

中国プローブ実証実験における交通情報の作成と定量評価

君田 和也 伏木 匠 横田 孝義 熊谷 正俊
株式会社 日立製作所 日立研究所

近年、路側設備が不要な新しい交通情報システムとして、車両の走行履歴データを利用するプローブ交通情報システムが国内海外を問わず注目を集めている。このシステムでは、用いる計測車両(プローブカー)の台数やデータの収集頻度等、システムの構築環境が交通情報の精度や提供可能エリアの広さ、コスト等に大きく影響する。本研究では日中合同プロジェクトの一環として実際にこのシステムを開発し、システムの構築環境と作成される交通情報の(1)旅行時間精度、(2)渋滞度精度、(3)エリアカバー率との関連について、北京市で収集したバスの走行履歴データを用いて定量的に検証し、評価方法を確立した。

Quantitative Evaluation of Traffic Information Data Based on Floating Car Data

Kazuya KIMITA Takumi FUSHIKI Takayoshi YOKOTA Masatoshi KUMAGAI
Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Floating-car system is expected as a new traffic information system without large infrastructure. The information quality of this system, such as accuracy, area coverage and costs, is largely affected by its system environment, such as the number of floating cars and interval time of GPS data collection.

With quantitative evaluation of traffic data through a demonstration experiment in Beijing (China), we showed correlation between the information quality and the system environment for the first time.

1. 緒言

近年、中国では自動車の利用台数が急激に増加しており、都市部を中心に渋滞等の交通問題が深刻化している。特に北京市では、2008年に開催される北京オリンピックを控えている事もあり、交通問題の解決が急務となっている。そのため、北京市は現在日本で実用化されている交通情報提供システムに非常に興味を持っており、導入も検討中である[1]。しかしながら、システムを実現するためには路側センサ等の大型インフラを多数設置する必要があり、そのために必要と推測される費用や時間は膨大となるため、現実的な価格

かつ短期間でサービスが提供可能な交通情報システムが期待されている。現在その候補の一つとしてプローブ交通情報システムが挙げられている。

プローブ交通情報システムを構築した例は過去に多数報告されているが[2]-[11]、用いるプローブカーの台数や、交通情報の更新頻度等、実際にシステムを構築した環境のもとで、交通情報が十分な品質を達成しているか否かを定量的に評価した例は報告されていない。

本研究では、北京市において実施した実証実験に、開発したプローブ交通情報システム(図1)により、作成した交通情報を研究対象とし、この

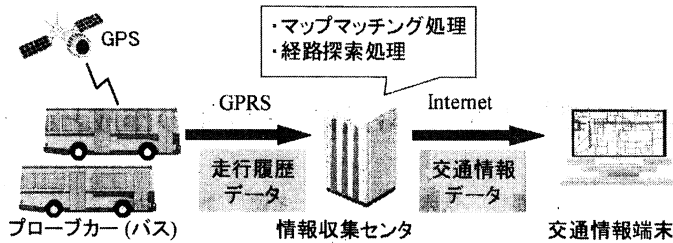


図 1. 開発したプローブ交通情報システムの概要



図 2. 評価対象の道路区間

交通情報の(1)旅行時間の精度、(2)渋滞度の精度、(3) 交通情報が利用可能なエリアの広さ(エリアカバー率)の3つの品質と、システムを構築する際の環境を特徴付けるプローブカー台数や交通情報の更新間隔等のパラメータ(システム環境パラメータと呼ぶ)との関連について定量的に検証した。

2. プローブ交通情報システムの構築上の課題

プローブ交通情報システムでは、アップリンク間隔の短いプローブカーを多く用いて得られた走行履歴データを用いると、広い範囲の道路区間に対して精度の高い交通情報を作成、提供可能であると期待できる。しかしながら、通信量によりコストがかかる携帯電話等の通信メディアを用いる場合、短いアップリンク間隔で走行履歴データを計測すると通信頻度が増加するため通信費用も増加する問題がある。また、多数のプローブカーを用いて計測すると、車両に設置するGPS等の装置の費用や先に述べた通信費用が台数に比

例して必要という問題も存在する。

本研究では、プローブカー台数やアップリンク間隔のようにプローブ交通情報システムを特徴付ける要素をシステム環境パラメータと呼ぶ。プローブ交通情報システムを実際に構築する場合、上に挙げた交通情報データの精度や必要な費用の例のように、システムに求められる品質間におけるトレードオフの関係を考慮した上で、システムが十分な品質を達成するためにシステム環境パラメータをどの程度に設定すればよいかという課題を解決する必要がある。

3. 北京市におけるプローブ交通情報システム実証実験の詳細

3.1. 実験環境

北京市において市民の足として最も一般的に用いられている公共交通機関であるバスをプローブカーとして用い、交通情報データを作成した。本報告において評価の対象とした道路区間は、バスが走行する道路区間のうち、長安街の東三環路から西三環路に至る区間及

実験日	測定車両数	設定可能台数	設定可能アップリンク間隔
2004年11月18日	約50台	50台(全て)、25台(1/2)、17台(1/3)、10台(1/5)	30秒、3分、7.5分
2005年1月19日	約10台	10台(全て)、6台(1/2)、4台(1/3)、2台(1/5)	5秒、30秒、3分、7.5分

表 1 実験環境

び西三環路の一部に存在する上下線合わせて36の道路区間である(図 2)。これらの道路区間の区間長の合計は30,332メートルである。

本報告では、この道路区間において2004年11月18日と2005年1月19日に測定した走行履歴データを用いた。各日における使用した全バス台数、設定可能なバス台数及びアップリンク間隔を表1に表す。

このようにして測定したバスの走行履歴データを情報収集センタに送信し、交通情報データ作成プログラムにより5分ごとに、作成時刻から15分前までの走行履歴データを入力として、交通情報データ(旅行時間データ及び渋滞度データ)を作成する。

3.2. 評価の方法

本研究では、最も密で情報量の多い走行履歴データである、アップリンク間隔が最短かつバス全台数から獲得した走行履歴データから作成した交通情報データを、実際の道路の交通状況を表す交通情報データの真値と見なすこととした。この真値データと、プローブカー台数及びアップリンク間隔を変化させて作成した交通情報データを比較することにより、交通情報データの精度や交通情報が提供可能な地域の広さ(エリアカバー率)がどのように変化するか評価を行った。

(1) 旅行時間データ

各道路区間の旅行時間データが、真値と比べてどの程度の精度が達成できているかを、各道路区間の区間長を重みとする重み付け平均旅行時間誤差率で評価した。

ただし本研究では、旅行時間データと真値データの両方が存在する道路区間のみを対象とする。

(2) 渋滞度データ

本報告では、渋滞度を“順調”“混雑”“渋滞”の3段階で定義し、“順調”と“混雑”及び“混雑”と“渋滞”の閾値をそれぞれ時速20キロメートル、時速10キロメートルに設定して渋滞度データを推定した。このようにして求めた渋滞度データが真値に対してどのくらいの精度を達成できているのかを、渋滞度の“渋滞”正答率及び“順調”誤答率により評価した。ただしこれらの値は、少なくとも片方の渋滞度が“不明”の場合には評価の対象から除外した。

“渋滞”正答率は真値が“渋滞”または“混雑”の際における推定渋滞度が“渋滞”または“混雑”である割合であり、実際に渋滞している道路区間のうちどの程度の区間を渋滞していると正しく推定できたかを表し、値が高いほど推定渋滞度の精度が高いことを表す。

また“順調”誤答率は、実際には車両が“順調”に移動している道路区間のうちどの程度の区間を誤って“混雑”あるいは“渋滞”していると推定したかを表しており、値が小さいほど推定渋滞度の精度が高い。

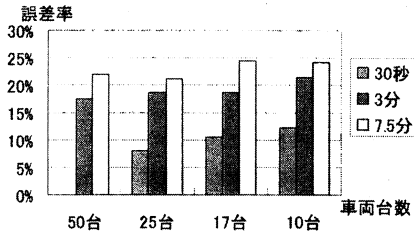
(3) エリアカバー率

本報告では、渋滞度データを生成できた道路区間の広さをエリアカバー率により評価した。

伏木らの報告によると[13]、エリアカバー率が目標とすべきエリアカバー率の理論値(理論エリアカバー率)は、全道路区間を対象とした場合、以下の式により求めることができる。ただし、 $Q't$ は交通情報データの作成対象とした時間内における交通量(台)を表す。

$$\begin{aligned} <理論エリアカバー率> \\ &= (1 - \exp(-Q't))^2 + Q't \times \exp(-2Q't) \end{aligned} \quad (1)$$

距離重みつき平均旅行時間誤差率 (20041118)



距離重みつき平均旅行時間誤差率 (20050119)

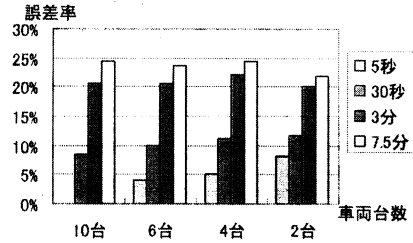


図 3. 各道路区間の平均旅行時間誤差率(左:2004/11/18、右:2005/01/19)

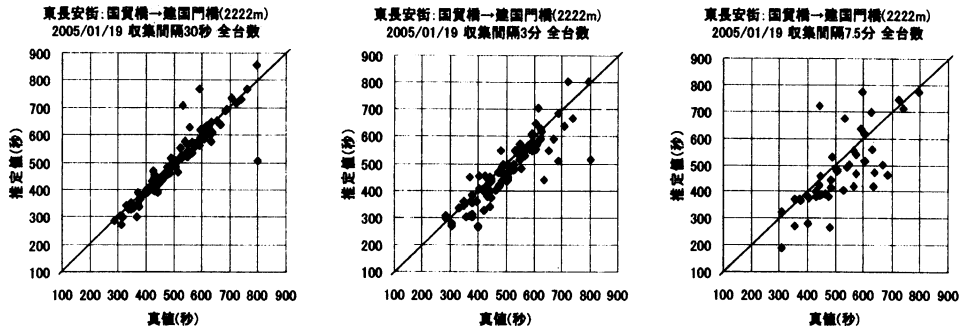


図 4. 旅行時間の真値データと推定値データの相関 (2005年1月19日)

$$\langle \text{密度(台/km)} \rangle = \frac{\langle \text{走行台数(台)} \rangle}{\langle \text{総リンク長(m)} \rangle} \quad (2)$$

$$Q't = \langle \text{空間平均速度(km/h)} \rangle \times \langle \text{密度(台/km)} \rangle \times \langle \text{集計対象時間(h)} \rangle \quad (3)$$

この値に対し実験の結果算出されたエリアカバー率の値が 0.1 程度であれば、理論エリアカバー率のモデルが妥当であると判断でき、このモデルを用いてプローブ交通情報システムの構築に必要なプローブカーの台数を予測できる。

4. 評価結果

本章では 2004 年 11 月 18 日及び 2005 年 1 月 19 日に測定したデータを対象に 3.2. で述べた各値を用いて評価を行った結果を述べる。

4.1. 旅行時間データの精度評価

旅行時間の精度の評価値として算出した、各実験日における重み付き平均旅行時間誤差率の結果を図 3 に示す。このグラフでは、データを収集するプローブカーの台数を 4 種類に変化させ、さらにアップリンク間隔を 3 あるいは 4 種類に変化させた各場合における重み付き平均旅行時間誤差率を表している。

両日における結果から、プローブカーの台数に関わらず重み付き平均旅行時間誤差率はアップリンク間隔が 5 秒の場合には約 5 パーセント、30 秒の場合には 10 パーセント前後、3 分の場合には 18 パーセント前後、7.5 分の場合には 21 パーセント前後であることがわかる。これらの結果から、旅行時間精度はアップリンク間隔に大きく依存するが、プローブカー台数にはあまり影響されることがわかる。

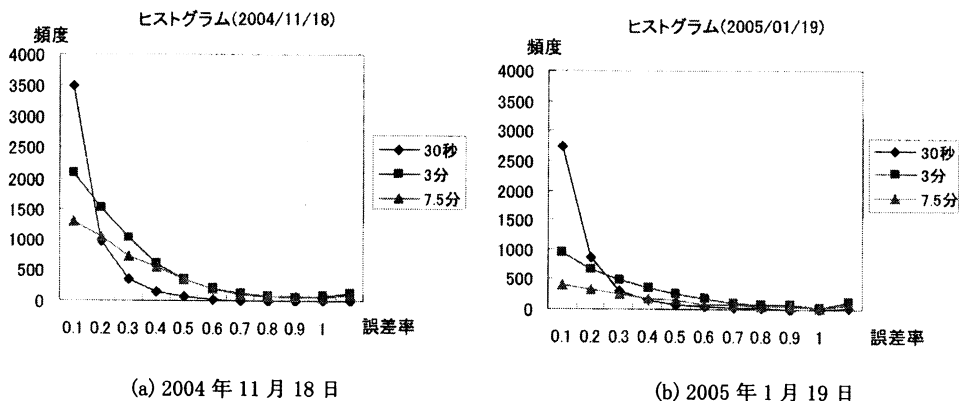


図 5. 誤差率のヒストグラム

誤差率閾値(%)	収集間隔30秒	収集間隔3分	収集間隔7.5分
10	68.36	33.51	28.23
15	79.95	47.00	40.40
20	87.53	57.80	51.11
30	94.56	74.13	67.18

(a) 2004年11月18日 (単位:%、プローブカー台数:50台)

誤差率閾値(%)	収集間隔30秒	収集間隔3分	収集間隔7.5分
10	64.64	28.21	24.33
15	76.81	38.64	36.00
20	84.85	48.51	43.93
30	91.77	63.38	58.75

(b) 2005年1月19日 (単位:%、プローブカー台数:10台)

表 2. 正答とする誤差率の閾値と正しいと判断される旅行時間データ推定値の割合

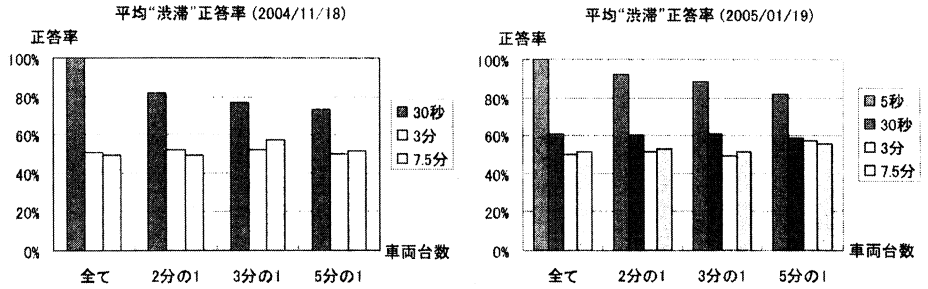
文献[14]における、交通情報の利用者は真値の旅行時間が 30 分の際に提供される交通情報の誤差が 5 分程度(誤差率約 16.7 パーセント)未満の精度を求めているという報告を参考にし、本報告では誤差率 15 パーセント未満であれば旅行時間が正しく推定できたとする。この値から判断すると、アップリンク間隔が 5 秒ないし 30 秒の場合であれば正しい旅行時間データを提供可能である。

また、この区間における 2004 年 11 月 18 日の旅行時間の真値データとアップリンク間隔を変化させた場合の重み付き平均旅行時間の相関図を図 4 に示す。相関図の横軸が真値データの値、縦軸がアップリンク間隔を変化させた場合の値である。この結果からわかるように、アップリンク間隔

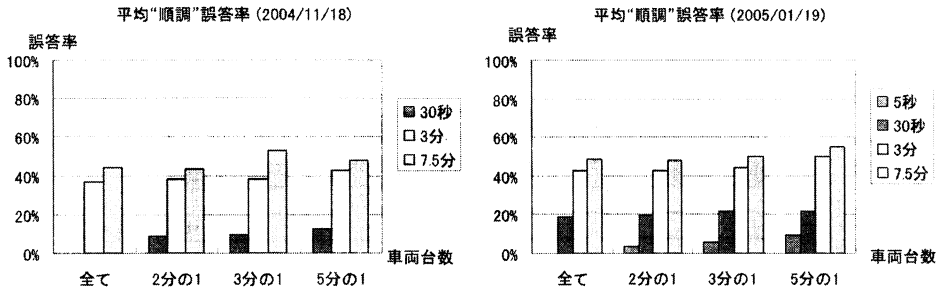
が長くなるにつれ、真値データに対する重み月平均旅行時間の値の誤差はばらつきが大きくなる。

実験で対象とした全道路区間におけるこの誤差のばらつきを調べるために、誤差率のヒストグラムを作成した。結果を図 5 に示す。これらの結果から、対象とした全道路区間においても、アップリンク間隔が長くなれば同様に誤差のばらつきが大きくなることわかる。

また、算出した旅行時間データの値が正しいかどうかを判断する誤差率の閾値を変化させた場合に、正しいとされる推定値の割合の推移を表 2 にまとめた。先に述べたように誤差率 15 パーセントを閾値とした場合、アップリンク間隔が 30 秒の場合には算出した値の約 77~80 パーセントが正しいと言える。



(a) 平均“渋滞”正答率



(b) 平均“順調”誤答率

図 6. 渋滞度の評価結果

以上のことから、旅行時間データの精度はプローブカーの台数にはあまり依存せず、アップリンク間隔に大きく依存することがわかった。今回の実験結果で用いた条件では、アップリンク間隔を30秒あるいはそれ未満に設定すれば十分な精度の旅行時間データが作成可能である。

4.2. 渋滞度の評価

渋滞度の“渋滞”正答率及び“順調”誤答率の算出結果を図6に示す。プローブカーの台数及びアップリンク間隔を変化させた場合の“渋滞”正答率を図6(a)に、“順調”誤答率を図6(b)にそれぞれ示した。この結果から、旅行時間データの場合と同様、どちらの値に対してもアップリンク間隔の変化の方がプローブカー台数の変化よりも影響が大きく、アップリンク間隔が長くなるにつれ渋滞正答率が低下し“順調”誤答率が上昇することがわかる。

アップリンク間隔が長い場合、例えば距離の短い“渋滞”及び“混雑”の区間が距離の長い“順調”の区間と平均化されてしまい、これらの区間がすべて“順調”と推定されるため、“渋滞”正答率は低下する。また、距離の短い“渋滞”の区間と距離の長い“順調”の区間が平均化され、距離の長い“混雑”の区間と推定された場合には“順調”誤答率は低下してしまう。

交通情報の利用者が最も不満を示すのは「“順調”と推定されたのに実は“渋滞”であった」場合であると推測されるので、“順調”誤答率を主として判断した場合、アップリンク間隔が30秒ないしそれ未満であれば、20パーセント程度の誤差率に抑えることができる言える。

4.3. エリアカバー率の評価

全道路区間を対象として2004年11月18日に測定した走行履歴データからエリアカバー率を算

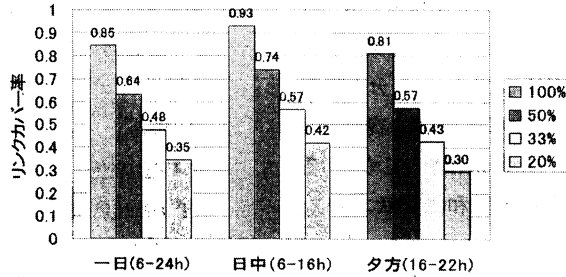


図 7 エリアカバー率 (2004年11月18日)

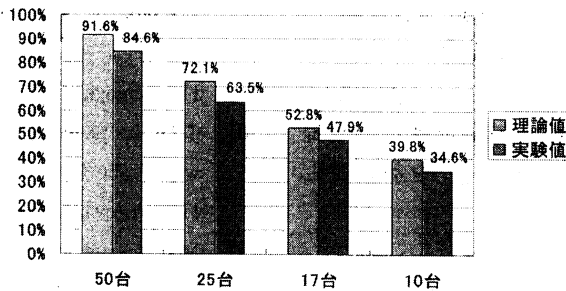


図 8 理論エリアカバー率との比較 (2004年11月18日)

出した結果を図 7 に示す。この結果から、エリアカバー率はプローブカー台数に大きく依存する事がわかる。

また、同日アップリンク間隔 30 秒で計測した場合の理論エリアカバー率との比較結果を図 8 に示す。理論エリアカバー率に対する誤差は 0.1 以内に収まっており、モデルを用いて推定したカバー率は妥当であると考えられる。実験で用いるプローブカーの台数を今回よりもさらに増やすことによりカバー率がさらに増加する事も期待されるが、複数のプローブカーが重複して走行する道路区間も増加するため、エリアカバー率の増加が途中で鈍化してしまう事も考えられる。どちらの結果になるかは、今後実際にプローブカーの台数を増やして実験してみる必要がある。

これまで述べてきた実験結果から総合的に判断すると、バスをプローブカーとして利用する場合、実験の対象とした道路区間では約 50 台のバスによりアップリンク間隔 30 秒程度で走行履歴デ

ータを収集すれば、交通情報データの十分な精度及びエリアカバー率を満たすことができる。

5. 結言

本報告では、実際にプローブ交通情報システムを構築する上で重要なシステム環境パラメータの値を変化させた際に、システムに対して特に重要視されると思われる「現状交通情報の正確さ」と「交通情報の提供範囲の広さ」の 2 つの品質を十分に満たすことが可能か否かを(1)旅行時間データの精度、(2)渋滞度データの精度、(3)交通情報データの利用可能な道路区間のエリアカバー率の 3 つを評価の基準とし、実際に北京市で収集したバスの走行履歴データを用いて、定量的に検証し、評価方法を確立するとともに、本研究のシステムの実用性を実証した。

本研究の成果を用いれば、実運用におけるシステム環境パラメータ間のトレードオフを評価した

上で、最適の品質のプロープ交通情報システムを構築することができる。これにより、路側センサ等の設備を新たに設置することなく、十分な精度及び提供可能な範囲をもつ交通情報を提供できるため、今回実験を行った北京市をはじめとする諸都市が苦しむ渋滞問題の緩和に貢献できると期待できる。

今後の課題として、先にも述べた通り本報告で述べた実験ではバスをプローブカーとして使用しているため、決まった道路区間の交通情報しか作成できない問題がある。この問題を解決する一つの方法として、北京市街を多数走行するタクシーに注目し、これをプローブカーとして利用することにより、より広範囲に対して交通情報データを提供できるプロープ交通情報システムを今後検討していきたい。

謝辞

本研究は、情報通信ネットワーク産業協会(CIAJ)の「IPv6 に対応した情報通信機器共同研究事業」の一環として行われた。関係者への感謝の意を表したい。

参考文献

- [1] “交通情報に悩む北京市が「VICS」導入に関心、日本から専門家招き検討開始”, 日系エレクトロニクス, 2004年6月28日掲載記事.
- [2] M.Tsuge et al: “Practical Use of Floating Car Data and its Benefits”, World Congress on ITS, Nagoya, CDROM, 2004.
- [3] M.Motizuki et al: “Verification of Traffic Information Generated from Probe Data”, World Congress on ITS, Nagoya, CDROM, 2004.
- [4] R.Horiguchi et al: “Effective Probe Data Transmittal with Detection of Congestion Pattern”, World Congress on ITS, Nagoya, CDROM, 2004.

- [5] インターネット ITS 協議会: “IPv6 による ITS 共通基盤の構築を目指すインターネット IST プロジェクト名古屋地区にて実証実験を開始”,
<http://www.internetits.org/ja/projects/pdf/nagoya-press020124.pdf>
- [6] R.Takami et al: “Empirical Analysis on Multipurpose Applicability of Probe-Car Data”, World Congress on ITS, Nagoya, CDROM, 2004.
- [7] T.Fujita et al; “Effective Evaluation of Probe-Car System”, World Congress on ITS, Nagoya, CDROM, 2004.
- [8] T.Morita et al: “Estimating of Bus Routes with Probe Car Data”, World Congress on ITS, Nagoya, CDROM, 2004.
- [9] M.Kuwahara et al: “Fundamental Study on the Issue of using Probe Car Data for OD Estimation and Route Identification”, World Congress on ITS, Nagoya, CDROM, 2004.
- [10] T.Ishizaka et al: “Study on Traffic Information Collection using Probe Vehicle in Developing Countries”, World Congress on ITS, Nagoya, CDROM, 2004.
- [11] Nick Simmons et al: “Commercial Application Arising from a Floating Vehicle Data System in Europe”, World Congress on ITS, Chicago, CDROM, 2002.
- [12] 平田富雄, “アルゴリズムとデータ構造”, 森北出版株式会社.
- [13] T.Fushiki, et al.: “Study on Density of Probe Cars Sufficient for Both Level of Area Coverage and Traffic Information Update Cycle,” World Congress on ITS, Nagoya, CDROM, 2004.
- [14] 割田博他, “首都高速道路における所要時間変動特性の分析”, 第 22 回交通工学研究発表会論文報告集, 2002