

カーナビゲーションシステムを用いた 渋滞関連指標に関する基礎的研究

牧村 和彦¹・中嶋 康博²・佐藤 弘子³・石田 東生⁴

^{1,2}正会員 工修 (財)計量計画研究所 研究部 (〒162-0845 東京都新宿区市ヶ谷本村町2-9)

E-mail:kmakimura@ibs.or.jp,ynakajima@ibs.or.jp

³(財)計量計画研究所 研究部 (〒162-0845 東京都新宿区市ヶ谷本村町2-9)

E-mail:hsato@ibs.or.jp

⁴正会員 工博 筑波大学教授 社会学系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:ishida@sk.tsukuba.ac.jp

近年成果を重視した政策評価に基づく道路行政の運営や事業プロセスにおけるPIの必要性が叫われ、渋滞に関するアウトカム指標のニーズが高まっている。本研究では、東京区部を主な走行圏域としているタクシーデータを用いて、カーナビを活用した収集データの分析を行うとともに、道路のパフォーマンスを客観的に表現する渋滞関連指標として混雑に巻き込まれる時間割合、渋滞長及び渋滞区間通過時間、信号待ち回数³の3つの指標の定式化及び算定方法を提案し、タクシーのデータを用いて検証を行った。伝統的な計測手法の効率化や代替が可能であり、これまで把握できないパフォーマンス指標が算定可能であることが示され、実務での適用性が高いことが実証された。

Key Words : performance monitoring travel survey ,ITS ,probe car

1. 本研究の目的

2003年度から実施予定の道路整備五カ年計画策定に向けた中間報告¹⁾では、道路整備の目標を道路の整備量を確保することから質の高い交通サービスを提供することに転換する必要性が叫われ、重点的に建設する路線は成果を重視した評価システムを導入し、峻別する必要があると提言している。中間報告では、交通サービスの程度を表す客観的な評価指標の一つとして渋滞損失時間及び損失額を用い、渋滞損失を用いた政策評価を実施していくこととしており、事業執行プロセスやPI(パブリックインボルブメント)等様々な場面で、渋滞を表現するアウトカム指標が今後益々重要となる。

これまで実務で道路計画に用いられてきた代表的な渋滞関連指標には、渋滞長や渋滞損失額などがある。渋滞長の計測は人手により行われ、また渋滞損失などの経済損失はシミュレーションにより推計されてきた。しかし人手による計測の場合にはデータ精度や調査コストなどの問題があり、シミュレーションの場合には推計精度の問題がある。

一方、IT(情報技術)の進展により、位置特定技術の向上や解析技術が向上し、きめ細かな交通状況が再現できるようになった。特にカーナビゲーションシステム(以下、カーナビ)は、自律航法やマップマッチング処理などの組み合わせにより、位置特定精度が高く、マルチパスが多く発生する都市部において計測の適用性が高い。

そこで本研究では、東京区部を主な走行圏域としているタクシーにカーナビを搭載し、タクシーの走行データを用いて、走行特性を分析するとともに、道路のパフォーマンスを客観的に表現する渋滞関連指標及び指標の作成方法を提案する。そして収集されたデータを用いて指標の推計を行い、実務での適用性について考察することを目的とする。

2. 既往研究のレビュー

高度情報通信機器の進展に伴い、カーナビやGPS(Global Positioning System)、PHS(Personal Handy-phone System)から収集される位置情報を用いた道路

パフォーマンス指標計測に関する研究が盛んである。位置データのみでは走行している道路や交差点の進入時刻や進出時刻は不明なため、そのままでは交通解析には使えない。そこで位置データと GIS データを統合する研究が試みられている。Asakura et al²⁾ や Hato and Asakura³⁾ は PHS の位置データを用い、PHS の位置誤差を前提としたマッチング手法を提案している。また、Makimura et al⁴⁾ は、カーナビから取得される精度の高い位置データを用い、交差点の進入及び進出時刻を推計するマッチング手法を提案している。

また、高度情報通信機器を用いた道路パフォーマンス指標作成に関する研究として、例えば旅行速度や旅行時間算定に関する研究^{4),5),6),7)}がある。Quiroga⁶⁾は、リンク旅行時間の算定式や遅れ時間等の算定式を提案し、また Makimura et al⁴⁾はリンクや区間、面の旅行速度及び旅行時間、渋滞による損失時間及び損失額の算定式を提案している。その他、旅行時間計測に必要なサンプル数に関する研究^{8),9)}やプローブデータの特性に関する研究¹⁰⁾、プローブデータを用いた QV 特性に関する研究¹¹⁾、プローブデータから推計された旅行時間の精度に関する研究¹²⁾、プローブデータを用いた所要時間予測に関する研究^{13),14)}などがある。

プローブデータを用いた政策評価や ITS に活用されている事例も近年盛んである。政策評価に活用している代表的な事例としては、Makimura et al⁴⁾の研究を受けて、プローブカーを用いた渋滞損失計測が平成 13 年から国土交通省により行われている¹⁵⁾。また、新潟国道事務所のように橋の橋梁の拡幅による効果をバスの位置情報を用いて行い、事前事後評価結果として IR サイトで公表を行っている事例も現れている¹⁶⁾。米国 DOT では、GPS を用いた旅行速度算定のガイドライン¹⁷⁾を配布し、普及啓蒙を行っている。また、ITS 分野への適用は世界中で実用化及び実験が行われており、実用化されている代表例としては、約 7,000 台のタクシーを用いたシンガポール政府¹⁸⁾、約 8 万台の一般車両によるテキサス DOT¹⁹⁾、ドイツ DDG 社等があり、これらは車両の位置情報から旅行時間や速度状況をリアルタイムに提供するサービスを行っている。

ただし、これら既存の研究には継続的に長期間収集されたデータを用いた分析はほとんどなく、また政策評価や交通調査への活用を目的として、高度情報機器を用いた渋滞に関連する指標に関する研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、東京を走行するタクシー 20 台

の 1 年間を通して収集されたデータを用いて、データの特性を分析するとともに、渋滞を客観的に表現する指標の提案を行い、政策評価や交通調査等の実務への適用性について考察を行う。

3. カーナビを用いた交通データ加工手法

(1) カーナビを用いたデータ加工の流れ

本研究では、カーナビから 1 秒毎に出力されるデータを用いて図-1 に示すフローに従ってパフォーマンス指標計測のためのデータベース作成方法を構築した。具体的には、カーナビから出力されるデータはバイナリーデータであり、テキストデータに変換し、測地系の変換等を行う（本研究では基本データベースと呼ぶ）。次に位置データと GIS データのマップマッチングを行い、交差点の進入及び進出時刻を位置データに付加する。次に、車両がコンビニに立ち寄りたり、客待ちをしていたり、休憩していたりといった通常走行していないデータと通常走行しているデータとを区分するため、車がある一定時間完全に停止しているのかそうでないかの判定（停止判定）を行い、停止情報を位置データに付加する。これら処理を行ったデータを本研究ではプローブデータベースと呼ぶ。最後に、リンク毎の分析のために、収集間隔毎のプローブデータベースをリンク毎の旅行時間のデータに変換したデータベース（本研究では以後、走行データベースと呼ぶ）を作成する。

(2) カーナビによるデータ収集

本研究で用いたカーナビは市販のメモリーカード内蔵の機器^{註(1)}であり、車両の位置（緯度・経度）、地点速度、方向（16 方位）を常時 1 秒ごとにリアルタイムで取得し、車載内のメモリーカードに

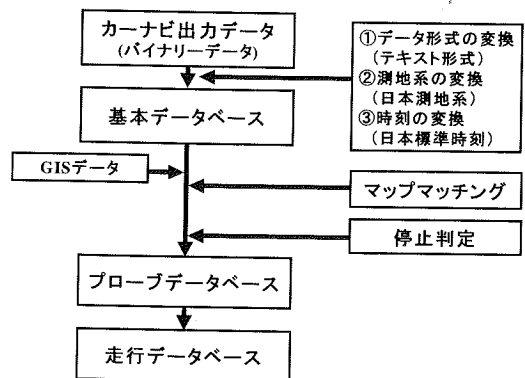


図-1 データ加工の流れ

蓄積する。16MB（メガバイト）のメモリーカードに約 200 時間のデータを記録することができる。カーナビは、GPS から収集されるデータに加え、ジャイロセンサーを用いた自律航法やマップマッチングを車載器内で行っているため、位置精度は高い。また、地点速度はパルス信号^{注(2)}を収集し算定している。カーナビを用いることで GPS では把握できない地下道路、トンネル内、高架下、駐車場内などのデータが精度高く収集できる特徴があり、1 秒毎の位置データを取得することで、交差点の通過時刻を高い精度で得ることが可能である。

(3) カーナビデータと GIS データのマッチング

交通解析を行うためには、収集されたデータがどのリンクを走行したものであるかを識別する必要がある。位置情報だけでは、リンクに関する情報が含まれていない。そこで筆者らは、既存の GIS データを用いて、1 秒毎の位置データと走行経路を対応づける効率的な方法を文献 4 で提案している。位置データと GIS データのマッチングは以下のステップにより行う。なお、GIS データはデジタル道路地図協会発行のデジタル道路地図（Digital Road Map：以下 DRM）を利用した。DRM はノード（交差点）とリンクで構成されたデータである。

- Step1：連続的な位置データを始点と終点に分割する。分割は方向データを用い方向が急激に変化した地点を始点と終点とする
- Step2：始点から終点までの 1 秒ごとのデータを用い、方向データに変化が 1 つ以上あったデータのみを抽出しこれらデータを直線で結ぶ
- Step3：これら結ばれた経路データから半径 30m に含まれるリンクデータを抽出する
- Step4：これらリンクデータを用いて最短経路探索を行い経路データを確定する
- Step5：DRM のノードから最も近い位置データを検出する。そして、その位置データに DRM のノード番号を付加する

上記 5 つのステップを行うことで、1 秒ごとの位置データに DRM のノード番号が付加され、位置データに DRM ノードがマッチングされていないデータは、ゼロが付加されることになる。DRM は 1/25,000 の解像度であり、都市部などでは、1 本の路線に 6 本や 8 本といったリンクが平行する場合があります。位置データとリンクの情報だけでは間違った路線や上下反対のリンクにマッチングする可能性が

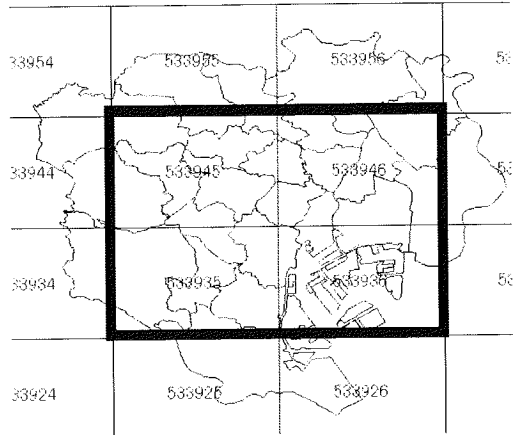


図-2 ケーススタディ地域

注) 四角で囲まれた区域が分析対象道路網。数字は DRM の 2 次メッシュ番号

高い。経路を事前に特定し、その後にノードの通過時刻を位置データに対応付けするという処理を行うことで、ミスマッチングを少なくでき、処理時間を短くすることができる。

また旅行速度を算定する場合には、休憩など何らかの理由である一定時間リンク内で停止しているデータは除外することが望ましい。そこで本研究では、図-1 のプローブデータベースを作成する際に、2 分以上移動なく地点速度が 0km/h のデータについて、位置データに停止識別フラグを付ける処理を行っている。走行データベースを作成する際に、リンク内に停止識別フラグが含まれる場合には、走行データベースからは削除する処理を行っている。

プローブデータはデータ量が大量であり、過去データを用いて分析や指標化を行う場合、1 秒毎の細かい車両挙動を用いた指標化にはプローブデータベースを用い、リンク単位の旅行時間をベースとした分析には走行データベースを用いれば良い。

4. 収集データの特性分析

(1) ケーススタディの概要

本研究では東京品川に営業所を持つタクシー 20 台のカーナビが搭載された車両を対象に、2000 年 5 月から継続的に収集されたデータを用いた。分析は 23 区を含む 20km 四方の道路を対象とした（図-2）。対象範囲のリンク数は 84,946 リンク、ノード数は 52,684 ノードである。

ここでは、1 年間の走行データを用いて図-1 の

手順に従いプローブデータベース及び走行データベースを作成した。作成されたプローブデータベースのデータ容量は約 17GB (ギガバイト)、走行データベースの容量は約 1 GB であった。

(2) 収集データの基本特性

タクシーは 1 日平均約 280km を走行しており、平均走行時間は約 19 時間であった。

ここではまず、車両が 1 回以上リンクを通過した場合を捕捉リンクとし、捕捉リンク延長を総リンク延長で除したリンク捕捉率を用いて、1 年間収集されたデータのカバー状況をみた (図-3)。タクシーデータは国道、主要地方道、一般都道といった幹線道路について各時間帯で日中 5~7 割以上のリンクを捕捉している結果が得られ、タクシーの行動圏域が比較的広範囲に広がっていることが分かった。

また、20km 四方のリンクを対象とした時間帯別平均取得サンプル数を図-4に示した。国道、主要地方道、一般都道では、時間当たり平均 15~30 回程度のデータが取得できており、その他道路は 10 回前後であった。ただし、高速道路 (特に首都高) は 5 回前後と他の道路に比べ低い。これは日中のトリップが短いこと、渋滞の激しい首都高をタクシーが避ける傾向にあることによる。

このようにわずかに 20 台のタクシー車両だけでも長期間に渡って継続的にデータを収集することで、国道、主要地方道、一般都道などの幹線道路で比較的広範囲にデータが収集できることが明らかとなった。参考までに国土交通省では旅行速度調査が 2~3 年に 1 度行われている。これは全国の幹線道路を対象に秋の平日、混雑時間帯を対象として混雑方向に対して 3 回の走行結果から平均を求める方法であり、コスト面から特定時間帯のみの限られたサンプル数の調査である。今後タクシーデータなどを組み合わせることでサンプル数の増加が期待できるだけでなく、時間帯の変動特性や曜日変動、季節変動など定常的なモニタリングへの適用も期待できる。

(3) データの安定性の分析

収集されるサンプル数と旅行速度の安定性との関係を見るため、リンクの旅行速度及び標準偏差を算定し、サンプル数と標準偏差の関係を見た。リンクの旅行速度及び標準偏差は、下記の式より算定した。リンクの平均旅行速度；

$$\bar{v}^l = \frac{n \cdot D^l}{\sum_i T_i^l} = \frac{n \cdot D^l}{\sum_i \frac{D^l}{V_i^l}} = \frac{n}{\sum_i \frac{1}{V_i^l}} \quad (1)$$

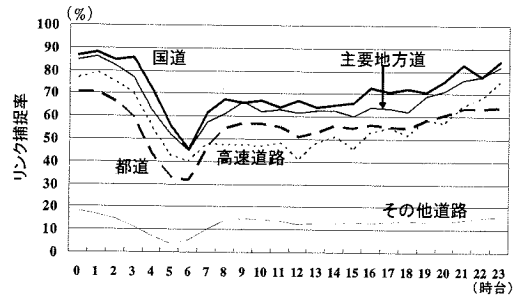


図-3 時間帯別道路種別捕捉率

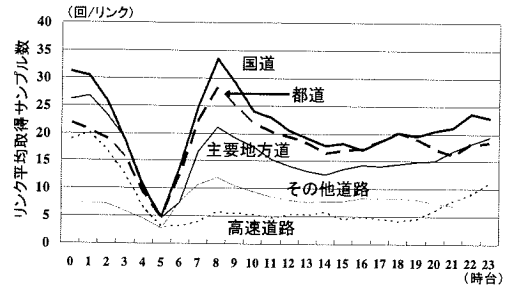


図-4 時間帯別道路種別平均サンプル数

標準偏差；

$$\sigma^{V^l} = \sqrt{\frac{\sum_i (V_i^l - \bar{v}^l)^2}{n-1}} \quad (2)$$

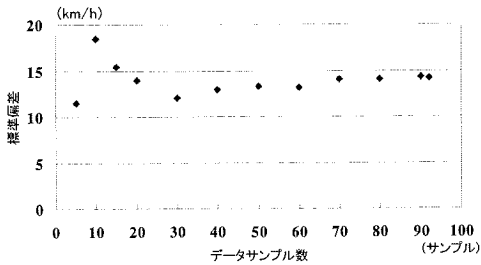
ここで、 D^l はリンク 1 の距離 (km)、 T_i^l はサンプル i リンク 1 の旅行時間 (hour)、 V_i^l はサンプル i リンク 1 の旅行速度 (km/h)、 n はサンプル数である。

本研究では、交通量が比較的多くデータ取得数の多い目黒通りを対象とし、旅行速度データの安定性をみるために、両端が信号交差点でないリンク (延長約 112m) を抽出した。参考までに目黒通りの交通状況 (平成 11 年度の道路交通センサスより) は、12 時間交通量 (上下計) 平日 30,547 台、混雑度平日 1.39 の区間であり、午前 7 時~9 時の時間交通量は約 800~1,000 台/h、午後 5 時~7 時は約 1,200 台/h の区間である。

図-5は目黒通り下り方面におけるサンプル数 (横軸) と平均旅行速度の標準偏差 (縦軸) を朝と夕方の 2 つの時間帯についてプロットしたものである。図では、概ね両時間帯とも 30 から 40 サンプルを超えたあたりで標準偏差が安定して傾向が伺える。

これまでの道路交通センサスにおける旅行速度調査では、H11 年度の場合、混雑時間帯 3 時間帯内で 3 サンプルのデータ収集を行っており、これら 3 サンプルのデータから混雑時平均旅行速度を求めていた。

(平日7時～9時台下り)



(平日17時～19時台下り)

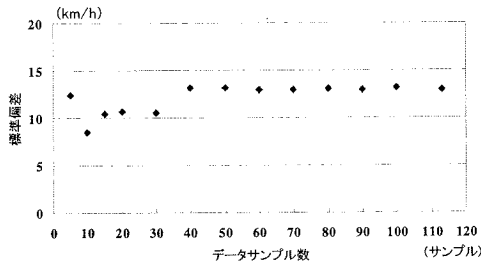


図-5 サンプル数と標準偏差の関係

上記結果はあくまで一つの目安に過ぎないものの、大量な旅行速度データが収集可能となった今、今後の旅行速度調査においては、サンプル数と旅行速度の関係を分析し、調査サンプル数の計画を検討していく必要がある。

5. 渋滞関連指標の定式化と算定

(1) パフォーマンス指標の定式化

本章では、カーナビから得られたデータを用いた渋滞関連のパフォーマンス指標算定方法の提案ならびに東京を走行するタクシーデータを用いた指標の推計を試みる。

本研究では渋滞関連のパフォーマンス指標として、混雑に巻き込まれる時間割合、渋滞長及び渋滞区間通過時間、信号待ち回数の3つの指標について定式化を行い、式(1)のリンク平均旅行速度を加えた4つの指標について、タクシーのデータを用いて推計を行った。なお渋滞損失額及び損失時間については、筆者らは文献 4)において定式化を行っているため、本稿では割愛している。

a) 混雑に巻き込まれる時間割合

プローブカーによる車両の走行履歴から、混雑に

巻き込まれる時間割合が算定可能である。ここでは渋滞に関する警察庁の定義^{注(3)}を参考に、仮に混雑した状態を旅行速度 20km/h 以下で走行している状態とし、旅行速度 20km/h 以下で走行している時間を総走行時間で除した割合を混雑に巻き込まれる時間割合と定義し定式化した。算定式を式(3)に示した。混雑に巻き込まれる時間割合；

$$T_k^{jam} = \frac{\sum_l \overline{t_{lk}}^{-v < 20}}{\sum_l \overline{t_{lk}}} \quad (3)$$

各変数は次に示す通りである。

- T_k^{jam} : k 時 台の混雑に巻き込まれる時間割合
- $\overline{t_{lk}}^{-v < 20}$: k 時 台の平均旅行速度 20km/h 以下リンク l の平均旅行時間
- $\overline{t_{lk}}$: k 時 台のリンク l の平均旅行時間

b) 渋滞長、渋滞区間通過時間

次に交差点からの渋滞長及び渋滞区間の通過時間を推計する方法を提案する。実務で事業評価などに用いられている交差点からの渋滞長は、主に交差点からの車両の延伸を目視により計測された主観的なデータである。プローブカーを用いて客観的な算定方法を用いることで、統一的なルールに基づいた渋滞長の算定が可能となる。

渋滞長計測の考え方は、交差点を起点に 20 秒間走行したデータが 20km/h 以下の旅行速度であった場合を渋滞とし、交差点から 10 秒間ずつ下流側に 20 秒間のデータ単位で旅行速度を算定していく（ここでは区間と呼ぶ）。

次に渋滞と判定されない区間が任意の回数以上連続した場合、渋滞の先頭となる交差点から渋滞と判定された最後の区間までを渋滞区間と定義し、その渋滞区間の延長を渋滞長とした。また、渋滞区間内の通過時間を渋滞区間通過時間とした。

算定方法を以下に示す。

- ステップ 1 : 対象路線及び対象交差点を通過するデータを車両毎に抽出
- ステップ 2 : 対象交差点を起点（渋滞の先頭となる交差点を起点）に 20 秒間走行データの旅行速度を算定。
- ステップ 3 : 20 秒間走行したデータが 20km/h 以下の旅行速度の場合渋滞と判定
- ステップ 4 : 渋滞の先頭となる交差点を起点に渋滞でないと判定された区間（20 秒間データ）が連続して生じる回数を算定。任意の連続回数を超えた場合はステップ 5 へ。そうでない場合は下流側に 10 秒ずらし旅行速度を算定後、

ステップ3へ

ステップ5：渋滞と判断された最後の区間の最後尾データから垂線で DRM にマッチングし、渋滞の先頭となる交差点ノードからマッチングされた地点までの距離を計測し、この区間長を渋滞長とする

ステップ6：渋滞の先頭となる交差点の最寄り地点にある位置データの時刻とマッチングされた地点の時刻との差より、渋滞区間通過時間を推計する

c) 信号待ち回数

渋滞長の場合と同様に、計測したい路線をプロローブカーにより走行することで、交差点における信号待ち回数が推計可能である。推計方法の考え方は、b) で判定された渋滞区間内の位置データを対象に、以下の手順より推計する。

ステップ1：渋滞区間内において渋滞末尾に最も近い地点速度 0km/h の位置データを抽出

ステップ2：このデータに停止フラグを付加

ステップ3：交差点ノードの最寄り位置データに交差点通過フラグを付加

ステップ4：交差点通過時刻と停止時刻との差分から信号通過時間 T_i^N を算定

ステップ5：交差点を通過するまでの時間（信号通過時間）をサイクル長 C^N で除し、数値を切り上げ、信号待ち回数 WS_i^N を推計

したがって、信号待ち回数の算定方法は式(4)で定義される。

信号待ち回数 WS_i^N ；

$$WS_i^N = \frac{T_i^N}{C^N} \quad (4)$$

各変数は次に示す通りである。

T_i^N ：車両 i の交差点 N を通過するまでの時間（信号通過時間）

C^N ：交差点 N の信号サイクル長

(2) 東京データを用いた指標算定

a) 交差点間旅行速度

式(1)を用いて国道 246 号の約 5km 区間（旧山手通りから外堀通り間）における時間帯別リンク別平均旅行速度（上り）を推計した（図-6）。データは2001年5月から2002年4月までの1年間の平日のデータであり、1年間のデータを用いて3章図-1の手順より走行データベースを作成した。各時間帯のリンク当たり平均サンプル数は42.0サンプル、標準偏差24.9サンプル、最大111サンプル、最小1サンプルであった。図-6は縦軸に時間帯、横軸に区間（交差点間）をとり、旅行速度リンク別にトーン分けして表示したものである。なお、図-6は直進右左折全てのデータを用いて推計した結果であり、直進と右折のみのデータや直進のみのデータで推計するなど、推計するデータを峻別する事でリンクの速度低下の要因などの分析も可能である。

図-6より表参道交差点では、午後2時～6時頃まで旅行速度10km/h以下のリンクが著しく多くなってお

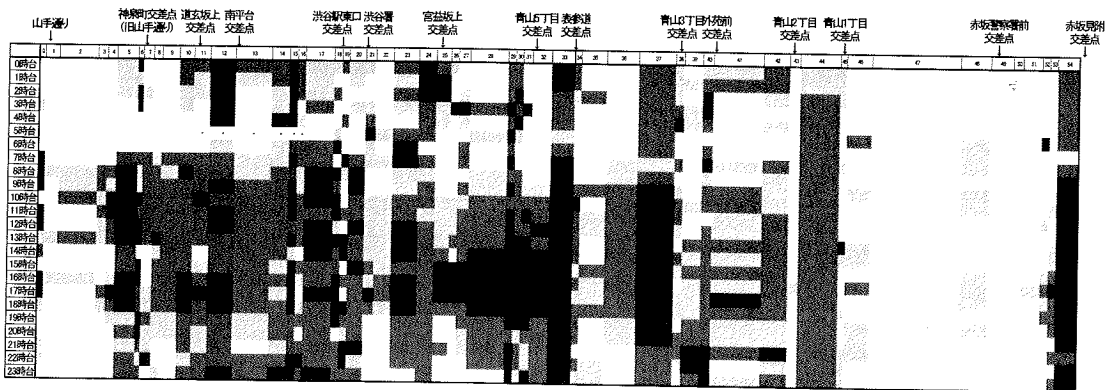


図-6 国道246号の交差点間時間帯別平均旅行速度（旧山手通りから外堀通り間）

縦軸：時間帯、横軸：交差点間

凡例：■ 10km/h 以下、■ 10～20km/h、■ 20km/h～30km/h、□ 30km/h 以上

り、表参道交差点や青山3丁目交差点では、これら交差点を起点に日中混雑していることが分かる。また、青山1丁目から赤坂見附間は沿道が赤坂御所であることから、どの時間帯も高い旅行速度となっている。

このように、時間帯と交差点間を図-6のように表現することで、いつどこで旅行速度の低下が生じているのかが一目で判断でき、実務における渋滞箇所及び程度の把握や事業の事前事後の影響把握には有益である。これまでの定点観測による手法では、このような交差点間の旅行速度を時間帯別に直接計測することは難しく、また、定点観測する場合には、多くの観測地点を必要とすることから、観測コストの面からも効率的な手法といえる。

なお、交差点間の旅行速度の精度は①位置データの精度、②位置データの取得頻度、③GISの精度、④処理技術の精度のそれぞれの要因に依存する。本研究で用いたDRMの縮尺は2万5千分の1であり、交差点は1つの点でのみ表現されている。そのためDRMデータからでは、交差点内に進入したか否か、交差点を進入したか否かの判別は困難である。そこで、図-6のリンク間の旅行速度は交差点の中心を通過した時刻を用いて推計を行っている。

b) 渋滞に巻き込まれる時間割合

2001年5月から2002年4月までの1年間(平日のみ)におけるタクシー20台の午前7時から午後7時までの12時間において、a)と同じ区間(国道246号の旧山手通りから外堀通り間の上り車線)を走行したデータを用いて、走行データベースを作成し、渋滞に巻き込まれる時間割合を時間帯毎に推計した。ここでは、式(3)を用いて推計を行った。

図-7は国道246号の旧山手通りの交差点から外堀通りの交差点までの約5km間を走行した場合に走行時間に占める20km/h以下の走行時間の割合を各時間帯毎に示している。夕方の午後5時台が88%と最も高く、午前7時台が53%と最も低い結果となった。これは午後5時台に走行していたタクシーは走行時間の内約8割強の時間、渋滞に巻き込まれていたことを示すものでありドライバーが経験した道路のパフォーマンスを直接的に表現するアウトカム指標の一つと言える。

上記は特定区間での推計を試みた例であり、区間毎に算定することで、路線毎の渋滞状況を表現することが可能である。また、面的にデータが蓄積されることで郊外と都心といった特定OD間での数値化が可能となる。

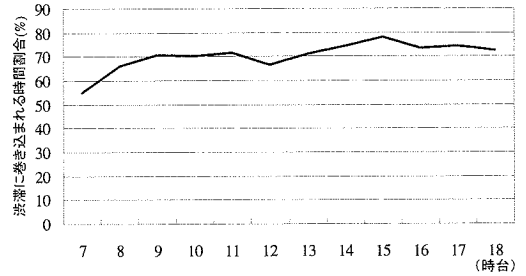


図-7 時間帯別渋滞に巻き込まれる時間割合
(R246の旧山手通り交差点から外堀交差点間(平日・上り))

c) 渋滞長、渋滞区間通過時間の算定

前節で提案した方法を用いて、世田谷通りを渋谷方面に向かうデータを対象に三軒茶屋交差点を起点とする渋滞長及び渋滞区間通過時間を推計した。渋滞長判定のために渋滞と判定されない区間の出現回数を3回(ケース1)、4回(ケース2)、5回(ケース3)の3ケースとし推計した。推計に用いたデータは2000年5月から半年間の走行データより、三軒茶屋交差点から桜小前交差点間の約2.5kmの世田谷通りの上り方向を走行していたデータを抽出した。2.5km区間を走行していたデータのみを抽出した理由は、三軒茶屋交差点を通過する車両は必ずしも下流側の路線を走行した車両とは限らず、細街路から世田谷通りに合流する車両も含まれている。そのため渋滞長の算定には、三軒茶屋交差点から桜小前交差点区間内を走行したデータのみとし、途中から合流した車両は除外した。

表-1 ケース別平均渋滞長

	渋滞長(m)			通過時間(sec)		
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース1	ケース2	ケース3
サンプル数	23	25	27	23	25	27
平均	780.8	901.7	1019.7	273.8	298.3	325.5
標準偏差	425.2	522.1	555.6	150.7	188.9	195.9
最大	1831	2142	2142	640	810	810
最小	283	318	318	140	140	140

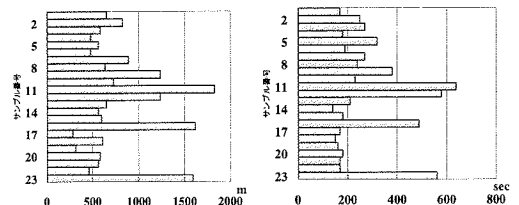
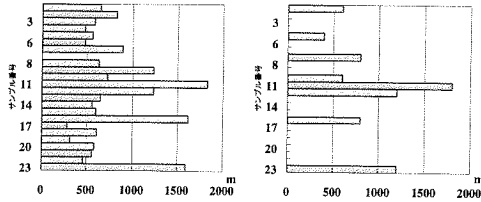


図-8 渋滞長及び渋滞区間通過時間の推計結果
(ケース1:左・渋滞長, 右・渋滞区間通過時間)

(渋滞長)



(渋滞区間通過時間)

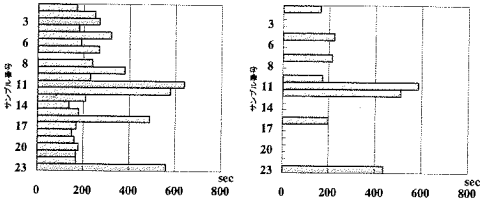


図-9 ケース1とケース4の比較結果
(左・ケース1, 右・ケース4)

その結果、ケース1では23サンプル、ケース2では25サンプル、ケース3では27サンプルが抽出された。判定条件を緩くすることで渋滞長として抽出されるサンプル数が増加している。また、ケース1よりもケース2, 3の方が渋滞長が延伸していることがわかる。これは同様のデータであっても渋滞の判定条件を緩くしたためである。さらに、ケース1の推計結果を図-8に示した。

人手による主観的な計測では、渋滞の末尾を観測する場合の観測誤差が発生する可能性があり、また1つの交差点で渋滞長を計測する場合には最低4名の調査員が必要となる。本研究で提案した統一的で基準化された方法を用いることにより、観測誤差が排除でき、調査労力の軽減にも寄与できる。また、観測により渋滞区間の通過時間を計測することは難しく、本研究で提案した方法では、通過時間も同時に推計可能である。ただし、本手法はドライバーや同乗者の感じる渋滞長を考慮しておらず、実務での適用に際してはドライバー等からみた設定条件(渋滞区間の速度やケース)の調査研究を蓄積し、これら知見も踏まえ、適用していくことが必要である。

また参考までに既存の定点観測との比較を想定し、三軒茶屋交差点を起点に200m間隔で定点観測器が設置されていると仮定し、観測ポイントの最寄りを通る位置データの地点速度より渋滞か否かの判定を行った(ケース4, 図-9)。ここでは渋滞長の判定のための渋滞と判定されない地点の連続出現数を2回とした。

図-9はケース1とケース4の結果を比較したものであり、あくまで仮条件下での比較になるが、定点観測地点最寄りの地点速度のみの限られた情報では、渋滞と判定されない観測点が発生し、渋滞長として計測されない車両が多く発生する傾向にある。

このようにプローブカーを用いて計測対象路線を走行するだけで交差点からの渋滞長や通過時間の推計が可能となる。実務においては、渋滞ポイントの特定や交差点改良の事前事後評価、TDMの事前事後の影響把握等への適用が考えられる。

d) 信号待ち回数の算定

c)と同様のデータを用いて、式(5)より三軒茶屋交差点での信号待ち回数を推計した(図-10)。推計に用いた三軒茶屋交差点のサイクル長は実測から140秒を用いた。サンプルの平均信号待ち回数は3.0回であり、最大6回、最小2回であった。

また図-11は、図-10のサンプル12における挙動を縦軸に地点速度、横軸に時刻を示したものであり、一番右が三軒茶屋交差点の通過時刻を示す。11時32分に車両が停止し、交差点通過は11時37分であった。停止から通過まで5分20秒であり、式(5)より、この場合の信号待ち回数は5回であったと推計できる。

図-10や図-11のデータはタクシーのデータから推計したものであり、任意に走行することで時間帯別の平均信号待ち回数の推計が同一の客観的な基準に

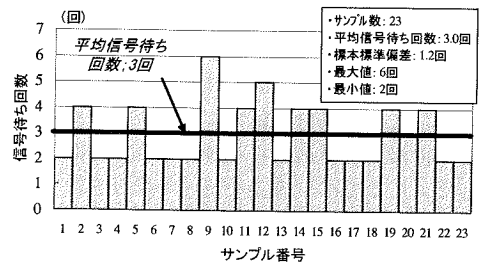


図-10 信号待ち回数の推計結果

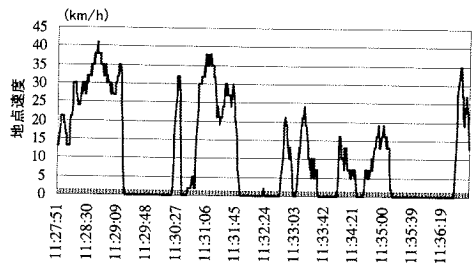


図-11 交差点通過までの走行挙動の例
(横軸右端が三軒茶屋交差点を通過した時刻)

より可能になる。事業の事前事後の効果を同一基準で評価できることになる。今後実務で適用していく上では、ドライバーや同乗者が認識する信号待ち回数と推計される信号待ち回数との関係なども考慮し活用していくことが考えられる。

6. まとめ

本研究では、道路の渋滞状況を客観的に示すパフォーマンス指標について、指標の定式化を行った。また、タクシーデータを用いて指標の推計を行い、実務での政策評価や交通調査への適用性について考察した。

本研究で得られた成果は以下である。

- 1) 1年間蓄積された20台のタクシーデータを交通解析用に加工処理することで、時間帯にリンク当たり平均15~30サンプルのデータが幹線道路において取得され、また、20km四方のエリアにおいて時間帯毎に5~7割のリンクをカバーすることが明らかとなった。この場合の計測にかかる費用は約440万円であり、このことは常時観測調査機器（トラカン）1台の約半分以下のコストで上記データが取得できることを意味し、今後実務における政策評価や交通調査の効率化及び高度化に大きく寄与することが期待できる。
- 2) 車両の位置情報を用いた場合の渋滞に巻き込まれる時間、渋滞長及び渋滞区間通過時間、信号待ち回数の4つの渋滞に関するパフォーマンス指標の定式化及び推計方法の提案を行った。
- 3) タクシーの走行データを用い、時間帯別リンク別平均旅行速度、時間帯別渋滞に巻き込まれる時間割合、任意交差点における渋滞長及び渋滞区間の通過時間、さらに任意交差点の信号待ち回数が推計可能であることを実証した。特に信号待ち回数は渋滞の閾値に依存しない指標であり、ボトルネック交差点の抽出や問題の実態を把握でき、実務における交通問題箇所特定の効率化に貢献できるとともに、PI（パブリックインボルブメント）や渋滞関連事業の事前事後評価の指標としても市民に分かりやすい指標の一つとして適用性が高い。

本研究では、渋滞に巻き込まれる時間割合及び渋滞長の2つの指標は、渋滞と判断する基準値を任意の旅行速度（あるいは地点速度）として定式化を行った。全国を一律の基準で判断し評価する場合には

有効であるものの、渋滞と感ずる状況は個人や地域、道路種類等により異なることが知られており、渋滞と感ずる主観的な要因を考慮していない。今後、パフォーマンス指標の作成を前提とした渋滞の閾値に関する研究や渋滞と感ずる走行パターン等の研究など、主観データと客観データを組み合わせた指標化が課題である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、データを提供していただいた国土交通省および国土技術政策総合研究所道路研究室に謝意を表する次第である。

注1) 本研究で用いたカーナビは市販の機器であり、本体のみ参考価格22万円（税抜き、2003年10月現在）である。

注2) パルス信号とは、エンジンの燃料噴射、オートマチックトランスミッションなどを電子的に制御するための信号のひとつである。本文中では、車の速度を電氣的に変化させる車速センサーから出る信号のことを指す。

注3) 渋滞の定義は、警察庁では一般道・20km/h以下、首都高・40km/h以下になった状態、JHでは、速度40km/h以下で低速走行あるいは停止、発進を繰り返す車列が1km以上かつ15分以上継続した状況と定義されている。

参考文献

- 1) 道路整備五カ年計画中間報告，社会資本整備審議会道路分科会，2002年7月。
- 2) Asakura, Y., Tanabe, J., and Lee, YH.: Characteristics of positioning data for monitoring travel behavior, The 6th Intelligent Transportation Systems World Congress CD-ROM, 8 papers, 2000.
- 3) Hato, E. and Asakura, Y.: New Approaches for Collecting Time-space Activity Data using Mobile Communications System, Presented on the 80th Transportation Research Board, Washington DC., 2001.
- 4) Makimura, K., Kikuchi, H., Tada, S., Nakajima, Y., Ishida, H. and Hyodo, T: Performance Indicator Measurement Using Car Navigation Systems, Presented on the 81th Transportation Research Board CD-ROM, Washington DC, 2002.
- 5) Bullock, D., Quiroga, C.A., and Kamath, N.: Data Collection and Reporting for Congestion Management Systems, Paper presented at National Traffic Data Acquisition Conference, Albuquerque, NM, May 6-9, 1996.
- 6) Cesar A. Quiroga.: Performance Measures and Data

- Requirements for Congestion Management Systems, Transportation Research C, Vol. 8, pp. 287-306, 2000.
- 7) Michael, A.P. Taylor., Jeremy, E. Woolley., and Rocco, Zito.: Integration of the Global Positioning System and Geographical Information Systems for Traffic Congestion Studies, Transportation Research C, Vol. 8, pp. 257-285,2000.
 - 8) Jean-Luc, Ygnace, Chris, Drane, and Yim, Y.B.: Cellular Phone Positioning and Travel Times Estimates, 8th ITS World Congress(CD-ROM), 2000.
 - 9) Ishida, H., Miura, H.,and Okamoto, N.: Sampling Rates for Travel Speed Survey with Car Navigation System, 8th ITS World Congress(CD-ROM), 2000.
 - 10) 石田東生, 岡本直久, 鈴木完, 牧村和彦, 中嶋康博: プローブカーによる走行速度調査の適用可能性, 第1回 ITS シンポジウム, 2002. 11
 - 11) 田宮佳代子, 瀬尾卓也: プローブカーデータを活用した都市内一般道路の Q-V 特性について, 土木計画学研究発表会・春大会講演資料, 2002
 - 12) 上杉友一, 井料隆雅, 小根山裕之, 堀口良太, 桑原雅夫: 断片的なプローブ軌跡の接合による区間旅行時間の期待値と分散の推定, 土木計画学研究・講演集 Vol.26, November 2002.
 - 13) 田中利行, 中嶋康博, 佐藤弘子, 牧村和彦: プローブカーを用いたリアルタイム道路交通情報提供システムに関する研究, 交通工学研究発表会, 2002
 - 14) Kawasato T.:A study of sensor fusion technology for traffic information services employing wide range communication media, 9th ITS World Congress(CD-ROM), 2002.
 - 15) 国土交通省道路局 : <http://www.mlit.go.jp/road/ir/index.html>
 - 16) 新潟国道事務所:<http://www.2159.go.jp/ir/index.html>
 - 17) David, B. Roden.: GPS Travel Time and Speed Data Collection and Processing Software User's Guide, May 2000, 2000.
 - 18) SanAntonio,TransGuide:<http://transguide.dot.state.tx.us/>
 - 19) Singapore land transport authority, traffic smart: <http://traffic.smart.lta.gov.sg/>

(2002. 12. 2 受付)

ROAD PERFORMANCE MEASUREMENT USING CAR NAVIGATION SYSTEMS

Kazuhiko MAKIMURA, Yasuhiro NAKAJIMA, Hiroko SATO and Haruo ISHIDA

Recently the operation of road administration based on performance measurement has been mentioned and there is a rising need for outcome indicators relating to congestion. In this study, we have tried to analyze the characteristics of data using 20 taxis data operating mainly in the Tokyo wards. In addition, we have derived formulae for three indicators of road performance such as the percentage of time the cars were caught in congestions, traffic jam length and waiting times of signal. We have also estimated performance indicators.

We have shown that this is a highly practical and applicable method that can replace, or improve the efficiency of traditional measurement methods