

複数データを用いた 道路所要時間信頼性の推定に関する試み

加藤 務¹・石田 東生²・岡本 直久³

¹非会員 筑波大学 システム情報工学研究科 (〒305-0005 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail:s1120516@sk.tsukuba.ac.jp

²正会員 筑波大学 システム情報工学研究科 (〒305-0005 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail:ishida@sk.tsukuba.ac.jp

³正会員 筑波大学 システム情報工学研究科 (〒305-0005 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail:okamoto@sk.tsukuba.ac.jp

本研究は、相補的な関係にある路側観測データとプローブカーデータを用いて従来よりも高精度な旅行時間信頼性算出の過程に関する試みである。過程として、路側観測データとプローブカーデータのマッチング手法の構築とそれらのデータの関係性の把握、マクロ交通流モデルによる空間平均速度や密度などの交通状態の推定とOD旅行時間の推定を行った。

Key Words : traffic flow model, probe, detector, travel time reliability

1. 研究の背景と目的

近年、学会、道路管理者、道路利用者など、様々な立場から旅行時間信頼性計測の重要性が指摘されている。NCHRP⁽¹⁾は、「旅行時間信頼性指標は、渋滞の特徴を表すものとして認識されている」と述べている。道路管理者である FHWA⁽²⁾は、「道路パフォーマンス計測の鍵となる指標である」としている。Shao et al.(2006)⁽³⁾では、「旅行者は経路選択の際に、平均的な旅行時間だけでなく旅行時間信頼性についても考慮している」と指摘している。Kate Lyman et al.(2008)⁽⁴⁾においては、「旅行時間そのものよりも重要な指標である」と述べられており、旅行時間信頼性指標の重要性がよりいっそう強調されている。飛ヶ谷(2008)⁽⁵⁾では、「社会経済活動にとっては、移動時間の短縮と不確実性の低減がきわめて重要である」と指摘されている。これらのことから、近年、旅行時間信頼性指標の重要性が注目されていることが把握できる。

従来、旅行時間信頼性指標は、路側感知機による測定データを基に計測されてきた。路側感知機は定常的にデータを取得できるという特徴を持つ反面で、計測が機器の設置箇所に限定されてしまい、道路上の交通状態を空間的に把握することが困難であるという欠点を抱えている。

その一方で、新たな交通流観測システムとして、プロー

ブカーシステムが広がりを見せている。プローブカーは空間的に連続したデータを取得できる観測システムであり、車両の詳細な挙動を把握することが可能であるが、データ数の確保や偏りといった欠点を抱えている。

本研究では、道路パフォーマンス指標の中でも極めて重要な指標であると考えられる旅行時間信頼性に着目する。NCHRP⁽¹⁾やFHWA⁽²⁾の定義を参考に、旅行時間信頼性を「ある程度の幅を持った時間の中で計測される旅行時間の安定性の水準」と定義する。相補的な関係にある路側観測データとプローブカーデータを組み合わせることにより、様々なニーズを満たす高精度な計測システムを構築できるのではないかと期待できる。

その過程として、本研究では以下の試みを実施した。

- (1) 同位置・同時刻における路側観測データとプローブカーデータの関係性を把握し、観測値として必要な複数のデータを容易に取り扱うための両データのマッチングシステムを構築する。
- (2) マクロ交通流モデルを用いて道路空間状態を推定し、その再現性を検証する。また、推測されたリンク単位の空間平均速度からリンク単位の所要時間を計測し、それらの時空間的な合計から OD 旅行時間を推定するシステムを構築する。

2. 使用データ及び対象地域の概要

(1) 使用データ概要

本研究で用いたデータは以下の2種類である。首都高速道路上におけるプローブカーと路側感知機によるデータを用いる。データの概要は以下に示す通りである。

a) プローブカーデータ

提供元... 東京国道事務所
 種別... タクシープローブデータ
 期間... 2004年10月～2006年2月
 データ取得間隔... 1秒
 主なデータ... 位置座標、速度

b) 路側観測データ

提供元... 首都高速道路株式会社
 期間... 2004年10月～2008年10月
 データ取得間隔... 1分
 主なデータ... 断面交通量、地点速度

(2) 対象地域概要

本研究では、湾岸線神奈川方面 浦安 IC～葛西 IC間(図1)と都心環状線外回り 浜崎橋 JCT～市ノ端 JCT(図2)を対象区間として分析を行った。性質の異なるそれぞれの区間で分析を行うことで、区間の特長による分析結果への影響を考察するために、2つの分析区間を設定した。

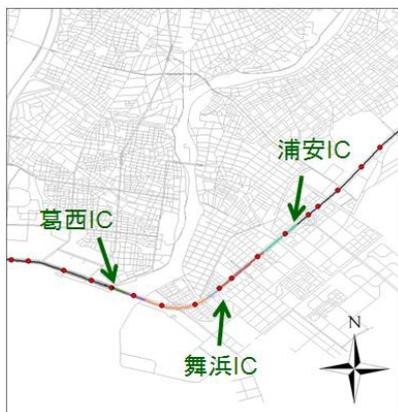


図-1 湾岸線神奈川方面... 浦安 IC～葛西 IC

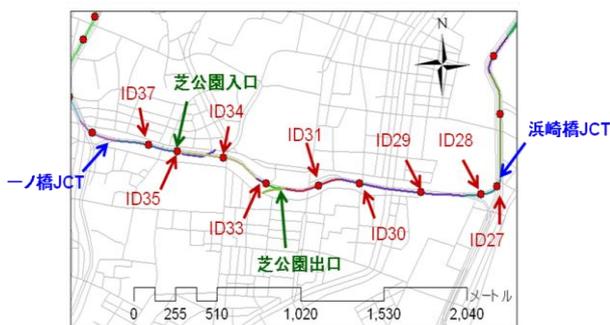


図-2 都心環状線外回り... 浜崎橋 JCT～市ノ端 JCT

3. 路側観測データとプローブカーデータの比較

(1) データマッチングの概要

図3に示す手順で、路側観測データとプローブカーデータのマッチングを実施した。その際、単位時間当たりのプローブカーの走行距離を算出するためにヒュベニの公式(式1)を用いた。

$$\text{距離}d = \sqrt{\left(d_y \cdot M\right)^2 + \left(d_x \cdot N \cdot \cos \mu_y\right)^2} \quad (1)$$

x_1, y_1 ... 地点1の経度, 緯度
 $2, y_2$... 地点2の経度と緯度
 d_y ... 緯度の差
 d_x ... 経度の差
 μ_y ... 緯度の平均値
 M ... 子午線曲線半径
 N ... 卯酉線曲率半径
 $W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \mu_y}$
 e ... 第一離心率

(2) 両データの関係性の把握

両データのマッチング後、都心環状線における速度データの相関関係を図4～7に示した。それぞれの感知器は、管理番号27が浜崎橋JCT分流直後に、管理番号28が同JCT合流直後に、管理番号29と管理番号30が浜崎橋JCT～芝公園出口の間に設置されている。

これらの図から、管理番号29や30のデータに比べて、管理番号27や28のデータにおける相関関係が低いことが明らかになった。JCT周辺は車線変更が頻繁に起こる箇所であり、そのような地点での路側感知器の計測精度の低さが影響していると考えられる。

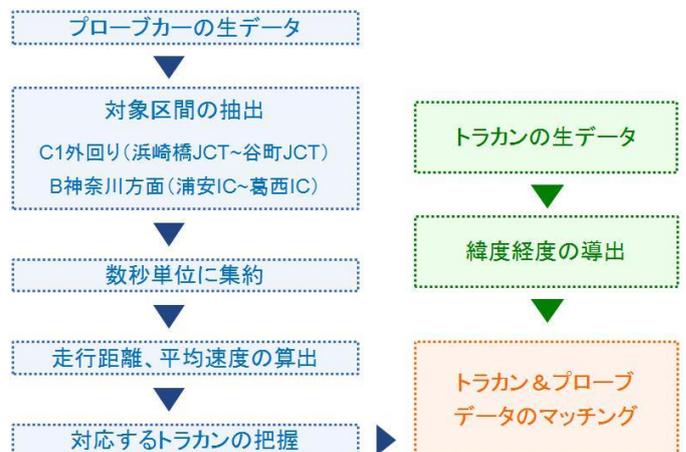


図-3 データマッチングの流れ

ID.27 相関係数: 0.750 n=289

プローブカーの計測速度 (km/h)

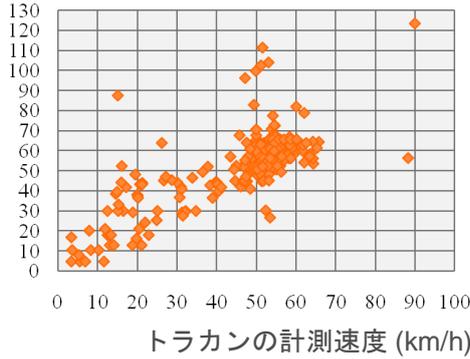


図-4 観測データの散布図 (管理番号 27)

ID.28 相関係数: 0.883 n=391

プローブカーの計測速度 (km/h)

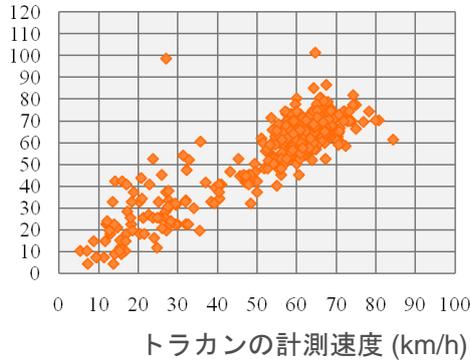


図-5 観測データの散布図 (管理番号 28)

ID.29 相関係数: 0.847 n=737

プローブカーの計測速度 (km/h)

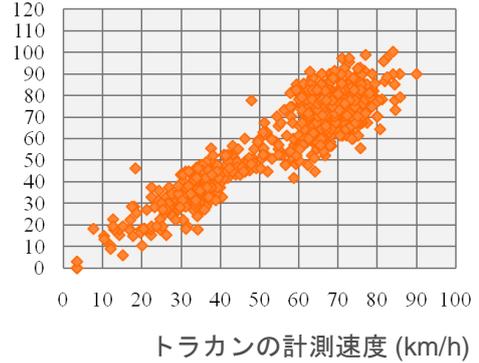


図-6 観測データの散布図 (管理番号 29)

ID.30 相関係数: 0.922 n=740

プローブカーの計測速度 (km/h)

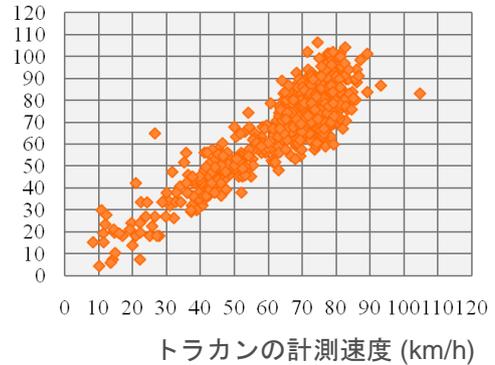


図-7 観測データの散布図 (管理番号 30)

4. 交通流モデル⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

(1) 交通流モデルの概要

本研究では、マクロ交通流モデルとして一般的に用いられる Payne 型モデルを使用する。Payne 型モデルの特徴は、パラメータが比較的少なく単純な式で構成され、自由流だけでなく渋滞状態における表現能力に優れた特徴を持つ。図 8 のように、道路区間を n 個のセグメントに分割し、各セグメント長を ΔL_i 、時間刻みを Δt とした場合の交通密度 k と空間平均速度 v を状態変量とする状態方程式は次のようになる。

$$k_i(h+1) = k_i(h) + \Delta t / \Delta L_i [q_{i-1} - q_i + r_i - s_i]_{(h)} \quad (2)$$

$$v_i(h+1) = v_i(h) + \Delta t / \tau [V(k_i) - v_i]_{(h)} + \Delta t / \Delta L_i [v_i(v_{i-1} - v_i)]_{(h)} + \eta / \tau \cdot \Delta t / \Delta L_i [k_i - k_{i+1} / k_i + \kappa]_{(h)} \quad (3)$$

$$w_i(h) = [a \cdot v_i + (1-a) \cdot v_{i+1}]_{(h)} \quad (4)$$

$$q_i(h) = [a \cdot k_i w_i + (1-a) \cdot k_{i+1} w_{i+1}]_{(h)} \quad (5)$$

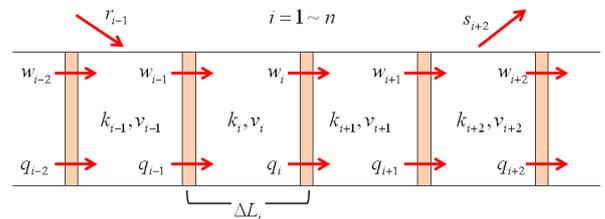


図-8 道路のセグメント分割イメージ

h : タイムステップ

i : 道路区間番号

k : 密度

v : 空間平均速度

w : 地点平均速度

q : 断面交通量

r : ランプ流入量

s : ランプ流出量

V_f : 自由流走行速度

k_{max} : 渋滞密度

l, m : 追従理論におけるパラメータ

τ, η, κ : マクロ交通流モデルのパラメータ

α : 重み付けパラメータ

式(2)は交通状態の連続式に基づいており、密度と交通量（流入交通量、流出交通量）の関係式である。式(3)は空間平均速度と密度の関係式で、速度に関する補正を行う。右辺第2項は、調整項と呼ばれ、式(6)によって規定された密度-速度特性に基づいて補正を行う。

$$V(k_i) = V_f \left[1 - (k_i/k_{max})^m \right] \quad (6)$$

式(3)の右辺第3項は、変位項と呼ばれ、直前のセグメントにおける速度の影響を表している。右辺第4項は、密度勾配項と呼ばれ、直前のセグメントにおける交通状態による補正を行う。

(2) 交通流モデルの推定手順

図9を用いて、推定の手順を簡略的に説明する。交通流モデルに挿入する初期値は、初期状態の各セグメントの断面交通量 $q_i(1)$ と地点平均速度 $w_i(1)$ 、各タイムステップにおける起点の断面交通量 $q_0(h)$ と地点平均速度 $w_0(h)$ と終点の断面交通量 $q_n(h)$ と地点平均速度 $w_n(h)$ がある。また、式(7)と式(8)で示す仮定に基づいて、起点と終点における密度と空間平均速度の計算を行う。

$$q_0(h) = k_1(h) \cdot v_1(h) \quad w_0(h) = v_1(h) \quad (7)$$

$$q_n(h) = k_n(h) \cdot v_n(h) \quad w_n(h) = v_n(h) \quad (8)$$

続いて、タイムステップ ($h=1$) において、式(4)を用いて空間平均速度 $v_i(1)$ を、式(5)を用いて密度 $k_i(1)$ を算出する。その後、式(2)と式(3)に基づいて、次のタイムステップの密度、空間平均速度の順で算出し、その値を式(4)と式(5)に挿入して、同タイムステップの地点平均速度、断面交通量の順に算出する。このプロセスを繰り返すことによって、数時間後の交通状態の推定が可能になる。

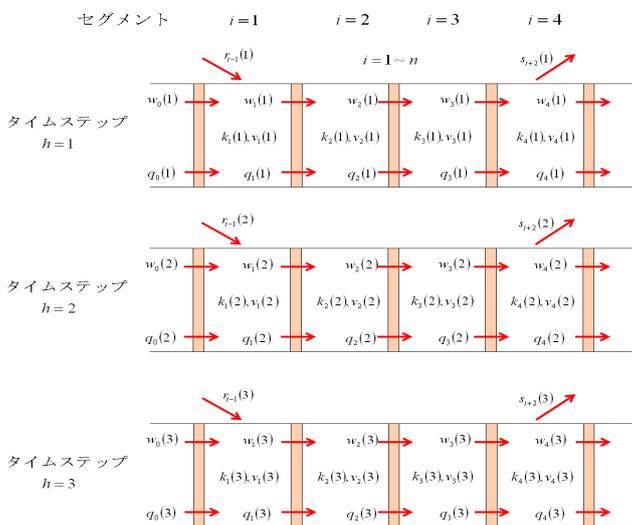


図-9 交通流モデル推定手順の説明用簡略図

(3) 交通流モデルの推定結果

図10では、湾岸線 浦安 IC～葛西 IC 区間における実測値と推定値を表している。縦軸は路側感知器の管理番号を示し、横軸は AM08:00～AM10:00 までの時刻である。断面交通量が多い状態を赤で、少ない状態を黄色で表現している。推定値の図と実測値の図は似たような傾向を持っており、両者が 0.808 という高い相関関係にあることから、ある程度の再現ができていていると判断できる。

図11では、都心環状線 浜崎橋 JCT～市ノ橋 JCT 区間における実測値と推定値を表している。図10とは異なり、実測値の傾向を推定値では全く掴めていないことが分かる。この区間には、浜崎橋 JCT や芝公園 IC など激しい流入がある箇所が含まれているためであると考えられる。このような箇所においては、交通流モデルの推定では限界があることが判明した。

(4) OD 旅行時間の推定

OD 旅行時間は、各リンク区間の区間旅行時間を時間的かつ空間的に足し合わせることによって算出できる。まず、各リンク区間の空間平均速度 $v_i(h)$ を交通流モデルから推定し、リンク区間距離を $v_i(h)$ で除することによって、各リンクの旅行時間を算出する。次に、起点となる道路区間 i 、および終点となる道路区間 j を設定すると、 i - j 間の OD 旅行時間 $T_{ij}(h)$ はリンク旅行時間の時空間的な合計なので、式9によって導出することができる。

$$T_{i,j}(h) = T_{i,j-1}(h) [h - T_{j-1,j}(h)] + T_{j-1,j}(h) \quad (9)$$

2005年3月19日の湾岸線 浦安～葛西区間のデータを用いて OD 旅行時間の推定を行った。プローブカーが計測した OD 旅行時間 160 秒に対して推定値は 165 秒であり、十分に高い精度で推定することができた。

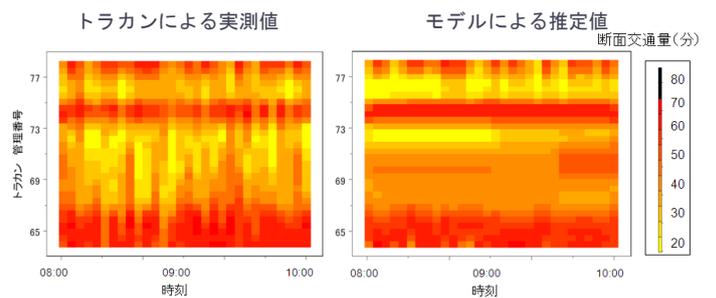


図-10 湾岸線における交通流モデルの推定結果

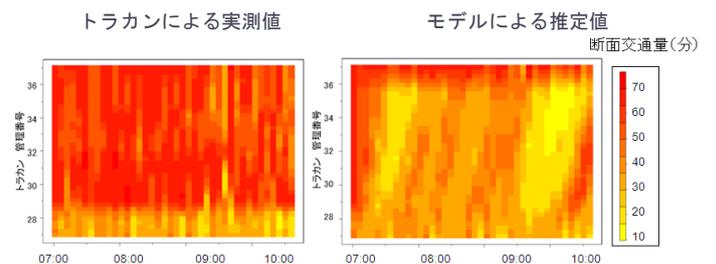


図-11 都心環状線における交通流モデルの推定結果

5. 結論

本研究の成果は以下の2点である。

(1) 路側観測データとプローブカーデータのマッチング手法を確立した。両データの散布図から分合流部付近での特徴的な関係性を把握することができた。

(2) マクロ交通流モデルを用いた道路空間状態の推定システムと、リンク単位の旅行時間を用いたOD区間の旅行時間の推定システムを構築した。分合流の少ない湾岸線においては、交通流モデルのみを用いた推定によってもある程度の推定精度が期待できることを把握した。

6. 今後の課題

(1) モデルによる推定精度の向上

都心環状線に関する推定で明らかのように、マクロ交通流モデルのみの推定には精度的な限界が存在する。初期値のみを与えて数時間後の状態を推定するという原理からして、それは当然生じうる課題である。この課題に対しては、交通流モデルをカルマンフィルタに組み込むことによって、推定精度の向上が期待できることが明らかにされている。^{(6) (7) (8)}

(2) 旅行時間信頼性の計測

OD旅行時間の推定は行ったものの、旅行時間信頼性を算出するまでには至っていない。複数のデータから求めたOD旅行時間の分布から信頼性を算出する必要がある。

(3) 分析対象地の拡大

本研究は、首都高速道路上の僅かな区間のみを分析の対象としており、それは限られた一部の区間に過ぎない。今後は道路ネットワークを考慮するために分析対象区間を拡大することを検討している。

参考文献

- 1) NCHRP : Web-Only Document 97: Guide to Effective Freeway Performance Measurement: Final Report and Guidebook .2006
- 2) FHWA : Travel Time Reliability: Making It There On Time, All The Time
- 3) Hu Shao, William H.K.Lam, Qiang Meng, and Mei Lam Tam : Demand-Driven Traffic Assignment on Travel Time Reliability, *Transportation Research Record*, No.1985, pp.220-230, 2006.
- 4) Kate Lyman and Robert L. Bertini : Using Travel Time Reliability Measures to Improve Regional Transportation Plan-ning and Operations, *Transportation Research Record*, No.2046, pp.1-10, 2008.
- 5) 飛ヶ谷明人, 石橋照久, 田名部淳, 朝倉康夫 : 旅行時間信頼性評価指標と既存の渋滞評価との比較～ 阪神高速道路の事例～, 土木計画学研究・講演集, vol.37
- 6) 鈴木宏典, 中辻隆 : フィードバック原理に基づく交通状態推定手法を応用した高速道路起終点旅行時間の推定, 土木学会論文集, No.695/IV-54,137-148, 2002.
- 7) T.Nakatsuji, Naanthawichit,C, H.suzuki : Application of Probe Vehicle Data for Real-Time Traffic State Estimation and Short-Term Travel Time Prediction on a Freeway, *TRB 2003 annual Meeting CD-ROM* , 2003.
- 8) 中辻隆, 鈴木宏典 : Unscented カルマンフィルタを用いた交通状態のフィードバック推定, 土木計画学研究講演集, 2006.

(?)

AN ANALYSIS ON TRAVEL TIME RELIABILITY USING PROBE-CAR DATA AND DETECTOR DATA

Tsutomu KATO, Haruo ISHIDA and Naohisa OKAMOTO