程度のプローブカー普及率が必要である、としている。本研究では、プローブ情報をリアルタイム交通情報として活用する際のプローブカー普及率とエリアカバー率の関係を定式化し、具体的数値を用いて必要なプローブカー普及率を試算した。

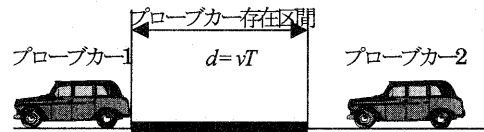


図2: プローブカー存在区間の定義

リアルタイム交通情報取得にプローブ情報を利用する際のプローブカー存在区間の定義を、図2を用いて説明する。リアルタイム交通情報の有効期限を $T[h]$ 、車両の平均移動速度(空間平均速度)を $v[km/h]$ とすると、有効期限 $T[h]$ 内に1台のプローブカーが移動する平均移動距離 $d[km]$ は $d = vT$ で表される。この距離 $d[km]$ で表される区間をプローブカー存在区間と定義する。全道路区間に対して、このプローブカー存在区間の占める割合がエリアカバー率となる。なお本研究では一車線道路を仮定している。

まず簡単のために、全走行車両中に一様間隔でプローブカーが配置される理想的な状態において、全道路区間がプローブカー存在区間となるためのプローブカー普及率を求める。平均移動距離 $d[km]$ 中に存在する車両台数は、密度を $k[台/km]$ とすると $kd[台]$ となる。この $kd[台]$ のうち一台がプローブカーであれば、全道路区間にプローブカーが存在することになり、プローブカー普及率 $\gamma[1/台]$ は以下の式(1)で

表される。

$$\gamma = \frac{1}{kd} = \frac{1}{kvT} = \frac{1}{QT} \quad (1)$$

ただし、式(1)において Q [台/h]は交通量で、一様交通流の場合、 $Q = kv$ の関係が成立する。

次にプローブカーが一樣間隔ではなく、ある分布をもって配置されるより現実的な状態を仮定する。プローブカー普及率 γ [1/台]におけるプローブカーの車頭間隔 x [km]の確率密度分布 $f(x)$ [1/km]は、一般に期待値 $1/k\gamma$ [km]の指数分布と仮定でき、式(2)で表せる。

$$f(x) = P(X = x) = k\gamma \exp(-k\gamma x) \quad (2)$$

このとき距離 x [km]以下の区間にプローブカーが存在する確率 $F(x)$ は、式(2)の確率分布をもつ累積分布関数となり式(3)で表される。

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_0^x f(X) dX = 1 - \exp(-k\gamma x) \quad (3)$$

ここである道路区間がプローブカー存在区間である確率は、平均移動距離 d [km]中にプローブカーが存在する確率となる。この存在確率を β で表すと、 β は式(3)により $\beta = F(d)$ で表される。これを γ について解くと以下の式(4)となる。

$$\gamma = \frac{1}{kd} [-\ln(1 - \beta)] = \frac{1}{QT} [-\ln(1 - \beta)] \quad (4)$$

式(1)と式(4)を比べると、プローブカーの配置が非一様な分布をとる分だけ、係数 $[-\ln(1 - \beta)]$ の分プローブカーが余計に必要なことを表している。また、 β はある道路区間がプローブカー存在区間である確率を表すが、空間的に考えるとプローブカーが走行をカバーしているエリアの割合、すなわちエリアカバー率と考えることができる。式(5)に関して、具体的数値を代入したものを表1に示す。表1は交通量 $Q=1200$ [台/h](一般道における飽和に近い交通量)、情報収集周期 $T=5$ [min]として算出した。

表1: エリアカバー率とプローブカー普及率の関係

エリアカバー率 β	係数 [-ln(1-β)]	プローブカー普及率 γ
63.2%	1.000	1.00%
80.0%	1.609	1.61%
90.0%	2.303	2.30%
95.0%	2.996	3.00%
99.0%	4.605	4.61%

表1より、エリアカバー率 63.2%~99.0%を実現するためには、プローブカー普及率が 1.00%~4.61%必要なことがわかる。プローブカー普及率は、プローブカーの普及率と密接に関係しており、普及率が低い段階では、エリアカバー率が低下してしまう。よって本研究では、プローブカー前方の交通状況を予測することで、プローブカー非存在区間の交通状況を補完し、プローブカー普及率を変えずにエリアカバー率を増加させることを目的とした。具体的な交通状況予測によるエリアカバー率増加の目標値は、表1の数値を参考にして、プローブカー普及率1%で5%相当のエリアカバー率(63.2%~99.0%)を実現する、カバー率約2倍増とした。

3. 交通情報予測方式及び実験結果

3.1 交通情報予測方式

本研究における交通情報予測方式では、過去に蓄積したプローブカーの走行軌跡と現在のプローブカーの走行軌跡を対比することにより、現在プローブカーが走行する区間の前方区間の交通状況を予測する。図3に交通情報予測方式のイメージ図を示す。図3は、横軸に地点の距離、縦軸に各地点における車両の速度をとったときの過去、現在、予測のプローブカーの走行軌跡を表している。現在走行軌跡は現在時刻までに取得されたプローブカーの走行軌跡で、前方の区間(図3の未走行区間)は未走行であるとする。一方、過去の走行軌跡群は、前方区間も含めて走行済みで、その走行速度は既知であるとする。このとき、現在走行軌跡と過去走行軌跡群とを対比することで、前方未走行区間の予測走行軌跡を求めて交通状況の予測値とする。

具体的な予測走行軌跡の算出方法を図4のフローチャートを用いて説明する。

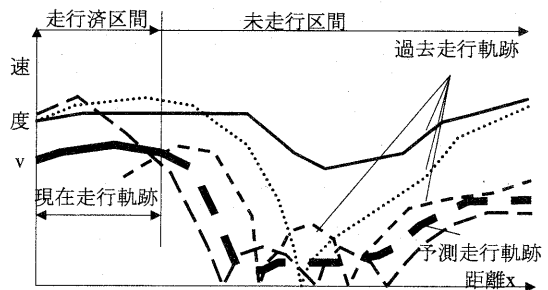


図3: 交通情報予測方式

(1)プローブ情報のマップマッチング

ベクトル地図データを用いて、収集したプローブ情報を道路リンクにマップマッチングし、プローブ情報を地図上に割り付ける。

(2)現在・過去走行軌跡の抽出

予測走行軌跡を求める区間を指定し、指定した区間を構成するリンク上のプローブ情報を取り出して走行軌跡を抽出する。

(3)現在・過去走行軌跡の対比

現在走行軌跡と、過去走行軌跡とを対比して予測走行軌跡を算出する。具体的には、現在走行軌跡が存在する区間中の過去走行軌跡群の速度に対する現在走行軌跡の速度の相対的な順位を求め、その順位に相当する速度を、前方未走行区間における過去走行軌跡群から取り出し、予測走行軌跡の速度とする。

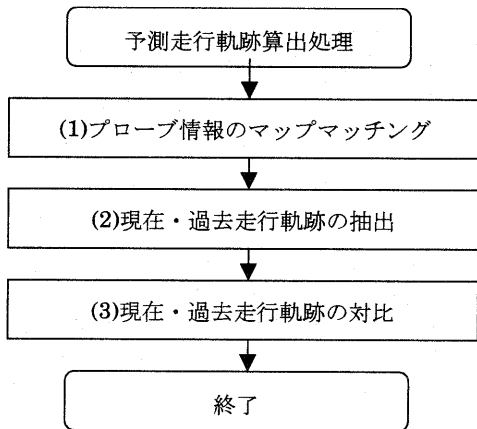


図4: 予測走行軌跡算出フローチャート

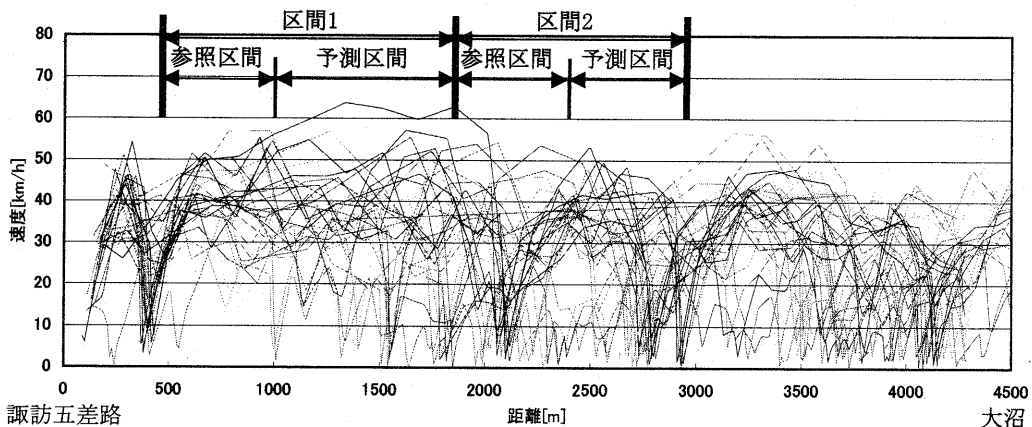


図6: 実車走行軌跡と予測走行軌跡算出区間

3.2 実車走行実験結果

実車走行実験によって得られたプローブ情報を用いて、前節に示した交通情報予測方式を評価した結果を以下に示す。



図5: 実験用車載端末

実験には図5に示す実験用車載端末を用いた。図5のGPSは1秒周期で時刻、位置、速度を計測し、計測したデータは実験用車載端末でファイルにロギングした。ロギングしたデータはプローブ情報としてPCに取り込み、前節に示した交通情報予測方式によって予測走行軌跡を算出した。

表2は実車走行実験を行った区間の諸元である。走行実験を行った区間は、朝の通勤時間帯にはしばしば渋滞が発生する個所である。図6は実験で取得した実車走行軌跡を示したものである。図6の横軸

表2: 実車走行実験区間の諸元

場所	国道6号線上り方向(日立市内)
区間	諏訪五差路→大沼(約4.5km)
走行期間	1999.12.15~2000.11.30
走行回数	34回(7:30~10:00の時間帯)

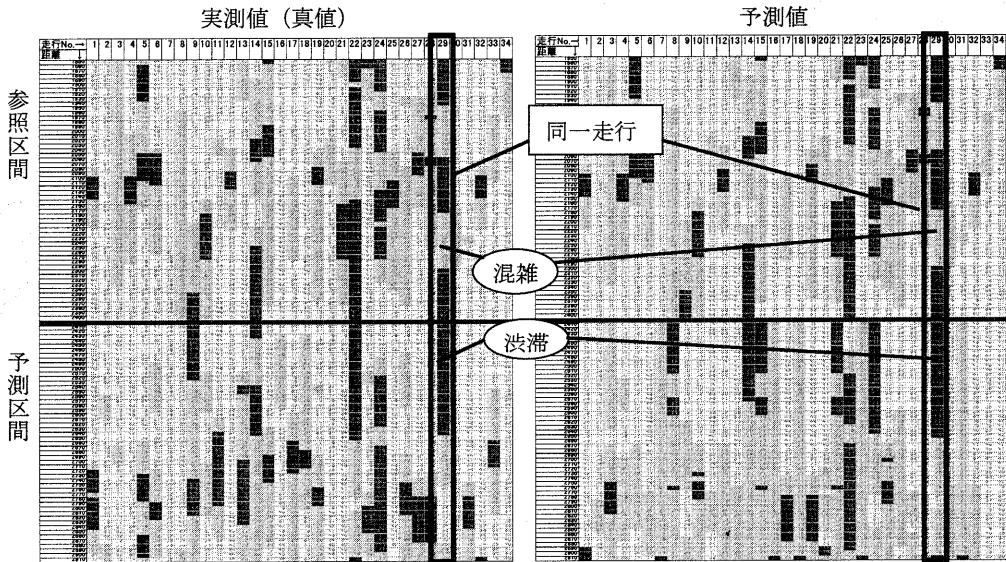


図7: 予測走行軌跡の算出結果(区間2の例)

は国道6号線諏訪五差路を起点とした距離、縦軸は各地点での車両の速度を表し、一つの系列が一走行に対応している。また予測走行軌跡を算出する区間として、図6に示した区間1、区間2を定めた。図6の参照区間はプローブカー存在区間であり、実車走行軌跡から現在走行軌跡を取り出して過去走行軌跡群と対比する区間を表し、予測区間はプローブカー未走行区間として予測走行軌跡を求める区間を表す。本研究ではエリアカバー率2倍増を目標値に設定しているため、参照区間と予測区間をほぼ等しくとった。なお、予測に際しては、自分自身を除いた他の走行軌跡を、過去、未来含めて全て過去走行軌跡として扱い、各走行軌跡毎に予測走行軌跡を算出した。

図7に予測走行軌跡の算出結果、表3に評価結果を示す。図7は、図6で示した区間2の各走行軌跡ごとの速度を濃淡表示し、実測値と予測値とを比較したものである。各列がそれぞれ走行軌跡、縦方向が距離を表し、左側が実測値の走行軌跡、右側が予測値の走行軌跡である。実測値、予測値の同一走行No.は同一の走行を表し、左右で対応している。各マス(10m×1 走行)の色は速度を表し、色なしの個所が時速30km以上、灰色が時速15kmから30km、黒色が時速0kmから15kmを表しており、それぞれ順調、混雑、渋滞と定義する。図7の予測区間における実測値、予測値を比較すると、予測値は実測値に対して若干混雑が多めに出るものの、傾向は一

致し良好な結果を示している。表3は、図7の例に示した順調、混雑、渋滞の区分を定量的に評価した結果である。表3上、中段二つの表は、区間1、区間2それぞれの予測区間における渋滞区分の内訳を表したものであり、図7の一マス一つの単位として、予測区間の全マス目に対する渋滞区分を百分率で表したものである。区間2を例に説明すると、区間2では、実測値の順調個所が全体の76%であるのに対して、予測値でも順調とした個所が全体の31%、

表3: 評価結果

		区間1		
		実測		
		順調	混雑	渋滞
予測	順調	53%	14%	4%
	混雑	18%	3%	2%
	渋滞	4%	2%	0.2%
合計		76%	19%	6%

		区間2		
		実測		
		順調	混雑	渋滞
予測	順調	31%	8%	5%
	混雑	25%	14%	6%
	渋滞	4%	4%	3%
合計		60%	25%	14%

	区間1	区間2	合計
正答率 (=(順調一致+混雑or渋滞一致)/全体)	60%	57%	59%

混雑とした個所が全体の 25%、渋滞とした個所が全体の 4%であることを示している。表 3 下段の表は、区間 1、区間 2、及び合計での正答率を示している。ここで正答率とは、実測・予測ともに順調とした個所と、実測・予測ともにどちらかで混雑・渋滞とした個所の全体に対する比率を求めた結果(表 3 上、中段の太線囲み部分の合計)であり、予測が概ね正しかったことを示す比率である。表 3 の結果を考察すると、正答率に関しては、両区間で大きな違いはなく、約 60%の正答率を示していることがわかる。次に区間ごとの正答率を考察する。区間 1 では、順調個所 76%のうち予測順調個所約 53%となり、順調個所に限定すると約 70% (=53/76)の正答率となっている。一方区間 2 では、混雑・渋滞個所 39% (= 25% +14%)のうち予測混雑・渋滞個所 27% (= 3% +2% +2% +0.2%)となり、混雑・渋滞個所に限定すると約 70%(=27/39)の正答率となっている。これは本交通情報予測方式が、区間の交通状況に応じて予測精度が変化し、順調個所が多い区間では順調時の予測が一致しやすく、混雑・渋滞の発生が多い個所では混雑・渋滞時の予測予測が一致しやすい傾向にあるといえる。

以上の評価結果より、本研究における交通情報予測方式では、エリアカバー率を 2 倍としたときに約 70%の正答率を達成できることがわかった。本方式では信号停止の場合の速度も渋滞として扱われているので、この停止を排除することによって、さらなる精度向上が可能かと思われる。

4. おわりに

本研究の研究結果を以下に列挙する。

- ・プローブカーの普及率とエリアカバー率との関係を定式化した。また、関係式を使ってプローブカーを用いてリアルタイム交通情報を取得するための普及率を試算し、エリアカバー率 99.0%のリアルタイム交通情報を取得するためには、約 5%のプローブカー普及率が必要なことがわかった。
- ・過去に蓄積した走行軌跡と現在の走行軌跡とを対比して、リアルタイム交通情報が取得できないプローブカー非存在区間での交通情報を、予測により補完する交通情報予測方式を検討した。さらにプローブカーの実験システムを構築して実車走行実験を行い、交通情報予測方式の精度評価を行った結果、約 70%の正答率を実現した。

今後はさらなるデータ収集、アルゴリズム改良を進

めて、予測精度の向上を図る予定である。

文 献

- [1] 福本克明, “プローブ情報システムの研究,”車と情報, vol.25, pp.12-13, July 2001
- [2] <http://www.internetits.org>
- [3] 石田東生ほか, “高度交通情報機器を用いた走行速度調査における抽出率の検討,”土木計画学研究・講演集, No.23(1), pp.671-673, Nov. 2000
- [4] Chul Gyu Park, et al., “Determination of Optimal Number of Probe Vehicles for Real-time Traffic Flow Information,”5th World Congress on Intelligent Transport Systems, Seoul, Korea, Oct.1998
- [5] R.Bolla, et al., “Estimating Road Traffic Parameters from Mobile Communications,”7th World Congress on Intelligent Transport Systems, Turin, Italy, Nov. 2000