

# プローブの走行パターンを利用した統合型車載機での異常渋滞判定アルゴリズムの開発

堀口 良太<sup>\*1</sup>, 和田 光示<sup>\*2</sup>  
(株)アイ・トランスポート・ラボ<sup>\*1</sup>  
(財)日本自動車研究所<sup>\*2</sup>

本研究は、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、車載機側で異常な渋滞かどうかを判定し、その情報を即時にセンターへ送信するアルゴリズム、およびサーバ側で受け取った異常渋滞情報と蓄積情報を利用したリアルタイム交通情報の生成手法を開発するものである。普段とは違った渋滞状況を車載機で判定できれば、価値の高い情報のみを選択的にセンターに送信して、提供情報の品質を保ったまま、通信コストを低減することができたり、異常渋滞そのものを付加価値としてサービス利用者に提供したりと、様々な利用方法が考えられる。本稿では、車載機側での判定アルゴリズムの考え方を述べた後、2004年1月～8月にかけて実施した横浜市バス路線でのプローブ実験と、2004年10月に名古屋 - 長久手線において実施したプローブ実験でのアルゴリズム実証、およびセンター側で蓄積情報と融合して生成した旅行時間情報の精度検証について報告する。

## Intelligent Detection of Irregular Congestion with an On-board Probe Equipment

Ryota HORIGUCHI<sup>\*1</sup>, Koji WADA<sup>\*2</sup>  
*i*-Transport Lab. Co., Ltd.<sup>\*1</sup>  
Japan Automobile Research Institute<sup>\*2</sup>

This paper describes a development of the intelligent algorithm to detect and transmit the irregular congestion with an on-board probe equipment. The algorithm so works like a filter to pass the valuable traffic data as to differentiate from ordinary traffic conditions that one may easily know from his/her experience. Therefore it helps to reduce the transmittal cost, and such limited but valuable data can be utilized to estimate the real-time travel time information by fusing with stored regular data. In this paper, the outline of the algorithm is described at first. Then, the algorithm was validated through the probe experiments in both Yokohama-city and Nagoya-city, which are carried in 2004.

**Keyword: telematics, probe, irregular congestion, incident detection, transmittal cost, intelligent on-board equipment.**

### 1. はじめに

本研究は、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、車載機側で異常な渋滞かどうかを判定し、その情報を即時にセンターへ送信するアルゴリズム、

およびサーバ側で受け取った異常渋滞情報と蓄積情報を利用したリアルタイム交通情報の生成手法を開発するものである。

筆者らは、これまでに、車載機で各種のプログラムを稼働させ、プローブデータ処理の一部を、車載

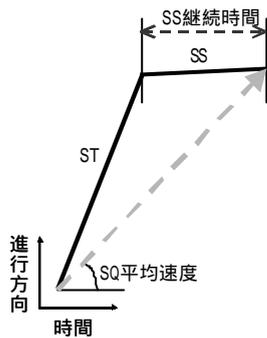


図-1 一連のSTとSSで構成されるSQの特徴量

機側で分散処理できる「統合化車載機」<sup>1)</sup>の利用を前提とした、交通情報アプリケーションを検討している。これは、プローブデータの走行状態をSS(Short Stop: 停止状態)とST(Short Travel: 走行状態)のイベント単位に区分して記録する<sup>2)</sup>方式を基本としており、少ないデータ量で信頼性の高い交通情報を得るためのデータ圧縮<sup>2)</sup>や、ウインカー、パーキングブレーキなどのイベント情報と組み合わせた記号処理的なクレンジング<sup>3)</sup>、路線バスをプローブとして利用した場合のクレンジング<sup>4)</sup>、走行パターン情報に基づく渋滞判定<sup>5)</sup>などの様々な車載機側でのデータ処理技術を開発し、渋滞情報提供だけでなく、OD交通量分布の推計<sup>6)</sup>や、信号制御効果の継続モニタリング<sup>4)</sup>などの各種交通情報アプリケーションで活用してきたものである。

今回は、より高度なアプリケーションとして異常渋滞判定技術の開発に取り組んだ。これは、蓄積したプローブ情報から導出した日常的な渋滞状況を「背景情報」として利用し、車載機に持たせることで、日常とは違った渋滞状況が発生しているかどうかをローカルに、かつ即時に判別し、価値の高い情報のみをセンターに送信するものである。必要な情報のみを限定してセンターに送信するので、通信コストが大幅に削減できると同時に、蓄積情報と融合させて、リアルタイムの区間旅行時間情報を生成することも可能である。また、利用者には、普段と違う重要性の高い渋滞情報のみを提供し、サービスに付加価値を与えるような利用方法も考えられる。

以降では、ST,SSを利用した異常渋滞判定アルゴリズムの考え方を概説し、2004年1月~8月にかけて実施した横浜市バス路線でのプローブ実験と、2004年10月に名古屋-長久手線において実施した実証実験でのアルゴリズム適用結果、およびセンター側で蓄積情報と融合して生成した旅行時間情報の精度検証について報告する。

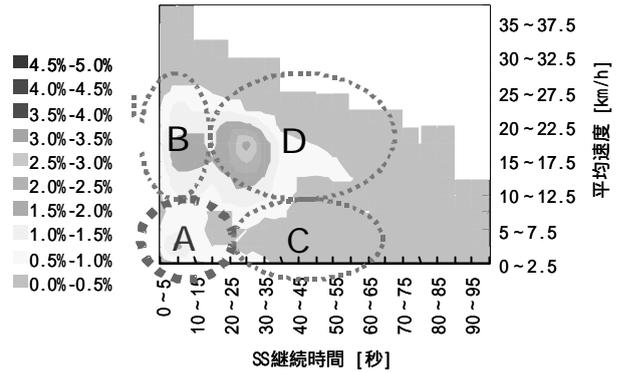


図-2 SQ 特徴量の分布

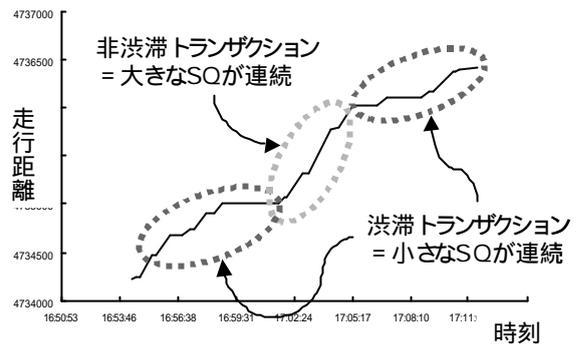


図-3 渋滞区間でのSQ出現傾向

## 2. 車載機側での異常渋滞判定アルゴリズム

### 2-1 ST+SSシーケンスと渋滞パターン

先にも述べたとおり、プローブが停止状態にある時をSS、走行状態の場合をSTと区分すると、トリップ中のプローブデータは、STとSSが交互に繰り返す形で表現される。一続きのST+SSをシーケンス(SQ)と呼ぶとき、SQの時空間軌跡形状は、図-1に示したSS継続時間とSQ平均速度を特徴量として、いくつかのカテゴリに分けることができる<sup>5)</sup>。すなわち、図-2に示す以下のカテゴリである。

- A: SS継続時間が閾値未満、かつSQ平均速度も閾値未満。
- B: SS継続時間が閾値未満だが、SQ平均速度は閾値以上。
- C: SS継続時間が閾値以上だが、SQ平均速度は閾値未満。
- D: SS継続時間もSQ平均速度も閾値以上。

プローブデータを連続するSQで表現すると、上述のカテゴリを用いて"DCDBAAABD..."のように文字列に変換できる。統計解析により、各文字の有意な出現傾向を調べると、「Aは連続して出現する」「Dも連続して出現する」「BとCは前後の文字と関係なく出現する」という知見が得られた<sup>7)</sup>。こ

これは図-3 に示したプローブの時空間軌跡図で認められるように、渋滞区間では小刻みな停止発進が繰り返されるので、小さな SQ、すなわち A が連続し、非渋滞区間では、大きな SQ、すなわち D が連続するという傾向を意味している。従って、以下では A を「渋滞パターン」と見なして、議論を進める。

なお、SQ をカテゴリ分けする処理は、閾値を用いた簡単なものなので、車載機側で B と C を無視し、A が連続している間を「渋滞トランザクション」として抽出し、センターに送信すれば、1 秒ごとの位置データを記録した場合に対して、0.1% のデータ量で、渋滞情報を収集できる<sup>5)</sup>。

## 2-2 SQ の渋滞情報量と異常渋滞検出

特にプローブ情報が多量に蓄積されている区間では、これを統計処理して、日常的な交通状態を示す背景情報を作成し、プローブでリアルタイムに生成される渋滞区間情報の情報量(渋滞情報量)を求めるのに利用できる。すなわち、図-4 に示すように、地点毎に SQ 渋滞パターン(前出の A)が発生する確率を蓄積情報から求めておき、リアルタイムの走行軌跡から得られる SQ 毎に、次式で定義される渋滞情報量  $I$  を求めるものである。

$$I = - \int_{x_{-1}}^{x_0} d_x^c \log p_x dx / (x_0 - x_{-1}) \quad (\text{式 1})$$

ここで、

$x_{-1}, x_0$  : 当該 SQ の開始、終了地点。

$d_x$  : 当該 SQ が渋滞パターンの場合 1, それ以外は 0 となる係数。

$p_x$  : 地点  $x$  での渋滞パターン出現確率。

これは、背景情報に対する SQ のエントロピーであるが、頻繁に渋滞が発生している区間で観測された SQ 渋滞パターンは情報量が小さく、逆にあまり渋滞が発生しない区間では情報量が大きくなる。これを「ある閾値より情報量が大きい SQ 渋滞パターンは、リアルタイムにセンターへ送信される価値がある」と読み替えて、異常渋滞情報として扱う。

上記の背景情報は、蓄積データ量が十分にあれば、月別、日種別、時間帯別等、細分化して用意する。ただし、すべての区間の背景情報を車載機に持たせるには、様々なコストの増加が懸念される。統合型車載機では、背景情報が与えられている区間を走行している場合のみ異常渋滞判定処理が適用され、そのほかの区間では背景情報を必要としない渋滞トラ

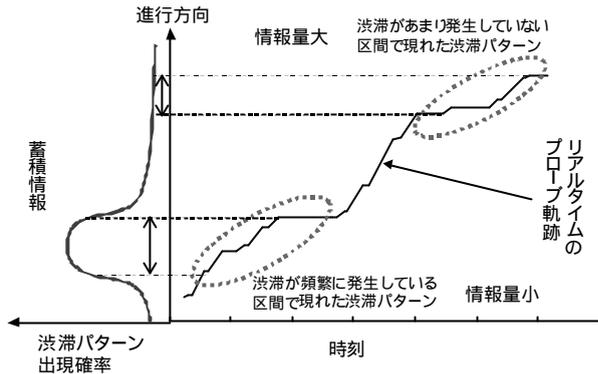


図-4 渋滞パターン出現確率と渋滞区間の情報量

ンザクション検出処理を適用するなど、状況に応じた柔軟なデータ抽出・送信処理を実現できる。

## 2-3 異常渋滞情報を利用した旅行時間情報の生成

車載機から送られてきた異常渋滞情報は、統計情報の分布中心から外れているものなので、この区間のみ異常渋滞情報での旅行時間情報を用い、そのほかの区間は、平均的な旅行時間情報をあてることで、リアルタイムの交通状況を反映した旅行時間情報が生成できる。なお、SQ 渋滞パターンに対して、非渋滞パターンに相当する前出の D について、同様に背景情報を作成し、(式 1) を適用することで、普段は渋滞している区間で検出された、情報量の大きい「異常非渋滞」区間も検出することができる。実際の旅行時間情報生成に際しては、「異常渋滞」と「異常非渋滞」の両方が加味される。

## 3. 異常渋滞判定アルゴリズムのフィールド実証実験

### 3-1 実験の概要

異常渋滞判定アルゴリズムは、表-1 の 2 つのフィールド実証実験を通して評価された。実験では 1 秒ごとのプローブデータを蓄積しており、異常渋滞判定アルゴリズムはオフラインで評価している。

表-1 フィールド実証実験概要

項目	横浜実験	名古屋実験
路線	市バス 14 系統	名古屋 - 長久手線
区間	新横浜 ~ 上末吉	上社 IC ~ 笹島
区間長	約 5.5km	約 10km
プローブ	路線バス 15 台	タクシー 3 台 + i-ITS* プローブデータ
期間	平成 16 年 1 月 1 日 ~ 8 月 26 日	平成 16 年 10 月 19 日 ~ 21 日
トリップ数	往復 7311 本	往復 40 本

\* 「インターネット ITS」の略

### 3-2 横浜実験での異常渋滞検出

図-5 は横浜実験の期間中に蓄積されたデータから求めた、対象路線での渋滞パターン出現確率を方向別に示したものである。出現確率は、平休日別に朝（6～10時）、昼（10～17時）、夜（17時～22時）の時間帯毎に求めた。例えば、上り方向では起点の上末吉から約2000m地点（駒岡車庫交差点）と、終点の新横浜駅付近に日常的な渋滞が見られることが

わかる。

図-6 は期間中に収集された上り方向のプロープ時空間走行軌跡のうち、ある時間帯に出発したものをすべて重ねたものである。図-5の背景情報を元に、異常渋滞が検出された軌跡を、太い黒線で示している。この軌跡を見ると起点から約1300mの地点で渋滞が始まり、2000m地点を通過するまでの時間が、他の同時帯の軌跡よりも長くなっていることがわかる。すなわち、駒岡車庫交差点を先頭とする渋滞

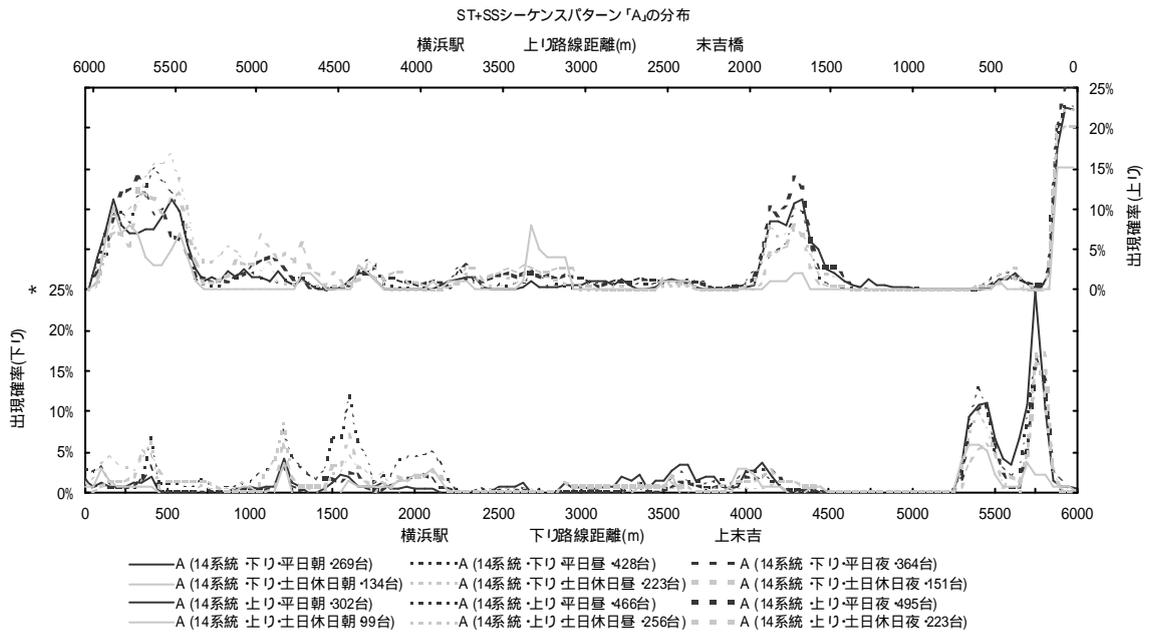


図-5 横浜実験路線での渋滞パターン出現確率

環状2号上り14系統,末吉橋 新横浜)

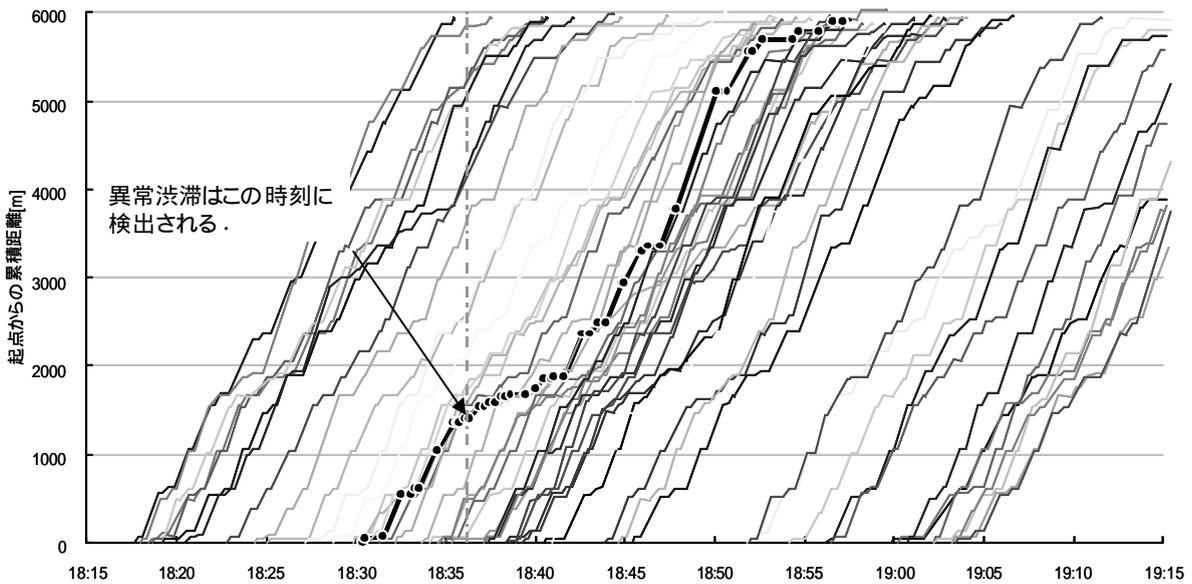


図-6 実験期間中に検出された異常渋滞を含む走行軌跡時空間図

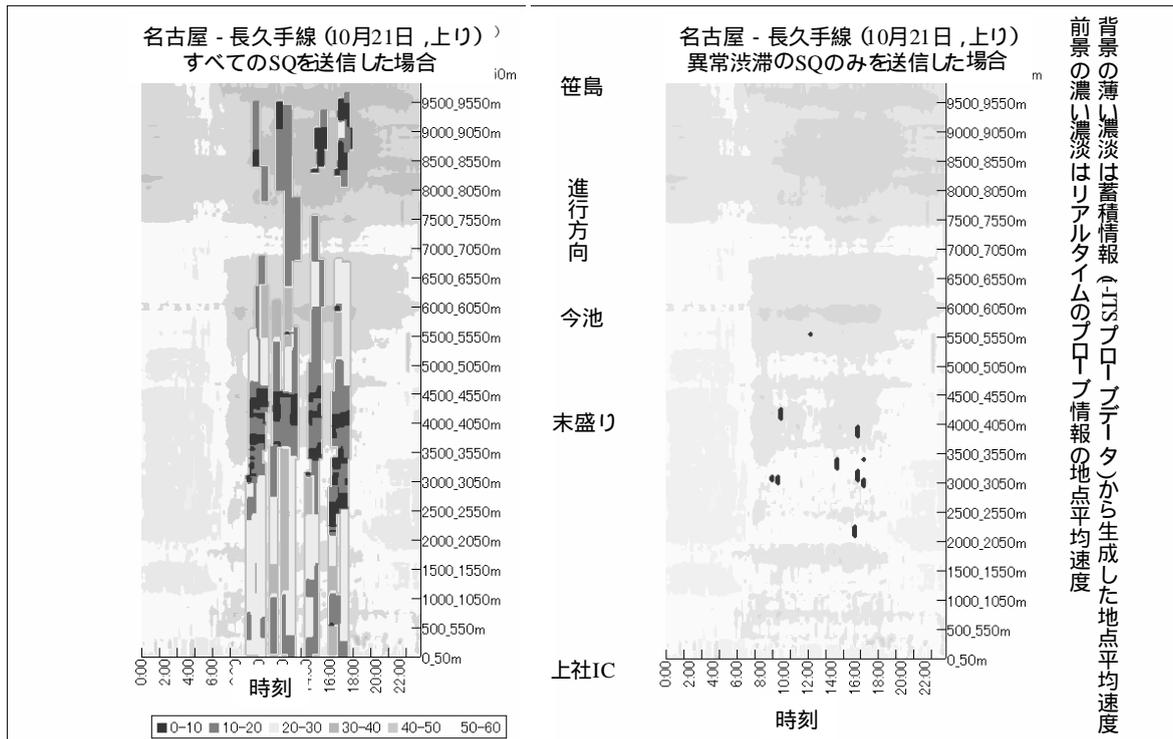


図-7 名古屋実験での蓄積データから求めた地点速度推移とリアルタイムで得られる地点速度

が、この日は普段よりも長く延伸していたため、その渋滞末尾で検出された SQ 渋滞パターンの情報量が大きくなったものである。また、図中に示した時刻で異常渋滞が検出されていることから、この判定アルゴリズムでは、リンクなどの一定区間を通過後に異常かどうかを判定するのではなく、渋滞末尾についた時点で判定するので、検出までの時間遅れを少なくすることが期待できる。

この実験では、渋滞情報量の閾値を適当に設定した結果、期間中に約 100 本の異常渋滞を含むトリップを検出した。時空間軌跡で、これらの多くに、実際に通常よりも旅行時間が増加している区間が含まれることを確認した。

### 3-3 名古屋実験での提供用旅行時間情報の生成

名古屋実験では、プローブからリアルタイムで送信されてくる異常渋滞情報、異常非渋滞情報と、蓄積情報から得られる平均的な区間速度から、リアルタイムでドライバーに提供するための旅行時間情報生成を試みた。蓄積情報として、数百台のタクシープローブで収集されているインターネット ITS プローブデータを入手し、50m 区間毎の地点平均速度を 15 分ごとに求めた。また、これとは別に統合型車載機を搭載した 3 台のタクシーで実験路線を往復させて、リアルタイム情報を収集した。図-7 は、対象路

線の 1 日の地点速度推移を示したものである。背景の薄い濃淡は、蓄積データから求めた平均的な地点速度推移を示し、前景の濃い濃淡はリアルタイム情報の地点速度を意味している。左の図は車載機で記録されたすべての SQ を、右は異常渋滞と判定された SQ のみを重ねたものである。これより、異常渋滞判定アルゴリズムが、一部の渋滞情報量が大きい区間のみを抽出していることが確認できる。

図-8 は図-7 右で示された異常渋滞 SQ と、同様に抽出した異常非渋滞 SQ の地点速度を、図-7 の薄い濃淡で示される平均的な地点速度分布に上書きして得られたリアルタイムの地点速度分布をもとに、他車両にも提供する路線旅行時間情報を 15 分ごとに

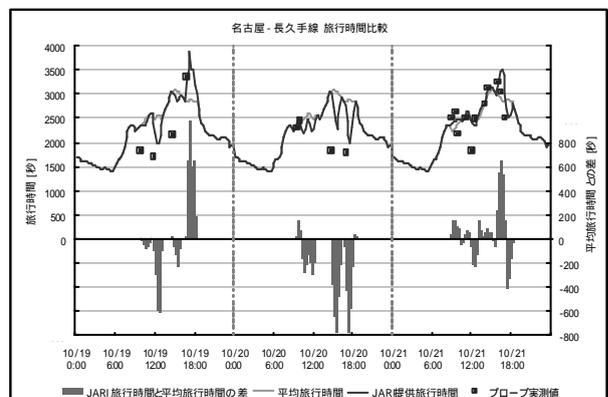


図-8 名古屋実験で生成した提供用旅行時間情報

求めた結果である。黒い線がリアルタイム情報を考慮した旅行時間 ( a ) で、薄い線が平均地点速度分布だけで求めた旅行時間 ( b ) である。( a ) と ( b ) の差、すなわちリアルタイム情報による補正量を棒グラフで併記した。図上にプロットされた点は、その時刻に起点を出発したプローブの実際旅行時間 ( c ) であるが、これらが平均旅行時間と乖離している時間帯では、( a ) の旅行時間も適正に補正されていることがわかる。

実験を通して、異常渋滞、異常非渋滞情報で補正した場合の提供用旅行時間 ( a ) の、実績旅行時間 ( c ) に対する絶対値誤差率は 10% であり、平均旅行時間 ( b ) の誤差率 21% と比べると、大幅に改善していることがわかる。特に、実績旅行時間が平均旅行時間を上回っている場合の誤差率は 1.1% と、高い精度が得られた。

また、実験期間中に 3 台のタクシーによる上り 20 トリップで記録された全 SQ 数は 381 回で、このうち異常渋滞 SQ として検出されたものは 8% の 31 回、異常非渋滞 SQ は 42% の 158 回であった。すなわち、全 SQ の半分の情報で、十分な精度のリアルタイム旅行時間情報が生成されたことになる。

#### 4. まとめ

以上において、プローブの走行パターン情報と、日常的な渋滞発生情報を利用した異常渋滞判定アルゴリズムの考え方を示した。また、横浜市と名古屋市における 2 つの実証実験を通して、次の事項を確認した。

渋滞情報量の閾値を適正に設定することで、通常よりも長く延伸している異常渋滞を検出することができた。

このアルゴリズムは、リンクなどの一定区間を通過後に異常な渋滞かどうかを判定するのではなく、プローブが渋滞末尾に到着して、短い停止発進を繰り返した時点で判定するので、検出までの時間遅れを小さくできる。

平均的な地点速度情報とリアルタイムの異常渋滞、異常非渋滞情報から得られた地点速度情報を融合することで、良好な精度の提供用旅行時間情報を生成できた。

名古屋実験期間中では、車載機で生成した SQ のうちの半分程度をセンターに送信するだけで、上記の提供用旅行時間情報を生成できた。これは、1 秒ごとに記録した位置データと比べると、

1% 以下のデータ量に相当する。

今回利用した異常渋滞判定アルゴリズムをはじめとするデータ処理プログラムは、Perl で記述されており、UNIX ベースの統合型車載機上で稼働するように作成されている。

今後の課題としては、異常渋滞判定用の情報量閾値パラメータを自動的にキャリブレートする手法や、背景情報を定期的に更新し、車載機側に通知する仕組みを実現するなどが挙げられる。

#### 謝辞

本研究の実施にあたり、首都圏大学東京・大口助教授、慶應義塾大学・植原専任講師のほか、(財)日本自動車研究所・プローブ情報システムプロジェクト(委員長：慶應義塾大学・村井教授)のメンバーから、貴重な議論と助言をいただいた。また、実証実験の実施に当たり、横浜市、神奈川県警、および P-DRGS プロジェクト(代表：名古屋大学・森川教授)のご協力をいただいた。各位に深甚なる謝意を表する次第である。

#### 参考文献

- 1) 自動車走行電子技術協会：ITS の社会的有効性に係るシステムの実証報告書，平成 14 年 3 月。
- 2) 堀口良太：走行イベント単位でのプローブデータ記録方式の効用，土木計画学研究・講演集，Vol.26，2002 年 11 月。
- 3) 堀口良太，ほか：プローブデータのクレンジング処理と車種別の運行特性分析，土木計画学研究・講演集，Vol.26，2002。
- 4) 堀口良太，和田光示：インターネット ITS プローブ情報システムによる信号制御の性能指標モニタリング実証実験，第 29 回土木計画学研究発表会講演集，No.29，CD-ROM，2004 年 6 月。
- 5) R. Horiguchi and K. Wada: Effective Probe Data Transmittal with Detection of Congestion Pattern, Proceedings of 11th World Congress on Intelligent Transport Systems, Nagoya, October, 2004.
- 6) E. Chung, M. Sarvi, Y. Murakami, R. Horituchi and M. Kuwahara: Cleansing of Probe Car Data to Determine Trip OD, Presented at 21st ARRB Conference in Cairns, Austraria, 18-23 May, 2003.
- 7) Majid Sarvi, et. al: A Methodology to Identify Traffic Congestion Using Intelligent Probe Vehicles, Proceedings of 10th World Congress on Intelligent Transport Systems 2003, Madrid, 2003.